HAL
open science

REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN : TRAJECTOIRE ET VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS

G. Aristide Kouton

To cite this version:

G. Aristide Kouton. REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN : TRAJECTOIRE ET VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS. Sciences de l'environnement. Université d'Abomey-Calavi, 2022. Français. NNT : . tel-03854304

HAL Id: tel-03854304

https://theses.hal.science/tel-03854304

Submitted on 15 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE '' ESPACE, CULTURES ET DEVELOPPEMENT ''

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Formation doctorale : Géographie et Gestion de l'Environnement

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

Spécialité : Dynamique des systèmes climatiques

N° d'enregistrement : 1000 - 2022/UAC/EDP-ECD

REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN : TRAJECTOIRE ET VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS

Présentée par :

Aristide Gbènagnon KOUTON

Sous la Direction de :

M. Euloge OGOUWALE
Professeur Titulaire (DGAT/FASHS/UAC)

Soutenue publiquement le 14 - 10 - 2022 devant le Jury international composé de :

Président	:	Expédit Wilfrid VISSIN	Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Rapporteur	:	Euloge OGOUWALE	Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)
Examinateur	:	Isidore P. YANOGO	Maître de Conférences, Université Norbert ZONGO (Burkina-Faso)
Examinateur	:	Pulchérie S. TAPE	Maître de Conférences, Université de Korhogo (Côte-d'Ivoire)
Examinateur	:	Maman-Sani ISSA	Maître de Conférences, Université d'Abomey-Calavi (Bénin)

Mention : Très Honorable avec les Félicitations du Jury

Sommaire

Dédicace 4
Sigle, abréviations et acronymes 5
Avant-propos 7
Résumé.....11
Abstract.....12
Introduction.....13

PREMIERE PARTIE

CADRES THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE 18

CHAPITRE I

ETAT DES CONNAISSANCES, CLARIFICATION DES CONCEPTS ET PROBLEMATIQUE 19

1.1. Etat des connaissances..... 19
1.2. Problématique 28
1.3. Clarification de concepts 33

CHAPITRE II

APPROCHE METHODOLOGIQUE D'ANALYSE DES PLUIES EXTREMES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS 44

2.1. Nature et sources des données utilisées..... 44
2.2. Collecte des données..... 48
2.3. Traitement des données et analyse des résultats 53
Conclusion partielle..... 74

DEUXIEME PARTIE

FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES ET MANIFESTATIONS DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA.....75

CHAPITRE III

FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES DE LA VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS AUX PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN 76

3.1. Situation géographique du département de l'Atacora..... 76
3.2. Facteurs explicatifs de la fréquence des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin..... 78
Conclusion partielle..... 106

CHAPITRE IV

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN 107

4.1. Tendances des pluies extrêmes liées à la variabilité interannuelle des précipitations.....107
4.2. Analyse de l'occurrence des précipitations maximales..... 117
4.3. Caractérisation des pluies extrêmes 122
4.4. Répartition spatiale des précipitations intenses et extrêmes dans le secteur d'étude 124
4.5. Discussion 128

Conclusion partielle.....130

TROISIEME PARTIE

VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS ET PERSPECTIVES DE RESILIENCE DES COMMUNAUTES.....131

CHAPITRE V

VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS AUX PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN 132

5.1. Risques pluviométriques dans le département de l'Atacora 132

5.2. Vulnérabilité des établissements humains du département de l'Atacora aux risques pluviométriques 134

5.3. Impacts observés des pluies extrêmes dans l'Atacora 137

5.4. Vulnérabilité des principales cultures dans le département de l'Atacora face aux pluies extrêmes 142

5.5. Discussion 144

Conclusion partielle.....146

CHAPITRE VI

STRATEGIES ADAPTATIVES DES POPULATIONS DU DEPARTEMENT DE L'ATACORA FACE AUX EFFETS NEFASTES DES PLUIES EXTREMES 147

6.1. Perception communautaire des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora 147

6.2. Adaptation communautaire dans le département 152

6.3. Limites des mesures développées pour la réduction de la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes 166

6.4. Accompagnements institutionnels et règlementaires.....169

6.5. Suggestions 173

6.6. Besoins d'adaptation ressentis par les populations mais non satisfaits faute de ressources.....175

6.7. Discussion 181

Limites de la recherche 182

Conclusion.....183

Bibliographie.....185

Liste des encadrés.....199

Liste des figures.....199

Liste des photos.....200

Liste des planches 200

Liste des tableaux.....201

Liste des publications.....202

Annexes 203

Table des matières 247

Dédicace

A mon épouse Amen HONFO, mes enfants Arismen Gigonou, Sidonan Méirah et Mahouna Anaëlle KOUTON, afin qu'ils trouvent en elle ma reconnaissance pour leur amour, leur abnégation et pour tous leurs sacrifices.

Sigle, abréviations et acronymes

AFD	:	Agence Française de Développement
AGVSA	:	Analyse Globale de Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire
AGVSAN	:	Analyse Globale de la Vulnérabilité, de la Sécurité Alimentaire et de la Nutrition
APVACC	:	Analyse Participative de la Vulnérabilité et de l'Adaptation aux Changements Climatiques
ASECNA	:	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar
ATDA	:	Agence Territoriale de Développement Agricole
Bm	:	Banque mondiale
CARDER	:	Centre d'Action Régional du Développement Rural
CENATEL	:	Centre National de Télédétection et de Surveillance du Couvert Végétal
CeRPA	:	Centre Régional pour la Promotion Agricole
CIFRED	:	Centre Inter facultaire de Formation et Recherche Environnementale pour le Développement
CIRAD	:	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CCNUCC	:	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CRDI	:	Centre de Recherches pour le Développement International
DGAT	:	Département de Géographie et Aménagement du Territoire
DGCC	:	Direction Générale des changements climatiques
DMN	:	Direction de la Météorologie Nationale
EDP	:	Ecole Doctorale Pluridisciplinaire
FAO	:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FASHS	:	Faculté des Sciences Humaines et Sociales
FLASH	:	Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines

GES	:	Gaz à Effet de Serre
GIEC	:	Groupe Intergouvernemental des Experts sur l'Evolution du Climat
INRA	:	Institut National de la Recherche Agronomique
INRAB	:	Institut National des Recherches Agricoles du Bénin
INStaD	:	Institut National de la Statistique et de la Démographie
INSAE	:	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
IPCC	:	Intergovernmental Panel on Climate Change
LACEEDE	:	Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement
LSSEE	:	Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement
MAEP	:	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
OBEMINES		Office Béninois des Mines
OMM	:	Organisation Météorologique Mondiale
ORSTOM	:	Office de Recherche Scientifique d'Outre-Mer
PANA	:	Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques
PAVICC	:	Projet d'Adaptation des Villes aux Changements Climatiques
PGRN	:	Projet de Gestion des Ressources Naturelles
PLACC	:	Plan Local d'Adaptation aux Changements Climatiques
PIP	:	Programme d'Investissement Public
PNUD	:	Programme des Nations-Unies pour le Développement
RGPH	:	Recensement Général de la Population et de l'Habitation
SATEC	:	Société d'Aide Technique et de Coopération
SRES	:	Special Report on Emission Scenarios
UCP	:	Union Communale des Producteurs
UDP	:	Union Départementale des Producteurs
UICN	:	Union Mondiale pour la Nature

Avant-propos

La géographie se distingue par son objet qui est l'étude de l'espace terrestre et son organisation. S'intéressant à cet espace et à son organisation dans ses composantes culturelles et naturelles (Gumuchian et Marois, 2000), elle ne peut que s'intéresser aux risques naturels. Ces derniers sont des phénomènes fortement spatialisés. La prévisibilité temporelle (la date, le moment, l'heure) est quasi impossible à réaliser avec précision, en revanche la prévisibilité spatiale, c'est à dire le lieu, peut-être plus facile à établir (Lambert, 1995 ; Manche, 2000).

En Afrique de l'Ouest, la diminution brutale de la pluviométrie depuis les années 1970 s'est produite en concomitance avec une augmentation des dommages liés aux inondations. Si une accentuation de la vulnérabilité des populations est indéniable, la question d'une évolution de l'aléa pluviométrique en particulier des pluies les plus intenses reste posée, notamment dans un contexte où le réchauffement climatique devrait s'accompagner d'une intensification du cycle hydrologique globale.

La présente recherche, intitulée " **Répartition spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin : trajectoire et vulnérabilité des établissements humains** " est développée pour l'obtention du diplôme de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi. Elle se veut être une contribution à la recherche des solutions pour la réduction de la vulnérabilité des populations aux effets néfastes des pluies extrêmes sans cesse croissantes dans le département de l'Atacora au Bénin.

La présente thèse ne serait une réalité nu été les contributions scientifiques, physiques et morales dont plusieurs personnes ont fait preuve à mon égard.

Je tiens à remercier en premier lieu le Professeur Euloge OGOUWALE qui a accepté de diriger ma thèse et qui m'a appris d'autres approches et méthodes de la climatologie qui, malgré un aspect quelquefois rébarbatif, est une science très passionnante. Professeur, soyez également remercié de m'avoir suivi et dirigé depuis ma deuxième année de Géographie. Grâce à vous, j'ai eu le courage de transcender plusieurs obstacles de la vie et surtout de m'inscrire en cycle doctoral. C'est en vous que j'ai trouvé le goût à la science et au monde professionnel. Professeur, je ne vous remercierai jamais assez. Soyez-en bénis.

Je remercie le Professeur Ibouraïma YABI, qui m'a toujours soutenu dans le cadre de mes travaux scientifiques et qui, sans nul doute, a été la personne la plus compréhensible et la plus fairplay qu'il m'a été donné de rencontrer dans le monde scientifique. Professeur, vous êtes un idéal à recommander aux êtres humains. Merci !

Je dis un merci particulier au Professeur Michel BOKO, Ex-Directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH, pour ses qualités scientifiques très exceptionnelles et son esprit de promotion des jeunes. Qu'il en soit béni.

Toute ma reconnaissance au Professeur Sègbè Christophe HOUSSOU, ancien Directeur du Laboratoire Pierre PAGNEY « Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) pour son sens élevé de promotion des jeunes. Professeur, vous êtes un exemple à suivre.

Je dis également un merci particulier au Professeur Placide CLEDJO, actuel Directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, Espaces, Cultures et Développement, pour ses qualités scientifiques et ses encouragements quotidiens. Merci Professeur.

J'exprime toute ma gratitude au Dr Maman-Sani ISSA, Maître de Conférences des Universités du CAMES, pour ses conseils avisés, qui ont engendré en ma personne un dynamisme scientifique, professionnel et des bouillonnements d'idées particulièrement fertiles.

Tous mes remerciements vont ensuite au personnel de la Météorologie Nationale du Bénin, ainsi que celui des postes pluviométriques du Département de l'Atacora au Bénin, pour avoir mis les données climatologiques à ma disposition.

Je remercie les Professeurs Pulchérie S. TAPE, Isidore P. YANOGO et Maman-Sani ISSA, d'avoir accepté de rapporter sur le mémoire : leurs conseils et suggestions ont permis d'améliorer le rendu final.

Je remercie les membres du jury de soutenance de ma thèse pour le temps consacré à l'évaluation de ce travail.

Toute ma gratitude va aussi aux Enseignants du Département de Géographie et Aménagement du Territoire de l'Université d'Abomey-Calavi, notamment Messieurs Constant HOUNDENOU, Expédit W. VISSIN, Brice A. TENTE, Moussa GIBIGAYE, Toussaint VIGNINOU, Thierry AZONHE, Henri TOTIN, Ernest AMOUSSOU, Cyr Gervais ETENE, Auguste HOUINSOU et Mesdames Odile V. DOSSOU-GUEDEGBE et Léocadie ODOULAMI. Daignez retrouver ici la marque de ma profonde gratitude et de ma sincère reconnaissance.

Je ne saurais oublier les membres du Laboratoire Pierre PAGNEY « Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) pour leurs conseils et soutien moral.

Une mention particulière aux Docteurs Barnabé J. HOUNKANRIN, Hervé D. KOUMASSI, Waïdi SEYDOU, Romaric OGOUWALE et Blaise T. DONOU qui m'ont soutenu depuis toujours : trouvez dans ce travail l'expression de ma reconnaissance pour votre sens de la famille et de l'amitié et merci surtout pour vos rigueurs et vos soutiens durant l'acheminement de cette thèse.

Merci très sincère à Monsieur Marcellin ASSOGBA et son collaborateur Bidewa EDJADE pour les longues journées de travaux de cartographie.

Dans mes remerciements, je ne saurais oublier mes amis et ainés scientifiques, les Docteurs Louis D. AHOMADIKPOHOU, Imorou F. OUOROU BARRE, Gabin TCHAOU, Florence GBESSO, Akibou A. AKINDELE, Philippe A. CHABI, pour leur soutien multiforme auquel j'ai toujours été très sensible.

J'adresse mes remerciements à mes amis Etienne AKAKPO, Maximenne AMONTCHA, Joseph F. DJEVI, Moussibaou TASSOU, Mathieu LANOKOU, Boris HONFO, Constantin GANDJI, Félix ZOUNDJE, Mindri IDANI, pour leurs appuis et contributions.

Merci à toi, Amen HONFO, pour avoir été là, encore et toujours, et pour avoir supporté stoïquement tous les aléas de cette thèse… et aussi à Estelle HONFO, Arismen, Méirah et Anaëlle KOUTON, afin que cette thèse soit pour eux un exemple à surpasser.

A tous les membres de ma famille : mon père Gratien Laly Adomavo KOUTON, ma feue mère Emilienne HOUNKPATIN, mes frères et sœurs, mes oncles Gilbert, Sèmliko et François KOUTON, je dis merci pour les soutiens de tout genre. Dr Barnabé J. HOUNKANRIN, ceci est le fruit de tes nombreux encouragements et coups de pouce fraternels au travail bien fait. Merci infiniment.

Enfin, que tous mes cousins, cousines, amis et parents que je ne peux remercier nommément, ainsi que ceux que ma mémoire a pu ingratement oublier, trouvent ici l’expression de ma profonde gratitude.

Merci infiniment à tous pour avoir contribué à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

L'augmentation de la fréquence et de l'ampleur des extrêmes climatiques font partie des manifestations des changements climatiques en cours dans les régions du monde. La planification des actions d'adaptation suppose une bonne connaissance des effets de ces extrêmes sur les plans écologiques et socioéconomiques. La présente thèse se propose d'étudier la vulnérabilité des établissements humains à la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora.

Les hauteurs de pluies journalières utilisées sont celles des stations de Natitingou, Boukoumbé, Kouandé, Kérou, Porga et Tanguiéta sur la période 1960-2015. A cela, s'ajoutent les informations relatives aux connaissances communautaires. Le traitement de ces données a été fait avec le logiciel KhronoStat 1.01 et les tests de corrélation sur rang de Spearman et de Kendall réalisés grâce au logiciel IBM SPSS Statistics 21 pour caractériser la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin. Les méthodes d'analyse fréquentielle font appel à diverses techniques statistiques et constituent une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Les scénarii RCP 4.5 et 8.5 ont été utilisées pour apprécier l'évolution des pluies extrêmes à l'horizon 2050. La méthode d'analyse de la vulnérabilité des établissements humains a été conduite grâce à la matrice des risques climatiques. Les investigations socio-anthropologiques ont permis de déterminer les stratégies d'adaptation des populations pour accroître leur résilience aux effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

Les pluies extrêmes sont caractérisées par une évolution contrastée entre les différentes stations du département de l'Atacora. L'étude comparée des données entre les sous-périodes 1960-1969, 1970-1990 et 1991-2015 montre globalement que la tendance pluviométrique est à la baisse de 08,42 % dans la deuxième sous-période (baisse par rapport à la première sous-période) et de 06,67 % dans la dernière sous-période (baisse par rapport à la première sous-période) qui annonce une reprise pluviométrique. La variabilité interannuelle des indices de précipitations intenses et extrêmes est respectivement caractérisée par les variables R95 et R99 sur la période d'analyse. La fréquence des précipitations intenses est de l'ordre de quatre (04) jours/an en moyenne au niveau de tous les postes pluviométriques tandis que celles des pluies extrêmes est de l'ordre de dix-huit (18) jours/an en moyenne. Le poids des pluies importantes (R95p, R99p) est de plus en plus important ces dernières décennies qu'auparavant. Les proportions sont respectivement de l'ordre de 60 % et 20 % en moyenne dans le secteur d'étude.

Les établissements humains (habitations, voirie, champs et écoles) ciblés par les présents travaux de recherche sont très vulnérables dans le secteur d'étude. Les situations pluviométriques préjudiciables à la production agricole, à la voirie, aux écoles et aux habitations ont des impacts sur les populations. Elles entrainent une augmentation du stress hydrique au niveau des plantes et ont pour conséquences, une baisse des rendements des principales cultures (maïs, niébé, sorgho, mil, …). Ceci engendre d'énormes manques à gagner pour les paysans impliqués dans la production agricole. Face à ces situations, les populations ont développé des stratégies d'adaptation pour réduire leur vulnérabilité aux pluies extrêmes. Il s'agit, entre autres, de l'augmentation des emblavures (46 %), des cultures en billon (57 %), l'utilisation des variétés à cycle court pour le maïs (78 %), renforcement des murs des habitats et la canalisation de l'eau sur les voies. Pour renforcer ces stratégies d'adaptation, l'utilisation de *Mucuna ou Aeschinomenae* comme plantes de couverture, la culture des plantes tolérantes aux pluies extrêmes, la valorisation des bas-fonds et la diversification des sources de revenu sont proposées pour réduire la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes.

Mots clés : Département de l'Atacora au Bénin, pluies extrêmes, vulnérabilité, établissements humains, répartition spatio-temporelle

Abstract

The increase in frequency and the magnitude of climate extremes are part of the manifestations of climate change taking place in the regions of the world. Planning adaptation actions requires a good knowledge of the effects of these extremes on the ecological and socioeconomic levels. This thesis aims to study the vulnerability of human settlements to the spatio-temporal dynamics of extreme rainfall in the department of Atacora.

The daily rainfall amounts used are those of the Natitingou, Boukoumbé, Kouandé, Kérou, Porga and Tanguiéta stations over the period 1960-2015. Added to this is information about community knowledge. The processing of these data was done with the KhronoStat 1.01 software and the rank correlation tests of Spearman and Kendall carried out by the IBM SPSS Statistics 21 software to characterize the spatio-temporal dynamics of extreme rainfall in the department of Atacora. in Benin. The RCP 4.5 and 8.5 scenarios were used to assess the evolution of extreme rainfall by 2050. The vulnerability method of human settlements was used to the climate risk matrix. Socio-anthropological investigations have made it possible to determine the adaptation strategies of populations to increase their resilience to the harmful effects of extreme rains in the Atacora department in Benin.

Extreme rains are characterized by a contrasting evolution between the different stations of the Atacora department. The comparative study of the data between the 1960-1969, 1970-1990 and 1991-2015 sub-periods shows overall that the rainfall trend is down by 08,42 % in the second sub-period (down compared to the first sub-period) and 06,67 % in the last sub-period (decrease compared to the first sub-period) which announces a rainfall recovery. The interannual variability of the intense and extreme precipitation indices respectively characterized by the variables R95 and R99 over the period of analysis. The frequency of intense rainfall is around four (04) days/year on average at all rainfall stations, while those of extreme rainfall is around eighteen (18) days/year on average. The weight of heavy rains (R95p, R99p) has been more and more important in recent decades than before. The proportions are respectively around 60 % and 20 % on average in the study area.

Human settlements (dwellings, roads, fields and schools) targeted by this research work are very vulnerable in the study area. These rainfall situations, which are detrimental to agricultural production, roads, schools and habitations, have impacts on populations. They lead to an increase in water stress in plants and result in a drop in the yields of the main crops (maize, cowpea, sorghum millet, etc.). This leads to huge shortfalls for farmers involved in agricultural production. Faced with these situations, populations have developed adaptation strategies to reduce their vulnerability to extreme rainfall. These include, among other things, the increase in sowing (46 %), ridge cultivation (57 %), the use of short-cycle varieties for maize (78 %), reinforcement of the walls of habitats and the channeling of water on the tracks. To strengthen these adaptation strategies, the use of *Mucuna* or *Aeschinomenae* as cover crops, the cultivation of plants tolerant to extreme rains, the enhancement of lowlands and the diversification of sources of income are proposed to reduce the vulnerability of settlements. humans to extreme rains.

Keywords: Department of Atacora in Benin, extreme rains, vulnerability, human settlements, spatio-temporal distribution

Introduction

L'adaptation aux changements climatiques dans les établissements humains est un enjeu essentiel si l'on veut conserver toutes ses chances au développement humain et permettre à une population mondiale croissante de s'épanouir là où elle vit (FCCC/SBSTA, 2018).

Le monde entier observe actuellement des modifications importantes des paramètres climatiques dont les plus perceptibles concernent les températures, à travers le réchauffement global et les manifestations de canicule et les précipitations, dont la variabilité se traduit par l'augmentation de phénomènes météorologiques extrêmes, tels la sécheresse, les fortes précipitations entraînant parfois des inondations, des destructions de maisons, etc. Ces derniers impacts, observés annuellement à travers le monde, n'épargnent pas les populations pauvres de l'Afrique occidentale en général et du Sénégal en particulier, qui ne sont pas suffisamment outillées pour y faire face. D'autres impacts, comme l'avancée de la mer et le relèvement de son niveau, l'érosion côtière et des sols, la perte de terres arables et de pâturages, la salinisation de l'eau ou son insuffisance pour les activités humaines, la migration de populations vers des zones plus favorables, etc., sont tout aussi redoutables. Ainsi, les modifications climatiques, appelées changements climatiques, réchauffement climatique ou encore dérèglement climatique, constituent à la fois une préoccupation et un défi majeur pour l'humanité. Elles sont devenues un enjeu de développement car elles « impactent » énormément l'activité humaine et méritent une approche à la fois globale et locale, aussi bien pour la connaissance des mécanismes que pour les stratégies à mettre en œuvre pour atténuer les effets et protéger les populations (Sagna *et al.,* 2015).

Les changements climatiques constituent la plus grande menace du XXIe siècle (GIEC, 2013). En effet, toute la communauté scientifique internationale est désormais consensuelle sur la réalité des changements climatiques en l'occurrence l'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre et des événements extrêmes qui présentent d'importantes conséquences (GIEC, 2019). Les manifestations climatiques récentes de grande ampleur témoignent de cette situation climatique. Parmi ces manifestations, figurent la sécheresse et les inondations qui

ont touché des grandes zones de la planète, notamment les pays de l'Afrique de l'Ouest (Kouton, 2014).

La gamme de variabilité climatique, allant de l'échelle intra-saisonnière (supérieure à 10 jours) aux échelles décennales et pluri-décennale, impacte les écosystèmes et les activités humaines, particulièrement sur le continent africain où la dépendance des sociétés aux aléas naturels, en premier lieu pluviométriques, est la plus forte (Fontaine *et al.,* 2012). Cette situation de vulnérabilité s'illustre par le fait que depuis les années 1970, les variations inter-annuelles du climat ont contribué aux plus grandes famines ayant nécessité un recours à l'aide alimentaire internationale (Dilley *et al.,* 2005). A cette variation du climat, s'ajoutent les impacts annoncés des changements climatiques.

Depuis le sommet de Rio en 1992, à travers la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), les décideurs du monde entier ont été sensibilisés sur les dangers que représentait l'augmentation des gaz à effet de serre, en particulier le gaz carbonique (CO_2) dans l'atmosphère de notre planète. Des études et des travaux ont été menés dans le cadre ou non de cette convention pour soit évaluer la concentration de ces gaz soit tenter de réaliser des scénarios futurs à partir d'une « baseline » ou d'une ligne de référence 1960-1990. Les études sur la vulnérabilité des secteurs socio-économiques face aux effets néfastes du changement climatique (ECC) ont montré une relation forte entre cette vulnérabilité naturelle et ces effets du ECC en Afrique de l'Ouest (Bouka Biona et Mpounza, 2010). En effet, depuis toujours, cette région est très sensible au climat par de longs épisodes de sécheresse et inondations à répétition. Les travaux de Nicholson (2001) ont donné à partir de séries de données des stations météorologiques les tendances lourdes du climat sur l'Afrique au XXème siècle. Pour Nicholson, c'est l'Afrique semi-aride qui a été la plus vulnérable aux effets néfastes du changement climatique : 20 à 40 % de changement entre 1931-1960 et 1968-1997; et celui-ci est le plus important encore depuis les années 1980 où l'aridité a accru à cause de la conséquence du réchauffement des océans Atlantique et Indien qui tendent à promouvoir des conditions sèches sur le continent.

