

Université d'Abomey-Calavi (UAC)



Faculté des Lettres, Arts et Sciences
Humaines (FLASH)



Faculté des Sciences et Techniques (FAST)
Chaire Unesco Science, Technologie et Environnement (CUSTE)

ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE "ESPACES, CULTURES ET DEVELOPPEMENT"

Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies

Option : Géographie et Gestion de l'Environnement

Spécialité : Géosciences de l'Environnement et Aménagement du Territoire

N° d'enregistrement/_____/EDP/GEN



EVENEMENTS PLUVIO-HYDROLOGIQUES EXTREMES ET PRODUCTION AGRICOLE DANS LE DELTA DU FLEUVE OUEME

Présenté par :

Blaise Tolidji DONOU

Sous la direction de :

Professeur Michel BOKO

co-direction

Dr. François TCHIBOZO

Soutenu publiquement le 05/08/2009 devant le jury composé de :

Président

Michel BOKO

Professeur Titulaire à l'UAC

Rapporteur

TCHIBOZO François

Maître Assistant à l'UAC

Examineur

HOUNDENOU Constant

Maître de Conférences à l'UAC

*Avec le soutien financier du Conseil Scientifique de l'UAC (Projet 3 AAD « Evolution des
Climats, usages des écosystèmes et gestion des risques liés à la pollution par les métaux et
les pesticides au Bénin »*

Mention : Très bien

*A Ouéfa Pretty.
A tous mes parents.*

Sommaire

	Pages
Sigles et acronymes	3
Avant propos	4
Résumé	6
Abstract	6
Introduction	7
CHAPITRE I	
ETAT DES CONNAISSANCES, PROBLEMATIQUE ET CLARIFICATION DES CONCEPTS	
1.1- Problématique	9
1.2- Etat des connaissances	13
1.3- Clarification des concepts utilisés	15
CHAPITRE II	
DEMARCHE D'ANALYSE DES EVENEMENTS PLUVIO- HYDROLOGIQUES EXTREMES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE AGRICOLE	
2.1- Données utilisées	18
2.2- Collecte des données	19
2.3- Détermination des événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé	21
2.4- Démarche d'évaluation de la vulnérabilité agricole et des stratégies d'adaptation endogènes	27
2.5- Outils de traitement et d'analyse des données	29
CHAPITRE III	
VARIABILITE DES EVENEMENTS PLUVIO-HYDROLOGIQUES EXTREMES DANS LE DELTA DU FLEUVE OUEME	
3.1- Fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé	31
3.2- Tendances des événements pluvieux extrêmes	34
3.3- Facteurs explicatifs de la fréquence et de l'ampleur des événements pluvio-hydrologiques extrêmes	37
CHAPITRE IV	
VULNERABILITE DE LA PRODUCTION AGRICOLE DU DELTA DU FLEUVE OUEME AUX EVENEMENTS PLUVIO-HYDROLOGIQUES EXTREMES	
4.1- Principaux facteurs de la vulnérabilité des cultures aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes	45
4.2- Impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole	52
4.3 - Impacts socio-économiques	54
CHAPITRE V	
STRATEGIES D'ADAPTATION ENDOGENES ET MESURES PRECONISEES	
5.1- Stratégies endogènes proactives	56
5.2- Stratégies endogènes réactives	57
5.3- Mesures préconisées	59
Conclusion et perspectives pour les travaux futurs	65
Bibliographie	70
Liste des figures	76
Liste des tableaux	77
Liste des photos	77
Annexes	78
Tables des matières	82

Sigles et abréviations

ASECNA	: Agence de Sécurité pour la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DGE	: Direction Générale de l'Eau
GIC	: Gestion Intégrée des Crues
GIEC	: Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
GRET	: Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
INSAE	: Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
LACEEDE	: Laboratoire Pierre Pagny, Climat, Eau, Ecosystème et Développement
LSSEE	: Laboratoire des Sciences du Sol, Eau et Environnement
MAEP	: Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MEPN	: Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
MISP	: Ministère de l'Intérieur et de Sécurité Publique
MMEE	: Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Eau
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale
PIGB	: Programme International Géosphère Biosphère
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement

Avant propos

Cette recherche est une contribution à l'étude de la fréquence des événements pluvieux et hydrologiques extrêmes et à l'évaluation de leurs impacts sur la production agricole du delta du fleuve l'Ouémé. Elle se propose également d'analyser les modèles de gestion endogènes des espaces agricoles dans un contexte de forte fréquence de ces événements. Le choix du thème « **Evénements pluvio-hydrologiques extrêmes et production agricole dans le delta du fleuve Ouémé** » a permis d'appréhender ces modèles d'utilisation des terres, d'évaluer leurs insuffisances et de proposer de nouvelles approches de gestion des systèmes agricoles dans un contexte d'extrêmes pluvio-hydrologiques dans le delta du fleuve Ouémé.

Au terme de la réalisation de ce mémoire, je tiens, en premier lieu, à remercier Monsieur le Professeur Michel BOKO, pour avoir accepté de diriger ce mémoire malgré ses multiples occupations. Ses observations et ses contributions scientifiques ne m'ont nullement fait défaut. Qu'il reçoive ici, mes sincères et profonds remerciements pour ses grandes qualités scientifiques.

Je remercie le conseil scientifique de l'Université d'Abomey-Calavi pour le soutien financier dont j'ai bénéficié pour la réalisation de ce mémoire à travers le projet 3AAD.

Je remercie tous les membres du jury de soutenance, qui ont accepté de contribuer à l'amélioration de la qualité scientifique de ce mémoire.

Je remercie le Professeur Christophe HOUSSOU, Vice Doyen de la Faculté des Lettres, Arts et Science Humaines (FLASH), pour l'attention portée à ce travail.

Je rends hommage à tout le corps professoral de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la Faculté des Lettres, Arts et Science Humaines (FLASH).

Mes sincères remerciements vont à l'endroit du Dr Euloge OGOUWALE et du Dr Ibouaïma YABI pour leurs soutiens scientifique, moral et matériel. Je les remercie particulièrement pour tous leurs soutiens dans le processus de réalisation de ma personne, notamment dans le domaine scientifique.

Toutes mes reconnaissances à Monsieur Henri S. V. TOTIN pour sa grande contribution scientifique à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens aussi à remercier Monsieur Zacharie SEYIGONA pour m'avoir initié à l'outil cartographique et pour sa grande contribution à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie tous les autres membres du laboratoire de climatologie, notamment monsieur Ernest AMOUSSOU et Dr Expédit VISSIN pour leurs soutiens et conseils sans cesse renouvelés.

J'exprime mes sentiments de gratitude à monsieur Agapit WOUYOU pour avoir contribué à la réalisation de mes travaux de terrain.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à tous mes amis, je veux nommer messieurs Romaric OGOUWALE et Guy WOKOU.

Je remercie madame Edwige TOGBE pour son soutien moral continu et que j'espère sera continu.

Je dis également merci à tous mes frères dont les gestes de fraternité, les enrichissements psychologiques ont été d'une grande utilité.

A tous, infiniment merci.

Résumé

Cette étude vise à évaluer la vulnérabilité des différentes spéculations agricoles dans la plaine d'inondation du delta du fleuve Ouémé en situation pluviométrique et hydrologique extrême.

L'étude de la variabilité des situations d'extrêmes pluviométriques et hydrologiques est faite sur la base de l'analyse fréquentielle avec le choix du modèle de Gumbel, appliqué aux données de la série 1951-2005. L'analyse des données de la production, au cours des années extrêmes, des cultures de maïs, du manioc, du niébé, de la patate douce et du piment, a permis d'évaluer l'impact des événements pluviométriques et hydrologiques extrêmes sur la production agricole du delta. Les résultats issus de ces différentes analyses ont été complétés par les données et informations d'investigation socio-anthropologique.

L'analyse des résultats montre une forte fréquence des pluies extrêmes à toutes les stations du delta. Ce qui a pour conséquence l'accroissement de la fréquence des crues et inondations. En situation d'extrême pluvio-hydrologique, les principales spéculations agricoles dans le delta sont soumises à un surplus d'eau dans les sols les rendant plus vulnérables ; ce qui entraîne la destruction des cultures, et un déficit de la production agricole. Face à cette situation, les populations agricoles du delta développent plusieurs stratégies d'adaptation pour atténuer les impacts des pluies extrêmes et des inondations sur la production agricole. En raison de l'insuffisance de ces stratégies, une approche de gestion intégrée des crues et inondations a été proposée.

Mots clés : Delta de l'Ouémé, événements pluvio-hydrologiques extrêmes, vulnérabilité, stratégies, gestion intégrée.

Abstrat

This survey aims at analysing the vulnerability of different agricultural activities in the plain of the Oueme River's delta in case of extreme flooding and rainy.

This survey has been effective owing to frequent analysis with the statistical model of Gumbel applied to the data of the statistical set 1951-2001. Production data analysis during these last years has helped to identify the extreme rainfall and hydraulic impact on the production of some crops and corns such as: maize, yam, cassava, pepper; during rainy and flooding period in the delta of Oueme. The results obtained with these analyses have been added to the ones obtained from the data and information of social and anthropoid investigation.

Results analysis shows a high frequency of rain at any point of the Oueme delta, which results in the increasing of floods and swelling frequency. During extreme rainy and hydraulic situation, the main activities in the delta are subject to a surplus of water in the soil making the crops more vulnerable, which leads to their destruction, then to the decrease of agricultural production. Facing this situation, the indigenous farmers have adopted many strategies to attenuate the extreme rain and flooding impact on the agricultural production. Because of the insufficiency of these strategies, an approach of built-in management of the rain and floods have been proposed.

Key words: Oueme river delta, extreme rain and hydraulic situation, vulnerability, strategies, built-in management.

Introduction

La forte fréquence des événements pluviométriques extrêmes de ces trois dernières décennies en Afrique de l'ouest influe sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau et limite la mise en valeur efficiente de leurs potentialités pour l'agriculture (OMM, 2006).

Dans le Bénin méridionale en général et dans le delta du fleuve Ouémé en particulier, les précipitations sont marquées par une diminution du nombre de jours de pluie et des hauteurs d'eau sur la période 1970-1990 (Ogouwalé, 2004). Cette diminution entraîne une concentration des masses d'eaux et de ce fait, les pluies surviennent moins mais avec plus d'intensité (Houndakinou, 2005). Selon le PIGB (2003), le nombre des événements pluvieux extrêmes n'a cessé de s'accroître ces dernières années, tant au Bénin que dans la sous région. Les précipitations supérieures à la normale ont été enregistrées en Afrique occidentale, avec des excédents compris entre 50 et 350 mm. Ces événements pluvieux extrêmes augmenteront très probablement au cours des prochaines décennies (IPCC, 2001).

Dans le delta de l'Ouémé, les pluies extrêmes entraînent des crues du fleuve suivies des inondations des champs installés dans les bas de pente et dans la plaine d'inondation (Donou, 2007). Ces inondations sont favorisées par la saturation rapide des sols après quelques épisodes pluvieux (Huet, 2001). En effet, les sols du delta l'Ouémé, principalement de type hydromorphe (Agassounon, 2002), ont une capacité d'infiltration très faible donc sont très vite saturés ; ce qui contribue à l'étalement des inondations.

La conséquence de cette situation est la destruction des cultures dans la plaine d'inondation du delta et les difficultés de conservation des produits agricoles, créant ainsi, un manque à gagner pour les producteurs (Agossa, 1994). C'est pour mieux appréhender les déficits des ressources agricoles dus à l'augmentation de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes humides dans le delta du fleuve Ouémé que le thème « **événements pluvio-hydrologiques extrêmes et production agricole dans le delta du fleuve Ouémé** » est choisi.

Le présent mémoire est structuré en cinq chapitres. Le premier chapitre est consacré à la revue de la littérature, à la justification de l'étude et la clarification des concepts utilisés. Le deuxième chapitre expose la démarche méthodologique utilisée pour

l'analyse de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes et pour l'évaluation de la vulnérabilité de la production agricole et des stratégies d'adaptation endogènes des populations agricoles du delta du fleuve l'Ouémé. Le troisième chapitre aborde la variabilité des événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé sur la période 1951-2005. Le quatrième chapitre traite des impacts de la variabilité des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole dans le delta du fleuve Ouémé. Le cinquième chapitre dresse les stratégies d'adaptation développées par les populations et la synthèse des mesures préconisées pour une meilleure adaptation de l'agriculture aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé.

CHAPITRE I

ETAT DES CONNAISSANCES, PROBLEMATIQUE ET CLARIFICATION DES CONCEPTS

Le présent chapitre est consacré, à la présentation de la justification du sujet de recherche, de la revue de la littérature et à la clarification des concepts utilisés dans la présente étude.

1.1- Problématique

1.1.1- Justification du sujet

Le climat de la terre est soumis ces trois dernières décennies à des variations importantes de ses principaux paramètres (Wigley, 1981 cité par Ogouwalé, 2006). Selon le GIEC (2007), ces variations se manifestent par la multiplication des événements climatiques extrêmes. La principale cause de la nouvelle situation climatique est l'augmentation de la température de la terre consécutive au doublement de l'émission des Gaz à Effet de Serre (GES), notamment le CO₂. En effet, entre 1750 et 1999, la concentration de CO₂ dans l'atmosphère est passée de 280 ppm à 367 ppm et la concentration actuelle de CO₂ n'avait jamais été dépassée durant les 420 000 dernières années et ne l'avait probablement pas été durant les 20 derniers millions d'années. Cette augmentation continue en CO₂ influence directement le climat global et par conséquent la vie sur terre.

Cette situation a entraîné, un intérêt croissant de la communauté scientifique pour l'étude des événements climatiques extrêmes tels que les tempêtes, les inondations, les sécheresses, etc. Ce regain d'intérêt scientifique s'explique par le fait que leurs conséquences économiques et sociales sont énormes (Naveau, 2007).

Dans les régions tropicales et intertropicales, la vulnérabilité des peuples à la variation climatique est d'autant plus importante que les différents systèmes de production agricole sont fortement corrélés au climat (Olivry, 1983). Au Bénin, les contraintes climatiques se manifestent par une forte irrégularité des précipitations interannuelles tant dans leur ampleur que dans leur répartition (Boko, 1988). Il s'en suit de ce fait, une variation des régimes pluviométriques saisonniers entraînant une modification des régimes hydrologiques saisonniers (Vissin, 2001). Ceci n'est pas sans conséquence sur la production agricole surtout dans les régions situées dans

les plaines d'inondation des grands systèmes fluviaux du Bénin comme le delta du fleuve Ouémé.

Ce delta est sous l'influence des climats subéquatorial au sud et soudanien au nord du bassin du fleuve Ouémé (Le Barbé et *al*, 1993). Son régime hydrologique est essentiellement marqué par la succession des hautes et basses eaux (Lamouroux, 1972). En situation climatique extrême (pluies maximales), le régime hydrologique du delta de l'Ouémé est marqué par l'avènement des crues et des inondations (Donou, 2007). Les crues constituent un facteur important de la production agricole dans le delta en ce sens qu'elles augmentent ses potentialités agricoles par l'apport de surplus d'eau et d'éléments fertilisant des sols (Lamouroux, 1972, Houessou, 1997). Ceci amène les populations, installées dans la plaine d'inondation du delta, à pratiquer l'agriculture de décrue et de contre saison, en plus de l'agriculture pluviale (Agossa, 1994).

Mais depuis quelques décennies, les crues dans le delta du fleuve l'Ouémé sont marquées par une irrégularité spatio-temporelle non maîtrisée (Donou, 2007). Les fluctuations pluviométriques observées dans le cours supérieur du fleuve et dans le delta ont été à l'origine de l'irrégularité de l'ampleur des crues et des perturbations du calendrier agricole traditionnel (Houessou, 1997). La conséquence de cette irrégularité est la destruction des cultures, les difficultés de conservation des récoltes et des déficits de productions agricoles. Par ailleurs, les fluctuations pluviométriques caractérisées par l'augmentation des valeurs extrêmes (Ogouwalé, 2006) influent sur l'agriculture pluviale par la perturbation des quantités d'eau disponibles dans le sol (Besancenot, 1989).

Cette situation est amplifiée par les formes d'occupation et d'exploitation du delta. En effet, les populations, à la recherche de terres agricoles, détruisent la végétation des berges, dénudent les bourrelets de berges. Toute chose qui accentue l'inondation due aux crues et aux fortes précipitations. L'agriculture du delta se trouve ainsi plus vulnérables aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes et est désormais marquée par de faibles rendements pendant les années pluvio-hydrologiques extrêmes. Mais, les études ayant abordé la problématique des fréquences pluvio-hydrologiques extrême et leurs impacts sur la production agricole restent générales et ne permettent pas de cerner les particularités locales du delta. D'où la nécessité

de mener une étude sur la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes et d'évaluer leurs conséquences sur la production agricole. La présente recherche portant sur « **Événements pluvio-hydrologiques extrêmes et production agricole dans le delta de l'Ouémé** » est menée à cette fin. Elle se fonde sur plusieurs hypothèses.

1.1.2- Hypothèses de travail

- le delta du fleuve l'Ouémé est marqué par une fréquence de plus en plus accrue des événements pluvio-hydrologiques extrêmes ;
- la production agricole dans le delta du fleuve l'Ouémé est vulnérable aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes ;
- les populations agricoles du delta adoptent plusieurs stratégies face à la vulnérabilité de leur production agricole aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes.

Pour vérifier ces hypothèses, des objectifs ont été fixés.

1.1.3- Objectifs de recherche

L'objectif global de cette étude est d'évaluer les impacts de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole dans le delta du fleuve Ouémé.

Les objectifs spécifiques de l'étude consiste à :

- analyser la fréquence des événements pluviométriques et hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé ;
- évaluer l'impact des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole du delta du fleuve Ouémé ;
- examiner l'efficacité des stratégies d'adaptation des populations agricoles face aux incidences des événements pluvio-hydrologiques extrêmes ;
- proposer de nouvelles stratégies d'adaptation agricole adaptées au contexte de la dynamique pluvio-hydrologique du delta.

1.1.4- Justification du choix du secteur d'étude

Le delta du fleuve Ouémé est situé entre les latitudes 6°35' et 7°40' nord et les longitudes 2°40' et 2°55' est. Il est localisé dans le littoral béninois caractérisé par un

climat subéquatorial avec l'alternance de deux saisons pluvieuses et de deux saisons sèches.

Le delta du fleuve Ouémé s'étend sur une longueur de 90 km du nord au sud. Le lac Nokoué et lagune de Porto-Novo constituent sa façade méridionale. A l'ouest, la vaste plaine deltaïque est limitée par le plateau d'Allada et à l'est par le plateau de Sakété (figure 1). Il couvre une superficie d'environ 9000 km² (Le Barbé et al, 1993).

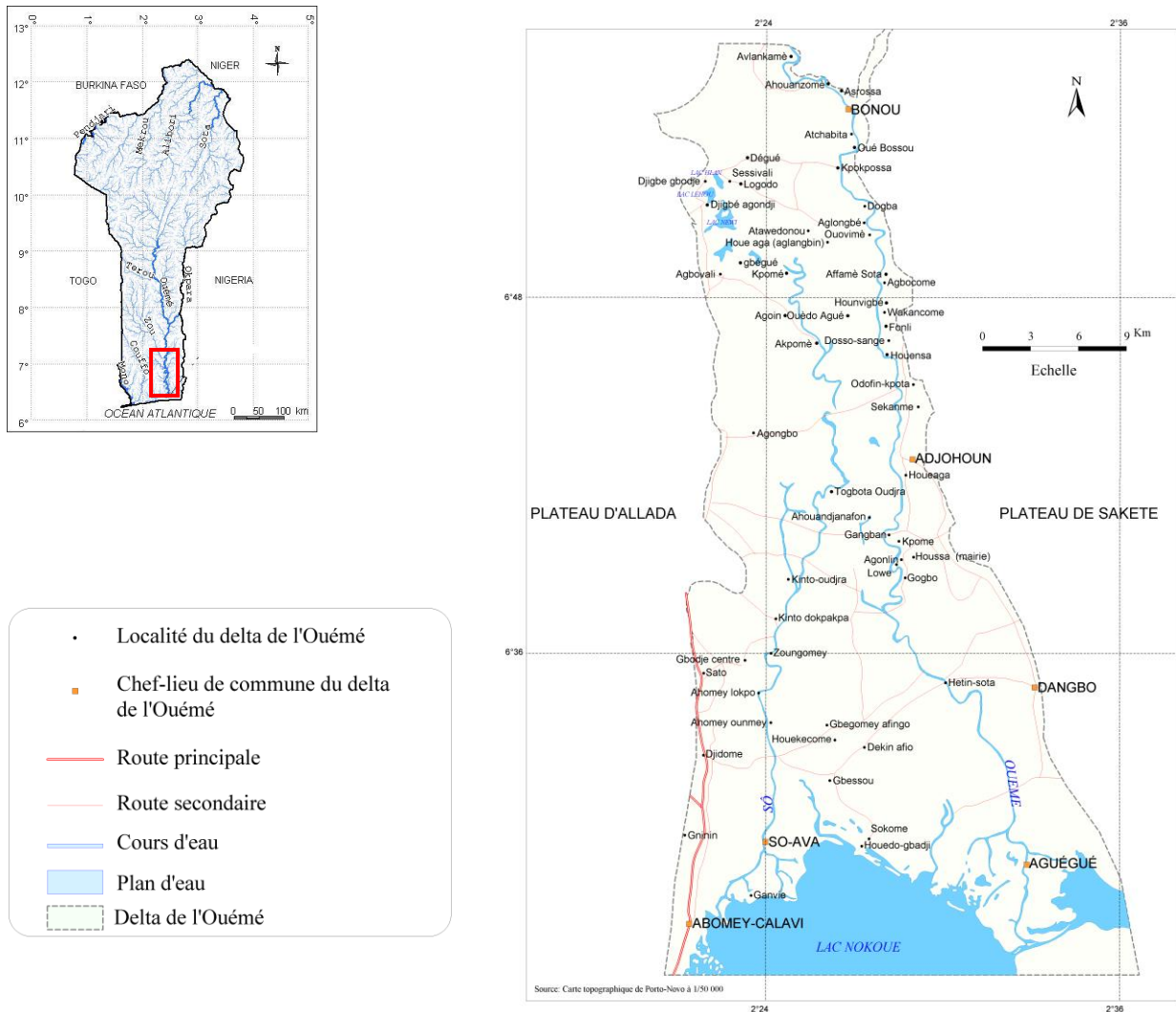


Figure 1 : Localisation du delta du fleuve Ouémé
Source : Le Barbé et al, 1993

Le choix de ce secteur d'étude est motivé par le fait que le delta du fleuve Ouémé regorge d'importantes potentialités hydro-agricoles dont la valorisation efficiente passe par la maîtrise de l'eau. Par ailleurs, il dispose d'un cycle hydrologique complexe marqué par les apports d'eau pluviométrique, des écoulements du bassin

supérieur du fleuve, des eaux souterraines et des échanges d'eau entre le fleuve Ouémé et la rivière Sô (Le Barbé, 1993). Il est en outre, sujet à une forte variabilité climatique; ce qui rend peu efficace les efforts de maîtrise de l'eau pour une production agricole durable. Cette variabilité climatique a été étudiée par plusieurs auteurs dont une synthèse est présentée dans la présente étude.

1.2- Etat des connaissances

Plusieurs recherches ont été réalisées sur la problématique des extrêmes climatiques et leurs impacts sur le milieu physique et sur le système socio-économique. La synthèse bibliographique réalisée dans le cadre de cette étude se rapporte aux études consacrées à l'analyse des situations pluviométriques et hydrologiques extrêmes et leurs impacts sur l'agriculture.