En outre, la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux perturbations climatiques qui se sont succédées depuis les années 1970 et les préoccupations croissantes sur une

possible modification durable du régime pluviométrique (Lebel et Vischel, 2004) ont poussé la communauté scientifique internationale à s'interroger sur le système de Mousson Ouest Africaine. La question est d'autant plus cruciale que l'agriculture et l'élevage qui représentent les principales activités économiques en Afrique de l'Ouest sont tributaires de la pluviométrie.

Dans les régions tropicales et subtropicales, on observe une grave dégradation de l'écoulement de surface, puisqu'une forte capacité d'évaporation coïncide avec une pénurie pluviale pratiquement toute l'année. L'irrégularité des précipitations se manifeste par des formes extrêmes : soit les averses énormes, soit les sécheresses climatiques qui déterminent souvent des étiages graves (Pagney et Frecaut, 1983).

Des répercussions, surtout celles provenant des évènements dits extrêmes, sont donc à prévoir sur de nombreux secteurs tant au niveau économique, social qu'environnemental. Des évènements extrêmes peuvent survenir sous forme de sècheresses, de vagues de chaleur et de tempêtes de vent, mais aussi sous forme de précipitations extrêmes (Seydou, 2020).

Les changements dans les évènements de précipitations extrêmes ont des conséquences beaucoup plus néfastes sur la société et l'environnement qu'un changement dans les précipitations moyennes (Donou, 2015). Ceci est lié à la capacité et la prédisposition des installations et de l'environnement à s'adapter aux changements se produisant sur une plus longue période de temps. Au cours du XXIème siècle, de grands bouleversements sont donc à prévoir partout dans le monde. Il sera donc important pour les sociétés et gouvernements de développer de nouvelles infrastructures capables de s'adapter aux nouvelles réalités (GIEC, 2014).

En outre, dans le rapport du GIEC de 2007, l'augmentation des précipitations moyennes pour la période 2046-2065 et la période 2081-2100 par rapport à la période 1981-2000 se chiffre à 1,9 % et à 3,4 % respectivement, alors que l'augmentation des précipitations extrêmes est de 7,7 % et 12,3 % pour les mêmes périodes respectives. Ces projections climatiques suivent le scénario A1B et sont confirmées par d'autres auteurs dont Emori et Brown en 2005. Conséquemment, une connaissance substantielle de l'évolution des précipitations extrêmes est essentielle

afin de minimiser le plus possible les impacts négatifs de ces changements sur l'environnement et les établissements humains.

Par ailleurs, les dernières décennies de la fin du deuxième millénaire ont été marquées par une évolution rapide des climats à l'échelle globale (Olaniran, 1991) et une forte occurrence des événements pluviométriques extrêmes (IPCC, 2007 ; Yabi et Afouda, 2012). En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions relatives à la variabilité climatique et aux extrêmes pluviométriques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde (IPCC, 2009). L'enjeu est tel que, malgré les incertitudes qui entachent les projections climatiques sur l'Afrique de l'Ouest (Fontaine *et al.,* 2012), il faut d'ores et déjà réfléchir aux options d'adaptation pour réduire les impacts néfastes des aléas climatiques sur la population africaine et augmenter la sécurité alimentaire (Sultan *et al.,* 2012). En dépit des expériences d'adaptation aux aléas naturels (Tambo et Abdoulaye, 2012), la vulnérabilité des pays d'Afrique subsaharienne et de leurs populations à la variabilité et aux changements climatiques demeure une grande préoccupation et a suscité un intérêt scientifique considérable au cours des dernières décennies, avec des appels à une augmentation du financement pour l'adaptation (Patt *et al.,* 2010). Il s'avère que l'adoption des mesures d'adaptation est en partie déterminée ou limitée par la perception que ces populations rurales ont de la variabilité climatique (Ouédraogo *et al.,* 2010). Dans ce contexte, il est apparu essentiel d'étudier davantage la cohérence des perceptions des populations rurales de la variabilité climatique au regard des tendances climatiques observées. Ceci peut contribuer à mieux orienter les stratégies de réduction de la vulnérabilité des populations.

Il est évident que les pluies extrêmes sont des événements certes rares, mais de tout temps, et leur caractère imprévisible impose à l'homme la recherche de solutions appropriées, en vue d'y faire efficacement face (OMM, 2012). Ainsi, au Bénin, plusieurs cas de pluies extrêmes ont été enregistrés. Les plus récents sont les manifestations pluvio-orageuses et les pluies diluviennes, survenues dans le centre-Bénin en juillet 1999, et dans tout le pays en 2010 (DNM, 2010), ayant occasionné des inondations ; la perturbation orageuse qui a donné lieu à une forte tempête à Sô-

Ava le 8 mai 2001 provoquant la mort d'une trentaine de personnes ; les manifestations orageuses du 18 au 25 mars 2002 qui ont causé la destruction des trois modules de classes à Athiémé et le dernier en date est celle du 14 avril 2003 dans certaines localités du sud du pays (Houndakinnou, 2005).

La présente thèse est subdivisée en trois (03) parties et comporte six (06) chapitres. La première partie présente les cadres théorique et méthodologique de la thèse. Le premier chapitre de cette partie est consacré à l'état des connaissances, la clarification des concepts et la problématique. Le second fait cas de l'approche méthodologique utilisée pour mener à bien cette recherche.

La deuxième partie consacre les fondements géographiques et les manifestations des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin. Le premier chapitre de cette partie qui constitue le troisième de cette thèse renseigne sur les variations actuelles des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin. Le quatrième chapitre explique la dynamique spatio-temporelle pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

La troisième partie de cette thèse renseigne sur la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes et les perspectives de résilience des communautés du secteur d'étude. Ainsi, le cinquième chapitre montre la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes dans le secteur d'étude. Quant au sixième chapitre, il porte sur les perspectives de résiliences des communautés face aux effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

PREMIERE PARTIE
CADRES THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE

Cette partie présente le cadre théorique et l'approche méthodologique qui constituent les deux chapitres. Ainsi, l'état des connaissances représente la revue de littérature des informations disponibles dans le cadre de cette recherche par des auteurs scientifiques et la clarification de quelques concepts afin de mieux cerner les contours du sujet puis la problématique sont les grandes lignes du cadre théorique. Quant à l'approche méthodologique, elle décrit les étapes à suivre pour la rédaction de la thèse. Elle s'appuie sur les types de données utilisées, la collecte et le traitement des données et l'analyse des résultats.

CHAPITRE I

ETAT DES CONNAISSANCES, CLARIFICATION DES CONCEPTS ET PROBLEMATIQUE

Les fondamentaux qui sous-tendent le choix de ce sujet ont été abordés à travers l'état des connaissances, la problématique, les hypothèses de travail, les objectifs de recherche et la clarification de quelques concepts. La connaissance desdits fondamentaux a permis de comprendre davantage les réalités auxquelles sont confrontées les populations du département de l'Atacora concernant les manifestations des pluies extrêmes et ceci en faisant référence aux auteurs qui ont abordé ou non la même question.

1.1. Etat des connaissances

Plusieurs études scientifiques ont abordé des thématiques ayant des liaisons avec la problématique de la présente recherche.

1.1.1. Occurrence des phénomènes climatiques extrêmes

A l'échelle mondiale, la prévision météorologique et ses applications ont pris une place importante en raison de la sensibilité croissante des activités humaines aux anomalies météorologiques et climatiques. Le climat de la terre est soumis ces six (06) dernières décennies à des variations importantes de ses principaux paramètres (Ogouwalé, 2006 et Issa, 2012). Selon le GIEC (2007), ces variations se manifestent par la multiplication des événements climatiques extrêmes. La principale cause d'une telle situation est l'augmentation de la température de la terre consécutive au doublement de l'émission des Gaz à Effet de Serre (GES), notamment le CO_2 (Escourrou, 1987). En effet, entre 1750 et 1999, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère est passée de 280 ppm à 367 ppm et la concentration actuelle de CO_2 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 (Carter, 1995). Cette augmentation continue en CO_2 influence directement le climat global et par conséquent la vie sur terre (Amani *et al.,* 2014). Ainsi, selon les modèles de circulation générale et de prévision saisonnière de la PRESAO, les pays en voie de développement comme le Bénin seront les plus vulnérables à l'évolution climatiques.

Par ailleurs, pour Colin (2004), les régimes climatiques actuels tendent à indiquer un réchauffement de la planète et une augmentation du nombre de phénomènes

météorologiques extrêmes dont les précipitations extrêmes. Abondant dans le même ordre d'idée, André (2007) 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.

En outre, selon l'OMM (2016), plus de 80 à 90 % des catastrophes naturelles sont liées à des événements hydro climatiques tels que les sécheresses, les fortes pluies, les inondations. Or, selon le GIEC (2007), il est très vraisemblablement (probabilité > 90) établi que les événements de fortes précipitations, les inondations dévastatrices et les vagues de chaleur continueront à devenir plus fréquents dans le monde. Ces événements seront de plus en plus intenses et surtout de plus en plus variables d'une année à l'autre. Les extrêmes pluviométriques associés en partie à l'augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique vont s'accentuer avec les changements climatiques renforçant ainsi le cycle condensation-pluie-ruissellement (Koumassi, 2014). On peut donc s'attendre au cours des années à venir à des situations contrastées alternées de sécheresse et d'excédents pluviométriques. La conséquence serait l'augmentation des catastrophes hydroclimatiques selon l'UICN (2004). Pour Donou (2015), les observations ont ainsi montré au cours des 50 dernières années, des changements significatifs dans le régime des événements climatiques extrêmes en termes de fréquence et d'intensité.

C'est ainsi qu'au plan mondial, des augmentations substantielles en événements de fortes précipitations accompagnées des tempêtes ont été observées. La superficie affectée par la sécheresse a augmenté depuis les années 1970. Des études conduites par le CRED/UNISDR (2006) ont montré une évolution croissante et rapide du nombre de catastrophes naturelles à travers le monde. Ce nombre est passé de 50 en 1975, à 200 en 2000 à plus de 350 en 2005.

A titre d'exemple, l'OMM avait ainsi considéré l'année 2007 comme celle des extrêmes en raison des climats extrêmes enregistrés à travers la planète. En effet, en 2007, de nombreuses régions du monde ont connu des extrêmes météorologiques avec des vagues de chaleurs, de nombreux cas de cyclones et tempêtes.

Par ailleurs, le nombre des saisons extrêmement humides est appelé à augmenter à partir d'une fois tous les vingt ans à la fin du 20e siècle à une fois tous les cinq ans dans le prochain siècle (Christensen, *et al.,* 2007). Ainsi, selon FAO (2007), « la possibilité que les récentes inondations au Sahel et en Afrique de l'Ouest en général soient la conséquence du changement climatique doit être prise au sérieux ». L'Afrique de l'Ouest n'a pas été épargnée par ces évènements. Une hausse exponentielle du nombre d'inondations consécutives à des fortes pluies a été observée. Ce nombre d'événements est passé en moyenne à moins de 02 par an avant 1990 à plus de 08 voire 12 en moyenne par an au cours des années 2000 (IPCC, 2007).

1.1.2. Vulnérabilité des systèmes et établissements humains aux pluies extrêmes

La question des changements climatiques va au-delà d'une préoccupation des scientifiques. Elle intéresse de nos jours toute la communauté internationale eu égard aux obstacles supplémentaires que présente le phénomène à l'éradication de la pauvreté et à l'accomplissement d'une justice sociale (Ogouwalé, 2006). Selon Tchédé (2012), l'augmentation des températures, l'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies ainsi que les événements exceptionnels sont autant de facteurs qui compromettent sérieusement la sécurité des moyens de subsistance des personnes pauvres.

Les changements observés du climat, leurs causes et les changements susceptibles de se produire à l'avenir sont l'objet du rapport du Groupe de travail I du GIEC en 2001. Dans les conclusions de ce rapport, il est notamment indiqué que la température moyenne à la surface du globe a augmenté de 0,6 ± 0,2 °C pendant le XXe siècle. Selon GIEC (2014), Il y est précisé aussi que d'ici 2100, pour la série de scénarios envisagés dans le Rapport spécial sur les scénarios d'émissions du GIEC et selon les projections de modèles, la température moyenne de l'air à la surface du globe devrait augmenter de 1,4 à 5,8 °C et le niveau moyen de la mer de 9 à 88 cm par rapport à 1990. Toujours, d'après ces projections, ce réchauffement varierait selon les régions et s'accompagnerait d'une augmentation ou d'une diminution de la pluviosité. En outre, des changements devraient se produire pour ce qui est de la

variabilité du climat ainsi que de la fréquence et de l'intensité de certains phénomènes climatiques extrêmes.

Seydou (2020) a montré que les caractéristiques générales des changements climatiques ont des répercussions sur les systèmes naturels et humains et délimitent le champ de l'évaluation du groupe de travail II. La documentation disponible ne fait encore état d'aucune recherche portant sur les incidences du changement climatique et sur l'adaptation et la vulnérabilité à ce changement lorsque celui-ci coïncide avec le réchauffement maximal projeté.

Les systèmes humains qui sont sensibles à l'évolution du climat comprennent principalement l'agriculture (particulièrement pour ce qui concerne la sécurité alimentaire) ; la foresterie ; les zones côtières et les systèmes marins (pêches) ; les établissements humains, l'énergie et l'industrie ; les assurances et autres services financiers et la santé. La vulnérabilité de ces systèmes varie selon l'emplacement géographique, le moment considéré et les conditions sociales, économiques et environnementales (GIEC, 2001). La figure 1 présente les motifs de préoccupation quant aux incidences projetées des changements climatiques.

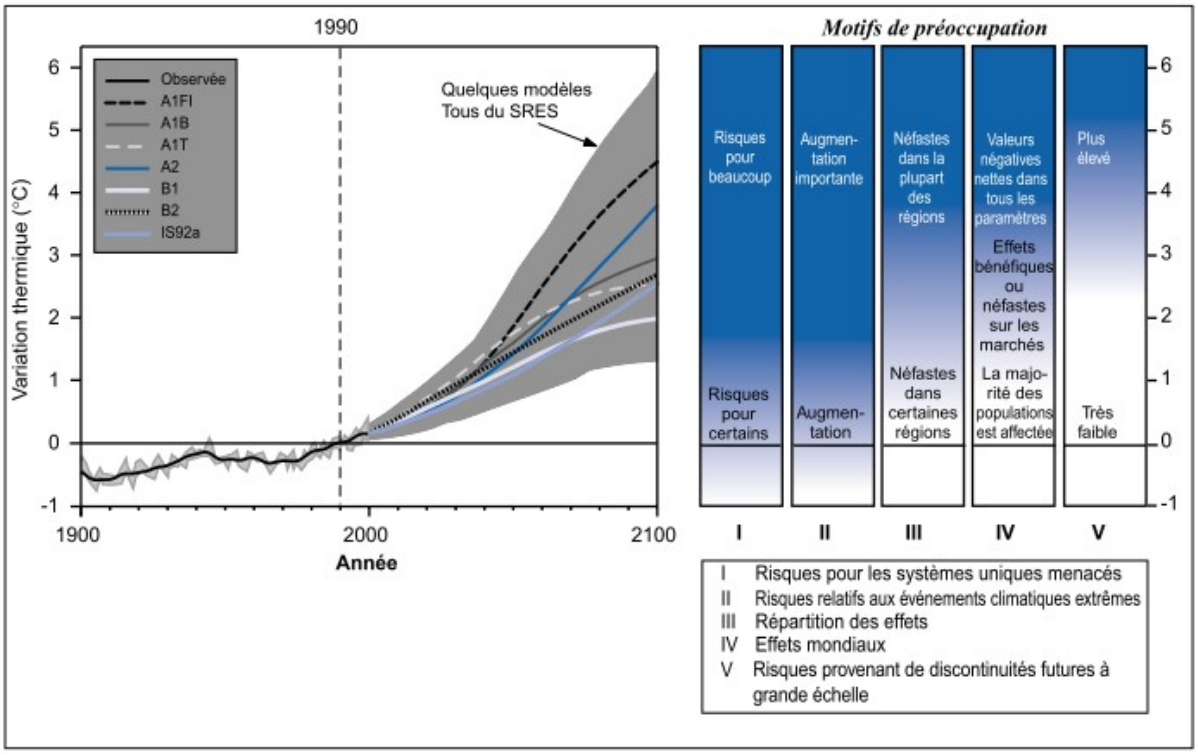


Figure 1: Motifs de préoccupation quant aux incidences projetées des changements climatiques
Source : GIEC, 2001

De l'analyse de la figure 1, il ressort que les risques d'effets nocifs des changements climatiques s'accroissent avec leur ampleur. La partie gauche de la figure fait apparaître les élévations de température observées par rapport à 1990 et la fourchette des estimations projetées après 1990, selon des estimations faites par le groupe de travail I du GIEC pour des scénarios du rapport spécial sur les scénarios d'émissions. La partie droite présente des conceptualisations pour cinq motifs de préoccupation au sujet des risques causés par l'évolution du climat jusqu'en 2100. Les incidences ou les risques neutres ou faiblement négatifs ou positifs sont indiqués en blanc, les incidences négatives pour quelques systèmes ou les risques faibles sont indiqués en bleu clair, et les incidences négatives ou les risques plus répandus et/ou de plus grande ampleur sont indiqués en bleu foncé. L'évaluation des impacts ou des risques tient seulement compte de l'ampleur du changement, et pas de son rythme. Dans cette figure, la variation annuelle moyenne de la température mondiale est utilisée comme approximation de l'ampleur des changements climatiques, mais les impacts projetés seront fonction, entre autres facteurs, de l'ampleur et du rythme des changements mondiaux et régionaux du climat moyen, de la variabilité du climat et des phénomènes climatiques extrêmes, des conditions sociales et économiques et de l'adaptation.

Selon Bohle *et al.,* (1994), dans la littérature, le thème commun sur les impacts du changement climatique et la vulnérabilité est l'idée que les communautés, les groupes sociaux, les secteurs, les régions et les nations diffèrent dans le degré de vulnérabilité au changement climatique, c'est-à-dire qu'il existe des vulnérabilités différentielles. Par contre, pour Handmer *et al.,* (1999), la connaissance de la vulnérabilité et ses causes jouent un rôle essentiel dans la détermination des impacts et permettent de comprendre que la dynamique de la vulnérabilité est aussi importante que la compréhension du climat lui-même.

Si selon le GIEC (2007), la vulnérabilité est fonction de la nature, de l'importance et du taux de variation climatique auxquels un système se trouve exposé ; de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation, pour Magnan (2009), les connaissances actuelles sur ce qui fonde la capacité d'adaptation d'un territoire donné sont encore insuffisantes. Il existe ainsi un manque de maturité sur cette question qui est à relier à un défaut de structuration en termes de recherche scientifique.

Toutefois, une évaluation de la sensibilité du secteur forestier béninois aux risques climatiques majeurs a été réalisée au moyen de la matrice de sensibilité proposée par le Groupe d'Experts des Pays les Moins Avancés en 2004. Il ressort de cette évaluation que les inondations, les pluies violentes et la sécheresse sont les risques climatiques qui ont l'impact le plus élevé sur les écosystèmes forestiers (toutes formations végétales confondues) et les communautés riveraines. Les modes d'existence les plus exposés aux risques climatiques sont les petits exploitants forestiers et les exploitants agricoles (Deuxième Communication Nationale du Bénin, 2011).

Quant à PANA-Togo (2007) et Tchédé (2012), les indicateurs d'exposition montrent que les modes d'existences les plus vulnérables au Togo sont les agriculteurs (66,70 %), suivis par les pêcheurs (57,10 %), les éleveurs et les commerçants (38,10 %) et enfin les artisans (33,30 %). Dans cette catégorie les groupes les plus vulnérables sont sans nul doute les personnes âgées, les enfants et les femmes. La zone côtière et ses espaces adjacents forment un environnement socio-économique très important mais vulnérable. L'analyse indique qu'à partir de 2030, de sérieuses perturbations vont être enregistrées mais leurs impacts et le rythme de modification restent des incertitudes qui, en l'état actuel, sont difficiles à mesurer (Communication Nationale Initiale du Togo, 2001).

Les systèmes de productions les plus vulnérables et les plus touchés par les effets adverses des changements climatiques en Mauritanie sont ceux tributaires des eaux des pluies, notamment l'agriculture sous-pluie ou pluviale. Les systèmes à vulnérabilité faible voire nulle, sont le système pastoral à propriétaire urbain et le système semi et/ou intensif (PANA-Mauritanie, 2004, cité par Tchédé, 2012).

Selon Bokoto de Semboli (2008), la vulnérabilité de sept (07) villages de la République Centrafricaine analysée avec la méthode multidisciplinaire d'évaluation des paysages décrit par Sheil *et al.*, (2004) adaptée par Sayer *et al.,* (2004) aux forêts du bassin du Congo dans le cadre du Tri National de la Sangha, a montré que ces villages vivent au-dessus du seuil de pauvreté (US $ 312/an), 51,7 % de leurs moyens d'existence sont liés à la forêt, 24 % à la pêche et 21,1 % à l'agriculture. Au total, les facteurs climatiques influencent l'agriculture, la pêche, la forêt et la chasse dans ces villages.

1.1.3. Stratégies d'adaptation aux pluies extrêmes

Les changements observés dans le système climatique affectent beaucoup les systèmes naturels et par conséquent les conditions de vie des populations, qui sont obligées de développer des stratégies pour y faire face (Seydou, 2020). Ces stratégies ont fait l'objet d'innombrables travaux scientifiques résumés dans les mémoires, thèses, articles et/ou présentés lors des fora scientifiques.

Dans la littérature existante, la plupart des mesures adoptées ou proposées pour faire face à la variabilité climatique combine deux types d'action : la réduction des émissions de gaz à effet de serre pour contenir la vitesse du réchauffement de la planète ; l'adaptation des sociétés aux changements désormais inévitables du climat pour limiter ses dommages (Ogouwalé, 2006 ; Issa, 2012).

Towou (2007) a remarqué que face aux pluies extrêmes, aux mauvaises répartitions des pluies et aux sécheresses, les réactions des populations varient et sont plus orientées vers des pratiques rituelles magiques censées rétablir ou bien conduire la saison agricole. Aussi, Biaou (2011) dans son étude, a constaté que face aux inondations, les populations de même que les autorités locales développent diverses mesures telles que le curage des caniveaux, la construction de passages avec des bois, etc.

Sossou (2013) conclut que les actions humanitaires initiées concernent surtout l'appui en abri d'urgence (tentes), l'appui alimentaire à travers des distributions de vivres, d'eau potable aux populations sinistrées, l'appui sanitaire à travers la distribution de médicaments et des comprimés de traitement d'eau, la distribution de biens domestiques et la sensibilisation des populations aux bonnes pratiques d'hygiène, à l'occupation des zones inondables, au relèvement.

Selon GIEC (2012), une bonne adaptation à la variabilité climatique passe d'abord par la connaissance et la gestion des risques de catastrophe climatique. A cet effet, l'exposition et la vulnérabilité sont des déterminants clés du risque de catastrophe et des impacts lorsque le risque se matérialise (figure 2).

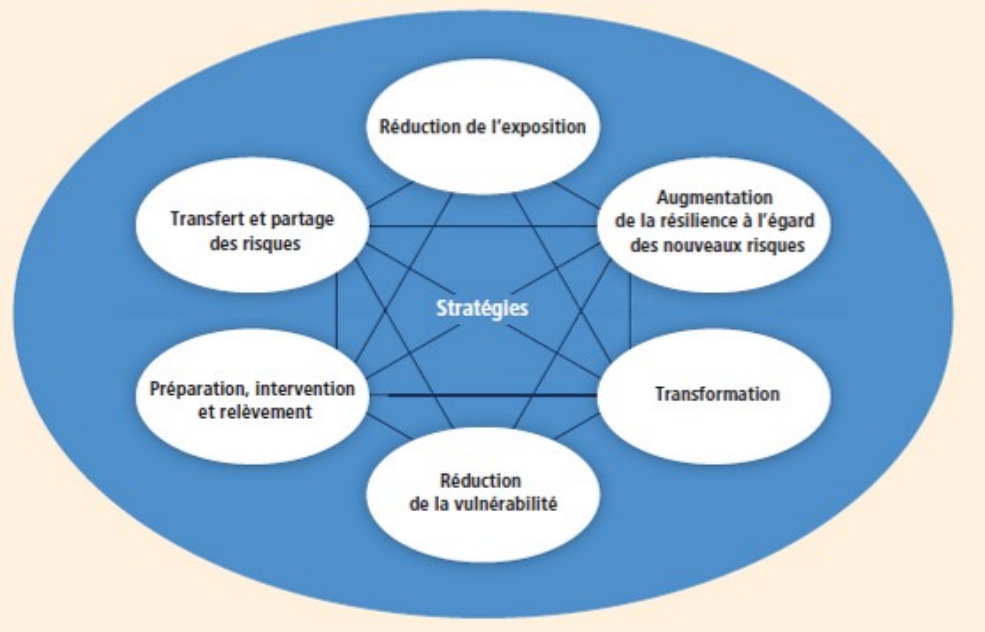


Figure 2 : Stratégies d'adaptation et de gestion des risques de catastrophes face aux changements climatiques
Source des données : GIEC, 2001

L'adaptation aux effets néfastes des pluies extrêmes appelle à la réalisation des études pour connaitre le niveau de vulnérabilité des systèmes naturels et humains. Des efforts significatifs d'adaptation ont été entrepris dans les différents secteurs de développement aux échelles aussi bien locales que nationales. Les stratégies en matière d'adaptation à l'évolution du climat sont fondées sur les savoirs endogènes ou ethnoclimatologiques (Akindélé, 2014). Mais ces stratégies sont de plus en plus révélées peu efficaces au point où de nouvelles technologies sont introduites dans les communautés locales en vue de renforcer leur résilience.

Pour Blalogoé (2014), les autorités éditent des textes de loi et mettent en place des cadres institutionnels de gestion des inondations. Elles déplacent certains sinistrés (2 % des enquêtés) vers les infrastructures socio-communautaires. Elles distribuent également des moustiquaires, médicaments et vivres (41,6 % des personnes interrogées). Les populations quant à elles, développent des mesures telles que la mise en hauteur des objets (35 %), la construction des digues et la pose des sacs de jutes remplis de sable (23 %), le déménagement temporaire des maisons inondées (07 %). Avant et après la crise, 10 % des ménages sinistrés réalisent des travaux de colmatage des murs.

Aïlo (2010) quant à lui, a évalué les mesures endogènes développées par les populations et celles proactives définies par les autorités locales et ce dernier a montré l'inefficacité de ces différentes mesures avant qu'il ne propose que des mesures complémentaires soient prises pour une bonne réponse aux pluies extrêmes.

Kouton (2011) pour sa part indique que la gestion des inondations fait partie de la politique environnementale. Il a noté, au terme de son étude, la faiblesse des mesures préventives des autorités locales dans la stratégie de lutte contre les inondations. Lantèfo (2009) pour sa part, a proposé que pour faire face aux pluies extrêmes, il faut le renforcement de certains dispositifs déjà existants (curage et dragage des caniveaux), puis créer des réseaux locaux de veille partant des quartiers en passant par les arrondissements jusqu'à l'échelle communale.

Pinhéiro (2010) a montré que face aux pluies extrêmes, l'Etat Central, les autorités communales et même certaines institutions internationales, mettent en exécution plusieurs plans de lutte contre ce phénomène. Mais elle n'a pas fait cas des institutions qui s'occupent de l'amélioration de la résilience des populations rurales sinistrées.

Toutes ces recherches ont abordé les pluies extrêmes, la vulnérabilité des populations aux pluies extrêmes et les mesures d'adaptation aux pluies extrêmes un peu partout dans le monde et même au Bénin. Elles ont décrit et expliqué les éléments de la nature et les faits de l'homme qui contribuent à la survenance et à l'aggravation des phénomènes climatiques extrêmes et des pluies extrêmes en particulier. Ces auteurs ont abordé également les dégâts sous les paramètres ampleur, étendue et la durée du phénomène. Les différents modes de gestion locaux et institutionnels ont été mis en exergue. Par ailleurs, aucun de ces ouvrages n'a abordé de façon précise la question de la vulnérabilité des établissements humains à la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes. Mais si les stratégies d'adaptation ont fait l'objet d'investigations approfondies à l'échelle mondiale et nationale, elles ne sont pas encore perçues dans le département de l'Atacora. Il est nécessaire d'étudier la vulnérabilité des établissements humains à la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora.

1.2. Problématique

Cette rubrique présente la justification du sujet, les hypothèses de travail et les objectifs de recherche.

1.2.1. Justification du sujet

Depuis 1950, l'Afrique de l'Ouest est la région du monde qui connait le plus important déficit pluviométrique (Spinoni *et al.,* 2013). Selon le PAM (2007), « les inondations en Afrique de 2007 qui se sont étendues de la Mauritanie à l'Ouest jusqu'au Kenya à l'Est » sont considérées comme les pires des dernières décennies. Plus d'un million et demi de personnes ont été touchés dont plus de 600.000 en Afrique de l'Ouest. Ainsi, dans certains pays du CILSS et de la CEDEAO tels que le Burkina-Faso, le Sénégal, le Mali, le Niger, la Mauritanie, le Togo, le Bénin, etc., les inondations ont provoqué d'importants dégâts sur les infrastructures économiques (ponts, routes, chemins de fer) et à d'autres biens essentiels pour fournir les services de santé et assurer en général le bien être des établissements humains (Issaou, 2014).

La communauté scientifique s'intéresse de plus en plus aux précipitations quotidiennes, vu ce qu'elles peuvent engendrer comme dégâts en cas de fortes crues (MEPN, 2008). Il a été observé au cours de ces dernières années une modification du régime pluviométrique des pluies journalières en termes de fréquence et d'intensité dans certaines régions du monde (GIEC, 2007). En effet, le changement observé dans l'évolution de la fréquence des pluies intenses du monde est plus important que celui qui est observé dans l'évolution des totaux annuels (Groisman *et al.*, 2005).

Récemment, à la suite de quelques années fortement pluvieuses, certains auteurs (Sene et Ozer, 2002 ; Ozer *et al.,* 2003) se demandent si les évènements de la décennie 1990 ne constituent pas le signe d'un retour progressif à des conditions pluviométriques plus favorables. Ainsi, la zone touchée par la sécheresse s'est réduite depuis 1994 (Diello, 2007). Pour autant, les conditions étaient encore sévères dans les régions sahéliennes à la fin de la décennie 1990 (L'Hôte *et al.,* 2002 ; Ardoin *et al.*, 2003).

En 2003, Ozer *et al.* (2003), manifestent une grande prudence au sujet de l'évolution récente des pluies. Ils soulignent, en effet, que les tests statistiques répondent avec

un retard de temps relativement long à de fortes variations des précipitations. Ainsi, la continuité de la période de sécheresse ou l'identification d'une rupture pluviométrique vers des conditions plus humides ne pourra se vérifier statistiquement qu'après dix années de données supplémentaires (Ansoumana, 2012). De même, les séries pluviométriques annuelles enregistrées sur de longues durées sur un ensemble de stations couvrant l'Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne (du Sénégal à la Centrafrique) ont permis d'étudier l'évolution spatio-temporelle de la pluviométrie dans cette région. La sécheresse actuelle n'a pas connu d'équivalent, ni en durée, ni en intensité, sur l'ensemble de la période étudiée. Une étude statistique de ces différentes périodes met cependant en évidence le caractère fortement hétérogène du phénomène dans l'espace (Paturel *et al.,* 1998).

Les événements hydroclimatiques tels que les sécheresses, les fortes pluies, les inondations seront de plus en plus intenses et surtout de plus en plus variables d'une année à l'autre au Sahel (Ouédraogo, 2001). Les extrêmes pluviométriques associés en partie à l'augmentation de la vapeur d'eau atmosphérique vont s'accentuer avec le changement climatique renforçant ainsi le cycle condensation - pluie - ruissellement. On peut donc s'attendre au cours des années à venir à des situations contrastées alternées de sécheresse et d'excédents pluviométriques (Sarr, 2009).

En Afrique tropicale, les populations rurales sont particulièrement concernées par la modification climatique, dans la mesure où les performances de leurs systèmes de production sont étroitement tributaires du climat (Boko, 1988 et Agbossou, 2002). La pauvreté des populations ne leur permet pas d'accéder aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, semences, irrigation, etc.) et aux innovations culturales adéquates et performantes. Cette situation constitue un facteur aggravant des impacts socio-économiques des changements du climat : les sécheresses des années 1970 ont provoqué une famine dramatique et les inondations de la décennie 1990 ont occasionné des pertes inestimables des rendements culturaux (FAO, 2007).

Depuis les années 1960, le Bénin est affecté par les modifications des paramètres climatiques qui se traduisent par un déficit pluviométrique et une hausse des températures (Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2006). Ces modifications ont pour conséquences sur l'agriculture les perturbations des cycles culturaux, le

bouleversement du calendrier agricole traditionnel en vigueur chez les établissements humains (Houndénou, 1999 ; Ogouwalé, 2006 et Seydou, 2020). Ainsi, sous l'effet répété des récessions et perturbations pluviométriques, les rendements agricoles seront gravement affectés (Afouda, 2016). Or, l'agriculture joue un rôle important au plan social et économique dans la vie de la population béninoise (Faton, 2013).

En outre, les impacts socio-économiques, sanitaires, psychologiques sur les établissements humains sont considérables. Enfin, ces évènements contribuent au dérèglement des marchés (disponibilité et accessibilité, hausse des prix) et par conséquent à accroître l'insécurité alimentaire, les conflits et les migrations climatiques. En l'absence de mesures d'adaptation et/ou de réduction de la vulnérabilité du secteur agricole une bonne partie de la population des pays serait exposée à des situations d'insécurité alimentaire due à ces événements extrêmes (Yabi, 2015).

Si les dimensions conceptuelles de la vulnérabilité sont aujourd'hui globalement reconnues (Becerra, 2009), il n'y a pas de consensus méthodologique sur la manière d'évaluer la vulnérabilité, que ce soit sur la collecte de données comme à propos de leur agrégation dans un index synthétique. Plus encore que l'aléa, la vulnérabilité sociale est difficilement quantifiable et encore moins modélisable (Léone, 2007).

Au Bénin, dans un contexte de tendance générale à la baisse des hauteurs de pluies annuelles, il survient par moments de fortes pluies génératrices d'inondations, parfois désastreuses voire dramatiques sur le plan socio-économique (IPCC, 2007).

Dans le Nord-Bénin, l'analyse des données climatologiques enregistrées sur 60 ans montrent une tendance à la baisse des hauteurs de pluies annuelles. De plus, le mode de répartition des pluies évolue vers le retard des événements pluvieux et le raccourcissement de l'unique saison pluvieuse qui caractérise normalement la région (Houndénou, 1999). Toute manifestation météorologique extrême, qu'il s'agisse de vents violents, de fortes pluies, de jours consécutifs de pluie, ou de déficit prolongé de précipitations, etc., présente un gros risque pour l'homme et son environnement à travers les différents dégâts qu'elle occasionne : inondation, fort ruissellement, sécheresse, détérioration de l'environnement et destruction d'infrastructures. A l'origine de ces manifestations que génèrent les pluies extrêmes,

s'observent des conditions météorologiques de courtes durées et à petites échelles (GIEC, 2007). En effet, l'analyse fréquentielle permet de se rendre compte de la fréquence d'apparition des événements climatiques exceptionnels dont la non maîtrise augmente la vulnérabilité des populations (Yabi et Afouda, 2007).

Dans le département de l'Atacora, le contexte climatique marqué par les irrégularités saisonnières et interannuelles des pluies, perturbe régulièrement les calendriers agricoles et les cycles végétatifs des cultures. Dans ce contexte de tendance générale à la baisse, il survient, par moments, de fortes pluies génératrices d'inondations, parfois désastreuses voire dramatiques sur les plans socioéconomiques notamment agricoles. Dans un contexte où l'agriculture demeure pluviale, toutes ces perturbations climatiques sont capables de générer des crises alimentaires et socio-économiques aux impacts considérables. Face à ces situations, les populations prennent des initiatives, sur la base de leurs connaissances, de leur savoir-faire, pour réduire les effets des pluies extrêmes. Ces constats soulèvent plusieurs questions de recherche.

1.2.2. Questions de recherche

Quels sont les fondements géographiques (facteurs géographiques) de la vulnérabilité des populations du département de l'Atacora face aux pluies extrêmes ?
De cette question principale se découle trois questions spécifiques :

- quelle est la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin ?
- quelle est la vulnérabilité des établissements humains face aux pluies extrêmes dans le secteur d'étude ?
- quelles sont les stratégies d'adaptation développées par les populations du département de l'Atacora au regard de leur vulnérabilité ?

C'est pour répondre à ces questions que le sujet « **Répartition spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin : Trajectoire et vulnérabilité des établissements humains** » a été choisi. Cette recherche est fondée sur des hypothèses et des objectifs.

1.2.3. Hypothèses de travail

L'hypothèse principale de cette recherche se décline ainsi qu'il suit : La vulnérabilité des établissements humains face aux pluies extrêmes dans le département de l'Atacora est fonction de la fréquence et la répartition spatiale de celles-ci. De cette hypothèse principale découlent les hypothèses spécifiques ci-après :

- le département de l'Atacora est sujet à une inégale répartition des fréquences des pluies extrêmes ;
- les pluies extrêmes accroissent la vulnérabilité des établissements humains dans le département de l'Atacora ;
- la combinaison des savoirs locaux et des connaissances scientifiques permettent d'établir des stratégies d'atténuation des effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora.

Pour confirmer ou infirmer les hypothèses de travail, des objectifs de recherche ont été fixés.

1.2.4. Objectifs de recherche

L'objectif principal de cette recherche est d'étudier la vulnérabilité des établissements humains à la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora.

De façon spécifique, il s'agit de :

- caractériser la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin ;
- analyser la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes dans le secteur d'étude ;
- examiner les stratégies d'adaptation des populations pour accroître leur résilience aux effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

Ce chapitre a permis de faire l'état des connaissances des travaux réalisés sur la vulnérabilité des établissements humains aux extrêmes climatiques, de clarifier quelques concepts clés de la recherche, de présenter la problématique du sujet et de préciser les objectifs visés par cette recherche. Le chapitre II expose les grandes lignes de la démarche méthodologique qui a servi à la caractérisation de la dynamique spatio-

temporelle, l'analyse la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes et l'identification des stratégies d'adaptation des populations pour accroître leur résilience aux effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

Après la problématique, il convient de clarifier les concepts importants employés.

1.3. Clarification de concepts

Une clarification des concepts s'avère nécessaire pour une bonne compréhension des terminologies utilisées dans le cadre de ce travail.

Pluies extrêmes : Le concept événement extrême trouve son essence entre une définition purement statistique, plus rigoureuse, et des définitions plus pratiques et liées aux impacts.

Du point de vue statistique, le terme extrême désigne selon Hita *et al.* (2008), un événement dont la probabilité de survenance est inférieure à 10 %. Cette notion est fortement tributaire du temps et subjective car il peut y avoir moins d'évènements extrêmes dans 100 ans avec une probabilité supérieure à 10 % (pluies diluviennes, canicules, etc.) et un événement extrême dans 100 ans pourrait être une journée avec une température « glaciale » de 20°C au printemps par exemple. Cette définition de Hita *et al.* (2008) rejoint celle de Abdelnour *et al.* (2005) qui stipule que l'événement climatique extrême ou phénomène climatique extrême représente les anomalies météorologiques dont les probabilités d'occurrence sont faibles (par exemple, moins de 10 % d'occurrence).

La définition du groupe de mots ''pluie extrême'' est délicate. De manière classique, une pluie extrême peut être définie par une pluie dépassant un seuil élevé donné ou par la pluie maximale observée en une année donnée (Amani *et al.,* 2010). Pour le même auteur, le terme "pluies extrêmes" caractérise des événements pluviométriques de forte intensité se produisant sur un pas de temps court et de faible occurrence à la fois dans le temps et dans l'espace. Ces événements exceptionnels sont généralement à l'origine de catastrophes naturelles telles que les crues, inondations et mouvements de terrain, dont l'impact sur les zones urbanisées s'avère souvent non négligeable tant sur le plan économique qu'humain.

Pour le GIEC (2001), les pluies extrêmes sont des manifestations pluvieuses correspondant au 95ème et au 99ème quantile des précipitations quotidiennes. C'est cette dernière clarification qui a été prise en compte dans le cadre de cette recherche.

Répartition spatio-temporelle des pluies extrêmes : Selon le Larousse (2009), la répartition est la manière dont une chose est distribuée, partagée. Cette distribution peut se faire soit dans le temps, soit dans l'espace.

Selon Panthou (2013), la répartition spatio-temporelle des pluies extrêmes désigne la caractéristique intrinsèque des précipitations qui se manifeste par la variabilité pluviométrique avec le temps. Elle représente les variations de l'état moyen décrites par des paramètres statistiques (écarts-types, apparition d'extrêmes, etc.) des hauteurs de pluie à toutes les échelles temporelles et spatiales, autres que celle de phénomènes météorologiques particuliers (GIEC, 2001).

Dans le cadre de cette thèse, il s'agit du mode de distribution des pluies extrêmes dans l'espace et dans le temps au cours de la période d'étude sur l'ensemble du département de l'Atacora au Bénin.

Evénement climatique extrême : Selon le quatrième rapport annuel du GIEC (2007), un événement climatique extrême est un événement rare en un lieu et à une époque de l'année. Le GIEC (2012) considère les phénomènes météorologiques ou climatiques extrêmes comme résultant du fait qu'une variable météorologique ou climatique prend une valeur située au-dessus (ou au-dessous) d'un seuil proche de la limite supérieure (ou inférieure) de la plage des valeurs observées pour cette variable. Les phénomènes extrêmes étant rares par définition, on dispose de données limitées pour apprécier leur variation en fréquence ou en intensité. Plus un phénomène est rare, plus il est difficile d'en déceler les changements à long terme (Koumassi, 2014). Les tendances dans l'évolution d'un extrême climatique donné à l'échelle du globe peuvent être plus fiables (températures extrêmes, par exemple) ou moins fiables (sécheresse, etc.) que les tendances régionales, selon l'uniformité géographique de l'évolution de cette valeur.

Les extrêmes climatiques désignent les valeurs des paramètres climatiques (hauteurs de pluies, températures, vent, humidité relative, …) annuelles, mensuelles

et diurnes pouvant causer des dommages aux productions agricoles (Ogouwalé, 2006 ; Seydou, 2020), aux ressources en eau (Amoussou, 2010 ; Ogouwalé, 2013), à la santé des populations (Médéou, 2015), etc.

Suivant la nature et la gravité des dommages causés par un phénomène climatique, ce dernier constitue une situation inhabituelle, exceptionnelle voire extrême et induisant parfois un état d'urgence. L'évolution du climat modifie la fréquence, l'intensité, l'étendue, la durée et le moment d'apparition des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes, et peut porter ces phénomènes à des niveaux sans précédent accentuant ainsi la vulnérabilité des communautés (GIEC, 2012). Les incidences d'événements climatiques extrêmes survenus récemment - vagues de chaleur, sécheresses, inondations, cyclones, etc. mettent en évidence la grande vulnérabilité et le degré élevé d'exposition de certains écosystèmes et de nombreux systèmes humains à la variabilité actuelle du climat (GIEC, 2014).

Dans le cadre de cette recherche, un évènement climatique extrême ou extrême climatique est tout phénomène vécu par les populations du département d'Atacora comme les pluies extrêmes qui ont de lourdes conséquences sur les établissements humains.

Etablissements humains : Selon l'article 57 de la loi cadre sur l'environnement en république du Bénin, on entend par établissements humains l'ensemble des agglomérations urbaines et rurales, quels que soient leur type et leur taille, et l'ensemble des infrastructures dont elles doivent disposer pour assurer à leurs habitants une existence saine et décente (ABE, 1999).

Par ailleurs, un établissement humain est une exploitation commerciale, une unité géographique de production et d'exploitation (sièges sociales, usines, ateliers, dépôts, etc.), un écosystème qui nécessite un mode de gestion et qui préserve l'équilibre entre ses différentes composantes (Lawani, 1996).

D'après des éléments d'information de plus en plus abondants et chiffrés, les changements climatiques exercent principalement trois sortes d'influences sur les établissements humains :

- les secteurs économiques dont dépendent les établissements humains subissent les effets des variations de la productivité des ressources ou de la demande du marché pour ce qui est des biens et des services que ces établissements fournissent ;
- il peut y avoir des effets directs sur certains aspects de l'infrastructure physique (y compris les systèmes de transmission et de distribution de l'énergie), des bâtiments, des services urbains (y compris les moyens de transport) et d'industries particulières (comme l'agro-industrie, le tourisme ou le bâtiment) ;
- les populations peuvent être directement touchées par des phénomènes météorologiques extrêmes, des modifications de l'état sanitaire ou des migrations. Les problèmes ne sont pas exactement les mêmes selon que l'on est dans les petites, moyennes et grandes agglomérations.

Les risques directs les plus fréquents auxquels l'évolution du climat expose les établissements humains sont les risques liés aux inondations et aux glissements de terrain, découlant de l'intensification projetée de la pluviométrie et, dans les zones côtières, de l'élévation du niveau de la mer (Koumassi, 2014). Si les risques sont particulièrement grands pour les établissements humains situés au bord de cours d'eau ou sur des côtes (degré de confiance élevé), les crues en milieu urbain peuvent poser un problème partout où la capacité des collecteurs d'eaux pluviales, des adductions d'eau et des systèmes de traitement des déchets est insuffisante (Ogouwalé, 2006). Ces zones sont caractérisées par une très grande vulnérabilité des établissements urbains constitués de colonies de squatters et autres agglomérations non structurées, qui cumulent une forte densité de population, des logements d'une qualité médiocre, un accès réduit ou nul à des ressources telles qu'une eau salubre ou des services de santé publique et une faible capacité d'adaptation (Koumassi, 2014).

Les établissements humains où l'activité économique est peu diversifiée et où les revenus proviennent en grande partie d'industries du secteur primaire sensibles au climat (agriculture, foresterie et pêches) sont plus vulnérables que les établissements humains où l'activité économique est plus diversifiée (degré de confiance élevé). L'infrastructure de l'industrie, des transports et du commerce est généralement

exposée aux mêmes risques que l'infrastructure des établissements humains (Yabi, 2020).

Les coûts engendrés par les phénomènes météorologiques ont augmenté rapidement malgré les efforts accrus qui ont été déployés pour renforcer les infrastructures et améliorer la prévention des catastrophes. L'augmentation tendancielle des pertes imputables aux catastrophes constatée ces 50 dernières années est liée en partie à des facteurs socio-économiques tels que la croissance démographique, l'accroissement de la prospérité et l'urbanisation de zones vulnérables et en partie à des facteurs climatiques tels que l'évolution observée de la pluviosité ou des phénomènes d'inondation (Yabi, 2020). Faire la part précise de ces deux sortes de facteurs est une tâche complexe, d'autant plus que leur poids respectif varie selon la région et le type de phénomène considéré.

En Afrique, la capacité d'adaptation des systèmes humains est limitée par le manque de ressources économiques et techniques, et la vulnérabilité est accentuée par la forte dépendance à l'égard des cultures pluviales, par la recrudescence des sécheresses et des crues et par la pauvreté (Seydou, 2020).

Dans le cadre de cette thèse, les établissements humains considérés sont : les **habitations** (car constituent les unités sociales dans lesquelles vivent les communautés), les **champs** (car constituent l'une des unités sociales dont tirent les besoins vitaux les communautés), la **voirie** (car constitue l'une des infrastructures physiques de soutien aux communautés) et les **écoles** (car constituent l'un des services sociaux des communautés).

Vulnérabilité : La vulnérabilité est une notion polysémique, multiscalaire, multidimensionnelle (Bohle, 2002 ; Bogardi, 2004 ; Fabiani, 2006 ; Léone, 2007 ; Janin, 2008 et Nathan, 2009) dont l'utilisation va bien au-delà de la simple identification des critères sociaux traditionnels comme l'âge, le genre, la classe sociale ou le niveau des revenus (Birkmann, 2006).

Selon le GIEC, (2001), la vulnérabilité désigne la mesure dans laquelle un système est sensible – ou incapable de faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La

vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation.