Colin (2004), indique que les régimes climatiques actuels tendent à indiquer un réchauffement de la planète et une augmentation du nombre de phénomènes météorologiques extrêmes dont les précipitations. Cette idée est confirmée par André (2007) qui précise que, dans les régions tropicales, les extrêmes climatiques ont augmenté de fréquence depuis 1970 environ. Pour Leridon, (2007) cette augmentation accentue la vulnérabilité des peuples surtout dans les pays en développement où les risques paraissent plus sérieux : catastrophes naturelles plus brutales, faisant en un court laps de temps des dizaines de milliers de victimes ; désertifications entraînant des famines récurrentes.

Boko (1988), montre que les précipitations les plus abondantes à Cotonou sont enregistrées à 06 h et 12 h TU (entre 15 et 19 %), sauf au cours des mois de mai et juin où les précipitations de 15 h TU sont plus importantes. Pour l'auteur, les averses orageuses interviennent pour 38 % dans les totaux pluviométriques. De même, il se trouve qu'au Bénin, il y a des averses sans aucune manifestation orageuse. A contrario, il y a des orages sans précipitations importantes. De la sorte, une pluie d'averse n'est pas synonyme d'averse orageuse. Cette distinction est d'autant plus importante que les deux phénomènes (orage avec ou sans pluie et averse avec ou sans manifestation orageuse) n'ont pas les mêmes conséquences sur la vie rurale. Une averse orageuse a des conséquences catastrophiques sur les cultures (violence des vents et énergie cinétique des gouttes de pluie).

Houndénou (1999), pour sa part, indique que l'analyse fréquentielle permet de rendre compte de la durée d'apparition des événements climatiques exceptionnels dont la non maîtrise augmente la vulnérabilité du maïs surtout dans ses phénophases critiques.

Houndakinnou (2005), quant à elle, en analysant les impacts environnementaux des pluies extrêmes dans la ville de Cotonou, présente, sur la base de l'analyse fréquentielle, l'évolution des extrêmes pluviométriques dans cette ville. L'auteur souligne que la ville de Cotonou est marquée par une augmentation de la fréquence d'occurrence des événements pluvieux extrêmes sur la période 1931-2000. Cette augmentation s'expliquerait par la diminution du nombre de jours de pluie et des hauteurs d'eau dans la partie méridionale du Bénin sur la période 1970-1990. Les pluies surviennent moins mais avec plus d'intensité. Ces pluies intenses entraînent des inondations dans la ville de Cotonou.

Pour Cazenave (2006), il convient de s'inquiéter davantage de la récurrence plus fréquente d'événements climatiques extrêmes (précipitations intenses et inondations) que de la hausse du niveau de la mer dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. Pour l'auteur, les plaines inondables ont été propices à l'établissement de populations humaines et au développement des activités économiques étant donné que la présence de cours d'eau garantit des sols fertiles, un approvisionnement en eau et des moyens de transport. Les aléas occasionnés par les crues et les dégâts liés aux inondations constituent les problèmes les plus graves pour la production agricole et à la sécurité des populations installées dans ces plaines inondables. Pour Houessou (1997), dans la basse vallée de l'Ouémé, ce sont les crues précoces et tardives qui influencent plus les rendements des cultures. Pour exemple, l'auteur se réfère à l'année de crue précoce dans la basse vallée de l'Ouémé, 1977, où les fortes précipitations dans le bassin supérieur du fleuve Ouémé ont entraîné des crues et des inondations dans la vallée à la mi-juin. Or, cette période correspond au milieu de la campagne agricole dans la vallée. Ces inondations couplées à une sécheresse qui sévissait dans la basse vallée ont entraîné un déficit de production agricole et des situations de famine.

Ainsi, les ouvrages analysés dans cette revue de littérature ont permis de mieux appréhender les articulations ainsi que les contours du sujet choisi. Aussi, l'utilisation des éléments abordés par ces auteurs a permis de justifier le sujet de l'étude.

Pour faciliter la compréhension des thématiques utilisées dans cette recherche, une clarification de concepts a été faite.

1.3- Clarification des concepts utilisés

Evénements extrêmes

Les événements extrêmes sont des événements météorologiques qui s'écartent largement de la moyenne habituelle. Ce sont les événements dont la fréquence d'occurrence est inférieure ou égale à 2 (Aldin, 1981).

Evénements pluviométriques extrêmes

Les événements pluviométriques extrêmes sont des manifestations pluvieuses correspondant aux 10 percentiles supérieurs et inférieurs de pluie (GIEC, 2001). Mais dans cette étude, seuls les événements correspondant aux 10 percentiles supérieurs ont été considérés. Ce choix est motivé par le fait que les risques climatiques dans delta de l'Ouémé sont beaucoup plus le fait des précipitations maximales. Ces dernières sont, pour la plupart du temps, le facteur essentiel des inondations et de la destruction des champs dans le delta.

Evénements hydrologiques extrêmes

Les événements hydrologiques extrêmes sont essentiellement les crues des cours d'eau suivies des inondations des plaines. Pour l'OMM (2006), les crues fluviales surviennent lorsque le volume de l'écoulement excède la capacité locale du cours d'eau, en raison notamment de pluies torrentielles dans les zones en amont. Leur avènement est parfois favorisé par les conditions du sol et les variations saisonnières de la végétation. Dans le delta de l'Ouémé, les crues correspondent à l'élévation du niveau de l'eau du fleuve Ouémé due aux précipitations et aux échanges d'eau avec la Sô suivie d'inondation dans lit majeur (Le Barbé et al, 1993).

Fréquence

La fréquence désigne la mesure du nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de temps, c'est-à-dire le nombre de fois qu'un phénomène

périodique se reproduit par unité de temps (Auliac, 1995). Ainsi la fréquence des hauteurs maximales de pluie désigne le nombre de fois que surviennent ces hauteurs durant une période de temps donnée (mensuelle ou annuelle).

Risque naturel

Le risque est la probabilité et l'ordre de grandeur d'occurrence d'une perturbation ou d'un stress dans une région et à un temps donnés (Winograd, 2006). Le risque naturel est la superposition spatiale entre l'extension d'un aléa et un territoire anthropisé. Une inondation d'un cours d'eau dans un espace non occupé ne présente presque pas de conséquence, alors qu'il peut être très grave dans un territoire densément peuplé (Jousse, 2004).

Inondation

Les inondations se produisent lorsque le débit des rivières dépasse une certaine valeur, liée aux conditions topographiques d'écoulement. Elles correspondent au débordement des cours d'eau, le plus souvent en période de hautes eaux ou de crue, qui submerge les terrains voisins (OMM, 2006). Les inondations dans le delta du fleuve Ouémé correspondent premièrement au débordement des eaux du fleuve Ouémé dans les champs, et les villages installés sur ses rives et dans sa plaine d'inondation à la suite d'une crue du fleuve et des apports d'eau de la rivière Sô. Deuxièmement, elles correspondent à l'envahissement des champs par les eaux de ruissellement à la suite de forte pluie.

Vulnérabilité agricole

La vulnérabilité est le degré selon lequel un système est susceptible d'être atteint du fait d'une exposition à des perturbations ou à des stress (Fall et Niang-Diop, 2005). Selon le GIEC (2001), la vulnérabilité est le degré selon lequel un système est susceptible, ou se révèle incapable, de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, notamment à la variabilité du climat et aux conditions climatiques extrêmes. La vulnérabilité dépend de la capacité de résistance et de résilience d'un écosystème donné. La vulnérabilité agricole dans le cadre de ce travail est donc le degré où les agrosystèmes sont susceptibles de résister aux effets néfastes des événements pluviométriques et hydrologiques extrêmes et de se reconstituer après les effets de ces événements.

Stratégies d'adaptation endogènes

Les stratégies d'adaptation sont la capacité d'un système, d'une communauté, d'un individu à s'adapter aux effets et aux impacts d'une perturbation ou d'un stress. Elles dépendent essentiellement des ressources économiques, sociales et humaines d'une société (Winograd, 2006). Ainsi donc, les stratégies d'adaptation endogènes regroupent les pratiques agricoles des populations pour endiguer les dommages potentiels liés aux situations climatiques extrêmes dans le delta de l'Ouémé.

Conclusion partielle

Plusieurs études ont été consacrées à l'analyse de la problématique du sujet. Leurs analyses ont permis de comprendre d'avantage et de justifier le sujet. La revue de la littérature, la justification de l'étude, du choix du secteur de l'étude et la clarification des concepts utilisés étant faits, il importe de présenter la démarche méthodologique ayant permis d'analyser la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes ainsi que leur impact sur la production agricole dans le delta du fleuve Ouémé.

CHAPITRE II

DEMARCHE D'ANALYSE DES EVENEMENTS PLUVIO- HYDROLOGIQUES EXTREMES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE AGRICOLE

Le présent chapitre expose la démarche d'analyse de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes et d'évaluation de leurs impacts sur la production agricole du delta du fleuve Ouémé.

La collecte des données pluviométriques et hydrologiques, les investigations sur le terrain, l'analyse de la fréquence des pluies extrêmes, l'évaluation de la vulnérabilité de la production agricole aux crues ainsi que l'analyse des stratégies d'adaptation endogènes constituent les points essentiels développés.

2.1- Données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont :

- les données pluviométriques constituées des hauteurs de pluie (hauteurs de pluie maximales journalières, mensuelles et annuelles) tirées de la base de données de l'ASECNA Cotonou sur la période 1951-2005. Le choix de cette série est motivé par le souci de disposer d'une longue série d'analyse telle que recommandée pour les études climatologiques. L'année 2005 comme dernière année de la série est choisie pour harmoniser la série sur toutes les stations du delta, certaines ne disposant pas de données plus récentes ;
- les données hydrologiques constituées des débits des débits maximaux journaliers du fleuve Ouémé à la station de Bonou sur la série 1951-2005 et extraites de la base de données de la DGE.
- les statistiques agricoles relatives à la production et au rendement des campagnes agricoles sur la période 1996-2006 tirées des compendia statistiques de MAEP ;
- les données qualitatives d'investigation socio-anthropologique qui ont permis d'appréhender la perception des populations sur la dynamique hydro climatique et de cerner les stratégies d'adaptation développées par ces populations en période d'extrêmes pluvio-hydrologiques.

Ces différentes données ont été collectées grâce à l'utilisation de techniques appropriées.

2.2- Collecte des données

Les différentes données ont été collectées, dans une première phase, lors de la recherche documentaire qui a été conduite dans les institutions de recherche dont les activités sont en liaison avec l'objet de la présente recherche. Cette recherche documentaire a été conduite au Laboratoire Pierre Pagney, Climat Eaux, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), à la Direction Générale de l'Eau (DGE), à l'Agence de Sécurité pour la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA), au Laboratoire des Sciences du Sol Eau et Environnement (LSSEE), aux centres de documentation de la FLASH et de la FSA, etc.

Par ailleurs, les investigations socio-anthropologiques ont pris en compte les agriculteurs installés dans la plaine d'inondation du fleuve. Dans ce cadre, la Méthode des Itinéraires et la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) sont utilisées pour la collecte des informations auprès des acteurs ciblés. En outre, les entretiens individuels, les séances diagnostics participatifs avec des groupes de taille moyenne (5 à 10 personnes) sont utilisées. Les entretiens individuels avec les experts communautaires, les techniciens des CeRPA et des ONGs, les responsables des organisations paysannes, etc. ont aidés à appréhender les changements intervenus dans les pratiques agricoles et en rapport avec les événements pluvio-hydrologiques extrêmes.

L'échantillon des populations enquêtées est déterminé par la méthode de choix raisonné. Le choix des personnes enquêtées repose sur les critères suivants : avoir au moins quarante (40) ans, avoir vécu dans la localité tout au moins les trente dernières années avant l'enquête et être un acteur de la production agricole. Les autres personnes ressources sont choisies en fonction de leur responsabilité dans le développement agricole dans leurs localités respectives. Par ailleurs, quelques "observateurs de la nature" ont été intégrés dans l'échantillon des personnes enquêtées dans les différentes localités retenues (tableau I).

Tableau I : Caractéristiques de l'échantillon utilisées

Communes	Arrondissements	Localités	Nombre de personnes enquêtées
Bonou	Affamè	Affassa	14
		Agbossokota,	12
		Wovimè	10
	Atchonsa	Dogba-Hê	14
		Dogba-Wô	15
		Gboa-Kpakpassa	12
	Hounviguè	Sèkanmè	11
		Agoundji	16
		Avlankanmè	11
	Damè- Wogon	Dékamè-Wô	12
		Azongbossa	12
Damè		14	
Adjouhoun	Azowlissè	Azowlissè	12
		Gogbo	11
		Agonlin Lowé	16
	Akpadanou	Akpadanou	19
		Topli	10
		Dannou	20
	Gangban	Gangban	10
		Togbota	12
		Ahouandjanafon	10
Dangbo	Kessounou	Glahounsa	10
		Hetin-Sota	16
		Zounguè	15
	Zounguè	Mitro	17
		Fingninkanmè	15
		Aguégoués	Avagbodji
Bembe II	9		
Djekpe	11		
Gbodje	13		
Toffo	Damè	Dégué	12
		Kpomè	11
	Toffo	Djigbé	10
Zè	Hèkamè	Hèkamè	9
	Sèdjè Houégoudo	Sèdjè Houégoudo	11
Sô-Ava	Sô-Ava	Gbessou	15
		Ahomey-Lokpo	12
TOTAL			467

Au total, 467 personnes ont été enquêtées lors des travaux de terrain qui ont été conduits dans 37 localités du delta du fleuve Ouémé soit un taux d'échantillonnage de 12 %.

Deux types de questionnaires, un guide d'entretien et un guide d'observation ont été utilisés pour l'appréhender la perception des paysans sur les modifications intervenues dans le régime hydrologique du delta et des techniques endogènes d'adaptation développées.

2.3- Détermination des événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé

La détermination des événements pluvio-hydrologiques extrêmes est basée sur l'utilisation de divers protocoles de calcul statistiques appliqués aux données pluviométriques et hydrologiques.

2.3.1- Stations météorologiques et hydrométriques choisies

Les données des stations situées dans le delta ou dans ses limites immédiates ont été utilisées. Les lacunes des séries pluviométriques des stations dont le taux de lacune n'excède pas 5 % ont été comblées après homogénéisation au moyen de la technique de régression linéaire entre deux stations voisines. Au terme de cette opération, les hauteurs de pluie de onze (11) stations dont sept (8) pluviométriques, un (1) synoptique et deux (2) agro-climatiques ont été utilisées (tableau II).

Tableau II : Stations météorologiques utilisées

	Stations	Type	Altitude (m)	Latitude	Longitude
1	ADJOHOUN	Pluviométrique	09,1	6°25'00''	2°13'34''
2	ALLADA	Pluviométrique	92	7°15'00''	2°13'33''
3	BOHICON	Synoptique	106,2	7°22'00''	2°03'33''
4	BONOU	Pluviométrique	10	7°33'33''	2°50'00''
5	COTONOU VILLE	Pluviométrique	10	6°01'25''	2°06'53''
6	NIAOULI	Agro climatique	105	7°10'00''	2°12'06''
7	POBE	Agro climatique	129	7°33'33''	3°07'06''
8	PORTO-NOVO	Pluviométrique	20	6°48'33''	3°02'06''
9	SAKETE	Pluviométrique	69	7°12'06''	3°07'06''
10	TOFFO	Pluviométrique	60	7°23'33''	2°05'00''
11	ZAGNANADO	Pluviométrique	102	7°25'00''	2°33'33''

Les données hydrologiques utilisées, concernent celles de la station hydrométrique de Bonou. La figure 2 présente la spatialisation des stations météorologiques et hydrologiques retenues.

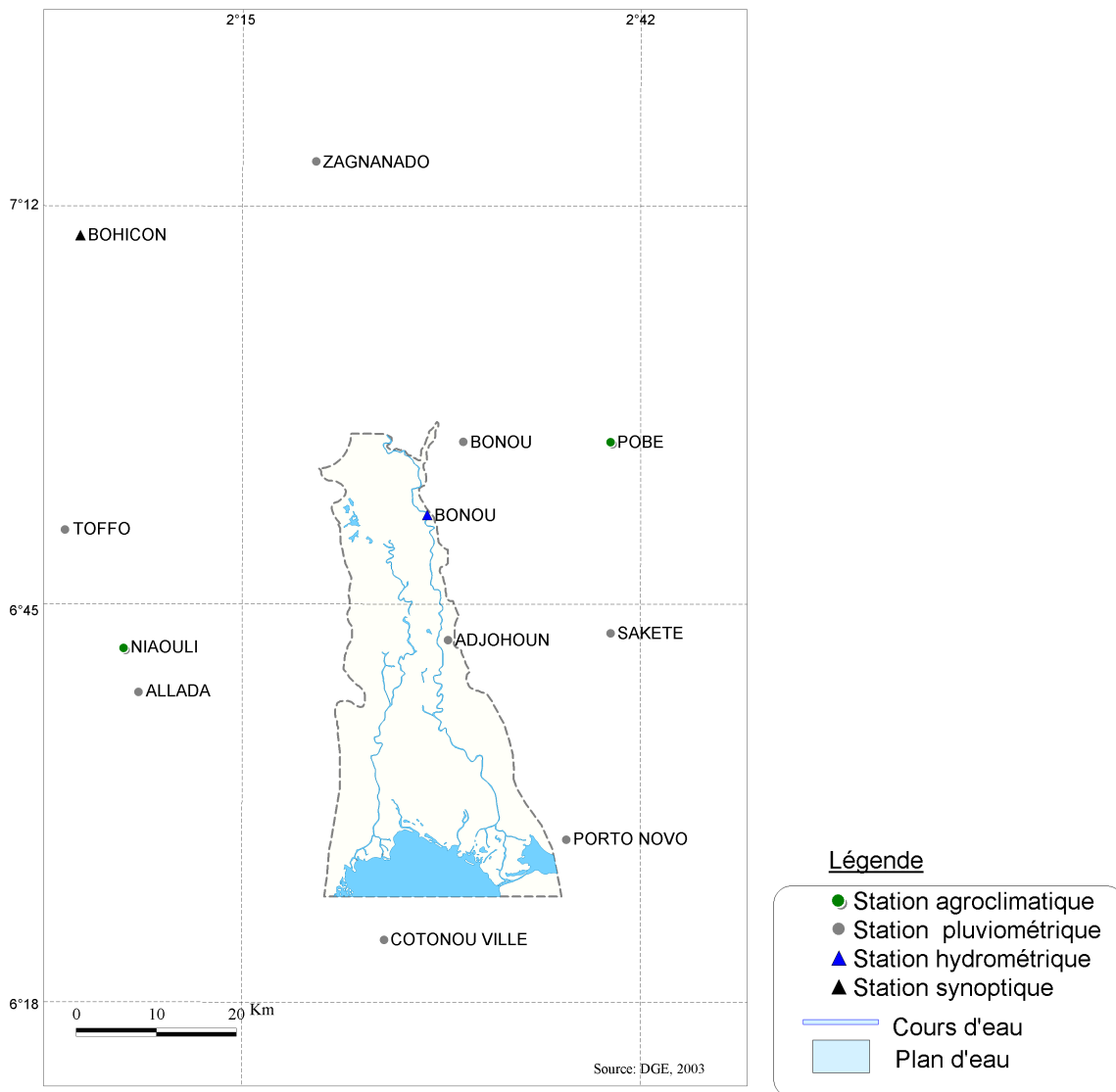


Figure 2 : Réseau des stations météorologiques et hydrologiques retenues

Ce réseau des stations météorologiques et hydrologiques choisies, est constitué des stations qui sont situées dans l’environnement immédiat du delta du fleuve Ouémé. Ce choix se justifie par le fait que qu’il n’y a pas de stations installées dans le delta même et aussi que une grande partie des eaux de pluie précipitées sur le plateaux d’Allada et de Sakété sont drainées vers ce dernier, contribuant ainsi à la constitution de son potentiel hydrologique.

Le traitement des données collectées au niveau de ces stations a permis de déterminer la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes.

2.3.2- Détermination de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes

L’analyse de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes est faite grâce au modèle d’analyse fréquentielle.

2.3.2.1- Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle permet de caractériser l'ampleur des événements pluvio-hydrologique extrêmes enregistrés afin d'en définir les probabilités d'occurrence (Meylan et Musy, 1999). Cette méthode repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel, qui est une équation décrivant le comportement statistique d'une série d'événements. Ce modèle décrit la probabilité d'apparition d'un événement de valeur données (Auliac, 1995 ; Houndakinnou, 2005). Les diverses étapes de l'analyse fréquentielle sont présentées sur la figure 3.

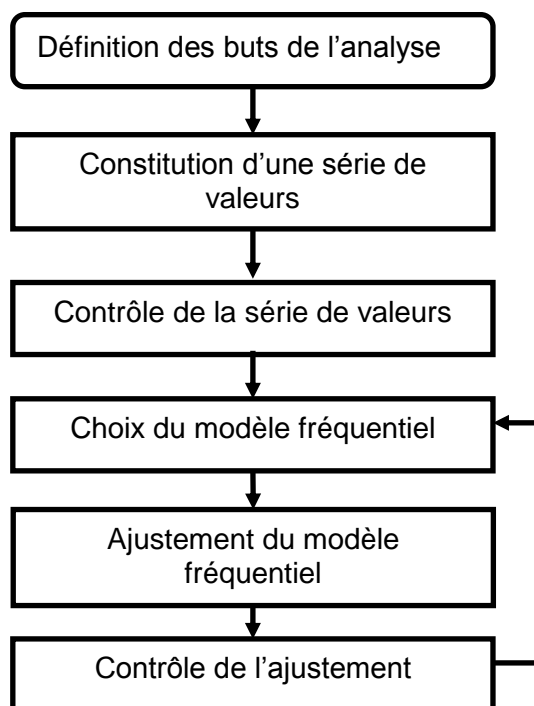


Figure 3 : Principales étapes de l'analyse fréquentielle
Source : Meylan et Musy (1999)

Ces différentes étapes de l'analyse fréquentielle ont permis d'établir un modèle de l'évolution des valeurs pluviométriques et hydrologiques maximales dans le delta du fleuve Ouémé.

2.3.2.2- Définition et but de l'analyse

Le but visé par cette analyse est de déterminer la fréquence d'occurrence des événements pluvieux et hydrologiques extrêmes dans le delta de l'Ouémé. Pour cela, la série des hauteurs maximales de pluie et des débits maximaux a été constituée.

2.3.2.3- Constitution de la série des hauteurs maximales annuelles de pluie et de débits maximaux

Pour constituer la série des hauteurs maximales de pluie, la méthode utilisée par Houndakinnou (2005), et Donou (2007), a été adoptée. Elle comporte les étapes suivantes :

- 1^{ère} étape : choix de la hauteur maximale journalière de pluie de chaque mois d'une année A , il est obtenu une série X de 12 hauteurs de pluie maximales pour cette année A ; l'opération est faite pour toutes les années N de la période 1951-2005, de manière à constituer la série des hauteurs maximales mensuelles ;
- 2^{ème} étape : choix de la plus grande hauteur au sein de la série X pour avoir la hauteur maximale de l'année. La même opération est reprise pour toutes les années N en vue d'obtenir la série Y des hauteurs de pluie maximales annuelles.

Dans le cadre de cette recherche, la série des hauteurs maximales annuelles représente les hauteurs de pluie les plus élevées qui ont été enregistrées dans une journée et pour chaque année de la période 1951-2000. La valeur minimale des hauteurs maximales obtenue est de 30 mm.

Pour la constitution des débits maximaux, les débits instantanés les plus élevés de chaque année de la série 1951-2005 ont été extraits de la série des données hydrologiques disponibles à la station de Bonou. La valeur minimale des débits maximaux déterminée est de 108 m³/s.