La vulnérabilité est un terme très polysémique. Dans le monde scientifique, cette notion demeure floue, évolutive dans le temps et l'espace, et multiple. Elle caractérise tantôt le matériel (dégâts) et tantôt l'immatériel (vécu des populations) (Laganier et Scarwell, 2003). A chaque auteur et acteur, sa définition, ceci engendrant divergences et lacunes pour la gestion des événements climatiques. La pluralité de ces définitions montre différents aspects de vulnérabilité :

- la vulnérabilité physique se traduisant par l'évaluation quantitative voir monétaire des dommages ou impacts (Koumassi, 2014). Cet aspect introduit également la plus ou moins grande capacité des biens mobiliers, immobiliers et patrimoniaux à résister à un évènement naturel exceptionnel. On peut rattacher à cette définition les travaux portant sur les degrés d'endommagement ou les études de type coût - bénéfice. Cette vision « anglaise » traduite dans le guide « Planning Policy Guidance 25 » n'implique pas une interdiction stricte d'habiter les zones à risque, mais participe à une gestion négociée de l'urbanisation
- d'autres définitions privilégient les aspects d'exposition. Pour exemple, Bourrelier, (1997) propose de définir le risque inondation comme la « co-occurrence d'un aléa hydrographique et d'une vulnérabilité en un point géographique donné ». Cette vision qui propose d'analyser le risque comme croisement d'un aléa d'une vulnérabilité et d'une exposition est la base du système réglementaire national dont la volonté est l'interdiction d'urbanisation des zones à risques.

Les aspects de vulnérabilité exprimés ci-dessus (Impact, Résistance, Exposition) sont issus de recherche en science « dure ». Ils forment ce qui est couramment appelé la vulnérabilité biophysique. Parallèlement, les travaux réalisés en sciences humaines vont aboutir à la vulnérabilité sociale qui dépend de la capacité à anticiper l'aléa, de la capacité à faire face à l'urgence, du comportement en temps de crise et de la capacité de reconstruction (Wisner *et al.,* 2004). La vulnérabilité sociale permet d'agir en l'absence de certitudes sur l'aléa et l'exposition ; elle intègre également les temporalités du risque (Manche, 2000).

Pour GIEC (2013), la vulnérabilité est la magnitude ou le degré auquel un système naturel ou humain est susceptible d'être détérioré ou de subir des dommages sévères en raison des changements climatiques. C'est aussi la sensibilité d'un système ou son incapacité à faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes (Issa, 1995 et Ogouwalé, 2001). La sensibilité est le degré d'affectation d'un système par des stimuli liés au climat. C'est l'évaluation des incidences du climat futur qui permet de cerner le degré et les effets des changements climatiques sur les ressources agroalimentaires. Cette évaluation est un processus de détermination et d'estimation des conséquences néfastes ou bénéfiques de l'évolution du climat pour les systèmes naturels et humains (IPCC, 2001).

Dans le cadre de cette recherche, la vulnérabilité est vue sous deux aspects différents à savoir la vulnérabilité physique et celle sociale.

La vulnérabilité physique dans le cadre de ce travail est l'exposition de la surface physique aux pluies extrêmes.

La vulnérabilité sociale est l'exposition des biens socio-humains, de faible capacité de résistance qui soient durement touchés par le phénomène. Ces biens socio-humains concernent les infrastructures, les personnes âgées, les femmes, les enfants, etc. Par ailleurs, la vulnérabilité dépend à la fois de multiples paramètres (environnementaux, économiques, socioculturels et/ou politico-institutionnels) et de leurs combinaisons (Bankoff 2001, Becerra 2012 et Magnan, 2014). On peut alors distinguer six (06) grands facteurs d'influence de la vulnérabilité au changement climatique et, plus largement, aux risques naturels (figure 3).

Figure 3 : Les spatialités du territoire
Source : *Adopter de Magnan, 2014*

De l'analyse de la figure 3, il ressort que la vulnérabilité se traduit en termes de potentialités et de contraintes pour le développement de la société, et elle recouvre deux dimensions principales.

La première a trait au contexte régional auquel appartient le territoire et qui va déterminer une série d'événements possibles, tels les cyclones et la mousson dans les zones tropicales, ou les tempêtes de neige dans les zones froides. Elle fournit en quelque sorte un cadre général aux aléas naturels. Ensuite, tous les espaces d'une même zone climatique (intertropicale, tempérée, polaire) ne sont pas soumis aux mêmes perturbations, soit que les aléas varient en nature comme en intensité, soit que leurs impacts ne se traduisent pas de manière uniforme partout.

Dans le contexte de cette thèse, la définition du mot vulnérabilité part d'une meilleure détermination de l'influence ou des effets directs ou indirects d'un climat modifié sur la physiologie des cultures, leurs rendements ainsi que sur la magnitude de leur auto-ajustement. Les impacts des effets directs ou indirects du climat sont estimés à partir d'une analyse systémique en partant des relations climat-production agricole et mode de vie des populations. Aussi, la vulnérabilité dans cette thèse fait-elle référence à toute la gamme de facteurs qui exposent les populations du département de l'Atacora au Bénin à des souffrances du fait des contraintes bioclimatiques subies par les ressources naturelles. Le degré de vulnérabilité pour un individu, un ménage ou un groupe de personnes, est déterminé par son exposition aux facteurs de risque et par son aptitude à affronter les situations de crise des pluies extrêmes. Le groupe

vulnérable est l'ensemble des personnes et biens (unités sociales) présentant des caractéristiques communes et exposées aux affres des pluies extrêmes.

Adaptation : L'adaptation consiste à mettre en place un ensemble de mesures, de solutions visant à réduire la vulnérabilité d'un secteur ou d'une société aux changements des paramètres du milieu physique (climat, sol, etc.) ou même, dans certains cas, d'en maximiser les avantages (PANA, 2006). Pour FAO (2011), l'adaptation est l'ajustement dans les systèmes naturels ou humains en réponse à des inondations actuelles ou attendues, qui atténuent les dommages ou en valorisent les bénéfices. Cette adaptation met en équilibre statique les systèmes naturels ou humains de sorte qu'une situation plus grave que celle précédente arrive, elle déstabilise complètement ces systèmes. Ainsi, on distingue divers types d'adaptation, notamment l'adaptation anticipée et réactive, l'adaptation publique et privée, et l'adaptation autonome et planifiée (GIEC, 2002).

Dans le cadre de cette recherche, l'adaptation signifie les techniques développées par les populations pour réduire les incidences des pluies extrêmes qui sont le résultat aussi bien des activités anthropiques de l'Homme que des modifications naturelles.

Capacité d'adaptation : Le Groupe Intergouvernemental des Experts sur l'évolution du Climat, GIEC (2007), définit la capacité d'adaptation comme étant le mécanisme ou les actions entreprises par un système, une communauté, un individu en réaction aux impacts et effets présents et futurs induits par les phénomènes climatiques.

La capacité d'adaptation est un système d'auto-défense contre tout ce qui semble menacer une image positive de soi, se traduisant par une surestimation de soi (Gnitona, 2014). Selon Lanokou (2016), la capacité d'adaptation est 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.

Dans le cadre de cette recherche, la capacité d'adaptation désigne le processus d'ajustement sur toutes les formes considérées par GIEC (2002) développées par les populations pour faire face aux effets des extrêmes pluviométriques dans le département d'Atacora. Le renforcement de la capacité d'adaptation à une situation

permet généralement le développement de la résilience pour résister aux effets des sinistres naturels et anthropiques.

Résilience : Timmerman (1981) a été l'un des premiers à parler de résilience des sociétés humaines au changement climatique. Selon lui, la résilience désigne la capacité de tout ou partie du système à absorber et à se relever de l'occurrence d'un aléa. Selon Ouorou-Barrè (2014), la résilience est la capacité d'un système, d'une communauté, d'un individu à s'adapter aux incidences climatiques (actuels, futurs) en vue d'atténuer les impacts négatifs et d'optimiser les impacts positifs. Elles dépendent essentiellement des ressources économiques, sociales et humaines d'une société. Une notion fondamentale découle du concept résilience. Il s'agit de la résilience qui comporte deux acceptions : la résilience des écosystèmes entendu en termes de leur aptitude à absorber les impacts pour prévenir, à moyen terme, à des états de dynamique stable sans changement majeur de leurs physionomies initiales et, la résilience de la société entendue en termes de son aptitude à planifier, anticiper et mettre en œuvre des mesures (économiques, technologiques, institutionnels, etc.) de gestion des impacts des phénomènes climatiques. L'adaptation des agrosystèmes dépendra donc de la capacité des sociétés concernées à intégrer la résilience des écosystèmes cultivés dans leur planification prospective dans le Moyen Bénin (Issa, 2012). La figure 4 présente un schéma explicatif du concept résilience aux risques climatiques.

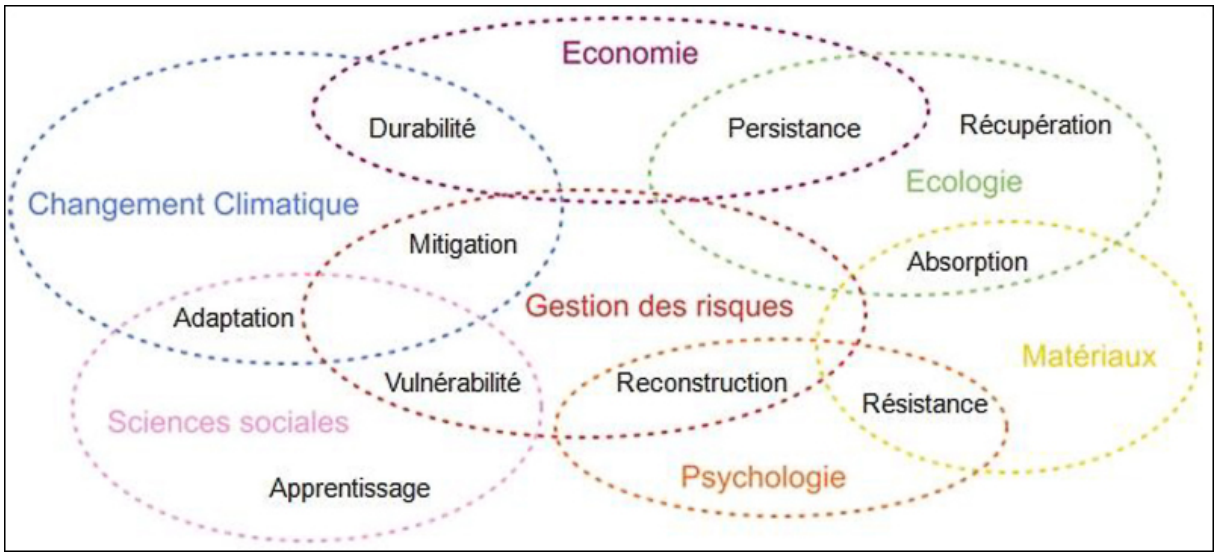


Figure 4 : Schéma explicatif du concept résilience aux risques climatiques
Source des données : GIEC, 2007

La résilience est l'aptitude d'un système, d'une collectivité ou d'une société potentiellement exposée à des aléas à s'adapter, en persévérant, en résistant ou en changeant, afin d'atteindre et de maintenir un niveau de fonctionnement acceptable (Donou, 2014). Dans le cadre de cette thèse, la résilience désigne la capacité des systèmes sociaux, économiques et environnementaux à faire face à un événement, une tendance ou une perturbation dangereuse, en répondant ou en se réorganisant de manière à maintenir la capacité d'adaptation, d'apprentissage, et de transformation.

Atténuation : l'atténuation est la mitigation, l'appropriation (Dupont, 2004). C'est l'ensemble des évolutions d'organisation, de localisation et de techniques que les sociétés devront opérer pour limiter les impacts négatifs des contraintes climatique et en maximiser les effets bénéfiques (Mingnannou, 2011). La mise en œuvre de ces techniques varie en fonction des zones et nécessite la combinaison de divers instruments. Dans le contexte de désastres naturels liés à la variabilité climatique, cette notion s'applique aux mécanismes ou actions visant à réduire l'exposition et la susceptibilité à des perturbations ou des stress (Koumassi, 2014). Dans le cadre de la présente thèse, l'atténuation se réfère aux interventions humaines visant à réduire leur vulnérabilité vis-à-vis des effets néfastes des pluies extrêmes.

CHAPITRE II

APPROCHE METHODOLOGIQUE D'ANALYSE DES PLUIES EXTREMES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS

Ce chapitre présente la nature et la source des données, les outils et les différentes méthodes utilisées pour la collecte des informations, le traitement de ces données et l'analyse des résultats obtenus. Cette approche permet de caractériser la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes, d'analyser la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes et d'identifier les stratégies d'adaptation des populations aux effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

2.1. Nature et sources des données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de cette recherche sont relatives aux données climatiques du secteur de recherche. De même, les statistiques de production agricole, les informations socio-économiques et les données démographiques ont été collectées.

2.1.1. Données climatologiques

Les données climatologiques utilisées ont été collectées à la Direction Nationale de la Météorologie (Météo-Bénin) dans le cadre de cette recherche. Il s'agit des données pluviométriques aux échelles journalières, décadaires, mensuelles et annuelles sur la période 1960-2015. 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. Il est nécessaire de travailler sur une longue série de données (au moins 30 ans) pour obtenir une analyse fréquentielle fiable.

Les premières stations pluviométriques de ce réseau ont été installées depuis 1921. Cependant, c'est à partir de 1950 que ce réseau s'est plus ou moins densifié. L'amélioration de la qualité des données qui en a résulté a conduit au choix de la période 1960-2015 comme période de référence pour l'étude des pluies extrêmes.

Le choix des postes pluviométriques a été fait en fonction du nombre d'années d'observations pluviométriques (supérieur ou égal à 50 ans) et du taux de lacunes (inférieur à 5 %). L'objectif de ce choix est d'avoir une bonne représentativité spatiale et une densité d'information pluviométrique la plus homogène possible. Les caractéristiques des stations météorologiques retenues dans le cadre de cette recherche sont présentées dans le tableau I.

Tableau I : Caractéristiques des stations et postes dont les données ont été utilisées

Localités	Création	Latitudes (Nord)	Longitudes (Est)	Altitudes (m)	Nature	Mesures
Tanguiéta	1937	10° 37’	1° 16’	225	Pluviométrique	Précipitations
Porga	1964	11° 02’	0° 53’	160	Pluviométrique	Précipitations
Boukoumbé	1923	10° 10’	1° 06’	247	Pluviométrique	Précipitations
Natitingou	1921	10° 19’	1° 06’	460	Synoptique	Préci + temp + HR + Ins
Kouandé	1931	10° 20’	1° 41’	442	Pluviométrique	Précipitations
Kérou	1965	10° 50’	2° 6’	314	Pluviométrique	Précipitations

Source des données *: Météo-Bénin, 2018*

De l’observation des données du tableau I, il ressort que six (06) stations du département de l’Atacora sont retenues pour le compte de la présente recherche dont une (01) synoptique (Natitingou) et cinq (05) pluviométriques (Boukoumbé, Kouandé, Kérou, Porga et Tanguiéta). Ces stations retenues obéissent aux critères de longueur des séries et de la qualité des données, comme prévu par l’Organisation Météorologie Mondiale (OMM).

Sur l’ensemble des stations retenues répond à une meilleure répartition spatiale et offre des séries d’observations pouvant être divisées en plusieurs sous séries pour l’analyse des extrêmes. Toutefois, ces stations n’étant pas de la même génération, les données ne couvrent pas des périodes identiques. De plus, il est noté au niveau de certaines stations des taux de disponibilité de données sur la période 1960-2015 inférieur à 100 %, ce qui constitue un souci pour une analyse approfondie.

Par ailleurs, il se pose le problème de la qualité et de la fiabilité des observations météorologiques dans le département. Pour corriger ces insuffisances des données, les séries qui présentent moins de 5 % de lacunes (Kérou et Porga) ont été comblées après homogénéisation au moyen de la technique de régression linéaire entre deux stations voisines. La figure 5 présente la répartition spatiale des stations météorologiques retenues pour la présente recherche.

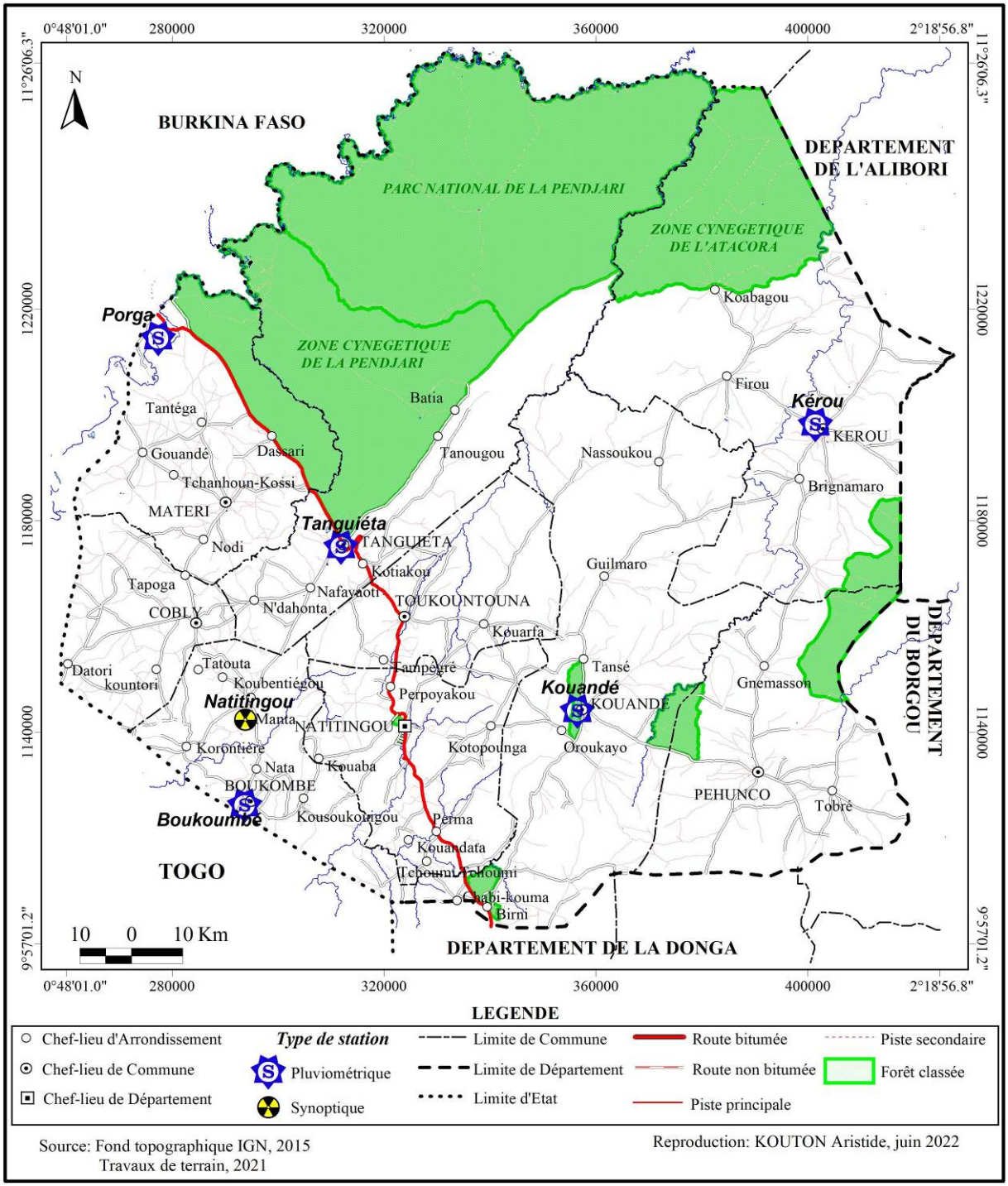


Figure 5 : Répartition spatiale des stations retenues dans le département de l'Atacora

La figure 5 montre la répartition spatiale des stations/postes retenus dans le secteur de recherche. Ces stations répondent à une bonne répartition spatiale et offrant des séries d'observations pouvant être divisées en plusieurs sous-séries. Les données des paramètres climatiques collectées au niveau de ces stations ont été utilisées pour caractériser la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

2.1.2. Statistiques agricoles

Les statistiques des productions agricoles ont été recueillies au Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP) sur la période de 1991 à 2015 car les statistiques agricoles existantes sur le secteur d'étude avant 1990 contiennent assez de lacunes.

Pour une meilleure appréciation de la vulnérabilité agricole dans le secteur, les données relatives aux cultures pratiquées sont collectées pendant la saison culturale auprès des populations interrogées et complétées par celles obtenues auprès des structures décentralisées et techniques du MAEP. Les données prioritaires sont relatives aux superficies des exploitations agricoles situées en zones à risque d'inondation et les statistiques des pertes de récoltes disponibles par épisode d'inondation survenu dans le département de l'Atacora.

2.1.3. Statistiques démographiques et informations socio-économiques

Les statistiques démographiques, telles que les données démographiques de 1979, 1992, 2002 et 2013 ont été collectées à l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE). Grâce à ces données, la dynamique de la population et des ménages agricoles a été étudiée sur la période 1979 à 2013 (avec RGPH : 1979 l'année du premier recensement général de la population et de l'habitation au Bénin et 2013 l'année du dernier recensement).

Les informations socio-économiques, quant à elles, ont permis d'appréhender les perceptions paysannes sur les manifestations des extrêmes pluviométriques et leurs effets sur les habitations, la production agricole, les infrastructures de transport et les écoles. Elles ont également permis de cerner les modes de résilience développées par les communautés face aux effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin.

2.2. Collecte des données

Les méthodes mises en œuvre pour la collecte des informations ont pris en compte la recherche documentaire et des enquêtes de terrain dans le département de l'Atacora au Bénin.

2.2.1. Recherche documentaire

Plusieurs ouvrages et travaux scientifiques ont été consultés dans différents centres de documentation dont les plus fréquentes sont les centres de documentation de la FSA, de la FASHS de la mairie des Communes dans le secteur d'étude, du LACEEDE, etc. Des données statistiques ont été collectées à la météo-Bénin, des données démographiques sur la population du département de l'Atacora au Bénin au centre de documentation de l'INSAE, des informations générales sur le système agricole au centre de documentation de l'IITA et de l'Agence Territoriale de Développement Agricole (ATDA), des statistiques agricoles (superficie, production et rendement) au MAEP, etc. La recherche documentaire a été faite aussi sur l'internet. Ce qui a permis de télécharger et d'exploiter les documents disponibles en fichiers pdf à partir de sites Web dont les plus consultés sont www.google.com, www.ask.com, https://www.google.bj et www.afidol.org.

La recherche documentaire a permis de mieux cerner les contours du sujet et de recueillir des informations sur les statistiques agricoles, les composantes biophysiques et socio-économiques dans le département de l'Atacora au Bénin. Ces différentes données ont été complétées par celles recueillies auprès des établissements humains dans les localités où les investigations ont été réalisées.

2.2.2. Enquêtes de terrain

Les investigations sur le terrain sont faites à partir de la détermination d'un échantillonnage. Ainsi, des techniques et outils de collecte ont été utilisés.

2.2.2.1. Echantillonnage

La question de la représentativité de l'échantillon étudié ne se pose pas dans la mesure où le chercheur ne scrute pas le portrait complet d'un groupe mais à relever les représentations qui structurent son quotidien (Mucchelli *et al.*, 2012).

L'échantillonnage est fait sur la base des critères bien définis. L'échantillonnage est fondé sur le caractère représentatif des différents acteurs concernés par les questions des pluies extrêmes et des stratégies d'adaptation de la population dans le département de l'Atacora au Bénin.

La taille de l'échantillon au niveau de chaque Arrondissement a été déterminée suivant la théorie probabiliste de Schwartz (1995).

$X = Z\alpha^2 \times pq/i^2$ avec x = taille de l'échantillon, Zα = 1,96 écart réduit correspondant à un risque α de 5 % ; p = n/N avec p = proportion des ménages de chaque Arrondissement (n) par rapport au nombre de ménages agricoles dans le département de l'Atacora (N) à laquelle se situe ce dernier, q = 1- p et i = 5 %.

P = Proportion des ménages agricoles par rapport au nombre de ménages dans le département de l'Atacora (effectif de ménages agricoles = 65135 ; effectif total de ménages = 107599 sur un effectif total de population d'environ 772 262). Ces données sont extraites du compendium de l'INSAE (2013).

Au total, quatre cent quatre-vingt-onze (491) personnes ont été enquêtées lors des travaux de terrain qui ont été conduits dans trente-huit (38) localités/villages du département soit un taux d'échantillonnage de 26,16 %.