2.3.2.4- Contrôle de la série des valeurs

Le contrôle de la série des valeurs constituées a été fait avec le test d'auto corrélation d'Anderson. Ce test a permis de vérifier l'homogénéité de cette série par la détermination du coefficient d'auto corrélation d'Anderson (Ritschard, 2006). Ce coefficient a été calculé sur n paires de valeurs $(x_1, x_2), (x_2, x_3), \dots, (x_{n-1}, x_n)$ et (x_n, x_1) . Pour une taille $n = 55$ valeurs, le coefficient d'auto corrélation suit une loi normale d'espérance mathématique $E(R)$ et de variance $VAR(R)$:

$$E(R) \approx -\frac{1}{n-1} ; \quad VAR(R) \approx \frac{n-2}{(n-1)^2}$$

2.3.2.5- Choix du modèle fréquentiel

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. Ce choix dépend de la vitesse à

laquelle la probabilité des grandes valeurs évolue. Si elle est exponentielle, le choix porte sur la loi de Gumbel (Meylan et Musy, 1999). Les séries des hauteurs maximales annuelles et débits maximaux rangées par ordre décroissant, montrent que ces valeurs décroissent rapidement. Cette décroissance étant de type exponentiel, le modèle de Gumbel est retenu comme modèle fréquentiel.

La loi de Gumbel est la forme limite de la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de valeurs (Meylan et Musy, 1999). Le maximum annuel d'une variable étant considéré comme le maximum de 365 valeurs journalières. Sa distribution s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\left(1 - c \frac{x - a}{b}\right)^{1/c}\right)$$

Où **a** est le paramètre de position, **b** le paramètre d'échelle et **c** le paramètre de forme et **x** la variable, ici les hauteurs de pluie et les débits.

2.3.2.6- Ajustement du modèle fréquentiel

La technique d'ajustement utilisée est la méthode graphique. Cette méthode repose sur le fait que l'expression d'un quantile correspond à l'équation d'une droite. En conséquence, les points de la série à ajuster sont reportés dans un système d'axes (x ; y). A partir de ce système d'axes, il a été alors possible de tracer la droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b définissant la loi.

2.3.3- Analyse de la tendance des événements pluviométriques et hydrologiques extrêmes

L'analyse de la tendance des extrêmes pluviométriques et hydrologiques sur la période d'analyse (1951-2005) est faite grâce à la méthode de régression linéaire. L'équation de la droite de tendance par cette méthode est exprimée par la fonction $y = at + b$ où y est la valeur de la variable dont la tendance est recherchée, a , le coefficient de régression dont les signes positif (+) ou négatif (-) exprime respectivement l'évolution croissante et décroissante dans le temps t et b , une constante telles que :

$a = \frac{(\sum y) (\sum t^2) - (\sum t) (\sum ty)}{N \sum t^2 - (\sum t)^2}$	$b = \frac{N(\sum yt) - (\sum t) (\sum y)}{N \sum t^2 - (\sum t)^2}$
--	--

Ce type de fonction a l'avantage de proposer une représentation synthétique dynamique de l'évolution des paramètres considérés (Wesselink et al, 2003 cité par Totin, 2005). Pour pallier les problèmes de significativité de la tendance, les tests non paramétriques de rang de Kendall et de Spearman.

Test de corrélation de rang de Kendall

L'hypothèse nulle H_0 de ce test est une absence de tendance entre les paramètres analysés (ici, le nombre d'événements extrêmes et le temps). Quant à l'hypothèse alternative, elle est celle de l'existence d'une tendance (Kendall et Stuart, 1943 ; WMO, 1966, Lubes et al., 1994, Ouédraogo, 2001 et Totin, 2005). Le test est réalisé à partir d'un comptage du nombre de paires P pour lesquelles $x_j > x_i$ avec $j > i$ pour $i = 1, 2, \dots, n-1$. Le coefficient τ du test de Kendall est donné par la formule :

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

Le coefficient τ , pour un grand nombre d'observations N (ici $N=55$) et sous l'hypothèse nulle (H_0) d'indépendance de x_i , suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance σ_τ^2 exprimée par :

$$\sigma_\tau^2 = \frac{2(N+5)}{9N(N-1)}$$

En somme, après détermination de la probabilité α_1 , l'hypothèse nulle est acceptée ou rejetée au niveau de signification α_0 (fixé dans ce travail à 0,05) selon que $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$.

Test de corrélation de rang de Spearman

Les hypothèses "nulle" et "alternative" sont les mêmes que dans le test de Kendall. Spearman a testé la présence de dépendance en comparant, grâce au coefficient de corrélation, l'ordre de l'échantillon recueilli avec celui issu d'une procédure de tri (Ouédraogo, 2001, Totin, 2005). Ainsi à chaque observation x_i, \dots, x_n , sont associés son rang i dans l'échantillon observé et son rang R_i dans l'échantillon ordonné. Sous l'hypothèse H_0 d'indépendance des x_i , aucune corrélation n'est observée et le

coefficient de corrélation ρ_s de Spearman doit être nul. L'expression mathématique de ce coefficient est :

$$\rho_s = \frac{Cov(R_i, i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n R_i \cdot \sum_{i=1}^n i}} = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_i - i)^2}{n(n^2 - 1)}$$

Comme $n > 30$ dans la présente étude, sous l'hypothèse nulle (H_0), la variable

$t = \rho_s \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho_s^2}}$ suit une distribution de Student à $n-2$ degrés de liberté. Ainsi, pour un

risque de première espèce donné, la région d'acceptation de H_0 est comprise entre les valeurs théoriques de la variable de Student de probabilité de non dépassement respectivement égal à α et $\alpha/2$. Autrement, pour Dumolard, Dubus et Charleux (2005), en l'absence de toute présomption d'existence d'une tendance dans un sens déterminé, le test n'est juste que si sa forme bilatérale est adoptée, c'est-à-dire si H_0 est rejetée pour les grandes valeurs de $|\rho_s|$. Ainsi, après la détermination de la probabilité α_1 , H_0 est acceptée ou rejetée au niveau de signification α_0 selon que $\alpha_1 > \alpha_0$ ou $\alpha_1 < \alpha_0$. Dans le cas des $|\rho_s|$ significatives, la tendance est à la hausse ou à la baisse si $\rho_s > 0$ ou $\rho_s < 0$.

Dans le cas de ces deux tests non paramétriques, une tendance est détectée lorsque la probabilité α_1 est inférieure au niveau de signification α_0 ($\alpha_1 < \alpha_0$). En synthèse, les coefficients de corrélation sur rangs de Spearman (ρ_s) et de Kendall (τ) et les probabilités de non dépassement (α_1) permettent d'apprécier la significativité des tendances d'évolution des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la série d'analyse considérée dans cette étude.

Au regard de l'analyse de la significativité de la tendance des hauteurs de pluie et des débits maximaux, une démarche d'évaluation de leur incidence sur l'agriculture du delta a été adoptée.

2.4- Démarche d'évaluation de la vulnérabilité agricole et des stratégies d'adaptation endogènes

La vulnérabilité de la production agricole aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes a été évaluée à travers l'analyse de l'évolution des rendements de certaines et grâce aux investigations en milieu réel. Les observations directes de

terrain ont permis d'identifier et d'évaluer les impacts des pluies extrêmes et des inondations sur la production agricole.

2.4.1- Choix des cultures

Le choix des cultures repose sur leurs importances dans la production agricole et dans les habitudes alimentaires des populations du delta du fleuve Ouémé. Le tableau III présente les différentes cultures choisies ainsi que leurs caractéristiques physiologiques.

Tableau III : Caractéristiques physiologiques optimales des cultures choisies

	Manioc	Niébé	Patate douce	Piment	Maïs
GSL max	330	120	270	120	120
GSLmin	180	90	170	90	90
HI	0,55	0,3	0,55	0,35	0,45
Kc	*	0,3-1,2	*	0,4-1,2	0,3-1,2
Phot	C ₃	C ₃	C ₃	C ₃	C ₄
Groupe	2	2	2	2	3
DMMP	0,35	0,85	0,30	0,32	0,85
Préf. Ther	25-29	15-20	20-30	18-25	24-30
ETM	*	300-500	*	400-600	500-800
Famille	NL	L	NL	NL	NL

Source : Ogouwalé (2004)

GSL max = durée maximale du cycle végétal

GSLmin = durée minimale du cycle végétal

HI = indice de récolte

Kc = coefficient cultural

Phot = indice photosynthétique

Groupe = groupe d'adaptabilité

DMMP = pourcentage de matière sèche par rapport au poids total

Préf. Ther = optimum thermique

ETM = besoin total en eau durant le cycle végétatif

L = légumineuse et NL = non légumineuse

Par ailleurs, les données agricoles issues des compendia statistiques du MAEP et des CeRPA des différentes localités concernées ont été utilisées.

2.4.2- Evaluation de la vulnérabilité agricole et de l'efficacité des stratégies endogènes

La dépendance entre production agricole du delta du fleuve Ouémé et les événements pluvio-hydrologiques extrêmes a été déterminée par la détection d'une relation entre les hauteurs de pluie maximales et les rendements agricoles. La méthode de régression linéaire d'équation $y = at + b$ a été encore utilisée, mais cette fois ci, la variable explicative est la hauteur de pluies maximale annuelle et la

variable expliquée est la production annuel par unité de superficie des cultures choisies. Le test de corrélation de rang de Kendall a été utilisé pour tester la significativité de cette relation déterminée.

Par ailleurs, des indicateurs de vulnérabilité des rendements agricoles ont été déterminés sur la base des investigations de terrain. Il s'agit des indicateurs socio-anthropologiques, extraits des informations fournies par les populations enquêtées et issus des observations de terrain. Ces informations portent sur les faits témoins de l'évolution des situations hydrologiques extrêmes du delta du fleuve Ouémé et de leurs impacts sur l'agriculture.

Les observations de terrain ont également permis d'identifier et d'évaluer les stratégies d'adaptation développées par les populations agricoles pour atténuer les impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes et des inondations sur leur production.

L'application de ces différentes méthodes de traitement à nécessiter l'utilisation de plusieurs outils de traitement et d'analyse.

2.5- Outils de traitement et d'analyse des données

Le traitement des données statistiques collectées ou générées a été fait grâce aux programmes avancés du logiciel Excel, notamment le programme Xlstat 2008. Ce logiciel a été, en effet, utilisé pour constituer la série des valeurs extrêmes, pour déterminer la fréquence des événements pluvieux et hydrologiques extrêmes, et pour calculer certaines valeurs centrales et de dispersion ainsi que pour la réalisation des différents graphiques.

Les cartes ont été réalisées grâce aux logiciels MapInfo 8.0 (traitement cartographique) et Surfer 8.0 (interpolation spatiale par krigeage). Ces logiciels ont été alimentés en données générées en utilisant deux approches. La première, l'approche terrain, a consisté en des observations directes sur le terrain et au géoréférencement des éléments du paysage, des localités, etc. à l'aide du système portatif de positionnement global. La seconde approche est un ensemble de méthodes indirectes qui ont consisté en une transformation des données primaires en cartes thématiques.

Conclusion partielle

La démarche méthodologique utilisée a consisté en collecte et le traitement des données pluviométriques, hydrologiques, agricoles et d'investigation socio anthropologiques. Le modèle d'analyse fréquentielle utilisé a consisté à la détermination de la série des hauteurs maximales de pluie à laquelle a été appliqué le modèle de Gumbel. Quant à l'équation de régression linéaire, elle a permis d'analyser la tendance du nombre de hauteurs maximales de pluie sur la série d'analyse. Les tests de corrélation de rang de Kendall et de Spearman ont été utilisés pour tester la tendance obtenue. Par ailleurs, le traitement des données agricoles, l'analyse de la corrélation entre ces données et les hauteurs maximales de pluie et les observations de terrain ont permis d'évaluer la vulnérabilité agricole du delta. Au total, la démarche méthodologique utilisée a permis de collecter des données qui ont servi à étudier la fréquence d'occurrence des événements pluvieux et hydrologiques extrêmes, à l'évaluation de leurs impacts sur la production agricole et à l'évaluation de l'efficacité des stratégies développées par les populations.

CHAPITRE III

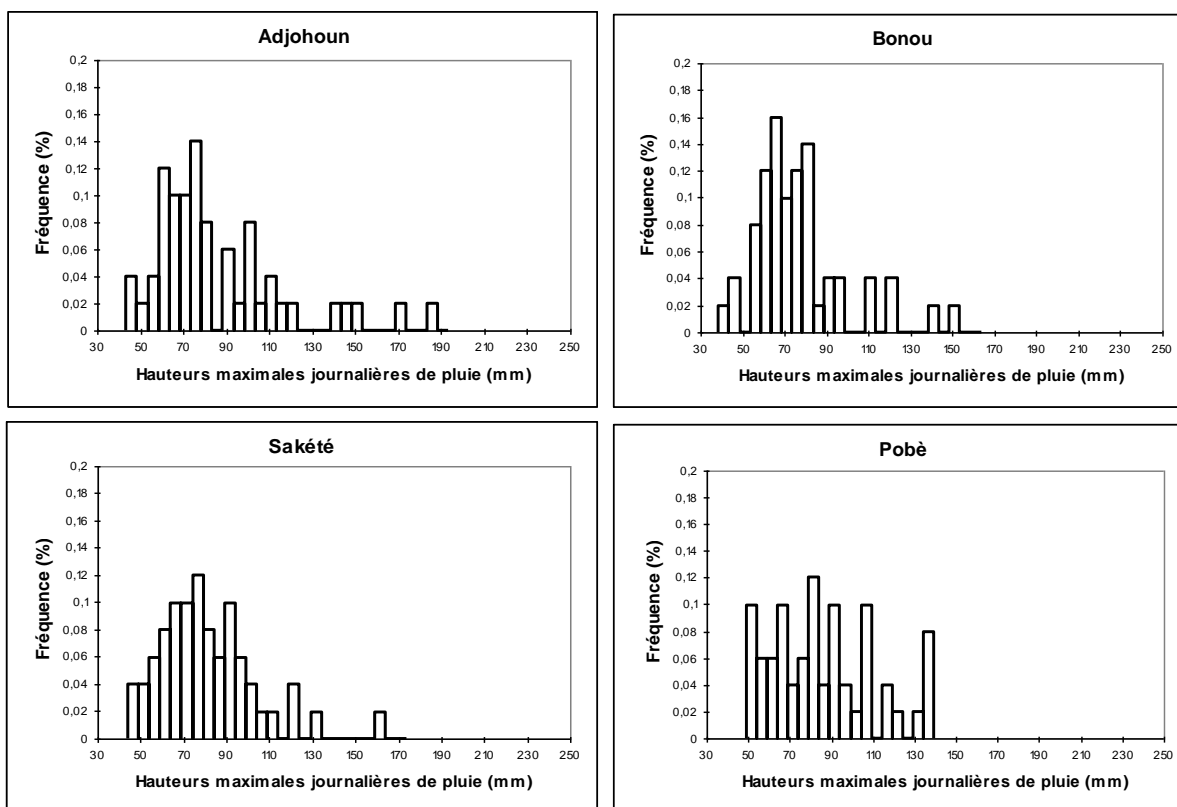
VARIABILITE DES EVENEMENTS PLUVIO-HYDROLOGIQUES EXTREMES DANS LE DELTA DU FLEUVE OUEME

La fréquence d'apparition des crues dans le delta du fleuve Ouémé est rythmée par celle des pluies extrêmes. Ce chapitre est consacré à l'analyse de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes et à l'étude de leur tendance sur la série 1951-2000. A partir de cette tendance, des projections à l'horizon 2050 ont été faites.

3.1- Fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé

3.1.1- Fréquence des événements pluvieux extrêmes

La fréquence d'apparition des hauteurs maximales journalières de pluie dans le delta du fleuve Ouémé est présentée sur les graphiques de la figure 4.



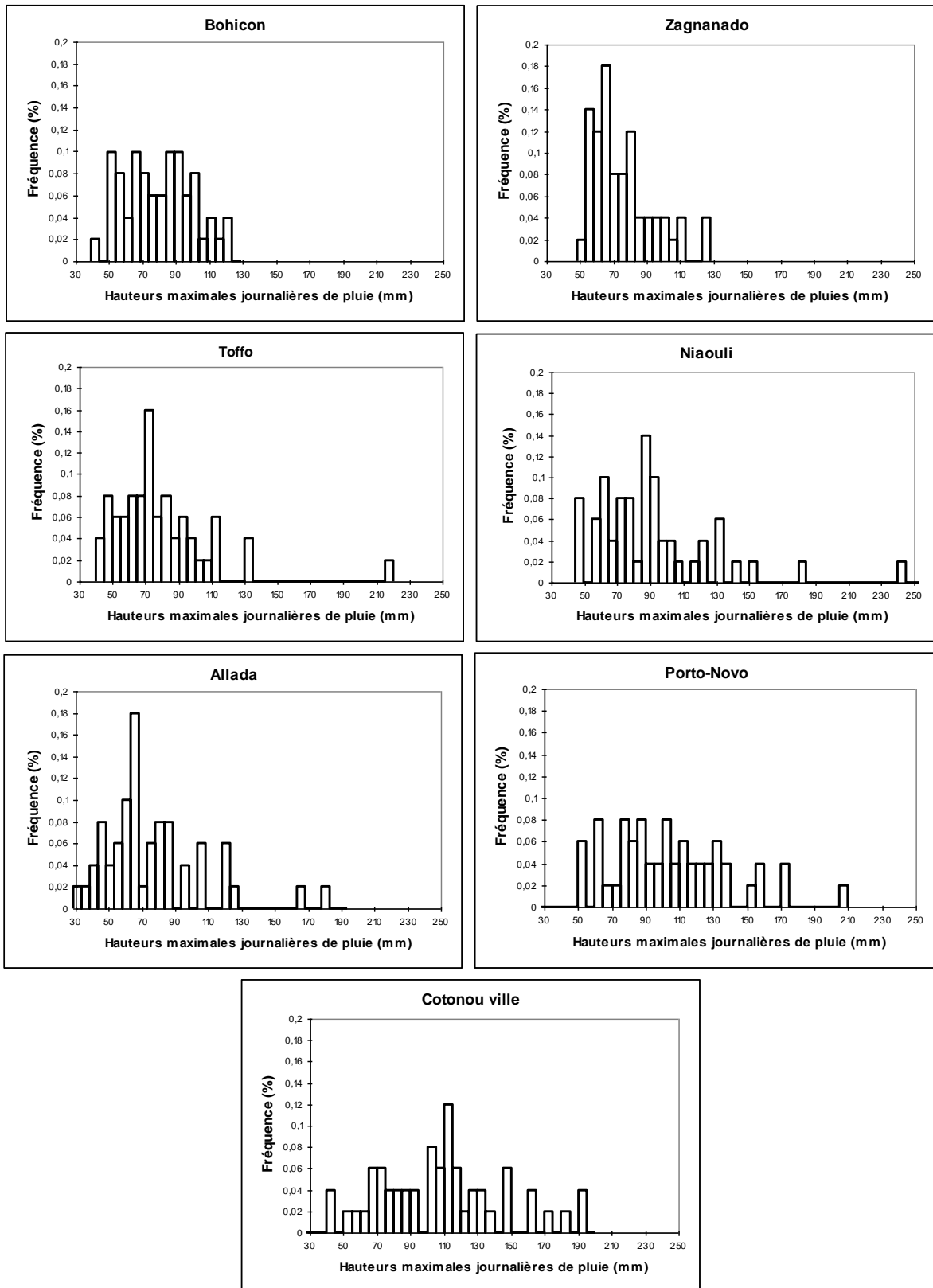


Figure 4 : Fréquence des événements pluvieux extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé

De l'analyse de ces graphiques, il ressort que, dans la plupart des stations du delta, les pluies extrêmes varient entre 30 et 250 mm d'eau en 24 heures. La fréquence

d'occurrence des minima (30 mm) varie entre 2 et 10 % pour toutes les stations. Quant aux maxima (250 mm en 24 heures), leur fréquence d'occurrence varie entre 2,5 et 4 %. Or par définition, les événements extrêmes sont des événements dont la fréquence d'occurrence ne dépassent pas 2 % (Auliac, 1995). Les valeurs extrêmes maximales du delta du fleuve Ouémé ayant une fréquence d'occurrence supérieure à 2, il s'en suit qu'il y a une augmentation significative de 1,5 % de cette fréquence. Mais, les plus fortes fréquences sont enregistrées par les hauteurs de pluie de 70 mm dans la plupart des stations du delta. Or, selon le CIRAD et le GRET (2006), au-delà de 50 mm de précipitation journalière et en fonction de la topographie du terrain (pente > 2 %), on assiste sur les terres de barre à de forts ruissellements pouvant emporter les semis et ou détruire les cultures au champ par inondation.

Les événements pluvieux extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé sont donc marqués par une forte fréquence sur la série d'analyse avec des hauteurs de pluie de 70 mm en 24 heures les plus fréquentes. Cette forte fréquence des pluies maximales est en partie responsable de l'augmentation de celle des débits maximaux dans le delta.

3.1.2- Fréquence des débits maximaux dans le delta du fleuve Ouémé

La fréquence d'occurrence des débits maximaux journaliers dans le delta du fleuve Ouémé à la station de Bonou est représentée sur la figure 5.