Le choix des Arrondissements s'est fait en fonction des critères suivants :

- le poids de l'Arrondissement dans la production agricole. Ce critère est mesuré par les statistiques agricoles disponibles et les observations sur le terrain lors des enquêtes exploratoires. Ce critère permet de faire une analyse sur une superficie de production agricole emblavée ;
- la présence d'au moins deux (02) groupements agricoles. Ces groupements sont constitués des groupements villageois qui ont décidé de se mettre ensemble pour conjuguer leurs efforts afin de réduire leur vulnérabilité aux pluies extrêmes. Ce critère a permis d'analyser les stratégies d'adaptation collectives développées par les groupements ;
- les spéculations emblavées et surtout celles dominantes.

Les villages ont été choisis compte tenu de la population. Le choix des personnes interrogées est basé sur les critères non cumulatifs à savoir :

- avoir au moins trente (30) ans pour mieux parler des extrêmes pluviométriques dans les Communes considérées du département de l'Atacora ;

- avoir plusieurs années d'expériences dans l'exploitation des établissements humains ciblés pour parler des conséquences des pluies extrêmes sur établissements humains ;
- être directement impliqué dans la production agricole pour parler des effets des pluies extrêmes sur les établissements humains ciblés et les stratégies pour faire face à ce phénomène ;
- être une victime des inondations et avoir résidé pendant au moins dix ans dans le milieu d'étude pour parler des conséquences socio-démographiques des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora.

Le tableau II présente les localités parcourues lors des enquêtes de terrain ainsi que les caractéristiques de l'échantillonnage fait.

Tableau II : Répartition des ménages interrogés

Communes	Arrondissements	Effectif total des ménages agricoles	Effectif des ménages enquêtés	Proportion (%)
Natitingou	Kotopounga	1653	28	1,69
	Perma	985	25	2,54
Boukoumbé	Korontière	946	27	2,85
	Manta	1836	28	1,53
Cobly	Datori	1507	28	1,86
	Kountori	1966	31	1,58
Kérou	Brignamaro	2238	27	1,21
	Firou	1739	27	1,55
Kouandé	Birni	1453	29	2,00
	Guilmaro	2640	28	1,06
Matéri	Dassari	2742	27	0,98
	Tantéga	2641	27	1,02
Péhunco	Gnémasson	1436	25	1,74
	Tobré	2379	28	1,13
Tanguiéta	N'Dahonta	1439	27	1,88
	Taiakou	1844	28	1,52
Toucountouna	Kouarfa	1456	25	1,72
	Tampégré	1134	26	2,29
Total		**32034**	**491**	**26,16**

Source : INSAE, 2013 et résultats de calculs, novembre 2018

La réalisation des investigations en milieu réel a nécessité l'utilisation de divers outils et de différentes techniques de collecte des données. Il ressort de l'analyse de ce tableau que les investigations de terrain ont été menées dans plusieurs localités du

département. Elles ont été conduites dans toutes les neuf (09) communes que compte le département de l'Atacora à travers dix-huit (18) arrondissements et trente-huit (38) localités/villages.

2.2.2.2. Outils et techniques de collecte des données

Les outils de collecte des informations utilisés sur le terrain sont :

- un guide d'entretien qui a porté sur les facteurs de vulnérabilité des établissements humains et les stratégies d'adaptation développées. Il a permis de conduire des entretiens directs avec les personnes ressources ;
- un guide d'observation qui a servi à structurer les observations constatées directement sur le terrain ;
- un questionnaire dont les principales articulations reposent sur les facteurs de vulnérabilité et les stratégies d'adaptation des populations aux pluies extrêmes, etc.

Les matériels pour la collecte des données sont :

- le Global Positionning System (GPS) qui a permis de géo-référencer les localités et les établissements humains parcourus dans le secteur de recherche ;
- un appareil photographique numérique et l'enregistreur ont été utilisés respectivement pour la prise de vues des faits relatifs à la thématique de recherche et pour l'enregistrement des entretiens.

Les différentes techniques utilisées sont :

- la méthode des itinéraires qui a permis d'identifier les principaux acteurs que sont les paysans et toutes personnes pouvant fournir des informations en rapport avec les objectifs de la recherche ;
- l'Observation Participante (OP), qui a permis de cerner les perceptions des populations des effets des pluies extrêmes sur les établissements humains dans le département de l'Atacora ;
- le focus group et les entretiens individuels ont permis de recueillir auprès des populations, les informations relatives à leurs savoirs et perceptions sur les pluies extrêmes, les incidences agricoles et socio-économiques ainsi que les stratégies d'adaptation.

Les différentes informations collectées à l'aide de ces outils et techniques ont été soumises aux traitements statistiques et à l'analyse des résultats.

2.3. Traitement des données et analyse des résultats

Le traitement des données collectées et l'analyse des résultats constituent la dernière étape de l'approche méthodologique utilisée dans cette recherche. Cette partie de la démarche méthodologique est l'une des plus importantes car d'elle dépendent les résultats de la recherche.

Les différentes données collectées ont été traitées suivant des techniques appropriées. Ce traitement s'appuie dans un premier temps sur une détection des lacunes, la constitution des chroniques journalières, la spatialisation d'une moyenne des pluies et la constitution des pluies caractéristiques. Ainsi, un premier contrôle de détection des lacunes a montré que les séries de données de pluies sont constituées d'un taux de lacunes inférieur à 5 %, permettant donc une utilisation pour des analyses pluviométriques. De la banque de données, des chroniques journalières de pluies (sur la période de 1960-2015) ont été constituées pour les différents postes pluviométriques. Le choix de cette période a été faite pour deux raisons. Tout d'abord, il faut considérer un maximum de stations pour un plus vaste espace géographique possible pour les besoins cartographiques. Enfin, il est nécessaire de travailler sur une longue série de données (au moins 30 ans) pour obtenir une analyse fréquentielle fiable.

A partir des chroniques de pluies ainsi constituées, les moyennes spatialisées ont été établies suivant la méthode d'interpolation de krigeage. Enfin, les pluies maxima annuelles (PmflX) ont été générées. Des statistiques descriptives ont été appliquées aussi bien aux chroniques de pluies journalières, qu'aux séries de pluies maximales générées. Ces statistiques de base prennent en compte les moyennes, l'écart-type, la médiane, le coefficient de variation, le coefficient d'asymétrie (C_s), et le coefficient d'aplatissement (Q). Et, pour vérifier l'adéquation des séries des statistiques constituées, les tests d'hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité ont été appliquées.

2.3.1. Méthode de caractérisation de la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin

Les données collectées ont été traitées à l'aide des logiciels appropriés. Le traitement statistique a été réalisé à l'aide du tableur Excel et des logiciels SPSS et Khronostat.

2.3.1.1. Comblement des données climatologiques manquantes

L'analyse des séries d'observations pluviométriques révèle que les stations disponibles présentent des lacunes à l'échelle mensuelle (de un à plusieurs mois). Ces lacunes sont dues soit à l'absence de l'observation soit à une défaillance du pluviomètre. Le comblement de ces données manquantes a été établi à l'aide de la méthode de corrélation linéaire. C'est un outil statistique qui permet d'étudier la force d'association entre deux variables (Akognongbé, 2014), il définit une loi. La droite de régression représente la tendance moyenne de corrélation entre *x* et *y*. Le but est de linéariser la représentation du phénomène sous la forme : $y = ax + b$.

La corrélation est retenue si et seulement si le coefficient de corrélation est supérieur ou égal à 75 %. Cependant, les années ne disposant d'aucune donnée n'ont pu faire l'objet de comblement afin de ne pas biaiser les résultats.

La méthode de comblement par prévision permet de calculer ou de prévoir une valeur capitalisée à partir de valeurs existantes. La valeur prévue est une valeur x pour une valeur y donnée.

Les valeurs connues sont des valeurs x et y existantes et, la nouvelle valeur prévue est calculée par la méthode de régression linéaire. L'équation de la fonction prévision est $a + bx$, où $a = \bar{y} - b\bar{x}$ et $b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2}$ avec x et y les moyennes d'échantillon moyenne ($\bar{x}$ connus) et moyenne ($\bar{y}$ connus), x représente l'observation dont la valeur va être prévue ; $\bar{y}$ connus représente la matrice ou la plage de données dépendantes ; $\bar{x}$ connus représente la matrice ou la plage de données indépendantes.

2.3.1.2. Méthode d'analyse des hauteurs pluviométriques globales

➲ Coefficient de variation pluviométrique

La quantification du degré de variabilité de la pluviosité annuelle, saisonnière et mensuelle a été faite grâce au coefficient de variation pluviométrique exprimée par la formule :

$$Cv = \frac{\sigma(x)}{\bar{X}} \times 100$$

Avec σ(x) écart type de la série pluviométrique et $\bar{X}$ moyenne de la série. Il est exprimé en pourcentage.

➲ Indice de précipitation

La caractérisation de la nature déficitaire ou excédentaire des saisons a été faite grâce à la détermination de l'indice de précipitation aux échelles décadaires, mensuelle et annuelle.

$$\mathrm{I(i)} = \frac{Pi - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Pi}{\sigma}$$

Avec Pi la précipitation de la journée, de la décade, du mois et de l'année, $\mathrm{I(i)}$ l'indice de précipitation et N le nombre total d'observations considérées et σ l'écart type.

➲ Anomalies pluviométriques

Les anomalies pluviométriques inter-annuelles et saisonnières ont été déterminées pour chaque station selon la formule :

$$\lambda = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

avec :

X, la valeur de la précipitation annuelle ;

x̄, la moyenne inter-annuelle de la série pluviométrique considérée (1960-2015) ;

σ, l'écart type de la série ; et

λ, la valeur centrée réduite.

L'anomalie est un indice centré réduit qui désigne une situation de déficit et d'excédent par rapport à la moyenne jugée comme une situation pluviométrique ou hydrologique normale.

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

Pour déterminer les années de rupture et faire la comparaison des moyennes pluviométriques, le test de Pettitt (1979) a été appliqué. Le test de détection de rupture de Pettitt (Koumassi, 2014) dont l'hypothèse nulle consiste en l'instabilité dans l'égalité des moyennes de deux sous-séries issues de la série initiale (Akognongbé, 2014), permet d'indiquer les grandes périodes d'évolution de la pluviométrie, du nombre de jours de pluie, des températures et des fortes pluies. La rupture peut se définir comme le point à partir duquel un changement brusque ou saut intervient dans une série chronologique (Pettitt, 1979). Chaque sous-échantillon obtenu est également soumis à ce test ; subdivisant ainsi les séries en périodes globalement homogènes et présentant des moyennes significativement différentes les unes des autres.

Test de Pettitt : Le test de Pettitt, non paramétrique est dérivé du test de Mann Whitney. L'absence de rupture dans la série Xi de taille N constitue l'hypothèse nulle. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques (Xi) i=1 à t et t+1 à N appartiennent à la même population (B. Doukpolo, 2014, p.51). Ce test repose sur le calcul de la variable Ut, N définie par : $U_{t,N} \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{N} Dij$ = où $D_{ij} = sgn\ (x_i - x_j)$

Avec sgn (Z) =1 si (Z)> 0 ; 0 si Z=0 et -1 si Z < 0. Soit K_N la variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour t variant de 1 à N-1. Si K désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur K est donnée approximativement par : Prob (K_N > K) ≈ $2\exp(-6K^2 / N^3 + N^2)$. Pour un risque α de première espèce donnée, si Prob (K_N > K) est inférieure à α.

Test de Buishand et Ellipse de Bois : Le test de Buishand est un test paramétrique dont la statistique est définie à partir du maximum de la somme cumulée des écarts à la moyenne ou à la médiane. C'est un test permettant la détection d'une rupture temporelle dans une série de données. L'hypothèse alternative de ce test étant un changement brutal de la moyenne, la fonction puissance est estimée en générant des séries à partir de variables normales indépendantes de même variance mais

présentant une rupture de la moyenne à partir d'un individu choisi aléatoirement (Doukpolo, 2014).

Le test paramétrique t est utilisé pour comparer deux moyennes X1 et X2 des deux sous séries d'effectifs respectifs n_1 et n_2 obtenues de part et d'autre du point de rupture. C'est un test paramétrique de Student qui permet d'évaluer la significativité du coefficient de régression. Cette méthode permet de déterminer la hausse ou la baisse en pourcentage des précipitations et les écarts de températures. La statistique utilisée dans ce test est : $t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left(S^2\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)\right)}}$ avec $\bar{X}_1$ = Moyenne avant l'année de rupture ; $\bar{X}_2$= Moyenne après la rupture ;

n_1 = Nombre d'éléments de la première série ; n_2 = Nombre d'éléments de la 2ème série.

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

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

Pour cerner l'évolution interannuelle de la pluviométrie, des températures (maximales et minimales), des fortes pluies par rapport à la moyenne de la période considérée, la méthode de détection de rupture de la stationnarité des séries chronologiques a été utilisée dans cette étude : le test de Pettitt consiste à découper la série principale de N éléments en deux sous séries. A chaque instant, t est compris entre 1 et N-1. La série principale présente une rupture à l'instant t si les deux sous-séries ont des distributions différentes. Le test de Pettitt a été choisi pour son utilisation dans de nombreuses études de détection de changement de la stationnarité en Afrique de l'Ouest (Akognongbé, 2014 et Koumassi, 2014), pour sa puissance surtout en ce qui concerne le test de rupture (Lanokou, 2016) et, pour sa robustesse (Codjo, 2017).

2.3.1.4. Méthode d'analyse fréquentielle des séries

Les méthodes d'analyse fréquentielle font appel à diverses techniques statistiques et constituent une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Ici, l'ensemble des étapes méthodologiques a été accomplies à l'aide de l'outil statistique HYFRAN (2003). Cet outil permet de réaliser une analyse fréquentielle complète pour n'importe quelle variable pour laquelle on dispose des données numériques. Le logiciel HYFRAN est un logiciel d'ajustement de lois statistiques. Il a été développé par l'équipe du Dr. B. Bobée, qui a plus de 30 années d'expérience en

hydrologie statistique, à l'Institut National de la Recherche Scientifique, Eau-Terre et Environnement (INRS-ETE) de l'Université du Québec. Ce logiciel propose des tests statistiques classiques préalables à l'ajustement d'une loi, en vue de vérifier les hypothèses d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité de l'échantillon. Il propose un panel de 16 lois statistiques différentes à 2 ou 3 paramètres pour la réalisation des ajustements. Le logiciel propose également des outils de comparaison graphique et sur la base de critères (Parent *et al.,* 2003 ; Hubert, 2005 ; Runge *et al.,* 2005 ; Gomes *et al.,* 2008). HYFRAN (2003) est conçu de façon à simplifier les tâches liées à l'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon aléatoire. Ce logiciel offre une analyse fréquentielle en cinq étapes que sont la constitution d'une série de valeur, la vérification des hypothèses statistiques, l'ajustement de la série constituée à une loi de probabilité, l'estimation des paramètres de la distribution, la validation du modèle fréquentiel donnant l'identification des quantiles (St-Hilaire, 2005). Les cinq (05) étapes ont été appliquées aux chroniques de pluies maximums constituées (période : 1960-2015).

- **Détermination des valeurs extrêmes d'après la théorie de "la distribution des valeurs extrêmes"**

Les valeurs extrêmes ont été déterminées à partir de la série des hauteurs maximales de pluie en 24 heures. La théorie des valeurs extrêmes a été utilisée pour déterminer les périodes de retour. Son application courante est la loi de Gumbel, une loi doublement exponentielle.

L'analyse de la variation des extrêmes pluviométriques a été faite grâce à l'application de la méthode d'analyse fréquentielle aux hauteurs de pluie maximales et à l'utilisation de l'approche indiciaire aux valeurs déficitaires.

- **Vérification des hypothèses de base**

L'utilisation d'outils statistiques de base a permis de contrôler les séries de valeurs et de vérifier si elles possèdent les qualités requises pour la détermination de leur fonction de distribution. En effet, pour l'élimination des erreurs d'échantillonnage, les séries de valeurs doivent être suffisamment longues (minimum de 10 ans d'observations).

Ainsi, pour vérifier le caractère aléatoire, stationnaire, d'indépendance et d'homogénéité des séries constituées, les tests de stationnarité de Mann Kendall ; d'indépendance de Wald-Wolfowitz (Hache *et al.,* 1999) et d'homogénéité de Wilcoxon (Siegel, 1956) ont été appliqués. Ces tests statistiques permettent essentiellement d'évaluer la représentativité des répartitions observées par rapport aux valeurs connues de la population et servent à évaluer la significativité des observations. Ils sont tous basés sur le même principe qui prend en compte l'énoncé d'une hypothèse sur la population mère et servent à vérifier si les observations constatées sont vraisemblables dans le cadre de cette hypothèse. L'hypothèse de départ à vérifier est appelée H0 (hypothèse nulle). Pour chaque test, H0 est l'hypothèse nulle à valider. L'hypothèse alternative appelée H1 est à considérer si H0 n'est pas acceptée. Si le résultat du test accepte l'hypothèse nulle (H0) alors la probabilité que la répartition soit due au hasard, est élevée. En revanche, le rejet de H0 signifie que cette répartition des réponses recèle des informations qui ne semblent pas provenir du hasard et qu'il convient d'approfondir l'analyse.

Le test de stationnarité de Mann Kendall est un test de corrélation sur le rang. Il sert à détecter les tendances dans les séries (Yue *et al.,* 2004). Pour INRS-ETE (2005), ce test permet aussi de vérifier si les caractéristiques statistiques (moyenne, variance, etc.) sont invariantes dans le temps. Ainsi, l'hypothèse H0 signifie qu'il n'y a aucune tendance dans les observations et H1 montre qu'il y a une tendance dans les observations. Le test d'indépendance de Wald-Wolfowitz est utile pour vérifier dans les observations, l'existence d'une dépendance séquentielle qui conduirait, lorsque celle-ci est avérée, à définir le type et le niveau de celle-ci avant de continuer l'étude du processus des fréquences. Pour l'hypothèse H0 les observations sont indépendantes alors que pour H1 les observations sont dépendantes (autocorrélation d'ordre 1). Le test d'homogénéité à l'échelle annuelle de Wilcoxon (Siegel, 1956) permet de vérifier si les informations sont homogènes. Pour effectuer ce test, l'échantillon doit être subdivisé en deux ce qui permettrait donc de voir si la moyenne du premier sous-échantillon est significativement différente de celle d'un deuxième sous-échantillon. Si tel est le cas, on conclut que la série de données n'est pas homogène. Dans le cas contraire, la série est homogène. L'hypothèse H0 montre que les moyennes des deux sous-échantillons sont égales tandis que pour l'hypothèse H1, les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes.

➲ Ajustement de lois de probabilité

Pour plusieurs lois, HYFRAN offre différentes méthodes d'ajustement. Néanmoins, la détermination de la meilleure loi d'ajustement a toujours été délicate et le choix du modèle peut être crucial pour l'estimation des quantiles. Toutefois, en Afrique tropicale plusieurs auteurs (Brunet-Moret, 1967 ; Oyebande, 1982 ; Puech *et al.,* 1984; Koutsoyiannis, 2004a ; 2004b) ont utilisé la loi Gumbel comme modèle d'ajustement des séries chronologiques de valeurs extrêmes dans le cadre de nombreuses études. Selon Le Barbé *et al.,* (1993) l'utilisation de lois ayant un nombre suffisant de degrés de liberté (trois paramètres en général sont suffisants) permet presque toujours de bons ajustements. Différentes méthodes existent pour ajuster les distributions statistiques aux échantillons. Dans la littérature les auteurs proposent, plusieurs lois comme fonction de distribution des valeurs extrêmes et appliquées aux séries chronologique. On cite la loi Gumbel, les lois normales, la loi exponentielle, les lois Gamma, la loi GEV, les lois Pearson. Ces différentes lois font partie du domaine d'attraction de la loi GEV (Alamou, 2011). Nous avons dans le cadre de la présente étude, testés (à partir de l'outil statistique choisi) pour chacune des séries constituées la loi GEV.

Au moyen de l'outil statistique, les ajustements ont été effectués et les fréquences empiriques de chaque variable ont été testées.

➲ Estimation des paramètres de distribution

Les principales méthodes d'estimation ont été utilisées pour estimer les paramètres des différentes lois de probabilité. Il s'agit de la méthode des L-moments et de celle du maximum de vraisemblance. La méthode des L-moments consiste à égaler les moments théoriques de la distribution (qui sont fonction des paramètres) et leur estimation obtenue à partir de l'échantillon. En vue de l'estimation de k paramètres, elle a pour principe d'égaler les k premiers moments estimés de la population, exprimés en fonction des k paramètres, aux k premiers moments de l'échantillon. Pour rappel, les moments sont soi des paramètres de dispersion, soit des indices de dissymétrie. La méthode du maximum de vraisemblance a pour principe de choisir comme estimation de tout paramètre la valeur la plus vraisemblable, c'est-à-dire celle qui a la plus forte probabilité de provoquer l'apparition des valeurs réellement observées dans l'échantillon (Dagnelie, 1992). Les lois de distribution statistique

retenues pour l'ajustement des valeurs extrêmes annuelles sont susmentionnées concomitamment aux études relatives aux valeurs extrêmes menées par Brunet-Moret (1967), Mounis *et al.,* (1974), Oyebande (1982), Puech et Chabi-Gonni (1984), CIEH (1985), Panigrahi *et al.,* (2002), Koutsoyiannis (2004a, 2004b), Bouvier *et al.,* (2005). Et, pour valider la loi statistique retenue relative à chaque série constituée, le test de khi2 est appliqué.

L'interpolation des précipitations intenses et extrêmes a été faite par la méthode du krigeage ordinaire (Matheron, 1965, 1971 ; Cressie, 1993) qui suppose la moyenne du processus inconnue (Avahounlin *et al.,* 2013). Les bases de la méthode reposent sur le calcul et la modélisation de la fonction de structure spatiale (γ) ou variogramme du processus. Ainsi, considérant un processus bidimensionnel représenté par une fonction aléatoire (F.A.) ϕ prenant la valeur $\phi(x)$ au point x puis la valeur $\phi(x+h)$ en un point situé à la distance h du point x. Le variogramme γ est alors calculé par l'Eq.6 qui exprime que le variogramme est l'accroissement quadratique moyen entre deux points séparés d'une distance h.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\left[\left(\phi(x+h) - \phi(x)\right)^2\right]$$

En hydrométéorologie, dans la pratique, compte tenu du nombre limité de points de mesures (stations), le calcul du variogramme (variogramme expérimental (γ_e)) se fait (Eq. 7) par la moyenne quadratique empirique sur l'ensemble de tous les points distants approximativement de h, formant la classe h.

$$\gamma_e(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} \left[\left(\phi(x+h) - \phi(x)\right)^2\right]$$

Où N_h représente le nombre de couples de stations (i, j) telles que la distance les séparant est donnée par : $h_{ij} = \left\| x_i - x_j \right\| \in \left[h \pm \frac{\Delta h}{2} \right]$

Avec Δh, le pas de découpage des classes. Chaque classe a été représentée par son centre et un modèle de variogramme est ajusté au variogramme brute par la méthode automatique des moindres carrés. A partir d'un variogramme modélisé, des points de grille régulière ont été considérés. L'estimation des valeurs est faite de la façon suivante : Soit un point x_0 où la F. A. ϕ à la valeur $\phi(x_0)$ inconnue. La valeur

inconnue est estimée par $\phi^*(x_0)$ comme une somme pondérée des valeurs observées ou mesurées (Eq. 9) aux N_S points choisis (voisinage) du réseau d'observation par :

$$\phi^*(x_0) = \sum_{j=1}^{N_S} \lambda_j \phi(x_j)$$

Où λ_j représente le poids de pondération de la valeur observée au point x_j. Les poids de pondération λ_j sont déterminés en résolvant le système de krigeage qui découle des conditions d'optimalité et de non biais du krigeage (Matheron, 1971).

$$\sum_{j=1}^{N_S} \lambda_j \gamma(h_{ij}) + \mu = \gamma(h_{0i}) \quad ; \quad i = 1, 2, 3, ..., N_S$$

$$\sum_{j=1}^{N_S} \lambda_j = 1$$

Où μ est le multiplicateur de Lagrange. Dans cette thèse, il a été adopté la méthode de voisinage global pour l'interpolation. Une fois les poids de pondération déterminés, on déduit les valeurs estimées par krigeage.