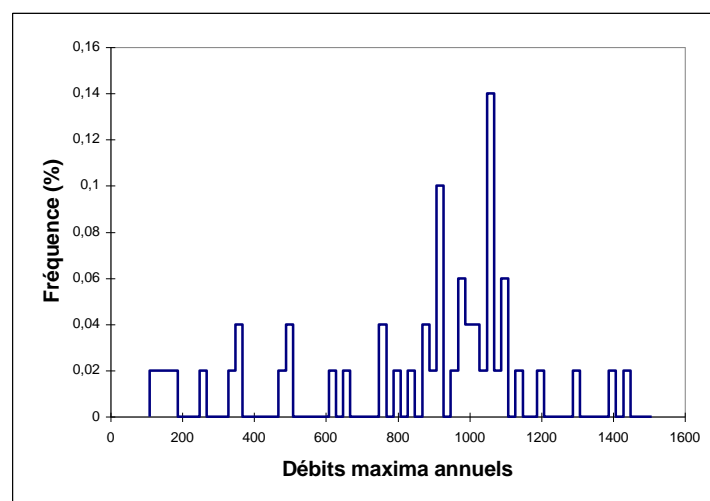


Figure 5 : Fréquence des débits maximaux à Bonou

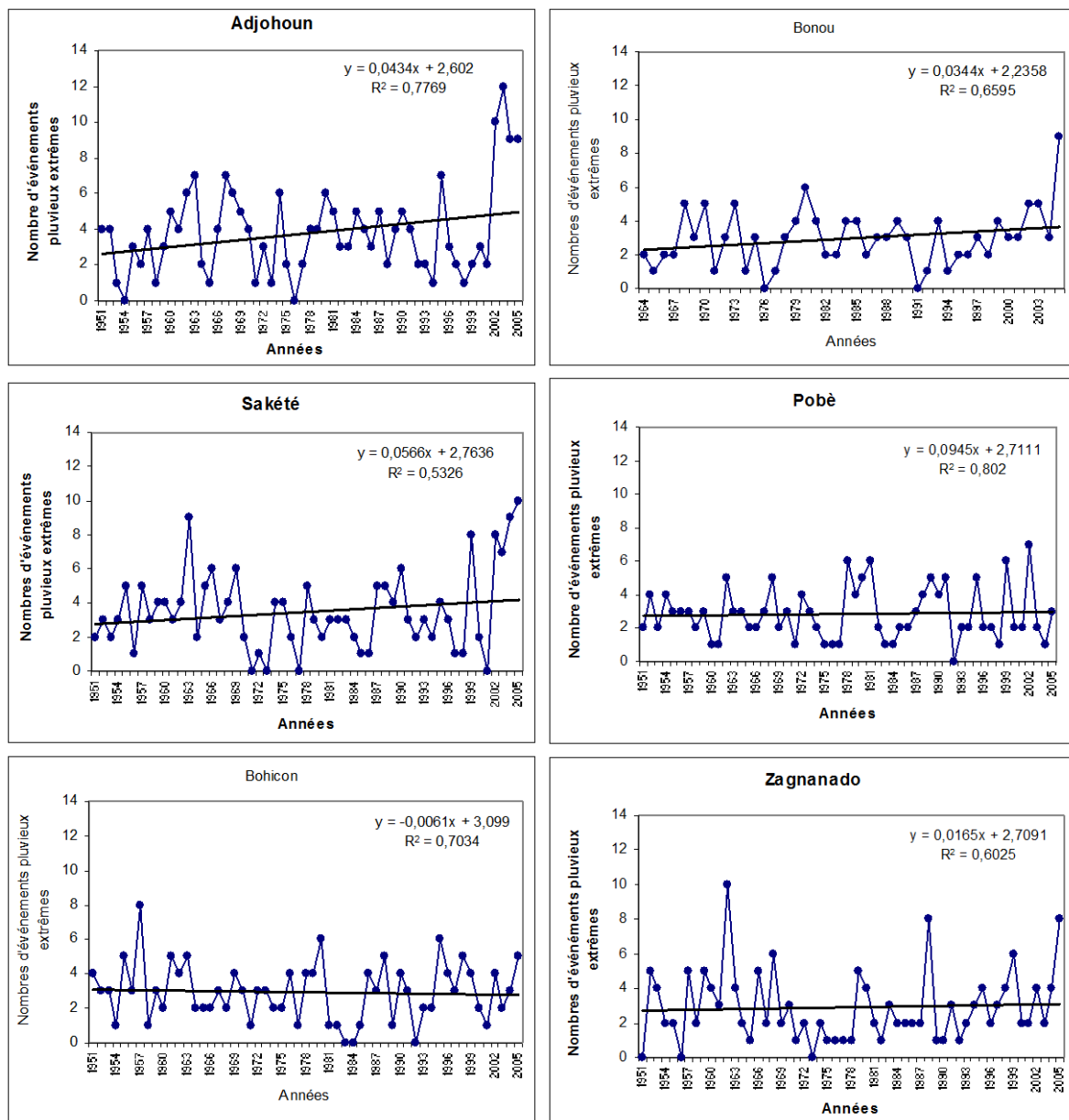
L'analyse de la figure 5 montre que sur la série 1951-2005, les débits maximaux ont varié entre 100 et 1600 m³/s. Les débits maximaux de 1100 m³/s enregistrent les fréquences les plus élevées (15 %). Or, le débit de seuil de crue de l'Ouémé à Bonou

est de 1000 m³/s (Donou, 2007). Ce qui signifie que les crues ont une forte occurrence dans le delta du fleuve Ouémé. Ainsi, comme les pluies extrêmes, les crues ont une forte fréquence sur la période d'analyse.

Les fréquences étant le mode d'apparition des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la période d'analyse, il importe d'analyser leur tendance sur la même période.

3.2-Tendance des événements pluvieux extrêmes

La figure 11 présente l'évolution des hauteurs de pluie sur la série 1951-2005.



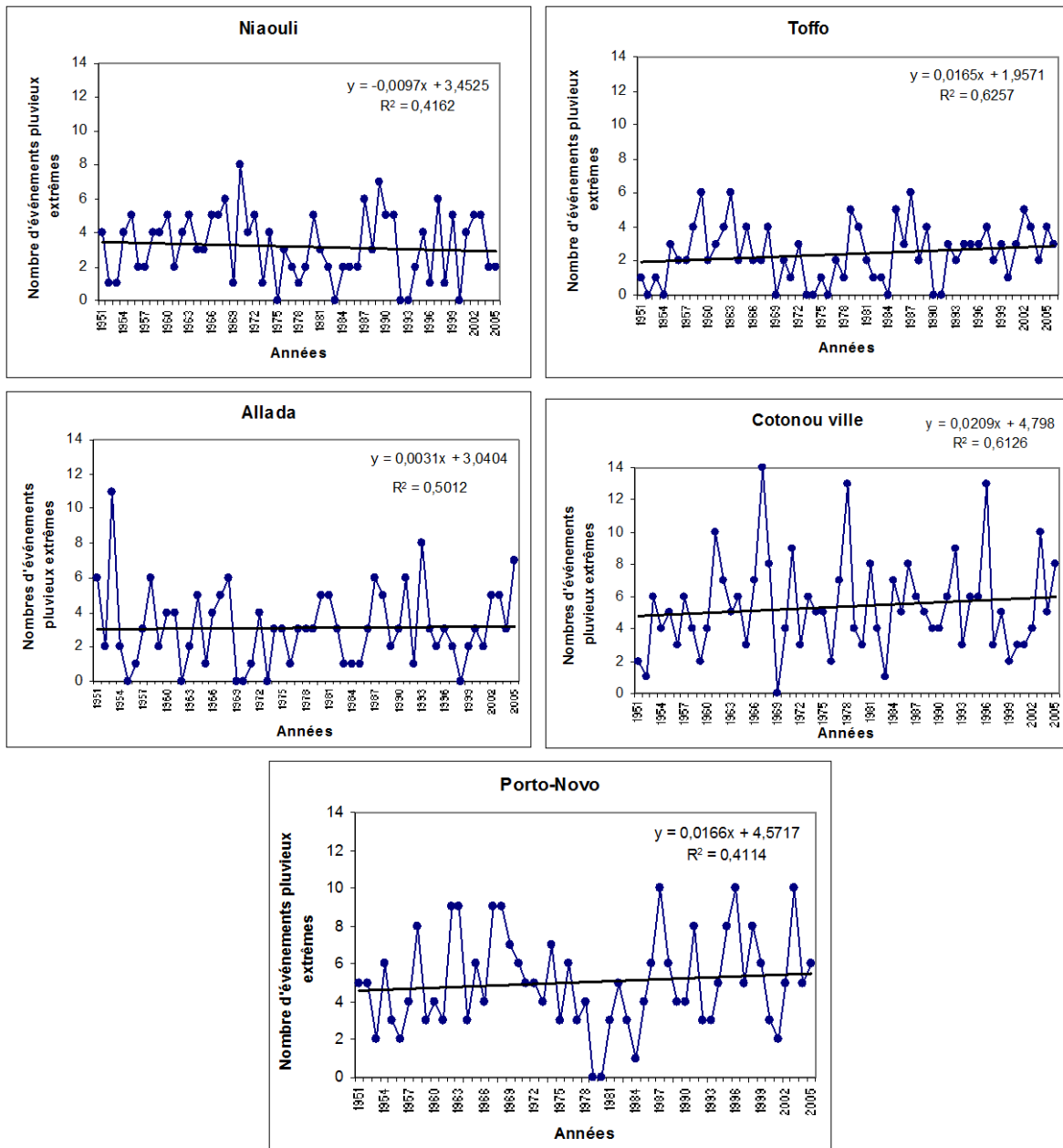


Figure 6 : Evolution des événements pluvieux extrêmes sur la série 1951-2005

De l'analyse de la figure, il se note une tendance globale est à la hausse du nombre d'événements pluvieux extrêmes, au sein de la chronique analysée, mais avec quelques nuances d'une station à une autre. Les résultats des tests non paramétriques de Spearman et de Kendall appliqués à la série 1951-2005 sont résumés par le tableau IV.

Tableau IV : Corrélations de rangs de Kendall et de Spearman de l'évolution des hauteurs pluviométriques

	Adjohou	Bonou	Sakété	Pobè	Bohicon	Zagnad	Toffo	Niaouli	Allada	Cotonou ville	Porto Novo
Kendall											
τ	-0,060	-0,075	-0,071	-0,052	-0,015	-0,013	-0,023	-0,117	-0,069	-0,099	-0,126
α_1	0,260	0,212	0,223	0,290	0,435	0,446	0,403	0,106	0,233	0,144	0,088
Spearman											
ρ_s	0,110	0,095	0,107	0,027	-0,031	-0,006	0,021	0,165	-0,102	0,138	0,173
α_1	0,215	0,247	0,221	0,424	0,411	0,481	0,441	0,117	0,234	0,160	0,106

Les deux tests montrent que le delta de l'Ouémé est caractérisé, du point de vue de l'évolution tendancielle du nombre d'événements pluvieux extrêmes par an, par une probabilité de dépassement α_1 supérieure au seuil de signification α_0 (0,05) sur toutes les stations. Ainsi, à ce seuil de signification l'évolution des hauteurs maximales de pluies n'est pas fonction de la variation chronologie de la pluviométrie. Autrement dit, la corrélation non significative permet de conclure à une absence de tendance (Arlery et al., 1973, OMM, 1992) pluviométrique générale. Ces résultats sont conformes à ceux de Totin (2005) qui, après l'application de ces tests sur des séries pluviométriques, avait montré l'absence d'une tendance pluviométrique significative sur les plateaux du sud Bénin.

Toutefois des coefficients de corrélation $\rho_s < 0$ présentés par les stations de Allada, Sakété, Toffo et Niaouli, traduisent une baisse du nombre de précipitations maximales. A l'opposé, Adjohoun, Bonou, Pobè, Porto-Novo et de Cotonou ville et affichent un coefficient $\rho_s > 0$ expliquant ainsi une hausse relative du nombre des hauteurs maximales de pluies. Cette différence peut s'expliquer par le fait que les stations de Porto Novo et Cotonou Ville sont influencée par l'humidité marine et que celles de Pobè et de Bonou sont sous l'influence de la dépression de la Lama. En effet, la présence de cette dépression crée un micro climat plus humide que le reste du climat du sud du Bénin (Bokonon Ganta, 1988), ce qui influencerait l'évolution des hauteurs maximales de pluie.

Au total, les événements pluviométriques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé ont un rythme d'occurrence à la hausse marqué par une augmentation significative de 1,5 % de leur fréquence. Cette fréquence des valeurs extrêmes peut être expliquée par plusieurs facteurs.

3.3- Facteurs explicatifs de la fréquence et de l'ampleur des événements pluvio-hydrologiques extrêmes

3.3.1- Facteurs naturels

Les principaux facteurs naturels qui amplifient la fréquence des valeurs pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé sont entre autres, la variation climatique, les caractéristiques morpho-géologique du delta, les caractéristiques pédologiques, le réseau hydrographique et le régime hydrologique du delta.

3.3.1.1- Variation climatique générale

Dans le delta du fleuve Ouémé, comme dans tout le Bénin, le facteur essentiel permettant de caractériser le climat est la pluviométrie. Le delta du fleuve Ouémé est sous l'influence d'un climat de type subéquatorial au sud et tropicale au nord du bassin du fleuve. La pluviométrie moyenne annuelle du delta sur la série 1951-2000 est de 1192 mm.

La tendance pluviométrique du delta comme dans tout le Bénin est à la baisse comme l'ont déjà montrés plusieurs auteurs (Bokonon-Ganta, 1987 ; Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999 ; Totin, 2003 ; Ogouwalé, 2004 et 2006 ; etc.). Mais cette tendance à la baisse des pluies est suivie d'une élévation de la fréquence et de l'intensité des précipitations. Les pluies surviennent moins, mais avec plus d'intensité (Ogouwalé, 2004 ; Houndakinou, 2005 et Donou, 2007).

3.3.1.2- Facteurs géologique et hydro-géologiques

La constitution hydro géologique du delta du fleuve Ouémé est un facteur qui influence la manifestation des événements hydrologiques extrêmes. Le delta du fleuve Ouémé est creusé dans un complexe margino-littoral constitué de dépôts quaternaires et surtout holocènes (Agassounon, 2002). L'aquifère du Quaternaire est constitué d'alluvions quaternaires qui sont des sédiments récents constitués de sable et d'argile ayant une épaisseur moyenne de 30 m jusqu'à 80 m. Ces sédiments renferment localement des aquifères d'eau douce ou saumâtre dont l'exploitabilité est directement liée à la position du biseau salé et à la réalimentation des lentilles d'eau douce la surmontant (SOGREAH, 1997). Ces aquifères constituent d'importantes réserves d'eau dont une partie est rejetée par les nombreux points de résurgence présents dans le secteur d'étude. Les sources d'eau naturelles pour la plupart de temps non aménagées (photo 1) contribuent à la saturation des sols bien

avant l'avènement des pluies. Dès lors, de faibles quantités de pluie entraînent une élévation du niveau du fleuve Ouémé et une rapide propagation des inondations.



Photo 1 : Points de résurgence d'eau souterraine dans la localité de Anamè
Source : Cliché Donou B. juillet, 2008

Le grand nombre de ces points d'eau dans le delta constitue un élément fondamental dans la manifestation des inondations en ce sens l'eau qui s'y écoule sature les sols et diminue leur capacité d'infiltration. Les différents matériaux géologiques participent à la mise en place de la morphologie actuelle du delta de l'Ouémé.

3.3.1.3- Facteurs géomorphologiques

La topographie du delta est un facteur important de la propagation des eaux d'inondation dans les champs. La figure 7 présente la morphologie générale du delta de l'Ouémé.

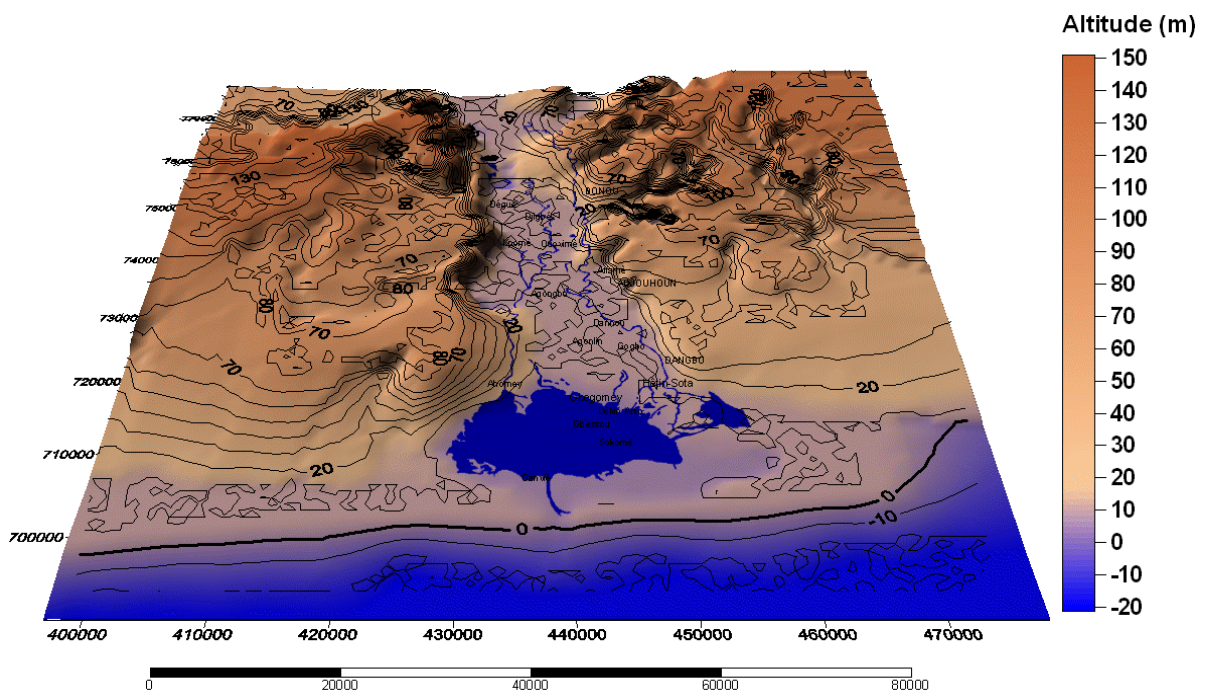


Figure 7: Morphologie du delta du fleuve Ouémé

La figure 8 montre deux unités morphologiques très importantes : les rebords de plateaux et la plaine inondable. Les rebords de plateaux sont ceux des plateaux d'Allada à l'ouest et de Sakété à l'est. Les plateaux sont une formation latéritique d'une grande perméabilité. Les eaux d'infiltration réapparaissent en de nombreuses sources au pied du plateau. Quant à la plaine inondable, elle subit régulièrement les dépôts de charge d'alluvions du fleuve Ouémé. Ces dépôts de charges solides sont à l'origine de la formation de bourrelets de berge dans la plaine inondable du delta (Agassounon, 2002). Les coupes topographiques (est-ouest) dans le bas delta du fleuve Ouémé (figure 8) présente ces bourrelets de berges.

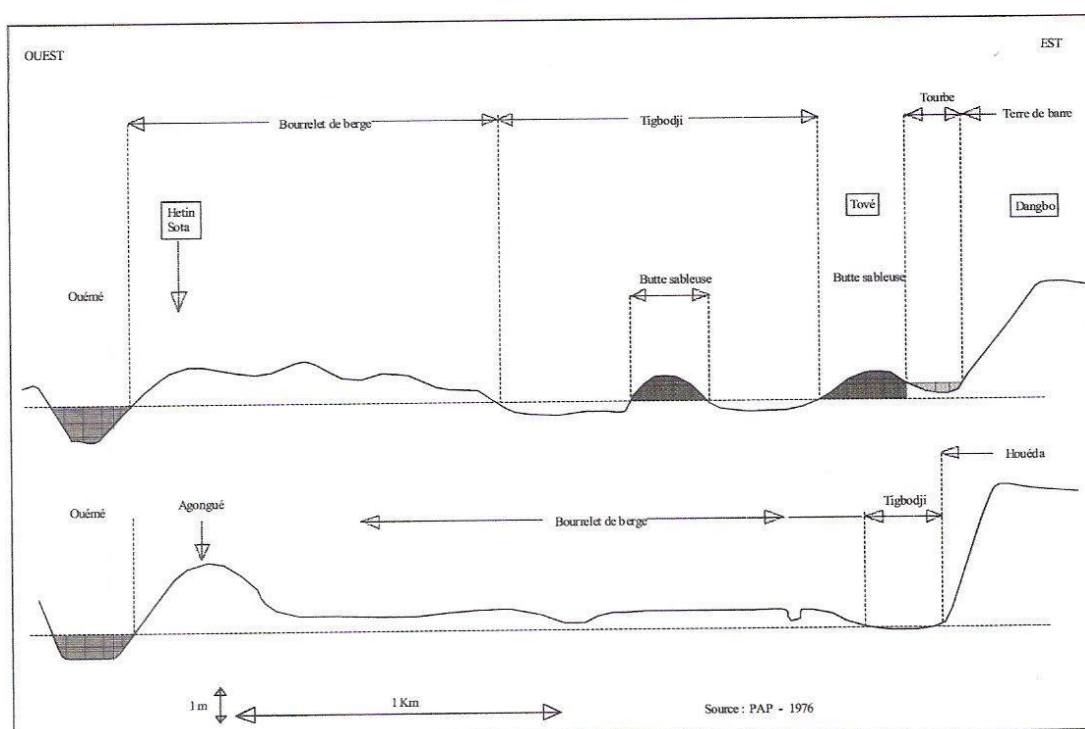


Figure 8 : Schéma du profil en travers de la rive Est de la basse vallée de l'Ouémé
Source : Nonfon, 1988

La morphologie des bourrelets de berge varie suivant les secteurs. Comme l'indique la figure 8, ils présentent de fortes ondulations dans le secteur de Hêtin Sota alors que dans les Aguégus, leur morphologie est plus allongée et de ce fait accélère l'étalement des inondations en période de crue. Les hauteurs des bourrelets de berge diminuent du nord vers le sud, comme indiqué dans le tableau V.

Tableau V : Hauteur des bourrelets dans certaines localités en descendant du nord au sud dans le delta du fleuve Ouémé

Localité	Bonou	Affamè	Adjohoun	Hèkamè	Agonlin Lowé	Kessounou
Hauteur des bourrelets	11 m	8 m	7 m	5 m	3 m	1,5 m

Source : Mesures de terrain, juin 2008

La morphologie en pente nord-sud du delta contribue à la sédimentation des sols en période de crue.

3.3.1.4- Sols et événements pluvio-hydrologiques extrêmes

Les études pédologiques (Volkoff et Willaime, 1976) mettent en évidence dans le delta du fleuve Ouémé trois unités de sols à savoir :

- les sols peu évolués, localisés sur les cordons littoraux récents ; ils occupent moins de 1 % de la superficie totale du delta ;
- les sols hydromorphes, développés dans les vallées perpendiculaires au littoral atlantique ;
- les sols ferralitiques sur le rebord des plateaux du Continental terminal et sur la terre de barre surplombant les vallées et les dépressions.

Ces trois unités de sols comportent plusieurs types de sols dont la répartition dans le delta suit une coupe transversale est-ouest (figure 9).

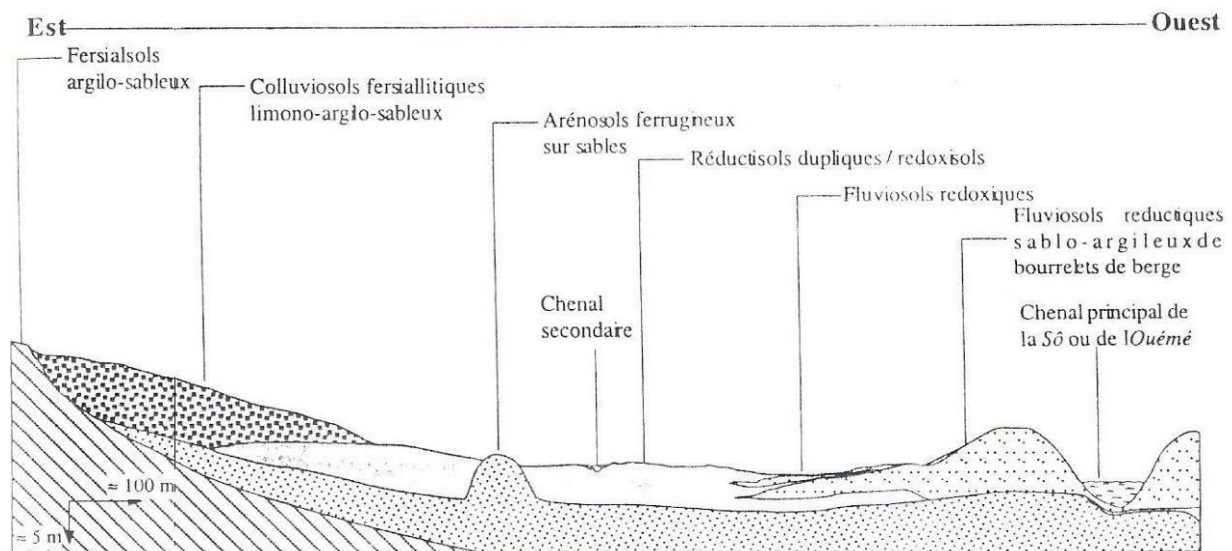


Figure 9 : Coupe transversale schématique est-ouest du plateau au chenal principal de la Sô ou de l'Ouémé représentant la répartition globale des sols

Source : Agassounon, 2002

Les fersiasols sont des sols ferralitiques faiblement dessaturés sur sédiments argilo-sableux. Très profonds (au moins 2 m), ces sols ont de la surface en profondeur un

matériau toujours plus sableux devenant argilo-limoneux et argilo-sableux dans les horizons structurées. La présence de l'argile dans les profondeurs de ces sols leur confère une grande capacité d'infiltration et une saturation beaucoup plus lente ce qui justifie l'absence des inondations dans les secteurs du delta où sols ferrallitiques sont dominants.