➲ **Critères de sélection des lois de distributions statistiques**

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle réside dans le choix du modèle fréquentiel. Plus le nombre de paramètres d'une loi est grand, plus l'incertitude dans l'estimation est importante. En effet, sur l'ensemble des séries constituées, le critère graphique est difficile à valider car il repose sur le positionnement des points sur un graphique et sert à renforcer le choix effectué. A l'observation graphique montrant plusieurs ajustements, la comparaison des quantiles indique que là où l'une maximise sur un intervalle de fréquence, l'autre minimise et ainsi de suite. La comparaison visuelle du meilleur ajustement entre les séries de valeur et la loi de probabilité constitue un aspect essentiel du jugement porté sur l'adéquation. Il a été donc privilégier les lois minimisant le critère d'information d'Akaike (Akaike Information Criterion) AIC et le critère d'information bayésienne (Bayesian Information Criterion) BIC couramment utilisées dans le choix du meilleur modèle parmi un ensemble de modèles plausibles (INRS-ETE, 2005). Ces critères sont définis par rapport à la méthode de vraisemblance. Leurs expressions se présentent comme suit :

$$BIC = -2log(L) + 2Klog(N) \text{ et } AIC = -2log(L) + 2K$$

où L est la vraisemblance ; K est le nombre de paramètres, N est la taille de l'échantillon. Le choix de la meilleure loi retenue se fait sur la base de comparaison numérique entre les critères Bayésien et Akaike et la probabilité à posteriori fixée à 20 %. Ainsi, la loi pour laquelle les valeurs de AIC et BIC sont simultanément les plus faibles pour une probabilité à posteriori plus élevée est retenue.

➲ Validation du modèle fréquentiel retenu

Les lois de distribution statistique retenues pour l'ajustement des valeurs extrêmes annuelles sont susmentionnées concomitamment aux études relatives aux valeurs extrêmes menées par Brunet-Moret (1967), Mounis *et al.* {197A), Oyebande (1982), Puech et Chabi-Gonni (1984), CIEH (1985), Panigrahi *et al.* (2002), Koutsoyiannis (2004a, 2004b), Bouvier *et al.* (2005). Ensuite à partir de la loi statistique validée, les quantiles Xj correspondants à chaque variable sont déterminés. L'ensemble des étapes méthodologiques de l'analyse fréquentielle sont illustrées à la figure 6.

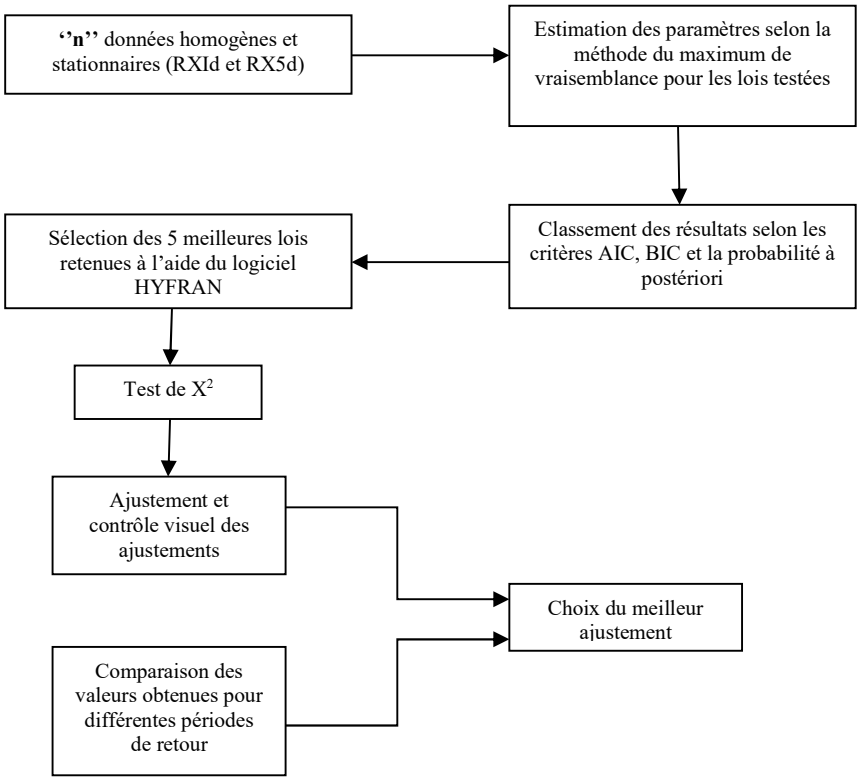


Figure 6 : Etapes méthodologiques de l'analyse fréquentielle

➲ Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle permet de caractériser l'évolution des pluies extrêmes enregistrées 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 de pluies extrêmes. Ce modèle décrit la probabilité d'apparition d'une pluie de valeur données (Auliac, 1995 ; Houndakinnou, 2005 ; Donou, 2009 et 2014).

Ces différentes étapes de l'analyse fréquentielle ont permis d'établir un modèle de l'évolution des valeurs pluviométriques maximales dans le département de l'Atacora au Nord-Bénin. Le but visé par cette analyse est de déterminer la fréquence d'occurrence des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin. Pour cela, la série des hauteurs maximales de pluie a été constituée.

➲ Constitution de la série des hauteurs maximales annuelles de pluies

Pour constituer la série des hauteurs maximales de pluies, la méthode des valeurs extrêmes a été utilisée. Elle comporte les deux étapes suivantes :

- **1ère étape :** choix de la hauteur maximale journalière de pluies 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 1960-2015, de manière à constituer la série des hauteurs maximales mensuelles ;
- **2ème 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 1960-2015.

➲ 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 paire de valeurs (x_1, x_2), (x_2, x_3), …, (x_n-1, x_n) et (x_n, x_1). Pour une taille n = 56 valeurs, le coefficient d'auto-corrélation suit une loi normale d'espérance mathématique *E(R)* et de variance *VAR (R)* :

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

➲ **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 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 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.

Aussi, l'application d'une loi dépend de l'évolution (linéaire, exponentielle, stochastique, asymétrique) des données et de leur échelle. Si elle est exponentielle, le choix porte sur la loi de Gumbel. Si cette distribution est asymétrique, il est possible d'utiliser la loi de Pearson 3 ou de Goodrich (Meylan et Musy, 1999 ; Donou, 2014). Pour le choix du modèle, les données maximales de chaque station ont été soumises à un test statistique avec Hydracess. En fonction des résultats de ce test, les modèles ont été utilisés pour l'analyse.

2.3.2. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des établissements humains

L'analyse de la littérature existante (GIEC, 1994 ; UNFCCC/LEG, 2002 ; Winograd, 2004 ; Dazé, 2010 ; etc.) a permis d'identifier plusieurs cadres méthodologiques pour l'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation dans un contexte de variabilité et de changements climatiques. Carter *et al.* (1994) ont proposé une approche ascendante «top-down», où l'étude de la vulnérabilité prend comme point de départ des

scénarios de changements climatiques, permettant d'identifier les impacts auxquels sont définies et évaluées des mesures d'adaptation. Par contre, Lim *et al.* (2005) ont développé une approche ascendante « Bottom-up », examinant les vulnérabilités actuelles et futures, ainsi que les capacités d'adaptation, afin de définir des stratégies d'adaptation qui feront l'objet d'un suivi. Cette approche, qui se veut flexible, priorise la participation de tous les acteurs à toutes les étapes.

Les lignes Directrices Annotées proposées par UNFCCC/LEG (2002) et UNFCCC/LEG (2005), pour les Plans d'Action Nationaux pour l'Adaptation préconisent également une approche ascendante (« bottom-up »), où la vulnérabilité est le point d'entrée et vise à améliorer les capacités d'adaptation endogènes en fonction des besoins urgents et immédiats des pays en matière d'adaptation. L'approche participative vise à contribuer à la définition de la vulnérabilité, à identifier la manière dont les populations font face à la variabilité climatique actuelle et enfin à participer au choix des options d'adaptation à mettre en œuvre pour réduire la vulnérabilité actuelle et future au climat.

Cette approche a été améliorée par le guide de référence sur la vulnérabilité élaborée par la GIZ au Bénin en 2014. En effet, le guide propose en plus des méthodes existantes une approche standardisée pour conduire des analyses de vulnérabilité couvrant un large éventail de secteurs et de sujets (par ex. l'eau, l'agriculture, la pêche et les différents écosystèmes), différents niveaux territoriaux (communautaire, infranational, national) et temporels (par ex. la vulnérabilité actuelle, à moyenne et longue échéance). L'utilisation de ce guide permet de : (i) réaliser un diagnostic approfondi de la vulnérabilité aux changements climatiques ; (ii) améliorer la planification de l'adaptation et du développement ; (iii) renforcer l'élaboration de mesures d'adaptation, et (iv) appuyer le suivi et l'évaluation de l'adaptation.

2.3.2.1. Evaluation de la vulnérabilité

D'une façon générale, les réflexions sur les vulnérabilités aux pluies extrêmes sont très poussées pour les enjeux liés à l'agriculture, aux activités socio-économiques et à l'habitat. Selon Penning-Rowsell, 1999, il existe une typologie fine de l'habitat considérant 21 catégories types en croisant trois critères (la nature du logement, la date de construction et la catégorie socioprofessionnelle des occupants). Pour

chacune de ces catégories, on calcule des dommages en fonction d'un ou plusieurs paramètres de l'aléa.

Les démarches qualitatives et les analyses de vulnérabilités des établissements humains sont toutefois peu développées. En outre, les analyses de type multicritères ne sont pas employées dans le cadre de l'évaluation des impacts des inondations (Penning-Rowsell, 1999). Ainsi, la vulnérabilité agricole aux pluies extrêmes a été évaluée à travers l'analyse de l'évolution de la production de certaines cultures et grâce aux investigations socio anthropologiques. Les observations directes de terrain ont permis d'identifier et d'évaluer les incidences des pluies extrêmes sur la production agricole. Dans le cadre de la présente étude de vulnérabilité, la démarche adoptée a été inspirée du canevas conceptuel suivant (figure 7).

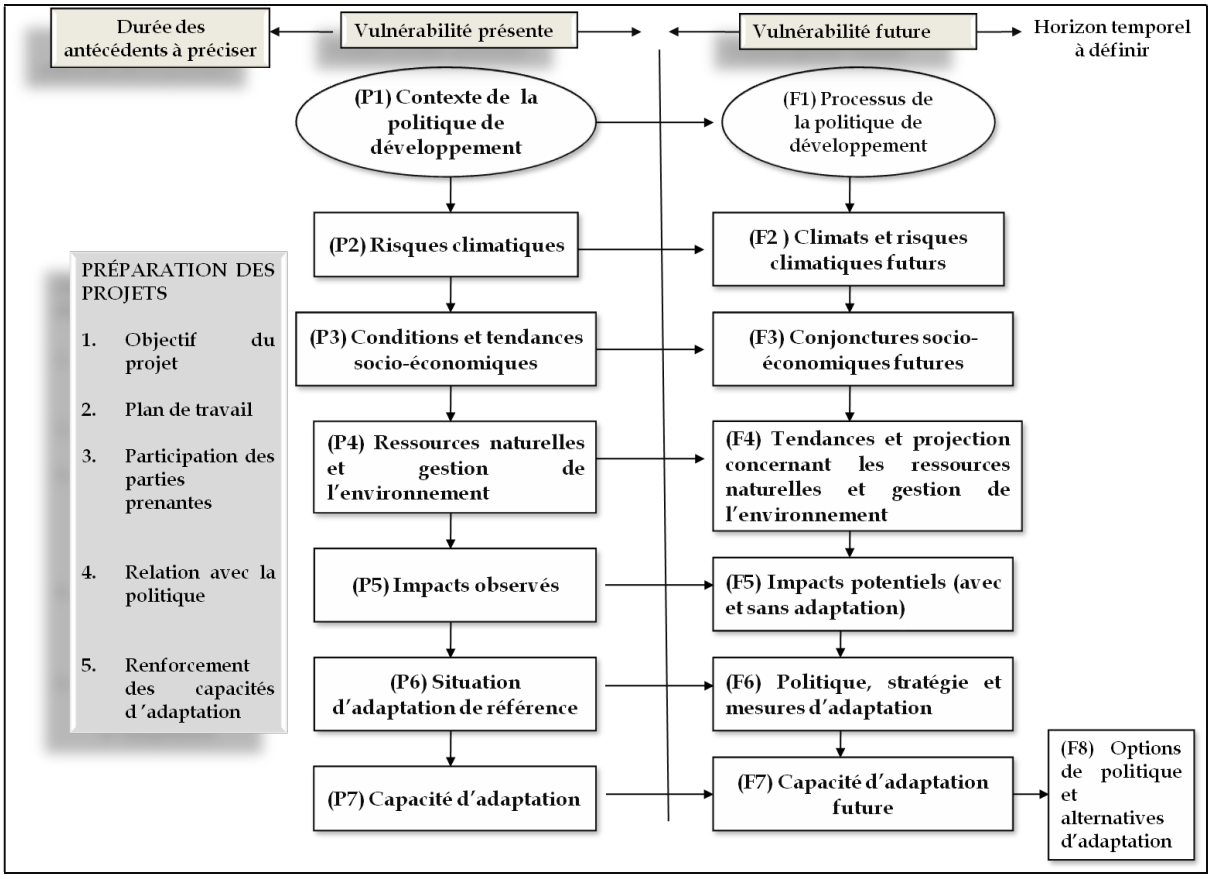


Figure 7 : Cadre conceptuel utilisé pour l'étude de la vulnérabilité dans le secteur de l'agriculture et des ressources en eau
Source : PNUD (2006), adapté de Kouton (2017)

L'approche d'analyse de la vulnérabilité des établissements humains utilisée est participative. Elle a été inspirée du Guide méthodologique pour l'évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques développée par l'USAID (Fall *et al.*, 2011),

du guide méthodologique pour l'Analyse Participative de la Vulnérabilité et de l'Adaptation aux Changements Climatiques (APVACC) développé par World Agroforestry Center (Boureima *et al*., 2012), du Guide de Référence sur la vulnérabilité élaborée par GIZ (2014) et du cadre des politiques d'adaptation aux changements climatiques (PNUD, 2006).

2.3.2.2. Analyse de la vulnérabilité aux risques pluviométriques

Pour analyser la vulnérabilité des modes et moyens d'existence, la matrice de sensibilité aux risques pluviométriques est utilisée (Kodja, 2013). C'est une approche méthodologique plus simple qui permet d'établir la sensibilité aux risques climatiques. La mise en œuvre recouvre plusieurs étapes à savoir :

Etape 1 : elle consiste à établir la liste des unités d'exposition dans le secteur considéré qui vont être prises en compte dans l'exercice de l'analyse de la vulnérabilité. Ces secteurs ou unités d'exposition vont former les lignes de la matrice de sensibilité ;

Etape 2 : la deuxième étape consiste à établir un inventaire des risques climatiques les plus significatifs pour les secteurs ou unités d'exposition dans la région considérée.

Etape 3 : la troisième étape est celle de l'évaluation du degré de sensibilité de chaque secteur ou unité d'exposition à chacun des risques climatiques retenus. Pour ce faire, cinq niveaux de sensibilité sont considérés comme l'illustre le tableau III.

Tableau III : Barème d'évaluation des risques pluviométriques

Echelle de grandeur du degré de vulnérabilité	Ampleur du risque
1	Faible
2	Assez faible
3	Moyen
4	Assez fort
5	Fort

Source des données : *Kodja, 2013*

L'application de la matrice produit trois (03) indicateurs :

- l'indice d'exposition ;
- le rang en termes d'exposition des unités d'exposition aux risques pluviométriques ;
- l'indice d'impact des risques pluviométriques.

Le tableau IV présente le cadre conceptuel de la matrice de sensibilité.

Tableau IV : Présentation formelle d'une matrice de sensibilité

Unités d' exposition	Risques climatiques				Indice d' exposition	Rang
	Risques climatiques 1	Risques climatiques 2	Risques climatiques 3	Risques climatiques 4		
Unités d'exposition 1						
Unités d'exposition 2						
Unités d'exposition 3						
Unités d'exposition 4						
Indice d'impact						

Source : *J. Kodja, 2013*

L'application de la matrice produit trois indicateurs :

- l'indice d'exposition ;
- le rang en termes d'exposition des unités d'exposition aux risques pluviométriques ;
- l'indice d'impact des risques pluviométriques.

La valeur de l'indice d'exposition pour une unité d'exposition donnée est la somme des colonnes pour chaque ligne de la matrice. La valeur de l'indice d'impact pour un risque donné est la somme des lignes pour chaque risque (Kodja, 2013). Cet indice peut être utilisé pour établir une hiérarchisation des risques dans la localité considérée par rapport aux unités d'exposition considérées.

➲ Indicateurs socio-anthropologiques

Sur la base des investigations de terrain des indicateurs socio-anthropologiques, extraits des informations fournies par les populations enquêtées et issus des observations de terrain ont été déterminés. Ces informations portent sur les faits témoins de l'évolution des situations pluviométriques extrêmes du département et de leurs impacts sur l'agriculture.

La combinaison des indicateurs agroclimatiques de chaque culture et des observations de terrain a permis d'élaborer des indicateurs de vulnérabilité agricole dans le secteur d'étude. Les outils d'analyse mis au point par le Groupe

Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (GIEC) et ceux adaptés par le Groupe d'Experts des Pays les Moins Avancés (LEG), notamment :

- la technique de la courbe de vulnérabilité en toile d'araignée pour l'analyse des moyens d'existence durable et la détermination de la vulnérabilité socio-économique des modes d'existence ;
- la technique de la matrice de sensibilité pour la détermination des indicateurs d'exposition des moyens et modes d'existence aux extrêmes pluviométriques et celle des indicateurs d'impact des risques climatiques sur les modes d'existence des producteurs du département de l'Atacora.

La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation (GIEC, 2007).

➲ Méthode d'évaluation de la capacité d'adaptation des populations

La capacité d'adaptation des populations a été déterminée par la méthode d'évaluation des paysages utilisée par S. Bokoto (2008). Dans le cadre de la présente recherche, la méthode consiste à identifier les ressources de base ou sous indicateurs de chacun des indicateurs des modes d'existence des populations. N. Djenontin (2010) définit un « moyen d'existence » comme les capacités, actifs (réserves, ressources, revendications et accès) et activités nécessaires à un moyen de subsistance. Le moyen d'existence contribue à une perception holistique des systèmes de vie. Un moyen d'existence est durable s'il peut faire face au stress et aux chocs et s'en remettre, maintenir et améliorer ses capacités et actifs et offrir, des possibilités de moyens d'existence à la prochaine génération sans endommager les ressources naturelles de base (D. Carney et *al*., 1999).

D'après la GIEC (2007), l'analyse des moyens d'existence se concentre sur les populations et permet de connaître les moyens d'existence dans la communauté, les populations qui ne sont pas en mesure de satisfaire leurs besoins fondamentaux, les activités et sources de revenu de la population, les groupes vulnérables, les mécanismes de régulation de l'utilisation et du contrôle des ressources de base. La figure 8 présente la capacité d'adaptation des populations.

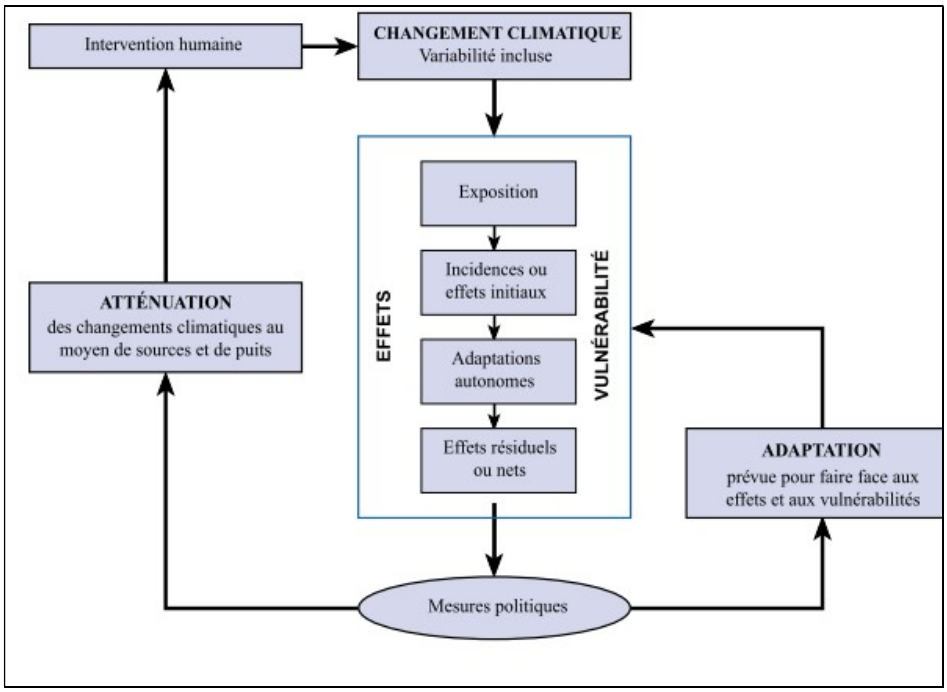


Figure 8 : Cadre des moyens d'existence
Source : GIEC, 2007

L'évaluation de l'incidence des pluies extrêmes, de l'adaptation et de la vulnérabilité fait appel à un large éventail de disciplines physiques, biologiques et sociales et, par conséquent, à une variété considérable de méthodes et d'outils. Depuis le SAR, ces méthodes ont affiné la détection des changements survenus dans les systèmes biotiques et physiques, produisant de nouveaux résultats importants. De plus, on s'est employé à élargir la gamme d'outils utilisés afin de mieux étudier les dimensions humaines du climat comme causes et conséquences des changements et pour traiter plus directement les questions intersectorielles relatives à la vulnérabilité, à l'adaptation et à la prise de décision. On peut constater, en particulier, qu'un plus grand nombre d'études ont employé des méthodes et des outils pour établir le coût et la valeur des effets, gérer les incertitudes, intégrer les répercussions dans différents secteurs et régions et appliquer des cadres analytiques de décision en vue d'évaluer la capacité d'adaptation. De façon générale, ces modestes progrès méthodologiques favorisent la réalisation d'analyses qui permettront de préciser la meilleure façon de prendre les décisions relatives à l'adaptation.

Depuis le SAR, des méthodes ont été élaborées afin de déceler l'incidence actuelle des changements climatiques du XXe siècle sur les systèmes abiotiques et biotiques. L'évaluation des effets sur les systèmes naturels et humains des changements climatiques récents complète utilement les projections de l'impact futur par les

modèles. La détection est rendue difficile par de multiples forces indépendantes du climat, souvent inters reliés, qui affectent simultanément ces systèmes. Pour tenter de surmonter ce problème, on a utilisé des espèces (papillons, pingouins, grenouilles, anémones de mer, par exemple) afin de déceler les réactions aux changements climatiques et d'en déduire les répercussions plus globales sur les systèmes naturels (respectivement : prairies naturelles, littoral antarctique, forêt tropicale d'altitude et zone intertidale rocheuse du Pacifique).

Un aspect important est la recherche de configurations de changements qui se répètent dans de nombreuses études et qui concordent avec les prévisions, selon l'évolution observée ou prévue du climat. L'imputation de ces modifications aux changements climatiques est mieux fondée lorsque les études sont reproduites dans des régions géographiques et des systèmes divers. Il existe des centaines d'études de ce type mais certains systèmes et régions sont encore sous-représentées.

Les sous-indicateurs sont notés selon qu'ils soient non disponibles, limités, disponibles ou très disponibles (tableau V).

Tableau V : Barème de notation des indicateurs socio-économiques

Disponibilité Sous indicateur	Non disponible	Limité	Disponible	Très disponible
Côte	0	1	2	3

Source des données *: Conception Kouton, 2020*

L'indicateur se voit affecter la moyenne des sous-indicateurs qui le composent.
La moyenne des cotes des différents indicateurs constitue la capacité d'adaptation des populations. Cette capacité d'adaptation est faible, moyenne ou élevée si la moyenne est inférieure à 2, comprise entre 2 et 3 ou comprise entre 3 et 4 (figure 9).

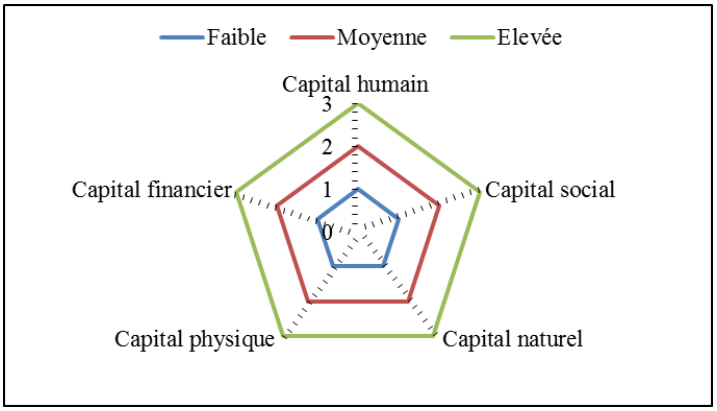


Figure 9 : Capacité d'adaptation des paysans

La capacité d'adaptation est dite « faible » si la moyenne des indicateurs est inférieure ou égale à 1, « moyenne » si elle est supérieure à 1 et inférieure ou égale à 2 et « élevée » si la moyenne est supérieure à 2.