Les colluviosols ferrallitiques limono-sableux caractérisent les rebords des plateaux du Continental terminal et sont recouverts par la terre de barre. Ces sols se caractérisent par l'abondance des limons et des sables grossiers ce qui leur confère de grandes capacités d'infiltration (Agassounon, 2002).

Les arénosols ferrugineux sur sable quaternaire sont désignés par Lamouroux (1953) et Volkoff (1976) sous le terme de sols ferrugineux à sesquioxydes de fer, lessivés, sans concrétions sur sables blancs quaternaires. Ce sont des sols qui se développent sur des buttes et marqués par une faible capacité de rétention d'eau avec un drainage vertical très rapide, donc un degré de saturation élevé.

Les fluviosols rédoxiques sur sable et argile sont également désignés, comme les sols minéraux, hydromorphes à pseudogley, à taches et concrétions sur sable (Azontondé et Roose, 1993). En raison des recouvrements successifs par les limons de crues, le matériel sableux d'origine des fluviosols n'apparaît en surface qu'en lentilles de faible étendue.

Les réductisols dupliques sont des sols qui entourent le lac Nokoué dans les secteurs de marécages salés suivant les saisons. Ces sols sont immergés pendant 6 à 8 mois par an et couvrent des secteurs caractérisés par une nappe permanente de très faible profondeur présentant parfois des points de résurgence en surface.

Les rédoxisols thioniques fluviqes humifères constituent le dernier groupe des principaux types de sols identifiés par Agassounon en 2002 dans le delta de l'Ouémé. Ce sont des sols qui regroupent les sols hydromorphes, humiques à gley. Ces sols se développent dans des cuvettes de décantation dans un contexte alluvial deltaïque et correspondent aux sols agileux noirs décrits par Lamouroux (1953). Ils sont presque toujours humides et favorisent l'étalement des crues. La nappe est généralement présente à moins de 80 cm de profondeur en toute saison.

La saturation de ces différents types de sols est un élément déterminant des inondations dans le delta du fleuve Ouémé. Dès lors qu'elle existe, cette saturation peut rendre dangereuse des précipitations même peu intenses ou de "courte" durée. Les conditions de saturation quasi constante des sols sont aussi favorisées par l'hydrographie et le régime hydrologique du delta.

3.3.2- Hydrographie et régime hydrologique du delta du fleuve Ouémé

Le réseau hydrographique du delta du fleuve Ouémé est constitué du cours principal du fleuve Ouémé, de la rivière Sô, de plusieurs autres rivières et des plans d'eau (figure 10).

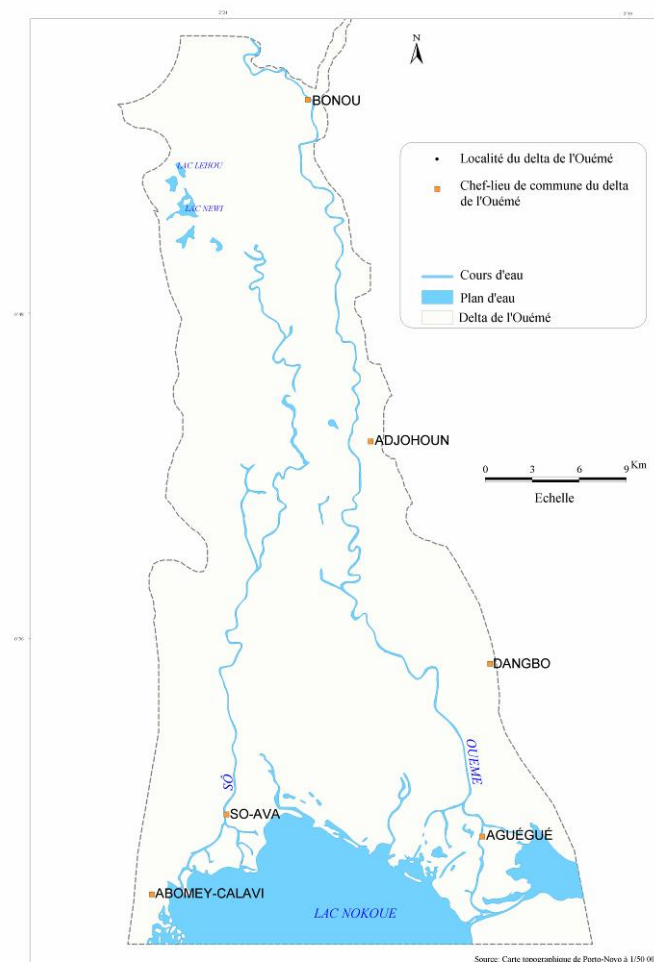


Figure 10 : Réseau hydrographique du delta du fleuve Ouémé
Source : Le Barbé et al, 1993

Les différents cours et plans d'eau du delta du fleuve Ouémé sont des facteurs des inondations qui surviennent entre juillet et novembre. A Bonou, les écoulements durant la période août-octobre sont supérieurs aux précipitations (figure 11), signe que d'autres éléments, en dehors des précipitations influent sur les écoulements du

fleuve à cette latitude. En effet, les écoulements du fleuve à Bonou sont renforcés par les apports d'eau de la partie nord du bassin et reçoit par défluence l'eau de la Sô.

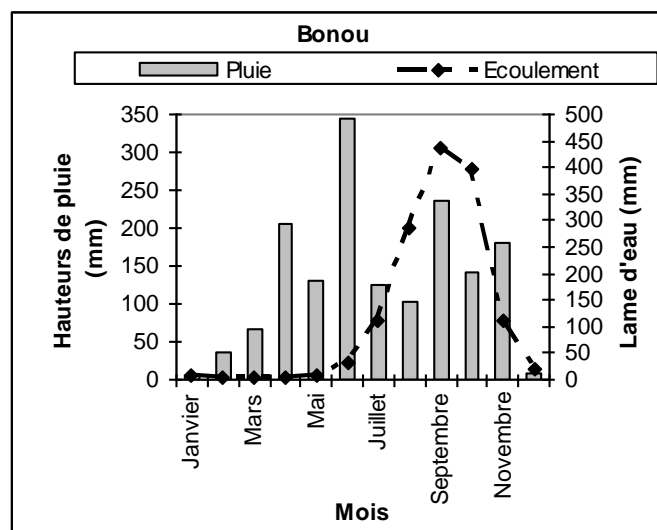


Figure 11 : Régime hydrologique de l'Ouémé à Bonou

L'inondation dans le delta a lieu en général de fin août à mi-octobre, mais peut survenir dès juillet et se terminer au début novembre. Les hauteurs de pluie et débits varient de façon considérable au cours d'une même année. Lorsque des pluies précoces dans le nord Bénin coïncident avec une grande saison des pluies abondantes dans le sud, il arrive que le delta soit inondé dès juin, ce qui cause des dégâts aux cultures dans les champs.

Au delà des facteurs naturels qui justifient la forte fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes, il faut souligner l'influence des facteurs socio-économiques qui sont des facteurs amplificateurs des inondations.

3.3.3- Facteurs socio-économiques amplificateurs des inondations

L'orientation et la valeur des pentes (5 à 40 mm au-dessus du niveau de la mer) dans le delta du fleuve Ouémé amènent les populations à installer leurs champs sur des surfaces relativement planes. Or ces surfaces sont très exposées aux eaux d'inondation. Les pratiques agricoles sur ces surfaces constituent les principaux facteurs socio-économiques amplificateurs des crues dans le delta du fleuve Ouémé.

Trois facteurs d'aggravation des inondations sont imputés à l'agriculture:

- la diminution des prairies au profit des grandes cultures, notamment celle du maïs (photo 2) qui laisse le sol nu après les récoltes ;
- le drainage des terres agricoles, en particulier des fonds de vallée ;

- l'arrachage des haies et l'arasement des talus, le plus souvent assimilés au remembrement.



Photo 2 : Culture de maïs sur les berges de fleuve Ouémé à Kessounou

Source : Cliché Donou B. août, 2008

Le sol laissé nu après la récolte du maïs est susceptible d'infiltrer entre 30 et 60 mm/h d'eau alors qu'un sol couvert de végétation naturelles denses permet d'infiltrer jusqu'à 180 mm/h (CIRAD et GRET 2006). Ainsi, la destruction du couvert végétal naturel au profit des champs réduit les capacités d'infiltration des sols et contribue à la propagation des inondations.

Conclusion partielle

Les événements pluvieux extrême sont marquée par une augmentation de leur fréquence sur la série 1951-2005 avec les avec des hauteurs de pluie de 70 mm en 24 heures sont les plus fréquentes une forte fréquence sur la série d'analyse. Il en est de même pour les débits maximaux de 1100 m³/s qui enregistrent les fréquences les plus élevées (15 %) dans le delta alors que le débits de seuil de crue est de 100 m³. En outre, l'analyse tendancielle a montré une tendance globale est à la hausse du nombre d'événements pluvieux extrêmes, au sein de la chronique analysée. Plusieurs facteurs sont à l'origine de cette tendance. Il s'agit, entre autres, des facteurs climatiques, de la nature et de la structure des sols, de la topographie et du réseau hydrographique. En effet, l'élévation de la fréquence de l'intensité des précipitations dans le Bénin méridional de ces dernières années a fait augmenté la fréquence des inondations dans le delta. Aussi, le delta est soumis aux influences des apports d'eau du bassin supérieur du fleuve et des échanges d'eau avec la rivière Sô. A tous ces facteurs naturels, il faut ajouter ceux socio-économiques amplificateurs des inondations. La forte fréquence de ces événements crée des conditions climatiques défavorables pour les cultures dans le delta.

CHAPITRE IV

VULNERABILITE DE LA PRODUCTION AGRICOLE DU DELTA DU FLEUVE OUEME AUX EVENEMENTS PLUVIO-HYDROLOGIQUES EXTREMES

Ce chapitre présente les analyses relatives à la vulnérabilité de la production agricole liée à l'accroissement de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes.

Après avoir examiné les principaux facteurs de la vulnérabilité agricole, il est analysé les incidences des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur les ressources agricoles, et identifié les autres risques socio-économiques associés.

4.1- Principaux facteurs de la vulnérabilité des cultures aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes

Plusieurs facteurs expliquent la vulnérabilité agricole du delta du fleuve Ouémé. Il s'agit, entre autres, du calendrier agricole traditionnel (figure 12) calqué sur le régime pluvio-hydrologique du fleuve, de la situation géographique de certaines localités dans le delta et des différents modes de conservation des récoltes.

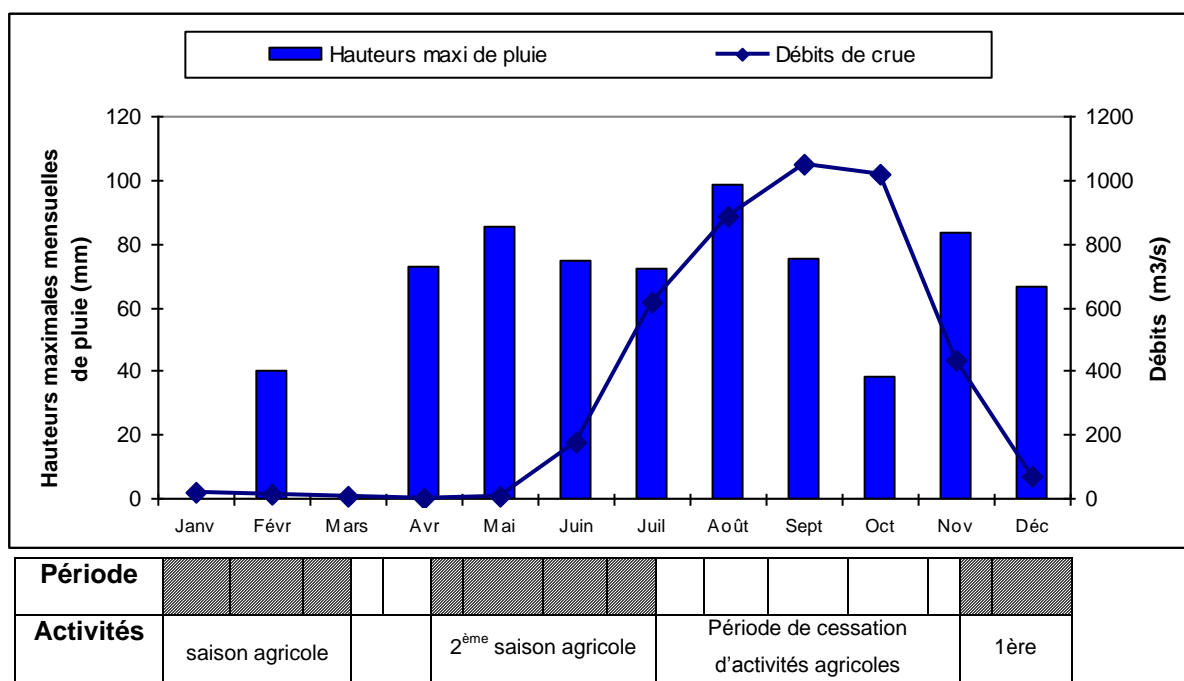


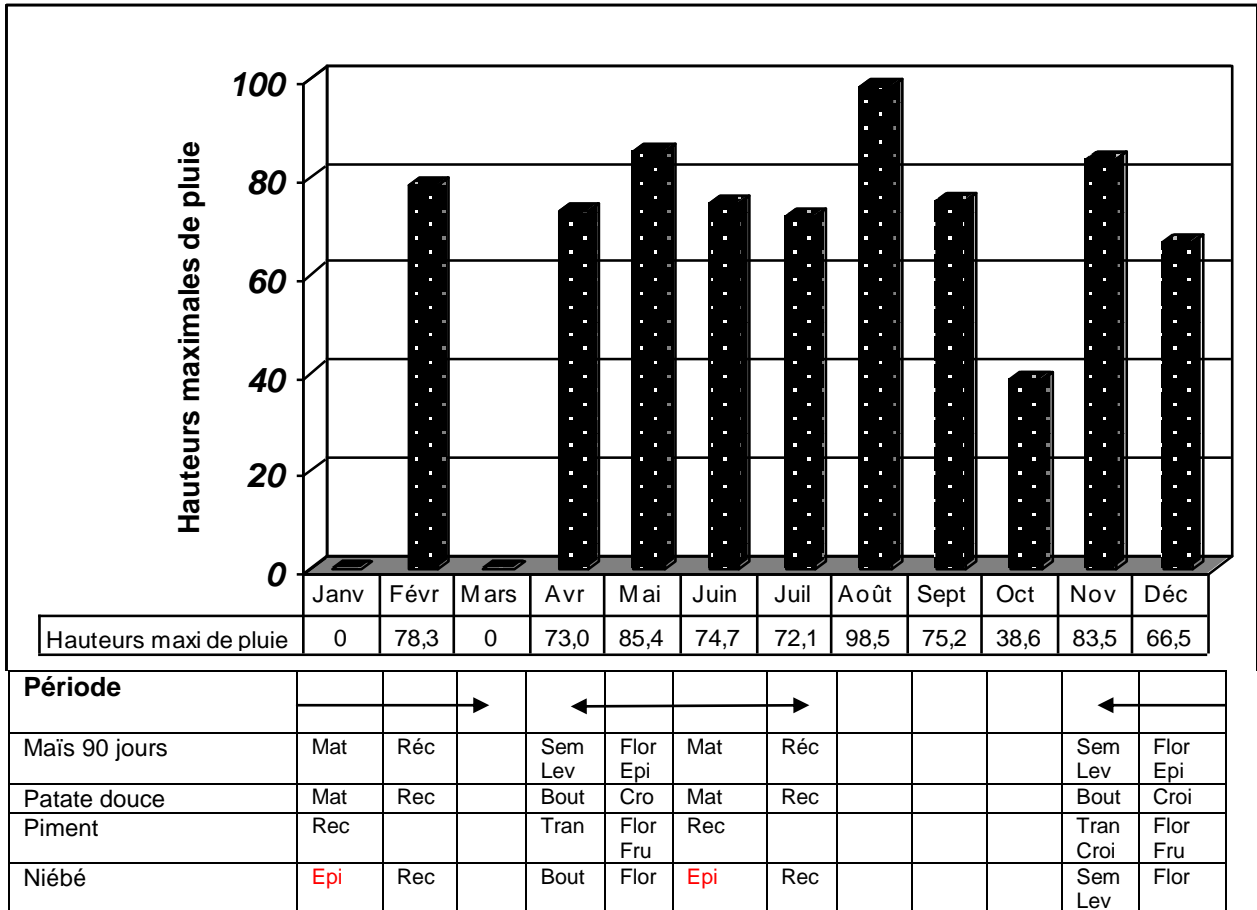
Figure 12 : Régime pluvio-hydrologique et calendrier agricole traditionnel dans delta du fleuve Ouémé

L'analyse de la figure 12, permet de réaliser que les activités champêtres dans le delta du fleuve Ouémé se déroulent sur environ sept (07) mois répartie en deux saisons agricoles. La première saison dure de mi-novembre à mi-mars (agriculture de contre saison) et la seconde de mi-avril à mi-juillet (agriculture pluviale). La période allant de mi-juillet à mi-novembre correspond à la période des hautes eaux et de crues où peu ou pas d'activités agricoles ne sont menées.

4.1.1- Vulnérabilité des cultures aux précipitations extrêmes

La vulnérabilité agricole aux précipitations extrêmes appréciées sur le maïs, la patate douce, le piment et le niébé, indique qu'elle dépend de la phase de leur cycle de croissance à laquelle surviennent les inondations.

Le maïs, à cycle végétatif de 90 jours (le plus pratiqué dans le delta selon 95 % producteurs enquêtés), passe par 5 grandes phases : le semis, la levée, la floraison, l'épiaison et la maturation (CIRAD, 2006). Après le semis, il faut des pluies suffisantes pour assurer la levée du maïs. Les fortes pluies auraient été d'un apport bénéfique en eau. Mais leur violence et abondance (au-dessus de 50 mm, l'eau s'écoule plus qu'elle ne s'infiltré) provoquent un fort ruissellement, ce qui entraîne une dénudation des terrains et une évacuation des semis. De la levée à la floraison, une grande quantité de pluie est bénéfique à la plante. Donc si l'événement a eu lieu pendant cette phase, et que les champs ne sont pas inondés, il n'y aura pas de graves conséquences. Il en est de même pour la phase de l'épiaison. Pendant la maturation par contre, une forte pluie ou une séquence de forte pluie est préjudiciable à la plante. Les grains moisissent, car il se développe une intense activité bactériologique, avec une prolifération d'insectes nuisibles. La figure 13 présente le régime des pluies maximales et la période habituelle de croissance du maïs de 90 jours, de la patate douce, du piment et du niébé dans le delta du fleuve Ouémé.



Sem : semis, Lev : levée, Flor : floraison, Epi : épiaison, Mat : maturation, Bout : Bouturage, Tran : transplantation, Fru : Fructification

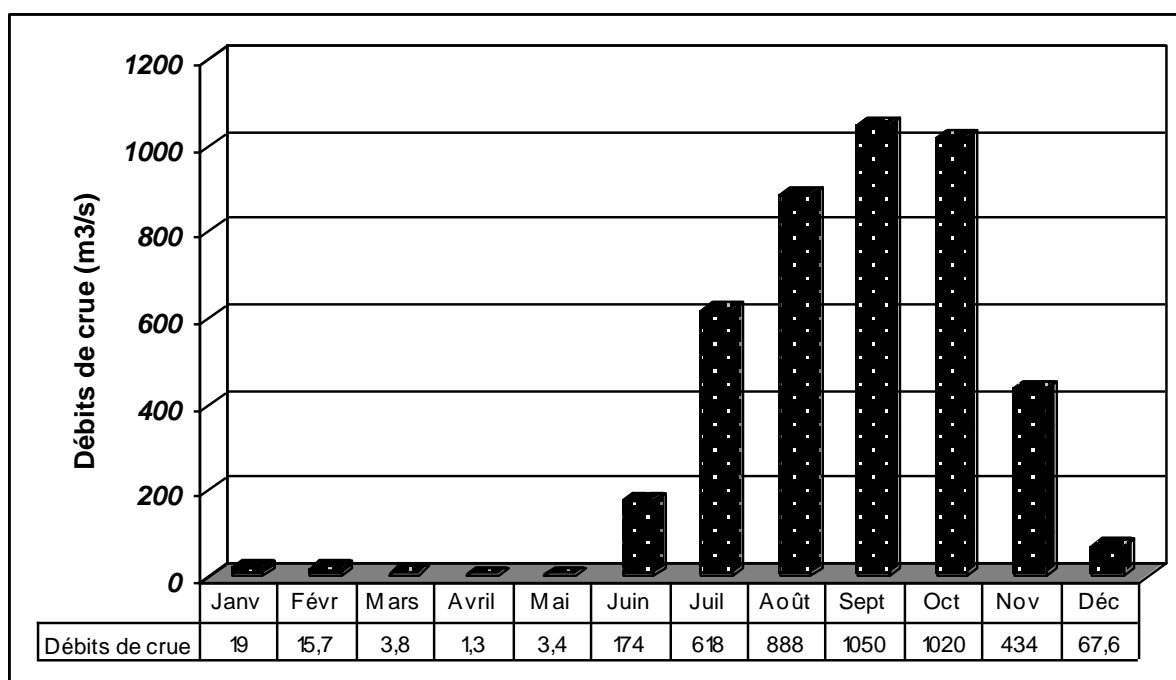
Figure 13 : Régime des pluies maximales et période de développement des principales cultures dans le delta du fleuve Ouémé

L'analyse de la figure 13, permet de réaliser que les périodes sensibles de croissance des cultures sont marquées par une forte occurrence des pluies maximales. En effet, au cours de la première saison agricole, la maturation du maïs par exemple, se fait dans le mois de juin, période où les hauteurs maximales de pluie dans le delta du fleuve Ouémé ont une occurrence de 74,7 mm d'eau en 24 heures. Or en phase de maturation, le maïs n'a pas besoin d'importante quantité d'eau (< 50 mm). Cette situation entraîne la dégradation des épis de maïs en maturation dans les champs. Par ailleurs, au cours du mois de juillet où les populations procèdent à la récolte du maïs, les pluies maximales ont également une forte occurrence (72,1 mm). Ce qui accentue les dégâts sur le maïs. De même, la période de récolte de la seconde saison agricole coïncide avec l'avènement des pluies maximales dans le mois de février. En effet, bien que le mois de février soit un mois de sécheresse, les quelques pluies qui y surviennent sont souvent des averses très violentes (Bokonon-Ganta, 1987). Ainsi, les cultures pluviales et de décrue sont vulnérables à

l'avènement des événements pluviométriques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé.

4.1.2- Vulnérabilité des cultures aux crues

La vulnérabilité des cultures aux crues dans le delta du fleuve Ouémé est aussi fonction de la coïncidence du calendrier agricole avec le régime hydrologique du fleuve Ouémé. Selon Houndagba (1990), la variation de la quantité d'eau disponible dans les premiers horizons du sol dépend non seulement des pluies mais aussi des apports d'eau du fleuve en période de crue. Or, les périodes de crue ne correspondent pas nécessairement aux périodes de forte occurrence pluviométrique. La vulnérabilité aux crues des cultures est fonction de la quantité d'eau disponible au cours de ses différentes phases de croissance (figure 14).