2.3.3. Analyse des résultats

L'analyse des résultats a été faite à l'aide du modèle PEIR. Il a permis d'évaluer l'état et les tendances des déterminants et des causes profondes, des impacts de la dynamique des pluies extrêmes sur les unités sociales (santé, revenus) et les réponses apportées par les populations pour réduire leur vulnérabilité. La figure 10 présente le modèle PEIR appliqué à l'étude.

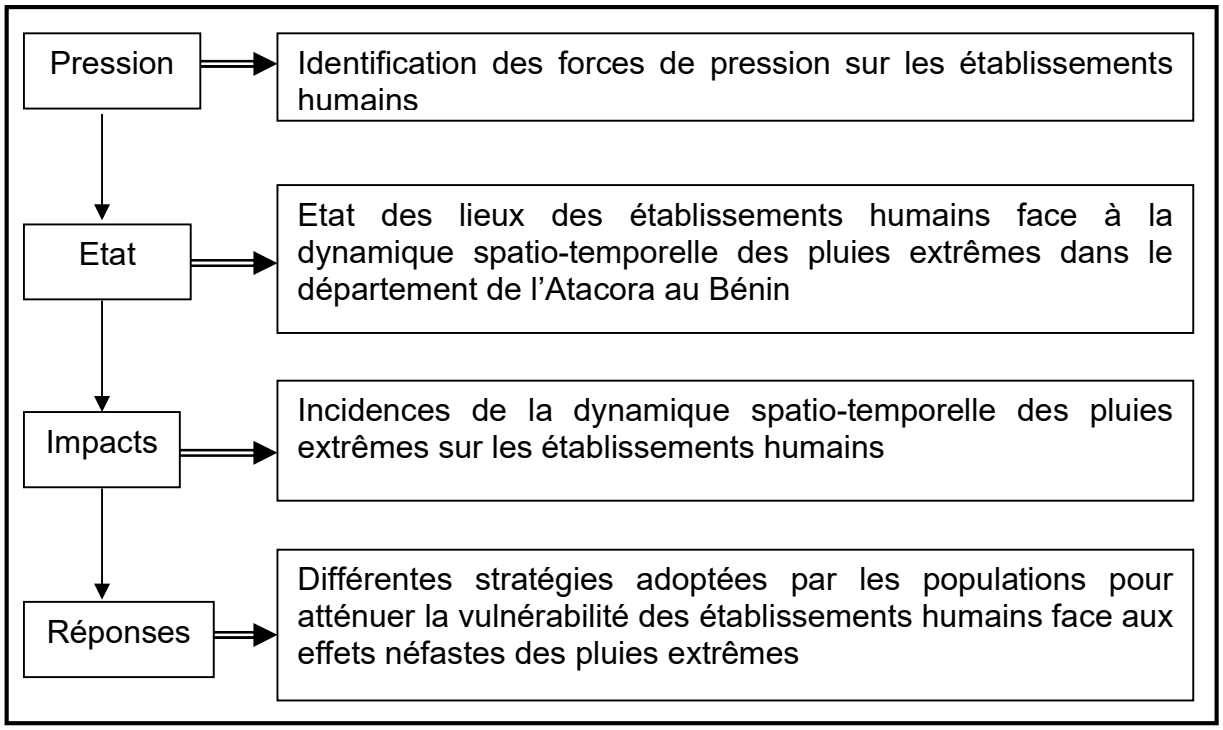


Figure 10: Modèle PEIR appliquée à l'étude de la vulnérabilité des établissements humains dans le département de l'Atacora au Bénin

La figure 10 montre le cadre conceptuel du modèle PEIR appliqué à l'analyse de la vulnérabilité des populations aux pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin. Ainsi, le cadre conceptuel du modèle PEIR permet d'identifier les forces de pression sur les établissements humains, de faire l'état des lieux des établissements humains face à la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes, d'examiner les incidences de la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes sur les établissements humains et d'analyser les différentes stratégies adoptées par les populations pour atténuer la vulnérabilité des établissements humains face aux effets néfastes des pluies extrêmes.

Conclusion partielle

La recherche documentaire a permis de faire le point des connaissances, rendre plus compréhensible le sujet par une clarification des concepts, de justifier l'intérêt de la présente recherche et d'appréhender la relation existante entre les précipitations, les établissements humains et le développement agricole. La démarche méthodologique adoptée est basée sur le calcul des anomalies pluviométriques, l'analyse des hauteurs pluviométriques globales et les investigations en milieux réels. Les principales méthodes employées sont l'analyse des données climatologiques, l'analyse de la vulnérabilité des établissements humains face aux effets néfastes des pluies extrêmes, les avis des acteurs et des autorités. Le modèle d'analyse PEIR (Pression, Etat, Impacts, Réponses) a été utilisé pour l'analyse des résultats. Dans la suite de la présente recherche, les manifestations des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora et les facteurs explicatifs sont abordés (partie II).

DEUXIEME PARTIE

FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES ET MANIFESTATIONS DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA

Cette partie de la thèse est consacrée à l'analyse des manifestations des pluies extrêmes et des facteurs explicatifs de leur survenue dans le département de l'Atacora. Cette partie est composée de deux (02) chapitres. Il s'agit des fondements géographiques, des manifestations des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin (chapitre III) et de la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le secteur d'étude (chapitre IV).

CHAPITRE III

FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES DE LA VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS AUX PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN

Ce chapitre présente les fondements géographiques de la vulnérabilité des établissements humains considérés dans le cadre de cette thèse (habitations, champs, voirie et écoles) aux pluies extrêmes dans le département de l'Atacora.

3.1. Situation géographique du département de l'Atacora

Le milieu d'étude est situé dans la partie septentrionale à l'extrême nord-ouest du Bénin entre 9° 57' 32'' et 11° 28' 45'' de latitude nord et entre 0° 46' 32''et 2° 20'41'' de longitude est. Il s'étend sur une superficie de 20499 km^2 (IGN, 2002) et compte neuf communes : Boukombé, Cobly, Kérou, Kouandé, Matéri, Natitingou, Ouassa-Péhunco, Tanguiéta et Toucountouna (figure 11).

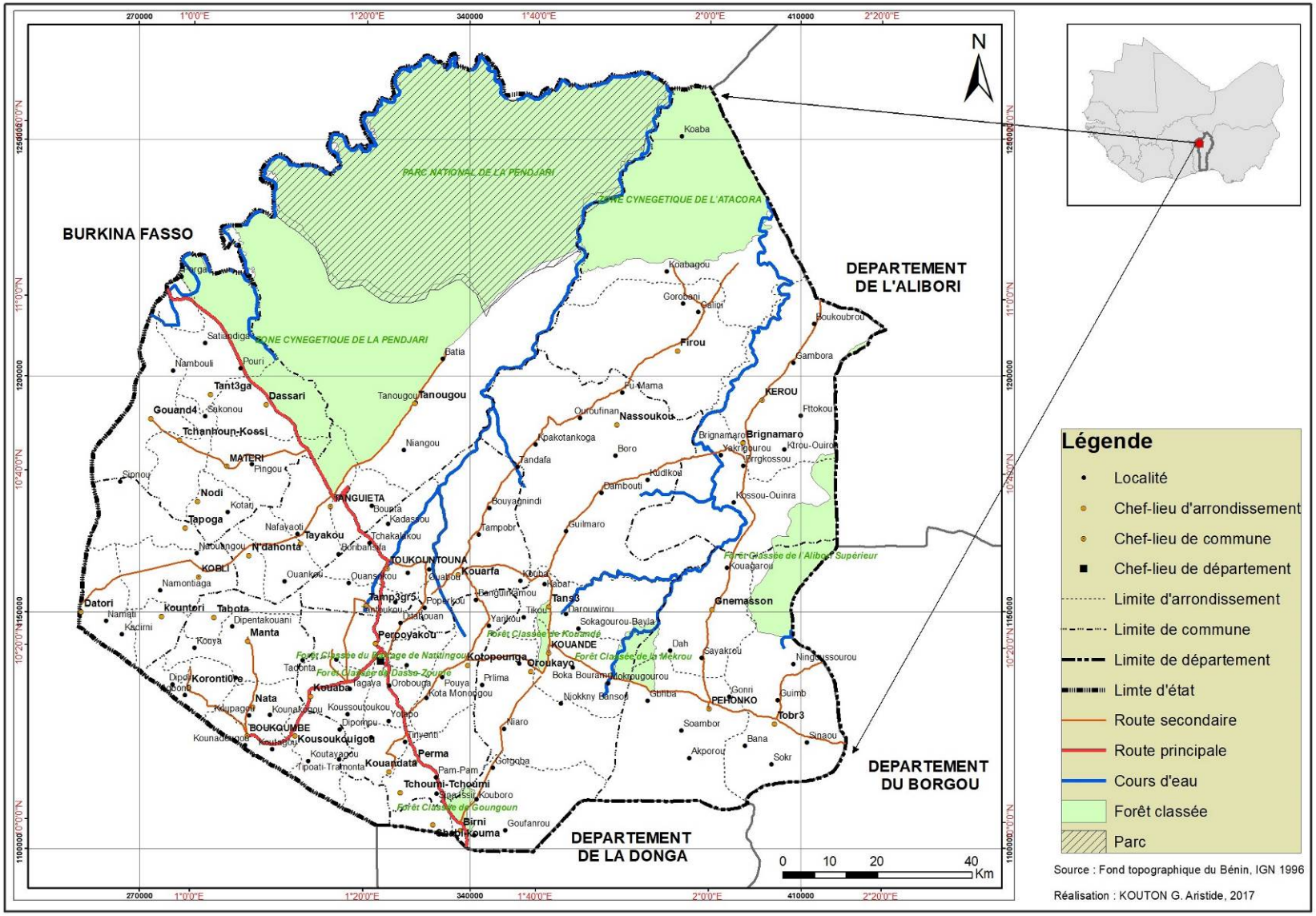


Figure 11: Situations géographique et administrative du département de l'Atacora

3.2. Facteurs explicatifs de la fréquence des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin

Les facteurs explicatifs de la fréquence des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin sont les facteurs naturels et humains.

3.2.1. Facteurs naturels dans le département de l'Atacora

Cette rubrique présente le contexte climatique général du département de l'Atacora, les facteurs géologiques, pédologiques, le réseau hydrographique et régime hydrologique et le couvert végétal du département de l'Atacora.

3.2.1.1. Contexte climatique général du département de l'Atacora

L'Afrique de l'ouest se caractérise par des situations très contrastées en matière de climat. C'est ainsi que durant le XX^{è} siècle, des périodes sèches et humides ont alterné en Afrique de l'Ouest (Hulme *et al.,* 2001). La récente sécheresse qui y sévit se caractérise par sa durée, son intensité et son extension.

Selon le modèle de circulation générale à 3 cellules convectives (figure 12 a), le régime climatique de l'Afrique de l'ouest est déterminé par la cellule de Hadley (Gallée *et al*., 1994 et 2001). Il s'agit d'une cellule thermique caractérisée par une expansion ascendante près de l'équateur météorologique et divergeant en altitude vers les pôles. Cette zone convective crée une région de basses pressions, appelée Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT).

En Afrique de l'ouest, elle est encadrée par les anticyclones des Açores et de Sainte Hélène, respectivement au nord et au sud de l'équateur météorologique. En réaction, des courants de subsidence appelés alizés, à 30° de latitude, convergent en surface vers l'équateur (figure 12 b). Au niveau de la mer, les alizés se dirigent vers la zone très instable de convergence intertropicale. Dans leur trajet vers l'équateur, ils absorbent chaleur et humidité. Sous l'effet combiné de cette convergence et des nombreux courants convectifs de cette région, l'air humide et instable de la zone intertropicale est envoyé en altitude. D'importants cumulonimbus se développent, dont les sommets dépassent parfois la tropopause et atteignent 18 000 m (figure 12 c).

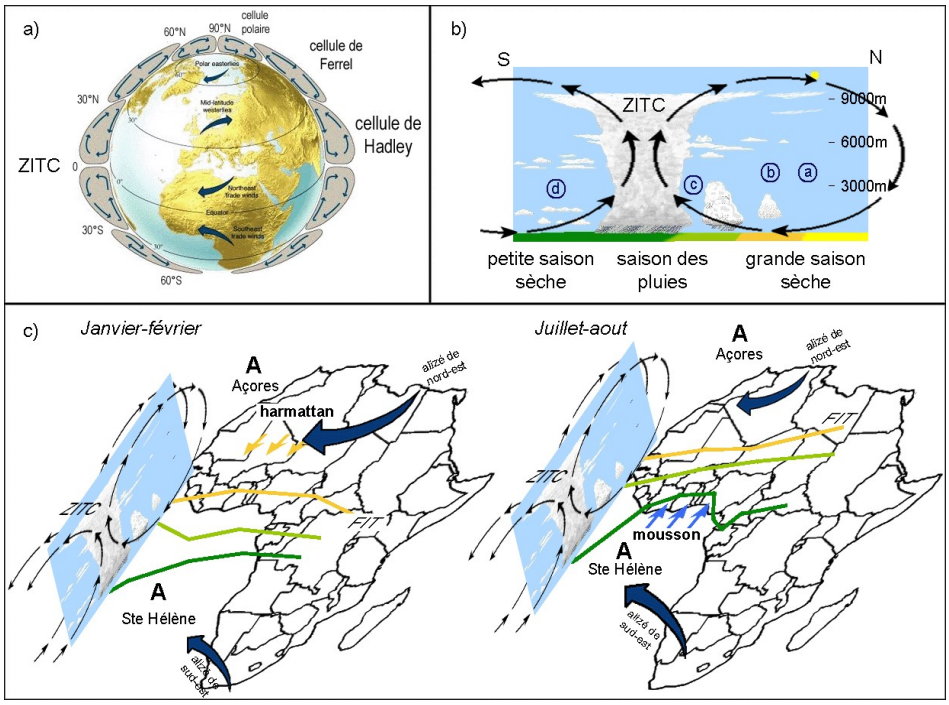


Figure 12: Circulation générale et mousson ouest africaine
Source : Lombry, 2000

La genèse de nombreux systèmes précipitant convectifs forme la "mousson africaine". La Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT), particulièrement bien marquée sur la moitié occidentale de l'Afrique, sépare la mousson de sud-ouest, chaude et humide, de l'harmattan, vent saharien très sec. La mousson reste dans les basses couches, rejetant l'air saharien en altitude et créant ainsi une instabilité frontale appelée Front Inter Tropical (FIT). La position de la dépression équatoriale suit le mouvement apparent du soleil, il en résulte une oscillation saisonnière de la ZCIT autour de l'équateur géographique.

Sur le continent, la position de la ZCIT marque la limite de pénétration de la mousson. Il existe un découplage entre les pluies maximales et la position en surface de la ZCIT. Bien que l'oscillation interannuelle de la ZCIT conserve une position relativement stable (étude sur 08 ans), celle des précipitations connaît des déplacements importants (Grist et Nicholson, 2001).

La connaissance des mécanismes climatiques à l'origine du flux de mousson permet de mieux appréhender la répartition spatio-temporelle des pluies extrêmes à l'échelle continentale afin d'améliorer les connaissances sur la dynamique de ces pluies extrêmes à l'échelle régionale (Mahé et Olivry, 1995 ; Bricquet *et al.*, 1997 ; Paturel

et al., 1997b ; Servat *et al*., 1997a ; Olivry *et al*., 1998 ; Laraque *et al*., 2001 ; Ogouwalé, 2013).

Dans le département de l'Atacora, comme dans tout le Bénin, le facteur essentiel permettant de caractériser le climat est la pluviométrie. Ainsi, les caractéristiques du climat du département de l'Atacora comme celui du Bénin en général sont mises en place par la dynamique de la Mousson Ouest Africaine (MOA). Cette Mousson Ouest Africaine appartient au système couplé terre-océan-atmosphère agissant dans un ensemble géographique particulier : basses latitudes-géométrie des côtes-orographie (Afouda, 1990). Trois (03) champs de pression régissent la circulation ouest-africaine (figure 13) :

- le groupe anticyclonique de l'hémisphère nord formé par l'anticyclone dynamique des Açores (Atlantique) et l'anticyclone thermique semi permanent égypto-libyen, responsable des flux d'alizé (harmattan) ;
- l'anticyclone de Sainte Hélène, situé dans l'Atlantique-sud qui dirige sur l'Afrique occidentale des flux de mousson (humides).

La convergence des masses d'air issues de ces centres de pression crée la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) dont le Front intertropical (FIT) est la trace au sol.

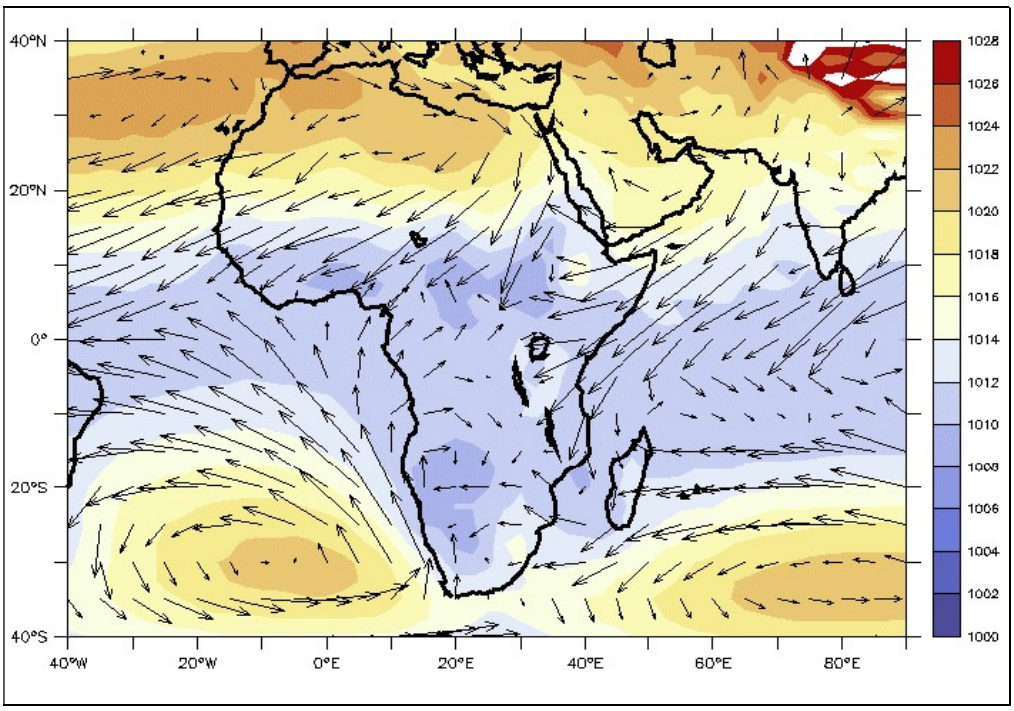


Figure 13 : Principaux champs de pression régissant la circulation ouest africaine en surface (état en janvier 2002)
Source : AMMA, 2002

La différence de température entre le continent africain surchauffé et l'océan Atlantique (principalement) crée une inversion de l'écoulement régissant la dynamique de la mousson en Afrique de l'Ouest. Trois (03) centres d'action constituent le moteur de la mousson. Il s'agit de :

- les températures de surface océaniques ;
- la déforestation ou le changement de type d'occupation des sols (changement d'albédo, rugosité) ;
- les émissions anthropiques (rejet de gaz à effet de serre, aérosols sulfatés, etc.).

Ces trois centres d'action entretiennent le déplacement saisonnier nord-sud de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) et du Front Inter-Tropical (FIT), la composante méridienne de la circulation atmosphérique sur l'ouest-africain en général et le Bénin méridional en particulier.

Mais il existe à côté de ces principaux facteurs, des flux zonaux (ondes d'est) ainsi que des perturbations locales qui interviennent de façon relative dans la climatologie littorale du Bénin.

Par ailleurs, la circulation de la mousson ouest africaine est associée à quatre champs de vents principaux (figure 14) : le flux de sud-ouest dans les basses couches, le Jet d'Est Africain (JEA) dans la troposphère moyenne, le Jet d'Est Tropical (JET) dans la haute troposphère entre 5°N et 10°N de juin à septembre, et le Jet d'Ouest Subtropical (JOST) entre 30°N et 35°N aussi de juin à septembre.

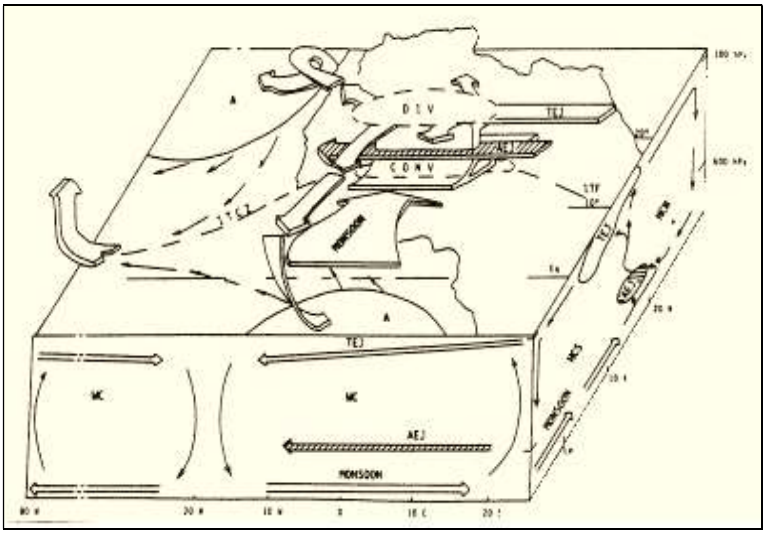
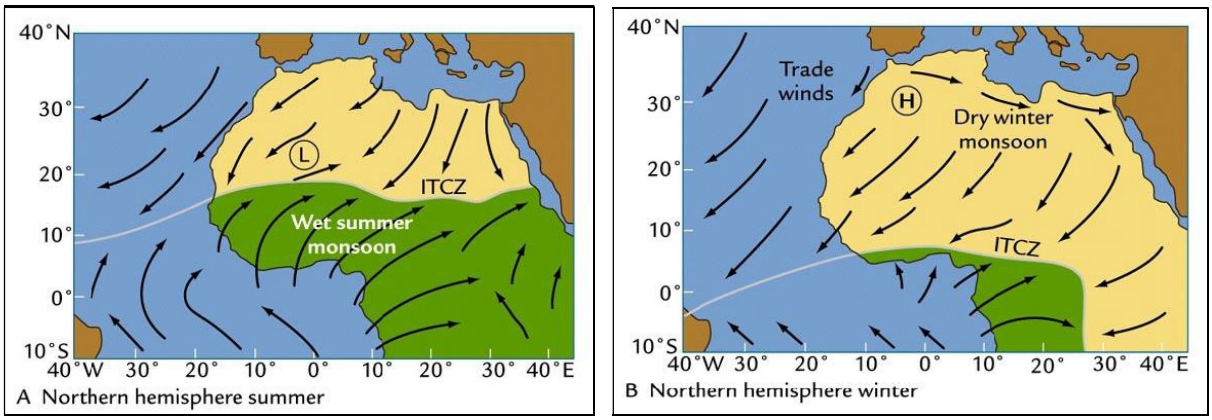


Figure 14 : Principaux champs de vents régissant la circulation de la mousson ouest africaine
Source : AMMA, 2002

En outre, la position de la ZCIT (ITCZ en anglais) connaît une variation saisonnière (figure 15).



Période de mousson : Fort flux de mousson de direction SSO et faible Harmattan de direction NNE

Figure 15 : Variation saisonnière de la Mousson Ouest Africaine
Source : AMMA, 2002

Il ressort de l'analyse de cette figure que pendant l'été boréal, la mousson africaine est à une position maximale à l'intérieur du continent. Cette période correspond à la grande saison de pluie, saison d'hivernage en hiver boréal. Par contre lorsque, sous les poussées des masses d'air issues des Açores et de l'anticyclone Egypto-Lybien, la mousson est à sa position la plus basse, le harmattan se manifeste.