Période	→		←				→		←		
	Maïs 90 jours	Mat	Réc		Sem Lev	Flor Epi	Mat	Réc			Sem Lev
Patate douce	Mat	Rec		Bout	Cro	Mat	Rec			Bout	Croi
Piment	Rec			Tran	Flor Fru	Rec				Tran Croi	Flor Fru
Niébé	Mat	Rec		Bout	Flor	Mat	Rec			Sem Lev	Flor

Sem : semis, Lev : levée, Flor : floraison, Epi : épiaison, Mat : maturation, Bout : Bouturage, Tran : transplantation, Fru : Fructification

Figure 14 : Régime des crues et période de développement des principales cultures dans le delta du fleuve Ouémé

Les crues de l’Ouémé débutent à une période où une bonne partie du maïs de la première saison agricole se trouvent en phase de maturation donc n’ayant pas besoin de grandes quantités d’eau. L’augmentation de l’humidité des sols consécutive aux inondations entraîne la destruction de la culture de maïs en phase de maturation. Par contre, dans la seconde saison agricole, les cultures sont moins vulnérables aux inondations en ce sens qu’elles démarrent à la fin de la période de crue et se terminent avant le démarrage d’une nouvelle saison hydrologique. Ce sont les cultures de décrue tardivement installées, donc n’ayant pas atteint pas été récoltées avant l’avènement des premières pluies, qui sont détruites.

Au total, le calendrier agricole calqué sur le régime pluvio-hydrologique du delta du fleuve Ouémé constitue le principal facteur de la vulnérabilité des cultures aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes. Les phases sensibles de sa croissance sont marquées par une forte occurrence des pluies extrêmes et des débits de crue. Par ailleurs, la vulnérabilité agricole des cultures du delta est aussi fonction de leurs modes de conservation.

4.1.3- Vulnérabilité des récoltes

Les modes de conservation des récoltes constituent un facteur important de la vulnérabilité agricole dans delta du fleuve Ouémé. Le grenier traditionnel représente le mode de conservation des récoltes le plus utilisé. Les matériaux de fabrication de ces greniers ne permettent pas une bonne protection des récoltes contre les inondations. La photo 3 montre les types de greniers utilisés dans le delta du fleuve Ouémé.



Photo 3 : Types de greniers de conservation des récoltes dans le delta du fleuve Ouémé

Source : Cliché DONOU B. novembre 2008

Les types de greniers utilisés n'empêchent pas les eaux de pluie, surtout quand il s'agit des pluies extrêmes, de mouiller une grande partie des récoltes conservées. En outre, en période de crue, les greniers sont mouillés par la base détruisant ainsi une part importante des récoltes.

Au total, la vulnérabilité agricole du delta du fleuve Ouémé face aux pluies extrêmes et aux crues est d'autant plus renforcée que les techniques de conservation des récoltes sont rudimentaires. Mais, cette situation varie d'un secteur à un autre du delta du fleuve Ouémé.

4.1.4- Vulnérabilité spatiale des cultures dans le delta du fleuve Ouémé

Le risque de dégradation des champs dans la plaine d'inondation du delta du fleuve Ouémé varie en fonction de la morphologie et de la position des différentes localités (figure 15).

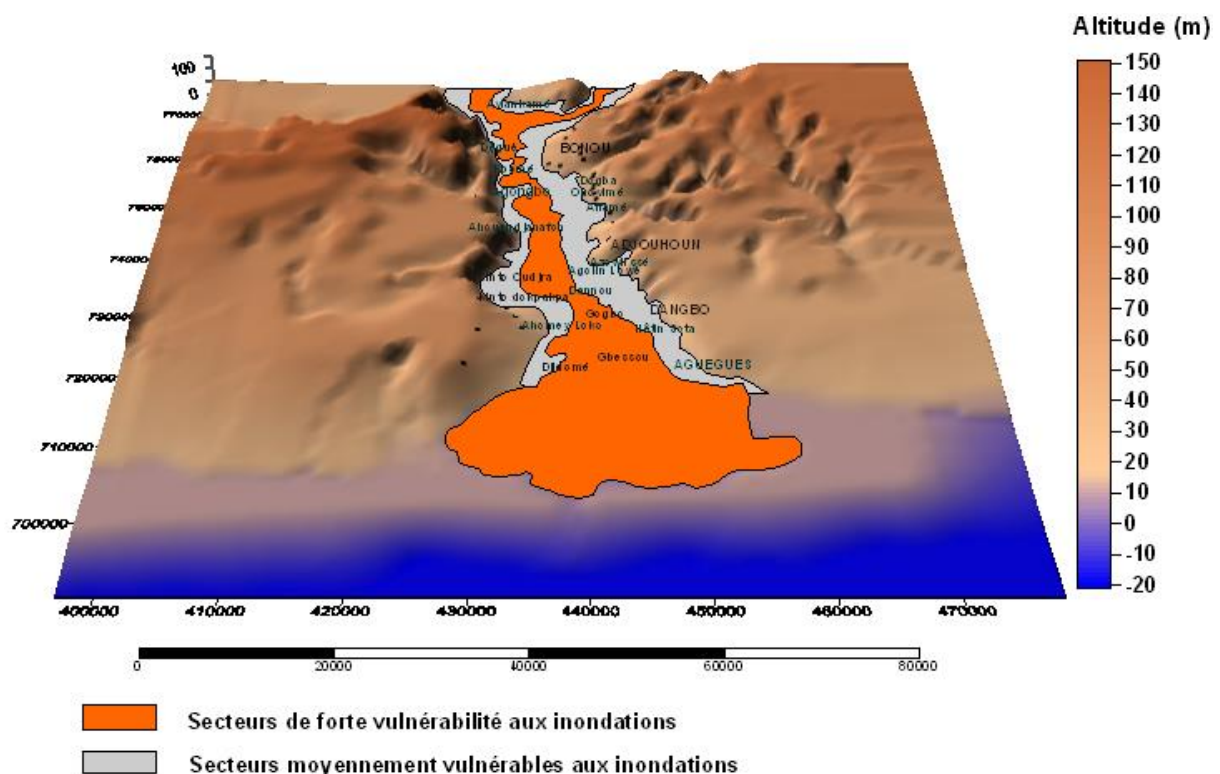


Figure 15 : Vulnérabilité spatiale des localités du delta du fleuve Ouémé aux inondations

Les localités situées dans la plaine et sur les rives des rivières du delta sont plus vulnérables aux crues et inondations. Ainsi, les localités de Hêtin-Sota et de Kessounou, de Gogbo, d'Agonlin Lowé, de Kinto oudjra, etc. sont plus exposées aux inondations alors que celles de Azowlissè, d'Affassa, d'Agongbo, d'Affamè, etc. situées sur le versant du plateau sont moins vulnérables.

4.1.5- Relation linéaire entre les rendements et les événements pluvieux extrêmes

Les résultats de l'analyse de corrélation entre les précipitations maximales et les rendements agricoles des principales cultures du delta sont présentés sur la figure 16.

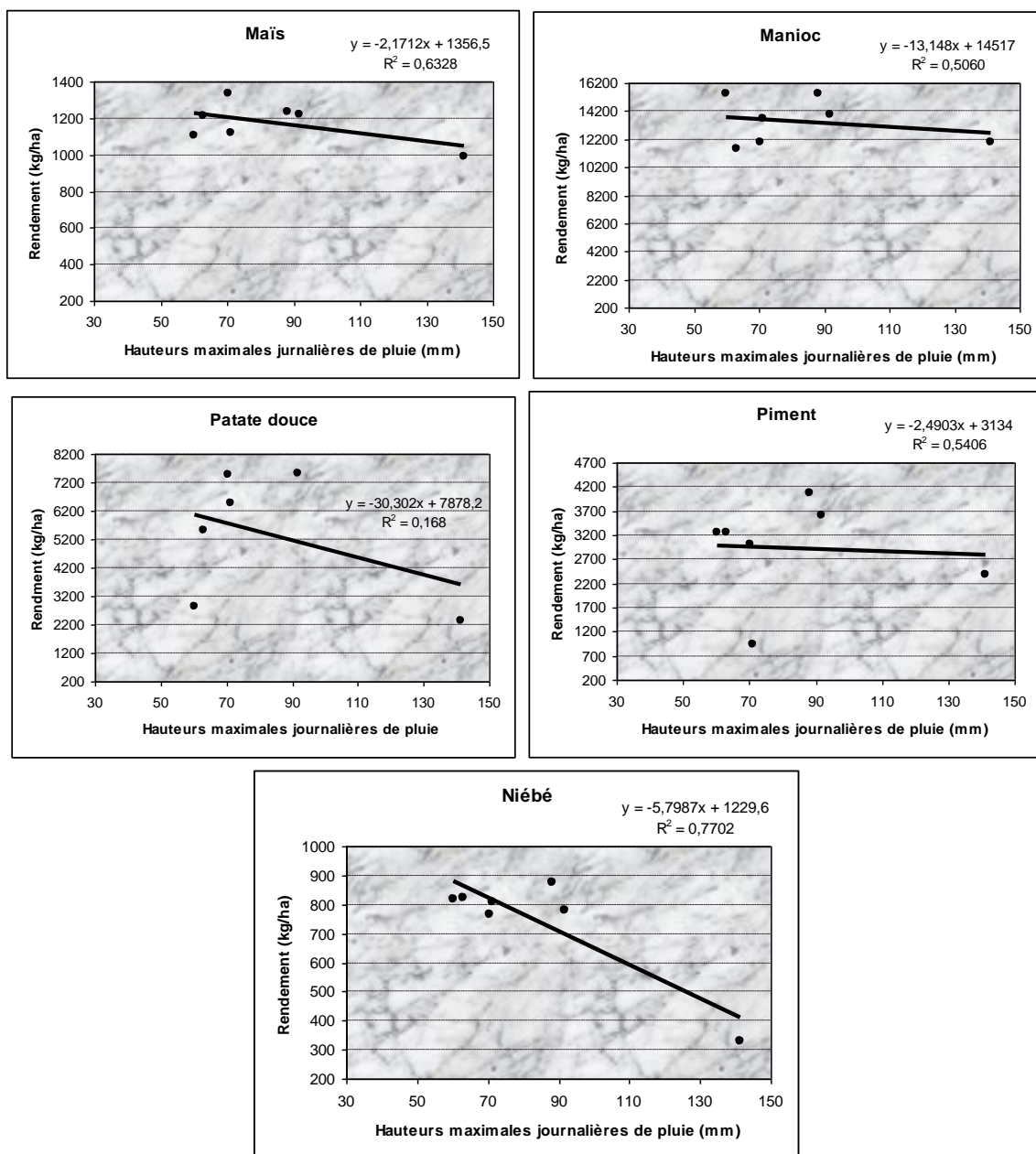


Figure 16 : Corrélation entre les précipitations maximales et les rendements agricoles dans le delta de l'Ouémé

Source des données : MAEP et ASECNA, 2009

De l'analyse de cette figure, il ressort que les relations fonctionnelles entre les hauteurs de pluie maximales et les rendements des cultures dans le delta sont faibles. La dispersion des points autour des droites de régression en est la preuve.

De ce constat, il ressort que les liaisons entre pluviométrie et rendements de cultures ne dépendent seulement des variations des hauteurs de pluie maximales. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Houessou, (1997).

Toutes fois, il faut signaler que les points de dispersion sont plus proches de la droite de régression pour les rendements les plus faible et les précipitations les plus élevées. En effet, pour les cultures de maïs, de manioc et de niébé, la dépendance entre les rendements les plus faibles et les hauteurs de pluie maximales les plus élevées est forte avec des coefficients de détermination de 0,63 de 0,50 et 0,77 respectivement pour le maïs, le manioc et le niébé. Par contre, pour la patate douce ce coefficient est de 0,16 avec des points très dispersés autour de la droite de régression. Quant au piment, la dépendance entre les plus faibles rendements et la pluviométrie est très faible.

Ainsi, la relation linéaire entre les hauteurs maximales de pluie et les rendements agricoles dans le delta de l'Ouémé n'est pas aussi évidente. Par contre, les faibles rendements enregistrés dans les années ayant connu les événements pluvieux les plus extrêmes, suppose que ces derniers ont un impact direct sur la production agricole du delta.

4.2- Impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole

Les impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole du delta du fleuve Ouémé sont de plusieurs ordres : perte de semis, perte de production et perte des récoltes.

Les pertes de semis sont causées par les forts ruissellements provoqués par les pluies violentes. Selon les producteurs, ces pertes ont souvent cours dans le delta au début de la première saison agricole dans le mois d'avril. Quant aux pertes de production, elles s'observent lors des inondations des champs provoquées par les eaux de ruissellement d'une part et par les eaux de crue du fleuve d'autre part. Dans les mois de juin, de juillet et d'août, les eaux de ruissellement envahissent les champs et détruisent les cultures (photo 4). De même, les cultures tardives sont souvent envahies par les crues dans les mois d'août et de septembre (Lanmouroux 1972, Houndagba, 1990, Agossa 1994, et Donou, 2007). Selon 72 % des populations enquêtées, la culture la plus vulnérable à la montée des eaux est le

manioc dont les racines encore sous terre pourrissent avec la survenance des inondations.



Photo 4 : Inondation d'un champ de maïs à Dannou (1) et de manioc à Gogbo (2)
Source : Cliché DONOU B. juin 2008

L'inondation des champs empêche le développement des cultures. Le tableau VI présente les superficies emblavées et celles inondées des principales cultures dans le delta du fleuve Ouémé pour la campagne agricole de 2008.

Tableau VI : Superficies (ha) des principales cultures inondées dans le delta du fleuve Ouémé

	Maïs		Manioc		Patate douce		Piment		Niébé		Total	
	Sup emblav	Sup inond	Sup emblav	Sup inond	Sup emblav	Sup inond	Sup emblav	Sup inond	Sup emblav	Sup inond	Total superf emblav	Total superf inond
Valeur absolue	8884	4061,92	2175	928	498	214	34	9	29	13	11591,01	5212,92
Proportion (%)		45,72		42,66		42,97		26,47		44,82		44,97

Sup= superficie ; emblav= emblavée ; inond= inondée

Source : Enquête de terrain, CeCPA, juin 2008

Les superficies de maïs sont plus inondées avec une proportion de 45,72 % de la superficie totale emblavée dans la plaine d'inondation du delta. Pour le manioc et la patate douce, respectivement 42,66 % et 42,97 % des superficies emblavées dans le delta, ont été inondées. Au total, 5212,92 ha de champs toute culture confondue ont été inondées sur 11591,01 ha de superficies emblavées en 2008, soit 44,97 %. Cette situation a entraîné la destruction des cultures et des pertes de production (figure 17).

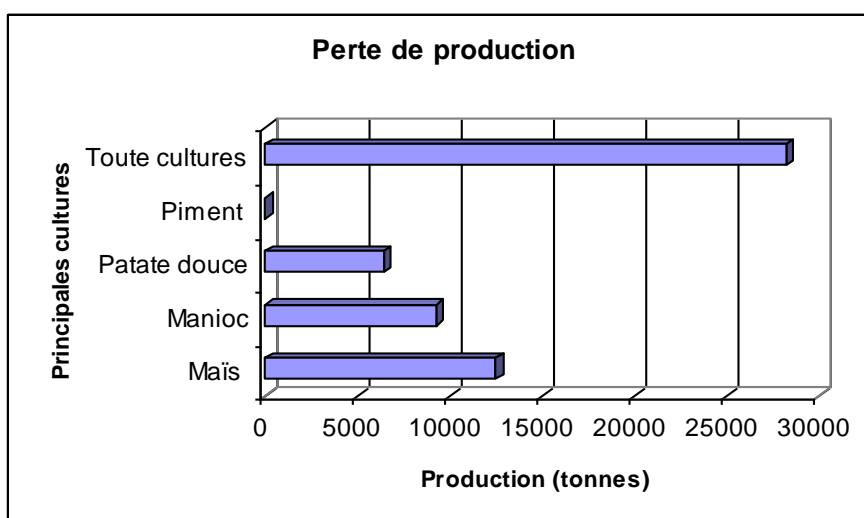


Figure 17 : Estimation des pertes de production par culture dans le delta du fleuve Ouémé en 2008

Source des données : CeCPA, et traitements statistiques, juin 2008

Les pertes totales de production agricole sont estimées à près de 29000 tonnes toutes cultures confondues, pour la campagne agricole de 2008. Mais, c'est le maïs qui enregistre la perte la plus importante de sa production dans le delta avec 12450 tonnes perdues contre 9280 tonnes et 6420 respectivement pour le manioc et la patate douce.

Au total, la forte fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes participent à la diminution des rendements agricoles dans le delta du fleuve Ouémé. La destruction des cultures et les difficultés de conservation des produits agricoles créent un manque à gagner pour les producteurs et engendrent d'autres problèmes socio-économiques.

4.3 - Impacts socio-économiques des inondations

Les impacts socio-économiques de la perte des récoltes consécutive à l'augmentation de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes, se manifestent par la baisse des revenus et l'augmentation des prix des produits agricoles.

4.3.1 – Baisse des revenus agricoles

La diminution des rendements agricoles entraîne une baisse des revenus issus de la production agricole. Selon les populations, les années de fortes pluies et d'inondation (1962, 1963, 1988, 1999) ont entraîné une grande perte des productions agricoles et de revenus économiques. Or, la production agricole constitue la principale source de

revenus pour la majorité de la population (75 %) du delta. L'évaluation des pertes de revenus agricoles en 2008 est présentée dans le tableau VII.

Tableau VII : Estimation des pertes de revenus agricoles

Cultures	Superficie inondée (ha)	Perte financière (millier de francs)
Maïs	4061,92	74 4549,936
Manioc	928	39 6720
Patate douce	214	35 310
Piment	9	4 630,5
Total	5212,92	1 181 210, 436

Source des données : CeCPA, et traitements statistiques, juin 2008

L'analyse du tableau montre que le maïs est la culture dont les pertes de revenus consécutives aux pertes de superficies emblavées sont les plus importantes dans le delta du fleuve Ouémé. Pour l'ensemble des cultures du delta, les pertes de revenus sont estimées à 1 181 210 436 francs CFA.

4.3.2 - Augmentation des prix des produits agricoles et risques économiques

Dans une situation de pénurie accrue et de fortes fréquences d'événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta, les produits agricoles connaîtront une augmentation de prix. Une inflation économique généralisée pourrait en découler, et le bien-être socio-économique de toute la population du delta sera fortement menacé.

Au total, la vulnérabilité agricole du delta du fleuve Ouémé aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes est essentiellement due à l'organisation du calendrier agricole suivant le régime pluvio-hydrologique et des modes de conservation des récoltes. Les événements pluvio-hydrologiques extrêmes entraînent la destruction des cultures, une perte de production et la dégradation du cadre socio-économique du delta. Face à cette situation, les populations ont développées plusieurs stratégies dont il importe d'évaluer l'efficacité.

CHAPITRE V

STRATEGIES D'ADAPTATION ENDOGENES ET MESURES PRECONISEES

Le présent chapitre expose les stratégies développées par les populations agricoles et propose de nouvelles stratégies et politiques à mettre en œuvre pour réduire les effets des inondations sur la production agricole dans le delta du fleuve Ouémé. A partir d'une analyse multicritère fondée sur les échelles de décision (locale, nationale), un modèle de gestion intégrée des crues pour anticiper les inondations et diminuer la vulnérabilité des populations agricoles du delta est élaboré.

5.1- Stratégies endogènes proactives

Pour réduire leur vulnérabilité aux crues et inondations, les populations agricoles du delta du fleuve Ouémé adoptent plusieurs stratégies. Il s'agit entre autres :

- des récoltes précoces des cultures. Selon les populations enquêtées, ces récoltes précoces ont lieu dès que l'eau du fleuve atteint un niveau élevé et commence par inonder les champs. Mais, la technique d'appréciation du niveau de l'eau par les populations n'est plus efficace. L'eau du fleuve peut se trouver à un niveau habituellement sans grand risque mais il y aura inondation en raison des modifications subites par le milieu (destruction du couvert végétal, dégradation des bourrelets de berges, etc.) ;
- de l'organisation des cérémonies traditionnelles pour conjurer le sort et limiter les dégâts des inondations. Lors de ces cérémonies, des sacrifices sont offerts à la divinité *Dan* "dieu de l'eau" pour implorer sa clémence et sa protection. Mais, selon les populations elles-mêmes, l'efficacité de ces cérémonie n'est plus la même que par le passé en raison des nombreuses violations des interdits et de la diminution des pratiquants du fait de la présence des religions importées (christianisme et islam) ;
- de l'organisation des prières dans les églises et mosquées pour implorer la protection de Dieu contre les effets néfastes des inondations.

En dépit de ces stratégies proactives développées, les populations sont toujours victimes des inondations et sont contraintes d'adopter des stratégies réactives.

5.2- Stratégies endogènes réactives

Les stratégies d'adaptation réactives des populations agricoles face aux inondations se rapportent à la mise en œuvre de projets de développement agricole, à l'adoption de variété à cycle court et au drainage des champs en période d'inondation.

5.2.1- Mise en œuvre de projets de développement agricoles

La mise en œuvre des projets de développement agricole dans le delta du fleuve Ouémé n'est pas spécifiquement liée aux mesures d'adaptation aux crues, mais à des politiques de développement général du monde rural. C'est dans le cadre de ces politiques que le delta du fleuve Ouémé est aujourd'hui un carrefour d'initiatives de développement agricoles. En effet, en dehors de nombreuses institutions publiques ou privées, plusieurs autres projets financés par les partenaires au développement continuent d'appuyer les populations dans différents domaines agricoles tels :

- la formation agricole et la vulgarisation des techniques agraires qui préservent l'environnement ;
- l'assistance à la paysannerie à travers l'octroi de crédits ;
- la formation agricole et la vulgarisation des techniques de la lutte contre les inondations ;
- la mise en place de structure de stockage et de commercialisation des produits agricoles ;
- la promotion d'infrastructures communautaires (hydraulique villageoise, pistes rurales, etc.).

Le programme d'Urgence d'Appui à la Sécurité Alimentaire (PUASA) est un des programmes développés pour renforcer les stratégies d'adaptation des populations face à l'insécurité alimentaires très souvent consécutive aux inondations dans le delta du fleuve Ouémé. En effet, ce programme aide les populations à drainer les eaux des champs inondés et à adopter des variétés à cycle court.

5.2.2- Adoption des variétés à cycle court

Les variétés à cycle court comme le maïs de 75 jours et de 65 jours (en expérimentation) ont l'avantage d'atteindre le terme de leur cycle de développement avant l'avènement des crues et des inondations. Elles ont été introduites dans les localités du delta à cette fin. Selon les responsables des CeCPA, en dehors du maïs de 65 jours qui est en expérimentation, une grande partie des populations agricoles

(70%) ont adopté le maïs de 90 jours en remplacement du maïs local qui a un cycle de 120 jours. Il en est de même pour le niébé local qui est plus en plus délaissé au profit du niébé amélioré dans le delta du fleuve Ouémé. Mais, la limite majeure de cette stratégie, est la faible disponibilité des semences ; ce qui entraîne parfois de pénurie de semence.

5.2.3- Pratique du drainage

En période d'inondation, les populations agricoles du delta du fleuve Ouémé, ouvrent des drains pour évacuer l'eau des champs et limiter les dégâts des inondations. Les photos 5 et 6 montrent respectivement une séance d'ouverture de drain et le drainage des eaux des champs dans le delta du fleuve Ouémé.



Photo 5 : Séance d'ouverture de drain à Gogbo

Source : Cliché DONOU B. juin 2008



Photo 6 : Drainage de l'eau d'un champ de maïs inondé à Dannou

Source : Cliché DONOU B. juin 2008

Les drains ouverts sont reliés entre eux formant un réseau de plusieurs drains qui drainent l'eau dans le cours du fleuve Ouémé. Mais, le rôle du drainage par rapport aux inondations est pour le moins contrasté. En effet, en période d'inondation, le drainage des terres de la plaine, réduit le ruissellement de surface et augmente corrélativement l'infiltration de l'eau de pluie mais, .il arrive que ces drains servent de lieu de passage des eaux du fleuve vers les champs en période de crue.

Ainsi, la plupart des stratégies développées ne permettent pas de réduire efficacement la vulnérabilité des populations agricoles du delta face aux crues et aux inondations. Il importe donc que d'autres mesures soient prises.

5.3- Mesures préconisées

Les mesures préconisées pour atténuer la vulnérabilité agricole dans le delta du fleuve Ouémé face aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes visent à renforcer les stratégies endogènes et à promouvoir de nouvelles stratégies adaptées au contexte pluvio-hydrologique du delta de l'Ouémé. Les mesures préconisées s'inscrivent dans le cadre d'un système de Gestion Intégrée des Crues (GIC).

5.3.1- Composantes du modèle de Gestion Intégrée des Crues (GIC)

Selon OMM (2006), la Gestion Intégrée des Crues (GIC) est une notion qui porte sur la prévention, la sécurité des personnes et des biens et sur le développement.

La gestion intégrée des crues dans le delta du fleuve Ouémé vise à réduire les risques d'inondation grâce à un assemblage judicieux de mesures adaptées à l'ampleur des aléas pluviométrique et hydrologique ainsi qu'à l'exposition de la communauté à ces risques. Elle implique une bonne connaissance des risques actuels et futurs de crues et la mise en place de mesures préventives et réactives destinées à en atténuer les effets. La figure 18 présente les différentes composantes du modèle GIC préconisée pour la réduction de la vulnérabilité des populations agricoles du delta du fleuve Ouémé aux inondations.

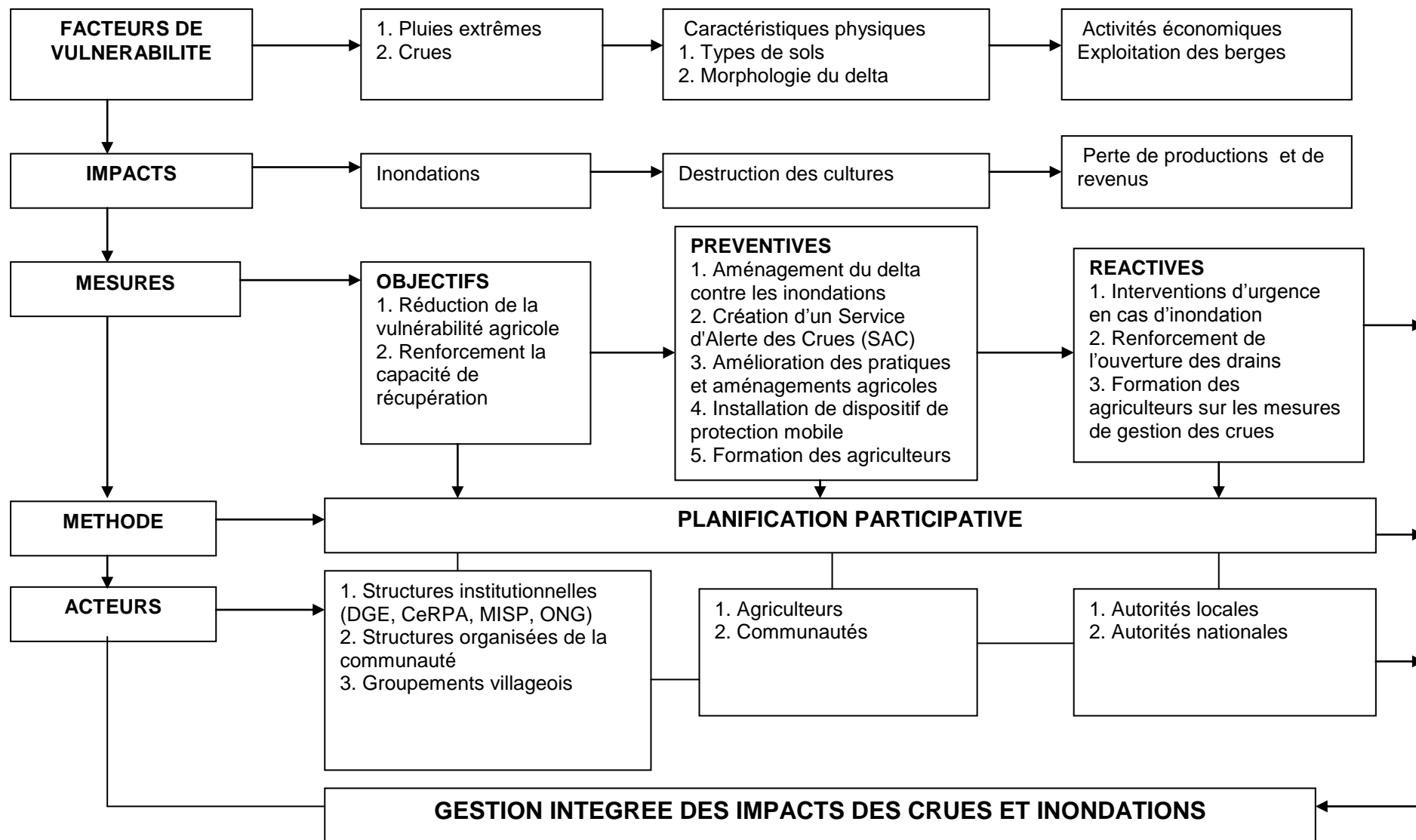


Figure 18 : Modèle de Gestion Intégrée des Crues préconisé pour la réduction de la vulnérabilité agricole delta du fleuve Ouémé aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes

Le modèle de Gestion Intégrée des Crues pour la réduction de la vulnérabilité agricole du delta du fleuve Ouémé se base sur l'identification des mesures de gestion préventives et réactives des impacts des crues sur la production agricole dans une approche de planification participative.

5.3.2- Objectifs du GIC

Le modèle GIC a pour objectif global de contribuer à la réduction de la vulnérabilité de la production agricole du delta du fleuve Ouémé aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes dont les crues constituent les manifestations les plus importantes. Les autres objectifs de ce modèle sont les suivants :

- renforcer la résilience de l'agriculture du delta après le passage des inondations ;
- améliorer les stratégies d'adaptation endogènes des populations agricoles aux crues et inondations ;
- promouvoir l'approche participative dans la gestion des impacts des crues sur l'agriculture du delta du fleuve Ouémé.

5.3.3- Méthode de planification participative

La planification participative de la gestion des crues implique l'intégration de tous les acteurs concernés à l'organisation des activités de prévention et de réaction en cas d'inondation des champs. Dans le delta du fleuve Ouémé, les principaux acteurs de gestion des crues sont les agriculteurs qui sont les plus affectés. La coordination des activités doit être assurée par le MISP dont le service de Prévention et de la Protection civile est créé à cet effet. Ce service doit intégrer les CeRPA, les ONG de développement agricole, les groupements villageois, et les autorités locales dans la gestion des inondations des champs consécutives aux crues du fleuve et aux pluies extrêmes.

5.3.4- Actions préventives du GIC

Les mesures de préventions des crues dans le delta du fleuve Ouémé se rapportent à l'aménagement du delta contre les inondations, la création d'un service d'alerte des crues, l'amélioration des pratiques culturales et des aménagements agricoles, l'installation de dispositif de protection mobile et la formation des agriculteurs.

L'aménagement du delta consiste en l'organisation de l'espace en fonction des secteurs d'expansion des crues. La vulnérabilité de ces secteurs aux crues variant

d'une localité à une autre, les terroirs agricoles seront aménagés dans les secteurs de faible et moyenne risques d'inondation. Les secteurs de risque d'inondation élevés feront l'objet d'un aménagement spécial qui autorise la pratique des cultures dont le cycle n'excède pas la période de basses eaux dans le delta. Par ailleurs, l'aménagement du delta implique la préservation de certaines parties des secteurs humides créés par la présence de la plaine d'inondation du fleuve. En effet, ces secteurs contribuent au laminage des crues en fonction de l'importance des quantités d'eau qu'elles peuvent stocker et surtout de la manière dont elles les stockent et de celle dont elles les relarguent.

La création d'un Service d'Alerte des Crues (SAC) dans le delta permettra de disposer des informations sur les prévisions météorologiques et hydrologiques à mettre à disposition des populations agricoles. Ce service doit créer des collaborations techniques avec la Direction Générale de l'Eau (DGE) et la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). Cette collaboration lui permettra d'avoir les informations et les données pluviométriques et hydrologiques lui permettant de faire les prévisions. L'information des populations se fera à l'aide des canaux de communication adaptés au milieu rural du delta (radio communautaire, crieur public, etc.).

Pour ce qui concerne l'amélioration des pratiques culturales et des aménagements agricoles, elle permettra de maîtriser les ruissellements et de ralentir la dynamique des écoulements d'eau dans le delta. Cette amélioration des pratiques agricoles se rapporte à la promotion des pratiques qui favorisent l'infiltration de l'eau dans les sols. Il s'agit entre autres du maintien de la couverture végétale naturelle des berges du fleuve, de la conversion des terres arables en prairies le long des cours d'eau.

L'installation des dispositifs de protection mobile des champs peut être une des applications de l'amélioration des aménagements agricoles. Il s'agit de procéder à la mise en place de barrages provisoires assurant temporairement la protection contre les eaux de secteurs particuliers d'extension limitée, pour des hauteurs elles aussi limitées. Le dispositif comprend des panneaux stockés à proximité et qui peuvent être mis en place en quelques heures.

Le volet de formation des agriculteurs prévu dans le GIC consiste à l'amélioration des connaissances des populations agricoles sur les mesures de prévention des crues en occurrence la nécessité de mener des actions communes.

Toutes ces mesures de prévention de crues peuvent donc avoir des effets très positifs sur la maîtrise des crues de faible intensité et de courte durée, qui sont aussi les plus fréquentes. En revanche, dès lors que leur efficacité diminue avec la saturation des sols et l'intensité des pluies, leur rôle est plus réduit dans la lutte contre les grandes crues qui sont les plus dévastatrices. C'est pourquoi l'adoption de ces mesures, aussi nécessaires soient-elles pour une meilleure maîtrise des ruissellements et un ralentissement de la dynamique des écoulements, ne saurait se substituer à la seule véritable défense contre les grandes crues, qui est de déplacer les champs existants dans les secteurs de la plaine inondable à risque d'inondation élevé et d'éviter toute nouvelle installation dans ces secteurs. Mais d'autres mesures réactives peuvent être prises en période de crue et d'inondation dans le cadre de la mise en œuvre du GIC.

5.3.5- Actions réactives du GIC

L'approche participative doit être également utilisée pour la mise en œuvre des mesures réactives en période de crues et d'inondation. La responsabilité de coordination du service de Prévention et de la Protection Civile sera aussi mise à contribution. En associant tous les autres acteurs, ce service devra élaborer un système d'intervention urgente en cas d'inondation, de renforcer l'ouverture des drains et de former les agriculteurs sur les mesures de gestion des inondations de leurs champs.

Le système d'intervention urgente en cas d'inondation doit comporter une série d'activités et d'actions à mener pour aider les agriculteurs à récolter les cultures à maturation inondées, à disposer de moyens de conservation de ces cultures. Par ailleurs, le renforcement des capacités des agriculteurs à l'ouverture des drains pour évacuer l'eau des champs inondés est une mesure dont la mise en œuvre est souhaitée par 80 % des agriculteurs enquêtés.

Au total, les stratégies préventives et réactives développées par les populations et les institutions nationales pour adapter l'agriculture à la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes se résument l'adoption de quelques mesures et au

développement des programmes de développement agricole. Mais la plupart de ces stratégies ne permettent pas un renforcement de la résilience agricole du delta du fleuve Ouémé. Dans ce contexte, l'approche de Gestion Intégrée des Crues (GIC) proposée, pourra contribuer à ce renforcement.

Limites méthodologiques de l'étude

L'étude sur la relation entre la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes et la production agricole dans le delta du fleuve Ouémé est faite sur la base d'un processus méthodologique qui présente des limites qu'il convient de souligner. En effet, les données utilisées n'intègrent pas les hauteurs de pluie et les débits minimaux dans le processus d'analyse de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes. L'utilisation de ces données pourrait permettre d'évaluer la vulnérabilité agricole en situation hydro-climatique inverse à celle étudiée ici.

Aussi, les données sur l'intensité des pluies n'ont pas été prises en compte car ne sont pas mesurées dans les stations du delta. Par ailleurs, les précipitations et les crues ne sont pas les seules qui conditionnent de la production agricole. D'autres facteurs comme les pratiques agricoles, la politique agricole nationale, la fertilité des sols, la luminosité, l'évaporation, etc. influent sur la production agricole et peuvent contribuer à l'évolution des rendements agricoles dans le delta. Tous ces facteurs n'ont pas été intégrés dans cette analyse. En outre, les autres implications socio-économiques des impacts des événements extrêmes sur la production agricole n'ont été évaluées avec précision dans cette étude.

Mais au-delà des limites évoquées, les résultats auxquels cette recherche a abouti sont évocateurs de la situation de vulnérabilité de plus en plus accrue de la production agricole du delta du fleuve Ouémé aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes.

Conclusion et perspective pour les travaux futurs

La présente étude est une contribution à une meilleure connaissance de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes et de leurs impacts sur la production agricole du delta du fleuve Ouémé. Le modèle d'analyse fréquentielle appliqué aux données pluviométriques et hydrologiques sur la période 1951-2005, montre que les événements pluvieux extrêmes sont marqués par une forte fréquence sur la période d'analyse. Il en est de même pour les débits maximaux du fleuve qui ont connu une augmentation de leur fréquence de plus de 14 % sur la même période.

Plusieurs facteurs physiques générateurs et socio-économiques amplificateurs ont été identifiés pour expliquer l'occurrence des événements extrêmes. Les inondations catastrophiques dans le delta du fleuve Ouémé sont dues à des interactions entre des facteurs hydrologiques extrêmes et les systèmes climatiques, morpho-géologiques et socio-économiques. La variation climatique générale en Afrique de l'ouest et au Bénin a entraîné une baisse des hauteurs de pluie mais un accroissement de leur fréquence. Cette situation a été démontrée par le GIEC 2001 et confirmée dans le dernier rapport du même GIEC 2007 et plusieurs autres auteurs. Sur le plan géologique et hydro géologique, le delta du fleuve Ouémé est creusé dans un complexe margino-littoral constitué de dépôts quaternaires et surtout holocènes d'où surgissent de nombreux points de résurgence d'eau souterraine à la surface. Ces sources d'eau naturelles contribuent à la saturation des sols entraînant une rapide propagation des inondations. Sur le plan socio-économique, les pratiques agricoles sont les principaux facteurs amplificateurs des crues et des inondations dans le delta de l'Ouémé. En effet, la destruction des formations végétales des berges et leur mise en culture diminuent les capacités d'infiltration des sols et favorise les inondations.

Les impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole du delta du fleuve Ouémé se manifestent par la destruction des champs installés dans la plaine d'inondation et la vulnérabilité des cultures qui se traduit par la diminution des rendements agricoles, notamment du maïs, qui est la culture la plus pratiquée dans le delta.

Pour réduire les impacts des inondations sur leur production, les populations agricoles adoptent plusieurs stratégies. Face aux limites de ces stratégies et leur caractère individualiste, un modèle de Gestion Intégrée de Crues (GIC) basée sur une approche participative impliquant les agriculteurs et les institutions spécialisées a été proposé.

Dans les travaux futurs, la méthodologie sera axée sur l'établissement de scénarios pluvio-hydrologiques et une modélisation des relations climat-hydrologie-agriculture. Les autres implications socio-économiques de la dynamique de crues seront également analysées. Des méthodologies plus robustes de modélisation seront utilisées afin de faire une étude multicritère intégrant tous les facteurs physiques et humains qui déterminent la production agricole dans le delta. Cette étude sera conduite à travers le thème : **Extrêmes hydroclimatiques dans le cours inférieur du fleuve Ouémé : diagnostic, impact agricole et scénarios de gestion.**

Justification du sujet

Le Bénin méridionale est soumis ces dernières années à une variation climatique marquée par une forte fréquence des événements extrêmes (Ogouwalé, 2006). Ces derniers sont à l'origine des inondations et des sécheresses dans cette région du pays. En situation climatique extrême, la vulnérabilité des ressources agricoles de la région s'accroît engendrant parfois des crises alimentaires et sociales. Or, cette région du pays est marquée par une forte densité humaine et une disponibilité de terre agricole inférieure à 2 ha par agriculteur (MAEP, 2000 et Ogouwalé, 2004). C'est ce qui a motivé la conduite de plusieurs études sur la problématique de la vulnérabilité agricole du Bénin méridionale à la variation climatique de ces trois dernières décennies.

Le bassin inférieur du fleuve Ouémé étant situé dans le Bénin méridional, est soumis aux mêmes contraintes hydroclimatiques. Mais, en plus de celles-ci, le bassin est sous l'influence des variations hydroclimatiques du bassin supérieur du fleuve (Le Barbé, 1993, Donou, 2007). En effet, le bassin inférieur du fleuve Ouémé constitue un secteur d'accumulation des eaux drainées du bassin supérieur vers l'Océan Atlantique (Pélissier, 1963, Lamouroux, 1972). Par ailleurs, le régime hydrologique du bassin inférieur du fleuve Ouémé est caractérisé par une variation des échanges d'eau entre le fleuve Ouémé d'une part et la rivière Sô d'autre part. Ce qui rend plus

complexe la maîtrise du fonctionnement hydrologique du bassin (Le Barbé, 1993, Boko, 1997).

Or, le bassin fait l'objet d'une production agricole en toute saison. En effet, l'agriculture de contre saison en plus de l'agriculture pluviale est pratiquée dans le bassin du fait des apports hydriques et d'éléments fertilisants des sols par les crues. Les crues constituent un facteur important de la production agricole dans le delta en ce sens qu'elles augmentent ses potentialités agricoles par l'apport de surplus d'eau et d'éléments fertilisant des sols (Lamouroux, 1972, Houessou, 1997). Mais, avec la variation climatique dans les bassins inférieur et supérieur du fleuve et au fonctionnement hydrologique du secteur d'étude, les crues sont marquées par une irrégularité spatio-temporelle non maîtrisée (Donou, 2007). La conséquence de cette irrégularité est la destruction des cultures, les difficultés de conservation des récoltes et des déficits de productions agricoles.

Aussi, en situation de déficit hydroclimatique, il se pose des problèmes de disponibilité d'eau pour les cultures (Houndénou, 1999), surtout de contre saison. En effet, les cultures de contre saison disposent des réserves en eau du sol, après le retrait des eaux de crue et ou d'inondation de la plaine. En période de déficit, la faiblesse des apports d'eau de crue et la forte évaporation entraîne une diminution très rapide des réserves d'eau du sol. Face à tout ceci, il importe de mener une étude sur la variabilité hydroclimatique du bassin inférieur du fleuve Ouémé, d'évaluer ses impacts sur l'agriculture en vue de proposer des mesures de gestion appropriées. C'est ce qui justifie le choix du thème « **extrêmes hydroclimatiques dans le cours inférieur du fleuve Ouémé : diagnostic, impact agricole et scénarios de gestion** » pour la conduite de la présente étude qui se fonde sur les hypothèses de travail ci-après :

Hypothèse de travail

- le bassin inférieur du fleuve Ouémé est marqué par une fréquence de plus en plus accrue des événements hydroclimatiques extrêmes ;
- les événements hydroclimatiques extrêmes influent sur production agricole du bassin ;

- les populations agricoles du delta adoptent plusieurs stratégies face à la vulnérabilité de leur production agricole aux événements hydroclimatiques extrêmes ;
- il existe d'autres scénarios de gestion pour atténuer les impacts des événements hydroclimatiques extrêmes sur la production agricole du bassin.

Pour vérifier ces hypothèses, des objectifs ont été fixés.

Objectifs de recherche

L'objectif global de cette étude est d'évaluer les impacts de la fréquence des événements hydroclimatiques extrêmes sur la production agricole dans le bassin inférieur du fleuve Ouémé.

Les objectifs spécifiques de l'étude consiste à :

- analyser les scénarios d'évolution des fréquences des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin inférieur fleuve Ouémé ;
- évaluer l'impact des événements hydroclimatiques extrêmes sur la production agricole du bassin inférieur du fleuve Ouémé ;
- examiner l'efficacité des stratégies d'adaptation des populations agricoles face aux incidences des événements hydroclimatiques extrêmes ;
- proposer des scénarios de gestion pour atténuer les impacts des événements hydroclimatiques extrêmes sur la production agricole du bassin.

Pour atteindre ces objectifs, une démarche méthodologique sera adoptée.

Démarche méthodologique

La démarche méthodologique à utiliser dans le cadre cette étude sera constituée de la collecte et du traitement des données climatologiques, hydrologiques, agricoles et d'investigations socio-anthropologiques.

- la méthode de la chaîne de Markov pour l'analyse des tendances ;
- des modèles d'analyse de fréquence prenant en compte divers types de "non-stationnarité" (tendance, rupture, etc.) élaborés ;
- la notion de durée des événements, en développant entre autre des courbes QDF (Débit-Durée-Fréquence) pour le bassin, en tenant compte des modifications climatiques sera incorporée à l'analyse ;

- des méthodes statistiques d'analyse spatiale (notamment pour l'analyse d'informations multi-sources utilisant des résolutions spatiales différentes, l'interpolation-krigeage et agrégation) seront développées.
- Par ailleurs, les scénarios climatiques seront évalués par l'utilisation des prédicteurs des modèles Climatiques Général GCMs (CGCM2, HadCM3, et CGCM3), période 1961-1990, utilisés par l'IPCC 2001 seront utilisés;

Cette démarche méthodologique sera approfondie dans l'étude proprement dite.

Résultats attendus

Au terme de la conduite de la présente étude, les résultats attendus sont :

- les scénarios d'évolution des fréquences des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin inférieur fleuve Ouémé sont connus et analysés ;
- les impacts des événements hydroclimatiques extrêmes sur la production agricole du bassin inférieur du fleuve Ouémé sont évalués;
- les stratégies d'adaptation des populations agricoles face aux incidences des événements hydroclimatiques extrêmes sont identifiées et évaluées ;
- des scénarios de gestion pour atténuer les impacts des événements hydroclimatiques extrêmes sur la production agricole du bassin sont élaborés.

Bibliographie

Adjovi, C. L. (1991) : Analyse statistique des précipitations dans le bas-Bénin : étude de tendance et de persistance. Mémoire de maîtrise de Géographie, UNB/FLASH. 94p.

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

Agassounon, L. C. (2002) : Evolution pédo-sédimentaire du géosystème margino-littoral de l'Ouémé-Sô au cours de l'Holocène (Bénin- Afrique de l'ouest). Thèse de doctorat en science de la terre et de l'Environnement. URM INRA. Dijon. 417p.

Agossa, C. N. (1994) : Les crues de l'Ouémé et du Zou en pays Agonlin : impacts socio-économiques. Mémoire de maîtrise de géographie. 92p.

Agossou, G. (2001) : Influence des pratiques de maîtrise de l'eau pour l'agriculture sur certains déterminants de la sécurité alimentaire. Etude du cas de la zone de l'extrême-nord du Bénin. Mémoire de DEA, EDP. 79p.

Aldin (1981) : Le risque climatique, élément des risques encourus pour la production agricole. Agronomie et Géographie, ORSTOM. Pp 231-238.

André, J. C. (2007) : Les cyclones tropicaux et le changement climatique. Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS). 10 p.

Arlery et al (1973) : Climatologie, Méthodes et Pratiques. Gauthier-Villard, Paris-Bruxelles, Montréal. 401 p.

Auliac, G. (1995) : Probabilité et statistique. Ediscience International. Paris. 254 p.

Azontondé et Roose, (1993) : Dégradation et restauration des terres de barre (sols ferrallitiques faiblement désaturés argilo-sableux) au Bénin. Cahier ORSTOM. Pp 210-217.

Besancenot (1989) : Rythmes climatiques et rythmes de développement au Bénin. Annale de géographie. pp 117-120.

Boko, M. (1975) : La plaine côtière du Dahomey à l'Ouest de Cotonou. Thèse de Doctorat de 3ème cycle de Géographie Tropicale. Univ. de Bourgogne, Dijon. 221p.

Boko, M. (1987) : Etude sur la variabilité pluviométrique au Bénin. In climat et climatologie. Volume d'hommage offert au professeur Pierre PAGNEY, centre de Recherches de Climatologie, URA 909 du CNRS, Dijon. Pp 41-50.

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

Boko, M. (1997) : Les changements climatiques et le développement économique, social et environnemental du Bénin : Planification et développement des zones côtières Béninoises. MEHU, Cotonou. 28p.

Boko, M. (éd) (2005) : Méthodes et techniques des sciences environnementales. Université d'Abomey-Calavi, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Centre de Publications Universitaires, Cotonou. 303p.

Boko, M. et Adjovi, L. C. (1994) : Recherche de tendance dans les séries pluviométriques du Bénin : implications agroclimatiques. Publications de l'AIC, vol 7. pp 294-304.

Boko, M. et al (2003) : Gestion des risques hydro-climatiques et développement économique durable dans le bassin du Zou. UAC/DGAT/Laboratoire de Climatologie. 52p.

Bokonon-Ganta, E. B. (1987) : Les climats de la région du golfe du Bénin (Afrique occidentale). Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Paris IV Sorbonne. 248 p.

Bonell, M. (1999) : La variabilité climatique et l'évolution de hydrologie et des ressources en eau dans le cadre de la politique de gestion : une perspective du PHI de l'UNESCO. In Les ressources en eau de l'Afrique, actes d'un atelier, Nairobi, Kenya, BAHC International Project Office, Potsdam. pp 131-141.

Cazenave, A. (2008) : L'ampleur des changements climatiques, de leurs causes et de leur impact possible sur la géographie de la France à l'horizon 2005, 2050 et 2100 (Tome 1 : Rapport). 120 p.

CIRAD et GRET (2006) : Mémento de l'agronome. Ministère des Affaires Etrangères. CIRAD-GRET. Paris. Pp 780-790.

Cœur, D. et Lang, M. (2007) : Information historique et mémoire des inondations : des outils pour la prévention des risques naturels et l'aménagement du territoire. Acthys-Diffusion, Grenoble et Unité de recherche Hydrologie-Hydraulique, Cemagref, Lyon. 32 p.

- Colin, L. S. (2004)** : Changement climatique, phénomènes météorologiques extrêmes et effets sur la santé en Alberta. Université d'Alberta.3p.
- CORAF (1996)** : Gestion technique, organisation sociale et foncière de l'irrigation. Acte du séminaire-Atelier PSI-CORAF, Niamey. 408p.
- Donou, T. B. (2007)** : Dynamique pluvio-hydrologique et manifestation des crues dans le bassin du fleuve Ouémé à Bonou. Mémoire de maîtrise de géographie.UAC/FLASH. 104p.
- Dumolard, P. Dubus, N. Charleux, L. (2005)** : Les statistiques en géographie. Edition Berlin. Paris.232 p.
- Fall, B. Niang-Diop, I. (2005)** : Glossaire des termes et concepts. ENDA, Sénégal. 7p.
- Fisher, R.A. and Tippett, H.C. (1928)**: Limiting forms of the frequency distribution of the smallest and largest member of a sample. Proc. Cambridge Phil. Soc., 24. Pp 180-190.
- Frecaut, R., Pagney, P. (1983)** : Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial. Edition Masson, Paris. 240p.
- GIEC (2007)** : Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse. GIEC, Genève, Suisse. 114p.
- Houessou, F. (1997)** : Contribution à l'étude agro climatique de la basse vallée de l'Ouémé, rive gauche. Mémoire de maîtrise de Géographie. UAC/FLASH. 128p.
- Houndagba, C. J. (1990)** : Analyse d'un paysage de vallée : le cours inférieur de l'Ouémé (Bénin), in "la dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest". AUPELF. Coopération française. Pp. 239-251.
- Houndakinnou, R. (2005)** : Fréquence des événements pluvieux extrêmes et leurs impacts environnementaux dans la ville de Cotonou. Mémoire de DEA, UAC. 60p.
- Houndénou, C. (1992)** : Variabilité pluviométrique et conséquences socio-écologiques dans les plateaux du bas-Bénin (Afrique de l'Ouest). Mémoire de DEA «climats et contraintes climatiques », URA 909, CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 2 tomes, tome 1, texte, tome 2, figures et tableaux. 90p.
- Houndénou, C. (1999)** : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat de géographie. UMR 5080, CNRS «climatologie de l'Espace Tropical », Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, Dijon. 341p.

Houndénou, C., Perard, J. (2000) : Variabilité pluvieuse et mutation socio-économiques dans le sud du Bénin en Afrique de l'ouest. In L'homme et l'environnement : histoire des grandes peurs et géographie des catastrophes, Université de Bourgogne. pp 187-200.

Huet, P. (2001) : Mission d'expertise sur les crues de décembre 2000 et janvier 2001 en Bretagne. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement ; Service de l'inspection générale de l'environnement. 144p.

Hurault, J. (1963) : Rapport de mission d'étude des structures agraires dans le Sud Dahomey (février à novembre 1961) Paris, IGN. 1 vol. texte 74 p.

INRA (2002) : Gestion et usages agricoles de l'eau. Publication n° 12. 22 P.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (1994) : Guide méthodologique pour l'étude de la vulnérabilité et adaptation. Island Press. Cavali, California, 300p.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2001) : Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington. 53p.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2001) : Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington, 53p.

Jousse, G. (2004) : Le risque, cet inconnu. Edition Imestra, Paris.4 p.

Lamouroux (1972) : Etude pédologique de la vallée de l'Ouémé. Rapport ORSTOM, France. 50p.

Le Barbe, et al (1993) : Les ressources en eau superficielle de la république du Bénin. Edition ORSTOM.290p.

Le Lay, M. (2002) : Caractérisation hydrologique et simulation numérique des écoulements sur le bassin de la haute vallée de l'Ouémé (Bénin). Thèse de doctorat, option mécanique des milieux géophysiques et environnement, Université Joseph Fourier, IRD, LTHE. 265p.

Leridon, H. (2007) : Événements climatiques extrêmes et société, Leçons du passé lointain. Académie canadienne. 12p.

Lubes, H., Masson, J-M., Raous, P. et Tapiou, M. (1994) : Logiciel de calculs statistiques et analyse fréquentielle adapté à l'évaluation du risque en hydrologie. Orstom, Université de la vulnérabilité ; rapport spécial du groupe GIEC, OMM, Suisse. 16p.

- MAEP (1999)** : Déclaration de politique du développement rural. MAEP. 120p.
- Mamouda, M. A. (2007)** : Approches et Méthodologies d'Analyse et d'Evaluation de la Vulnérabilité/Adaptation aux Changements Climatiques. ENDA TM. 44p.
- MEHU/ABE (2000)** : Programme d'aménagement des zones humide, composante aménagement hydroagricole. 45 p.
- Meylan et Musy, (1999)** : Hydrologie générale : Analyse fréquentielle. Annale revue hydrologie. 19 P.
- Miquel, J. (1984)** : Guide pratique d'estimation des probabilités de crues, Collection d'EDF, Eyrolles Ed. Paris. 53p.
- Naveau (2007)**: Statistical methods for the analysis of climate extremes. Canadien academie. 4p
- Nonfon, M. (1988)** : Données préliminaires sur l'écologie et la production halieutique des à poissons de la rive gauche de la basse vallée de l'Ouémé (République Populaire du Bénin). Mémoire d'Ingénieur Agronome. Université nationale du Bénin. 152 p.
- Ogouwalé, E. (2001)** : Vulnérabilité/Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans le Département des Collines. Mémoire de maîtrise de Géographie. UAC/FLASH. 119p.
- Ogouwalé, E. (2004)** : Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. Mémoire de DEA. UAC. 79p.
- Ogouwalé, E. (2006)** : Changements climatiques dans le bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse présentée pour obtenir le Diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi, 302 p.
- Olivry, J. C. (1983)** : Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cahier ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XX, n°1. pp 47-69.
- OMM (1992)** : Vocabulaire météorologique international. 2^{ème} Edition., n° 182, 784 p.
- OMM (2002)** : Réduction de la vulnérabilité à l'égard des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes. Genève. 36 p.
- OMM (2006)** : Gestion intégrée des crues: aspects sociaux et participation des parties prenantes. APFM, politiques de gestion des crues. 106 P.

Ouédraogo, M. (2001) : Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II, France. 257 p.

Pélissier, P. (1963) : Les pays du Bas-Ouémé. Une région témoin du Dahomey méridional. Faculté des lettres et des Sciences Humaines de Dakar. Travaux du Département de Géographie. n° 10. 173p.

Perreault, L. et Bobée, B. (1992) : Loi généralisée des valeurs extrêmes. Propriétés mathématiques et statistiques. Estimation des paramètres et des quantiles XT de période de retour T. INRS-Eau, rapport de recherche n° 350, Québec.22p.

PGIB (2003) : Pluies extrêmes et crues. Programme Mondial de Recherches sur le Climat (PIGB-PMRC). Lettre n°16. 10 p.

RACF (2004) : Vulnérabilité des régions du monde aux changements climatiques. Réseau d'Action, climat France. 12 p.

Ritschard, G. (2006) : Statistique pour sciences sociales. Manuel de cours de 1er cycle, INSEE.22p.

SOGREAH/SCET (1997) : Étude de la stratégie nationale de gestion des ressources en eau du Bénin. Rapport R7, Rapport final – Synthèse. 59 p.

Totin, V. S. H. (2003) : Changements climatiques et vulnérabilité des ressources en eau sur le plateau d'Allada : approche prospective. Mémoire de maîtrise de géographie. UAC. 105p.

Totin, V. S. H. (2005) : Tendances hydroclimatiques et scénarios de gestion des ressources en eau sur les plateaux du sud-Bénin. Mémoire de DEA. UAC. 84p.

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

Winograd, M. (2006) : Concepts, cadres et méthodologies pour évaluer la vulnérabilité et les stratégies d'adaptation. Enda, CIAT. 32 p.

Wesselink A. J., et al. (1995) : Les régimes hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin versant de type tropical humide : l'Oubangui (République Centrafricaine). In «L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement ». IAHS Publ, n° 238, pp 179-194.

Sites Internet consultés:

<http://www.ipcc.ch/pub/syrgloss.pdf>, consulté le 25 juin 2008 à 11 heures GMT
<http://www.canalacademie.com/Evenements-climatiques-extremes-et,2011.html>,
consulté le 12 septembre 2008 à 8 heures GMT et le 15 avril 2008 à 1 heures GMT
<http://www.Wikipédia.htm>, consulté le 25 juin 2008 à 11 heures GMT
<http://www.heartland.org>, consulté le 25 juin 2008 à 11 heures GMT
<http://www.u-bourgogne.fr/climatologie/index.html>, consulté le 04 août 2008 à 22
heures GMT
<http://www.ipcc.ch>, consulté le 22 juillet 2008 à 03 heures GMT
<http://www.persee.fr>, consulté le 10 août, à 18 heures GMT

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du delta du fleuve Ouémé	12
Figure 2 : Réseau des stations météorologiques et hydrologiques utilisées	22
Figure 3 : Principales étapes de l'analyse fréquentielle	23
Figure 4 : Fréquence des événements pluvieux extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé	32
Figure 5 : Fréquence des débits maximaux à Bonou	33
Figure 6 : Evolution des hauteurs maximales journalières de pluie sur la série 1951-2005	35
Figure 7 : Morphologie du delta du fleuve Ouémé	38
Figure 8 : Schéma du profil en travers de la rive Est de la basse vallée de l'Ouémé	39
Figure 9 : Coupe transversale schématique Est-Ouest du plateau au chenal principal de la Sô ou de l'Ouémé représentant la répartition globale des sols	40
Figure 10 : Réseau hydrographique du delta du fleuve Ouémé	42
Figure 11 : Régime hydrologique de l'Ouémé à Bonou	43
Figure 12 : Régime pluvio-hydrologique et calendrier agricole traditionnel du delta du fleuve Ouémé	45
Figure 13 : Régime des pluies maximales et période de développement des principales cultures dans le delta du fleuve Ouémé	47
Figure 14 : Régime des crues et période de développement des principales cultures dans le delta du fleuve Ouémé	48
Figure 15 : Vulnérabilité spatiale des localités du delta du fleuve Ouémé aux inondations	50
Figure 16 : Corrélation entre les précipitations maximales et les rendements agricoles dans le delta de l'Ouémé	51
Figure 17 : Estimation des pertes de production par culture dans le delta du fleuve Ouémé en 2008	54
Figure 18 : Modèle de Gestion Intégrée des Crues préconisée pour la réduction de la vulnérabilité agricole du delta du fleuve Ouémé aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes	60

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques de l'échantillon	20
Tableau II : Stations météorologiques choisies	21
Tableau III : Conditions physiologiques optimales des cultures choisies	28
Tableau IV : Résultats des corrélations de rangs de Kendall et de Spearman des séries pluviométriques	36
Tableau V : Hauteur des bourrelets dans certaines localités en descendant du nord au sud dans le delta du fleuve Ouémé	40
Tableau VI : Superficies (ha) des principales cultures inondées dans le delta du fleuve Ouémé	53
Tableau VII : Estimation des pertes de revenus agricoles	55

Liste des photos

Photo 1 : Points de résurgence d'eau souterraine dans les localités de Affamè (1) et de Lokossa (2)	38
Photo 2 : Culture de maïs sur les berges de fleuve Ouémé à Kessounou	44
Photo 3 : Modèles de grenier de conservation des récoltes dans le delta du fleuve Ouémé	49
Photo 4 : Inondation d'un champ de maïs à Dannou (1) et de manioc à Gogbo (2)	53
Photo 5 : Séance d'ouverture de drain à Gogbo	58
Photo 6 : Drainage de l'eau d'un champ de maïs inondé à Dannou	58

Annexes

Outils de collecte des données

Questionnaire

Ce questionnaire est établi dans le cadre des travaux de recherche sur l'identification des impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole dans le delta de l'Ouémé. Il a pour but d'appréhender la perception des populations du delta sur les événements pluvio-hydrologiques extrêmes et leurs impacts sur l'agriculture. Il vise également à déterminer les stratégies d'adaptation endogènes de l'agriculture dans des situations d'extrême pluvio-hydrologiques.

Groupes cibles : Ménages, agriculteurs

A- Perception sur l'évolution des événements pluvio-hydrologiques extrêmes

A0- Comment évoluent les pluies dans votre localité ?

A la hausse	A la baisse

A1- Qu'est ce qui peut expliquer selon vous, cette évolution des pluies ?

--

A2- Quelle est habituellement l'évolution des pluies d'une saison à un autre dans votre localité ?

Période	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Début saison des pluies												
Fortes pluies												
Fin saison des pluies												
Début saison sèche												
Fin sèche												

A3- Cette variation a-t-elle connue des modifications ?

Oui	Non

Si oui, depuis quelle période ou année ?

--

Comment expliquez-vous ces modifications ?

--

A4-Comment démarrent les pluies depuis les trois dernières décennies ?

Précocement	tardivement	Normalement

A5- Quels sont habituellement les mois qui recensent les hauteurs de pluies les plus élevées dans l'année ?

Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov	Déc

A6- Ces mois sont-ils les mêmes aujourd'hui à recenser les hauteurs pluies les plus élevées ?

Oui	Non
Expliquez	Pourquoi ?

A7- Quelles est votre perception sur les excès pluviométriques ?

Terminologie	
Manifestations	
Années ou repères	

A8- Comment évoluent les écoulements dans le lit du fleuve au niveau de votre localité ?

A la hausse	A la baisse

A9- Qu'est ce qui peut expliquer selon vous, cette évolution des écoulements du fleuve ?

--

A10- Quelle est la variation inter mensuelle des écoulements dans lit du fleuve au niveau de votre localité ?

Période	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Début hautes eaux												
Crue												
Fin hautes eaux												
Début basses eaux												
Etiage												
Fin basses eaux												

A11- Cette variation a-t-elle connue des modifications ?

Oui	Non

Si oui, depuis quelle période ou année ?

--

Comment expliquez-vous ces modifications ?

--

A12- Quelles est votre perception sur les crues et inondations extrêmes ?

Terminologie	
Manifestations	
Années ou repères	

B- Impacts des pluies extrêmes et des inondations sur la production agricole

B0- Quelles sont les principales cultures pratiquées dans votre localité ?

Manioc	Niébé	Patate douce	Tomate	Mais	Riz	Gombo	Arachide	Autres (à préciser)

B1- De ces cultures, lesquelles sont plus vulnérables aux l'inondations dues aux eaux du fleuve ?

--

B2- Quelles sont les systèmes de culture utilisés dans la localité ?

Techniques	Semi échelonné	Rotation	Culture sur brûlis	Jachère	Culture de décrue et contre saison	Autres (à préciser)
Oui/Non						

B3- Quelles sont les activités pratiquées au cours des saisons agricoles traditionnelles ?

Activités	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Défrichement												
Labour												
Semi												
Désherbage												
Récolte												

B4- Ces saisons agricoles se déroulent-elles de la même façon qu'auparavant ?

Oui	
Non	

Si non, pourquoi et donnez le nouveau calendrier agricole

Activités	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jul	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Défrichement												
Labour												
Semi												
Désherbage												
Récolte												

B5- Quels sont les impacts des inondations dues aux crues du fleuve sur la production agricole de la localité ?

Impacts	Destruction des	Dégradation des	Baisse de	Autres (à
---------	-----------------	-----------------	-----------	-----------

	cultures	sols	rendement	préciser)
Oui/Non				

B6- Quelles sont en moyenne les superficies de votre champ envahies par les eaux d'inondation chaque année ?

Superficie	0,5 ha	1 ha	1,5 ha	2 ha	+ 2 ha
Oui/Non					

B6- Comment évoluent les rendements agricoles ces trois dernières décennies ?

Evolution des rendements	A la baisse	A la hausse	Stagnation
Oui/Non			

C- Stratégies d'adaptation des paysans à la vulnérabilité de la production agricole aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes

C0- Quelles sont mesures que vous développez en cas d'inondation des champs ?

Mesures/stratégies	Description	Contraintes liées à sa mise en oeuvre

C1- Quelles sont les mesures apportées par les autorités administratives en cas d'inondation des champs ?

Mesures	Description	Contraintes liées à sa mise en oeuvre

C3- Selon vous, quelles mesures peut on prendre pour limiter les dégâts dans les champs si les inondations venaient à se répéter ?

Mesures	Moyens et méthodes de mise en oeuvre

C4- Commentaire libre sur les conséquences de la fréquence des événements pluvio-hydrologique extrêmes pour l'agriculture

Nom et prénoms :

Groupe socioculturel :

Localité :

Ancienneté dans la localité :

Tables des matières

	Pages
Sommaire	
Sigles et acronymes	3
Avant propos	4
Résumé	6
Abstract	6
Introduction	7
	9

CHAPITRE I

ETAT DES CONNAISSANCES, PROBLEMATIQUE ET CLARIFICATION DES CONCEPTS

1.1- Problématique	9
1.1.1- Justification du sujet	9
1.1.2- Hypothèses de travail	11
1.1.3- Objectifs de recherche	11
1.1.4- Justification du choix du secteur d'étude	11
1.2- Etat des connaissances	13
1.3- Clarification des concepts utilisés	15
	18

CHAPITRE II

DEMARCHE D'ANALYSE DES EVENEMENTS PLUVIO- HYDROLOGIQUES EXTREMES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE AGRICOLE

2.1- Données utilisées	18
2.2- Collecte des données	19
2.3- Détermination des événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé	21
2.3.1- Stations météorologiques et hydrométriques choisies	21
2.3.2- Détermination de la fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes	22
2.3.2.1- Analyse fréquentielle	23
2.3.2.2- Définition et but de l'analyse	23
2.3.2.3- Constitution de la série des hauteurs maximales annuelles de pluie et de débits maximaux	24
2.3.2.4- Contrôle de la série des valeurs	24
2.3.2.5- Choix du modèle fréquentiel	24
2.3.2.6- Ajustement du modèle fréquentiel	25
2.3.3- Analyse de la tendance des événements pluvio-hydrologiques extrêmes	25
2.4- Démarche d'évaluation de la vulnérabilité agricole et des stratégies d'adaptation endogènes	27
2.4.1- Choix des cultures	28
2.4.2- Evaluation de la vulnérabilité agricole	28
2.5- Outils de traitement et d'analyse des données	29
	31

CHAPITRE III
VARIABILITE DES EVENEMENTS PLUVIO-HYDROLOGIQUES
EXTREMES DANS LE DELTA DU FLEUVE OUEME

3.1- Fréquence des événements pluvio-hydrologiques extrêmes dans le delta du fleuve Ouémé	31
3.1.1- Fréquence des événements pluvieux extrêmes	31
3.1.2- Fréquence des débits maximaux dans le delta du fleuve Ouémé	33
3.2-Tendance des événements pluvieux extrêmes	34
3.3- Facteurs explicatifs de la fréquence et de l'ampleur des événements pluvio-hydrologiques extrêmes	37
3.3.1- Facteurs naturels	37
3.3.1.1- Variation climatique générale	37
3.3.1.2- Facteurs géologique et hydro-géologiques	37
3.3.1.3- Facteurs géomorphologiques	38
3.3.1.4- Sols et événements pluvio-hydrologiques extrêmes	40
3.3.2- Hydrographie et régime hydrologique du delta du fleuve Ouémé	42
3.3.3- Facteurs socio-économiques amplificateurs des inondations	43
	45

CHAPITRE IV
VULNERABILITE DE LA PRODUCTION AGRICOLE DU DELTA
DU FLEUVE OUEME AUX EVENEMENTS PLUVIO-
HYDROLOGIQUES EXTREMES

4.1- Principaux facteurs de la vulnérabilité des cultures aux événements pluvio-hydrologiques extrêmes	45
4.1.1- Vulnérabilité des cultures aux précipitations extrêmes	46
4.1.2- Vulnérabilité des cultures aux crues	48
4.1.3- Vulnérabilité des récoltes	49
4.1.4- Vulnérabilité spatiale des cultures dans le delta du fleuve Ouémé	50
4.1.5- Relation linéaire entre les rendements et les événements pluvieux extrêmes	51
4.2- Impacts des événements pluvio-hydrologiques extrêmes sur la production agricole	52
4.3 - Impacts socio-économiques	54
4.3.1 – Baisse des revenus agricoles	54
4.3.2 - Augmentation des prix des produits agricoles et risques économiques	55

CHAPITRE V
STRATEGIES D'ADAPTATION ENDOGENES ET MESURES
PRECONISEES

5.1- Stratégies endogènes proactives	56
5.2- Stratégies endogènes réactives	57
5.2.1- Mise en œuvre de projets de développement agricoles	57

5.2.2- Adoption des variétés à cycle court	57
5.2.3- Pratique du drainage	58
5.3- Mesures préconisées	59
5.3.1- Composantes du modèle de Gestion Intégrée des Crues (GIC)	59
5.3.2- Objectifs du GIC	61
5.3.3- Méthode de planification participative	61
5.3.4- Actions préventives du GIC	61
5.3.5- Actions réactives du GIC	63
Conclusion et perspectives pour les travaux futurs	65
Bibliographie	70
Liste des figures	76
Liste des tableaux	77
Liste des photos	77
Annexes	78
Tables des matières	82