Les différents facteurs naturels explicatifs de la fréquence des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin sont entre autres, la variation climatique, les caractéristiques morpho-géologique du milieu, les caractéristiques pédologiques, le réseau hydrographique et le régime hydrologique. Ainsi, pour mieux appréhender les caractéristiques climatiques du secteur d'étude, il importe de comprendre les différents processus qui affectent l'atmosphère et qui déterminent l'ambiance climatique générale. A cet effet, il faut noter que plusieurs auteurs ont déjà étudié la circulation générale atmosphérique en Afrique de l'Ouest notamment au Bénin (Pagney, 1976 ; 1985 ; Fontaine, 1981 ; 1985 ; 1990 ; Lombry, 2000 ; Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Houndénou, 1999, etc.).

Les grands systèmes de circulation dans le Nord-Bénin en général sont constitués des cellules de Hadley et Walker, les vents d'altitude (Jet Tropical d'Est, Jet subtropical, Jet d'Est Africain) et par les centres isobariques (Açores, Sainte Hélène, Libye).

➲ **JEA (ondes d'est) et pluies de lignes de grain**

Le « Jet d'Est Africain » (JEA), est un courant des couches moyennes situé entre 600-700 hPa. Spécifiquement ouest africain, il a une origine liée aux conditions locales car généré par le gradient thermique existant entre l'Atlantique au sud et les régions continentales africaines au nord. Il a une vitesse oscillant entre 13 et 24 m/s et atteint sa plus forte intensité en avril-mai et octobre-novembre sur le golfe de Guinée.

Les centres isobariques : trois centres, dont deux permanents : l'anticyclone des Açores (25°N en hiver, 30°N en été) dans l'Atlantique nord et celui de Sainte-Hélène (20°S en hiver, 15°S en été) dans l'Atlantique sud. Le troisième semi-permanent de la Libye intervient aussi dans la dynamique atmosphérique.

En hiver boréal et précisément en janvier-février, les centres de pression occupent une position très méridionale car renforcés par les incursions polaires boréales et le refroidissement de l'ensemble de l'hémisphère nord : « l'anticyclone des Açores » est renforcé avec, en son centre, un maximum de pression de 1020 hPa. En hiver, l'Afrique boréale enregistre un déficit énergétique relatif ; on a alors un fort refroidissement de la partie nord du continent africain, un refroidissement du centre anticyclonique des Açores et la mise en place de celui de l'Egypte-Libye. Les deux centres se soudent par la suite (Houssou, 1998 ; Houndénou, 1999 ; Ouorou-Barrè, 2010). Au même moment, les hautes pressions de Sainte-Hélène, dans l'océan Atlantique, au large de l'Afrique du Sud et de la Namibie, ne sont plus très actives et n'ont plus une influence directe sur l'Afrique Occidentale, du fait de l'été au cours duquel l'anticyclone n'est pas renforcé par les incursions polaires australes.

En altitude, il est noté la prédominance, en hiver boréal, de l'anticyclone des Açores sur celui de Sainte-Hélène à 850 hPa. Cette position du champ de pression en surface, développe en Afrique Occidentale un flux, de NE d'origine saharienne, chaud et sec : c'est le harmattan.

En été boréal, le réchauffement du continent au nord de l'équateur provoque, la rétraction du centre des hautes pressions des Açores et la mise en place de la dépression saharienne qui succède aux hautes pressions égypto-libyennes. Ce centre de basses pressions thermiques favorise la remontée de la ZCIT (Zone de

Convergence Inter-Tropicale) ou (Equateur météorologique) propulsée aussi par l'anticyclone de Sainte-Hélène, plus actif et plus dynamique car renforcé par le refroidissement hivernal de l'ensemble de l'hémisphère sud et par les coulées polaires australes. Il est alors caractérisé, en son centre, par un maximum moyen de pression de 1022 hPa et il se situe plus près de l'Equateur. La dépression thermique du Sahara en surface se trouve surmontée par une zone anticyclonique. Tout cet ensemble favorise la pénétration sur l'Afrique Occidentale du flux du sud-ouest, la mousson, génératrice de pluies.

Les cellules : la cellule de Hadley anime la circulation méridienne dans la zone tropicale, notamment en Afrique occidentale. Elle comprend une branche ascendante proche de l'équateur et une branche subsidente aux latitudes subtropicales (20-30° de latitude). La branche ascendante correspond à l'Equateur Météorologique et la branche de subsidence correspond aux « centres anticycloniques ». L'énergie étant transférée en altitude (régions équatoriales), l'air refroidi dans la haute troposphère redescend et met en place les Hautes Pressions subtropicales. La circulation divergente est-ouest organise la circulation zonale (E-W), matérialisée dans les basses couches par l'alizé du SE et du NE, et, en altitude, par un axe de vents forts, les aérojets que sont les vents d'altitude.

Les vents d'altitude : le « Jet Tropical d'Est » (JTE) constitue la branche supérieure de la circulation divergente est-ouest. Ce sont des vents forts (16-17 m/s) à 100-200 hPa en juillet-août entre 5 et 10°N. Nées des contrastes thermiques du sud-est asiatique, les ondulations du JTE génèrent les lignes de grains. Un JTE fort signifie une circulation est-ouest renforcée sur l'Afrique de l'ouest et une plus forte pénétration de la mousson qui la réactive et vice versa (Houssou, 1998 ; Houndénou, 1999 ; Ouorou-Barrè, 2010).

➲ **FIT et pluies de mousson**

Le Front Intertropical (FIT), appelé aussi Front de Mousson (FM) au Bénin, a des aspects différents selon la latitude et le milieu considéré (océan, littoral, continent). Selon Houndénou (1999), le Bénin est régi par le FIT continental qui progresse vers le nord plus rapidement que son équivalent océanique. Le régime pluviométrique dans le secteur d'étude est unimodal et démarre souvent en mai-juin et prend fin en octobre-novembre (figure 16).

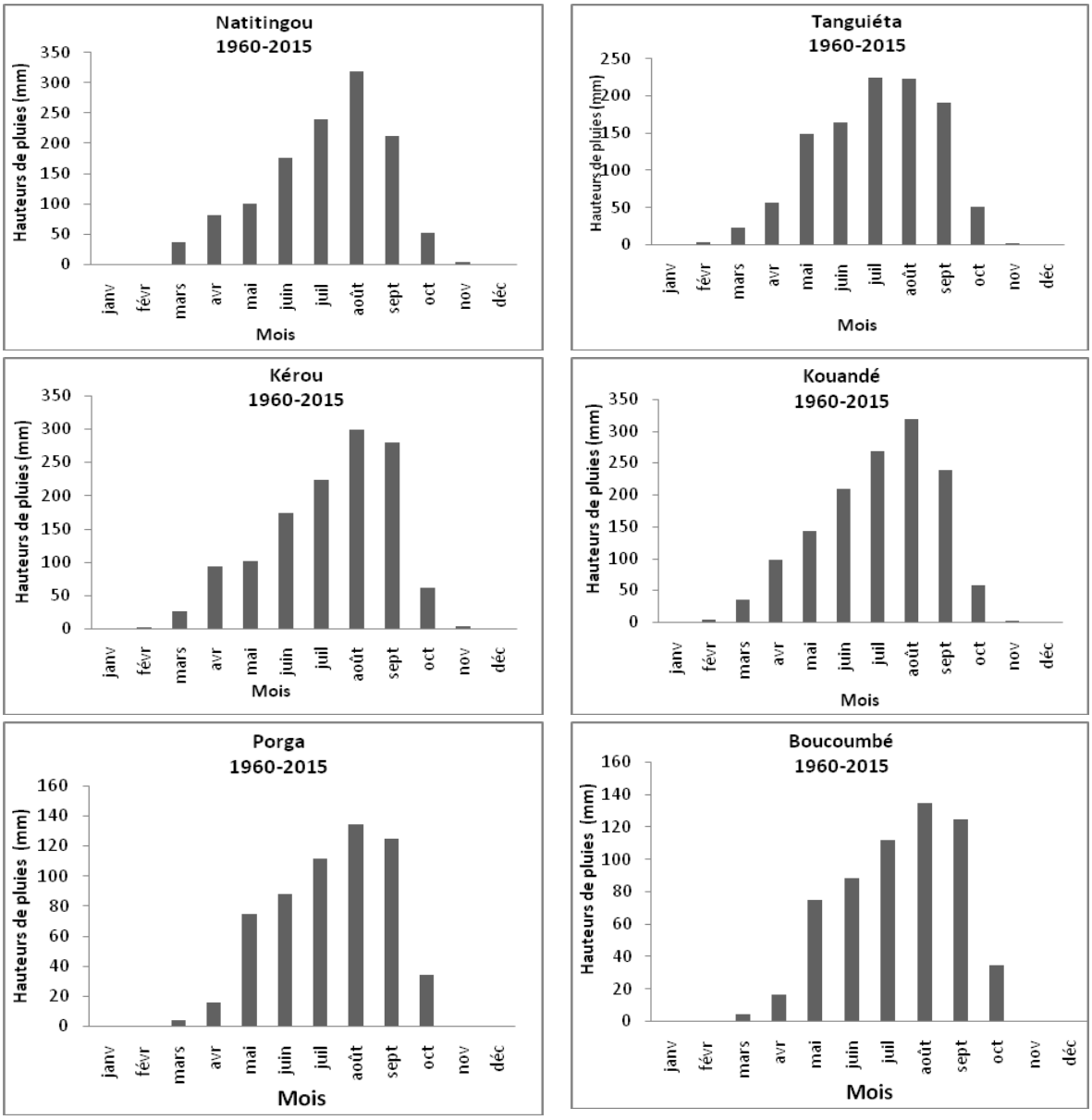


Figure 16: Régime pluviométrique moyen mensuel (1960-2015) dans l'Atacora
Source des données : Météo-Bénin, 2018

A travers l'analyse de la figure 16, il ressort que le département de l'Atacora jouit d'un climat à régime unimodal à une saison sèche et une saison humide. La saison pluvieuse démarre en mai et prend fin en octobre. Les mois les plus pluvieux sont les mois d'août et de septembre. Ce régime uni-modal présente un pic en août. Les précipitations annuelles moyennes au cours de la période 1960-2015 sont de 1053,6 mm. Les mois d'août et de septembre ont été les plus pluvieux (plus de 40 % des précipitations annuelles) et les mois de mars et avril sont les plus chauds.

Par ailleurs, la température moyenne est d'environ 27° C avec des variations de 17° C à 38° C à la station synoptique de Natitingou. Les amplitudes thermiques sont

fortes entre le jour et la nuit, surtout pendant la période de l'harmattan (vent froid et sec venant de l'est entre novembre et février). Les températures les plus élevées sont enregistrées en mars et avril ; les plus basses en décembre et janvier. L'humidité relative de l'air dans la zone est maximale en saison pluvieuse et minimale en saison sèche. Elle varie de 10 % à 96 % (Anago-Codjo, 2007).

En janvier, le FIT occupe la position la plus méridionale sur le littoral (vers 7°N). La partie du pays située au nord de cette position du FIT se trouve sous l'influence des conditions hivernales (harmattan).

En mars, le FIT est positionné à la latitude de Kandi-Kérou et en avril, il est au-delà du Bénin. A partir de cet instant, le régime de mousson est prépondérant dans tout le pays et dans l'Atacora : la chaleur est torride du fait de la forte insolation, des températures élevées et de la faible déperdition thermique liée à l'importante humidité atmosphérique. Le front demeure au nord de la région d'étude jusqu'en septembre.

Dès octobre, le FIT amorce son retour vers le sud et se situe à la pointe septentrionale du Bénin vers 12°30'N. En novembre, il se localise au sud de Natitingou-Bembèrèkè aux environs de 10°N en décembre. Le FIT dans son déplacement SN et NS commande, en partie, les types de temps des différentes saisons (Afouda, 1990).

➲ **Période de forte chaleur**

Elle se manifeste en février, mars et avril, et est marquée par une élévation graduelle des températures maximales et plus encore minimales : la température maximale moyenne s'établit entre 34°C et 39°C et dépasse parfois 40°C, en avril au nord-est. La température minimale moyenne se situe entre 20°C et 30°C. L'amplitude diurne reste importante (14°C - 16°C en avril) du fait de la forte insolation (8 - 9 heures par jour). Toutefois, il est noté aussi pendant le mois de février la présence du harmattan, froid tous les matins.

➲ **Période pluvieuse**

La saison des pluies s'étend de mai-juin à octobre et se caractérise par des pluies orageuses qui représentent environ 70 % des précipitations totales (Boko, 1988). La

région d'étude est marquée par des manifestations orageuses, plus que dans le reste du pays, du fait des ascendances forcées d'air humide qu'occasionne la chaîne de l'Atacora (partie ouest du secteur d'étude) associées à une intense activité convective (Afouda, 1990). La saison des pluies comporte deux périodes, la période d'installation et la période des grandes pluies.

En mai-juin, avant l'arrivée des fortes pluies, le temps est caractérisé par les grandes chaleurs (30°C - 36°C de températures maximales moyennes), par un degré hygrométrique important (80 - 90 % d'humidité relative maximale), par une nébulosité croissante et par une insolation encore élevée (08 heures par jour en mai, 07 heures en juin). De telles conditions météorologiques favorisent la thermoconvection avec des orages brutaux, de courte durée, accompagnés de vent violant (08 à 20 m/s) mais qui donnent des précipitations modestes. Après les premières pluies, la fraîcheur s'installe, ce qui annonce le début de la saison pluvieuse (Afouda, 1990).

Les fortes pluies s'étendent généralement de juillet à septembre-octobre. C'est la période où les précipitations sont bien établies et se caractérisent par une forte humidité (85-95 %), des températures maximales modérées (28°C - 30°C) en moyenne et une faible insolation (4 -7 heures par jour) (Afouda, 1990). La chaîne de l'Atacora, joue un rôle important dans la pluviométrie de la région. Elle catalyse le déclenchement des processus de condensation et de précipitation quand l'air saturé de vapeur et advecté arrive contre le relief. A l'ouest du secteur d'étude, les pluies diurnes constituent plus de la moitié du nombre total mensuel ou annuel de jours de pluie. Toujours dans cette partie du milieu d'étude, le nombre de jours de pluie en phase diurne fait plus des trois quart (3/4) du nombre total de jour de pluie (Houndénou, 1999). En effet, les secteurs du Sud sont plus pluvieux que ceux du Nord, comme l'illustre la figure 17.

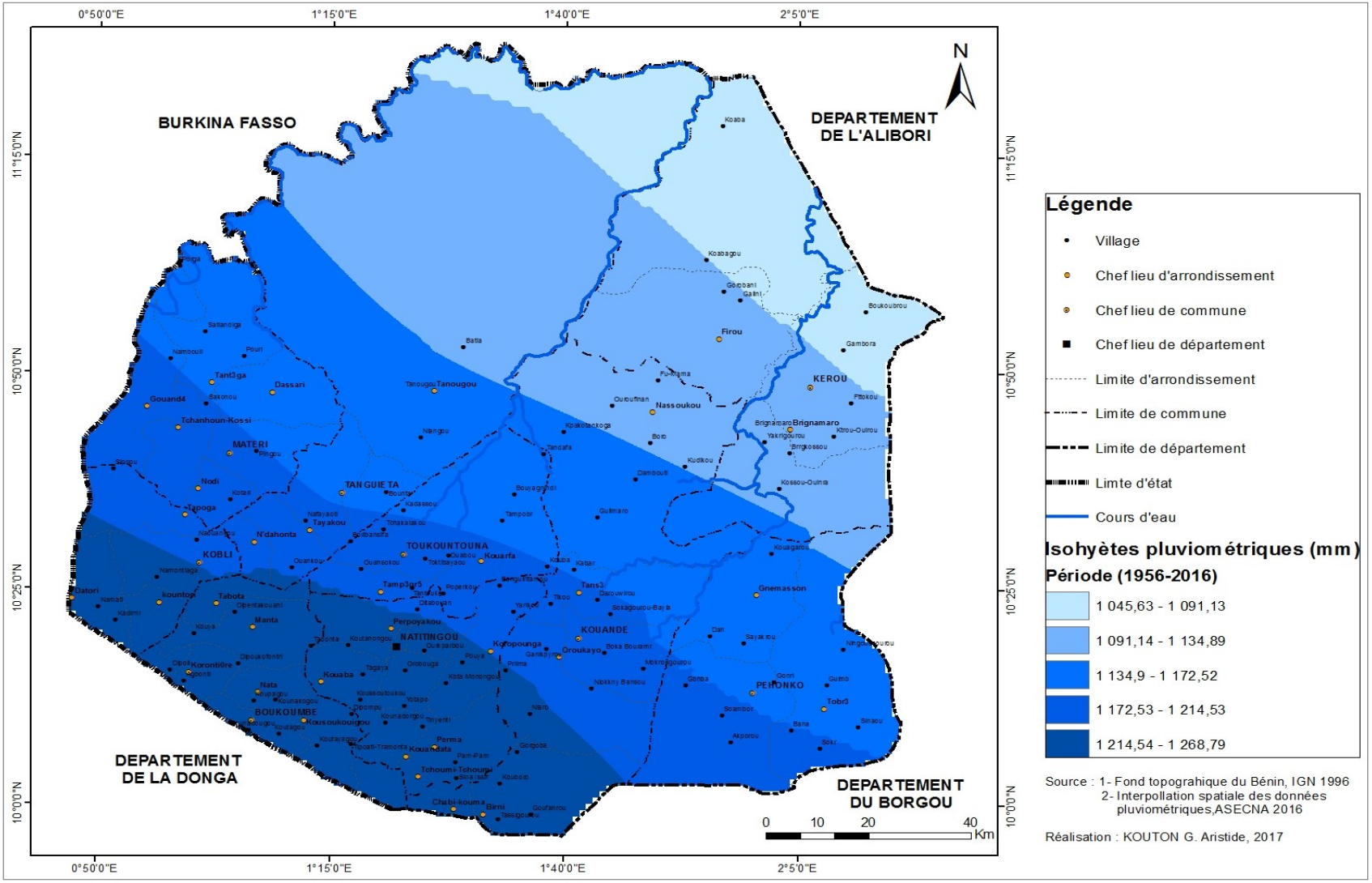


Figure 17 : Répartition spatiale des pluies annuelles dans le département de l'Atacora de 1960 à 2015

L'analyse de la figure 17 montre que le gradient pluviométrique dans le département de l'Atacora est nord-est – sud-ouest. En effet, cette figure révèle que les localités du nord-est de ce département ont connu plus d'événements pluvieux extrêmes que les celles du sud et du sud-ouest. Il faut remarquer globalement que les plus fortes valeurs sont enregistrées au sud-ouest du département. En revanche, les localités du nord-est sont caractérisées par des valeurs pluviométriques extrêmes les plus faibles. Ce constat peut s'expliquer par l'influence qu'a le relief sur les manifestations pluvieuses dans le sud-ouest de la région d'étude. Ainsi, l'orographie en est l'une des causes permettant d'expliquer l'instationnarité spatiale de ces distributions dans le département de l'Atacora.

3.2.1.2. Contexte géologique dominé par des roches dures

Le département de l'Atacora présente un paysage montagneux et accidenté. Ce paysage est marqué par la chaîne de l'Atacora qui longe la partie nord-est avec des falaises pittoresques. La partie centrale est dominée par les collines et plateaux dont les successions donnent lieu à des paysages vallonnés. Le milieu d'étude est constitué d'une importante assise de quartzite et de micaschistes inter stratifiés affleurant généralement dans le fonds des talwegs de la chaîne de l'Atacora. C'est un ensemble de substrat géologique constitué de formations cristallines et sédimentaires d'origine plus récentes (figure 18).

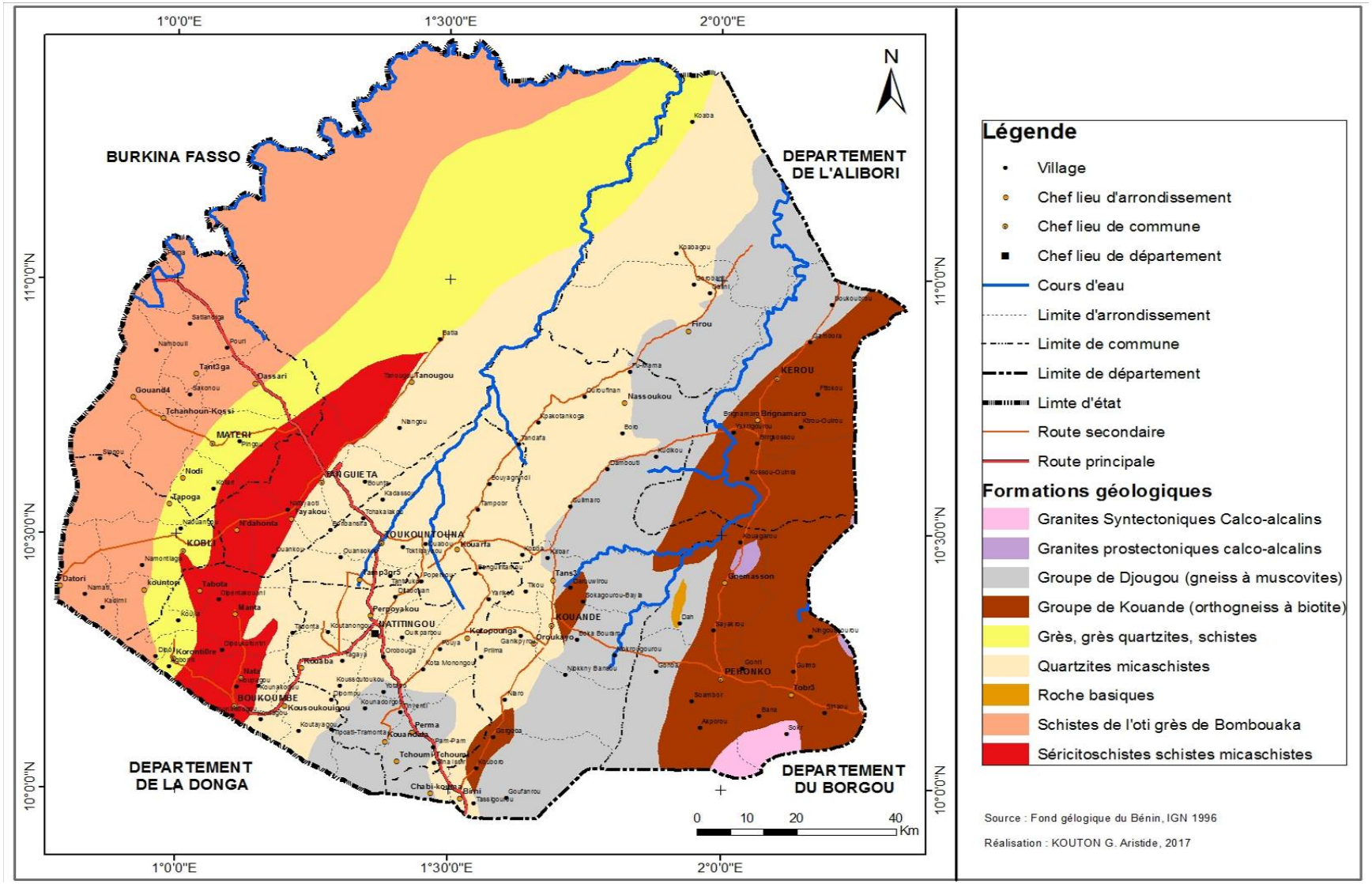


Figure 18: Formations géologiques du département de l'Atacora

De l’analyse de la figure 18, il ressort que les formations géologiques du secteur de recherche comprennent les formations granites syntectoniques Calco-alcalins, granites prostectoniques Calco-alcalins, gneiss à muscovites, orthogneiss à biotite, grès, grès quartzites, schistes, roches basiques et séricitoschiste schistes micaschiste.

Les terres disponibles sont rocheuses, pauvres et difficiles à cultiver aussi bien sur les pentes que dans les vallées, ce qui justifie la pratique des cultures en pentes et le caractère extensive de l'agriculture marqué parfois par des faibles rendements.
La zone ouest est caractérisée par des pentes douces et des plaines d’inondation donnant lieu à des bas-fonds qui favorisent le développement de la culture de riz selon 89 % des enquêtés. La prédominance de la chaîne de montagne et des vallons est à l’origine de plusieurs contraintes naturelles dont : l’enclavement du milieu, la faible disponibilité des terres cultivables et des eaux de surface (LSSEE, 2004).
Globalement, le relief du département de l’Atacora présente des contraintes au développement des activités agricoles du fait qu’il réduit les surfaces cultivables.

3.2.1.3. Contexte pédologique dominé par des sols peu évolués

Le sol est une structure meuble, d’épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous l’influence de divers facteurs physiques, chimiques et biologiques (figure 19).

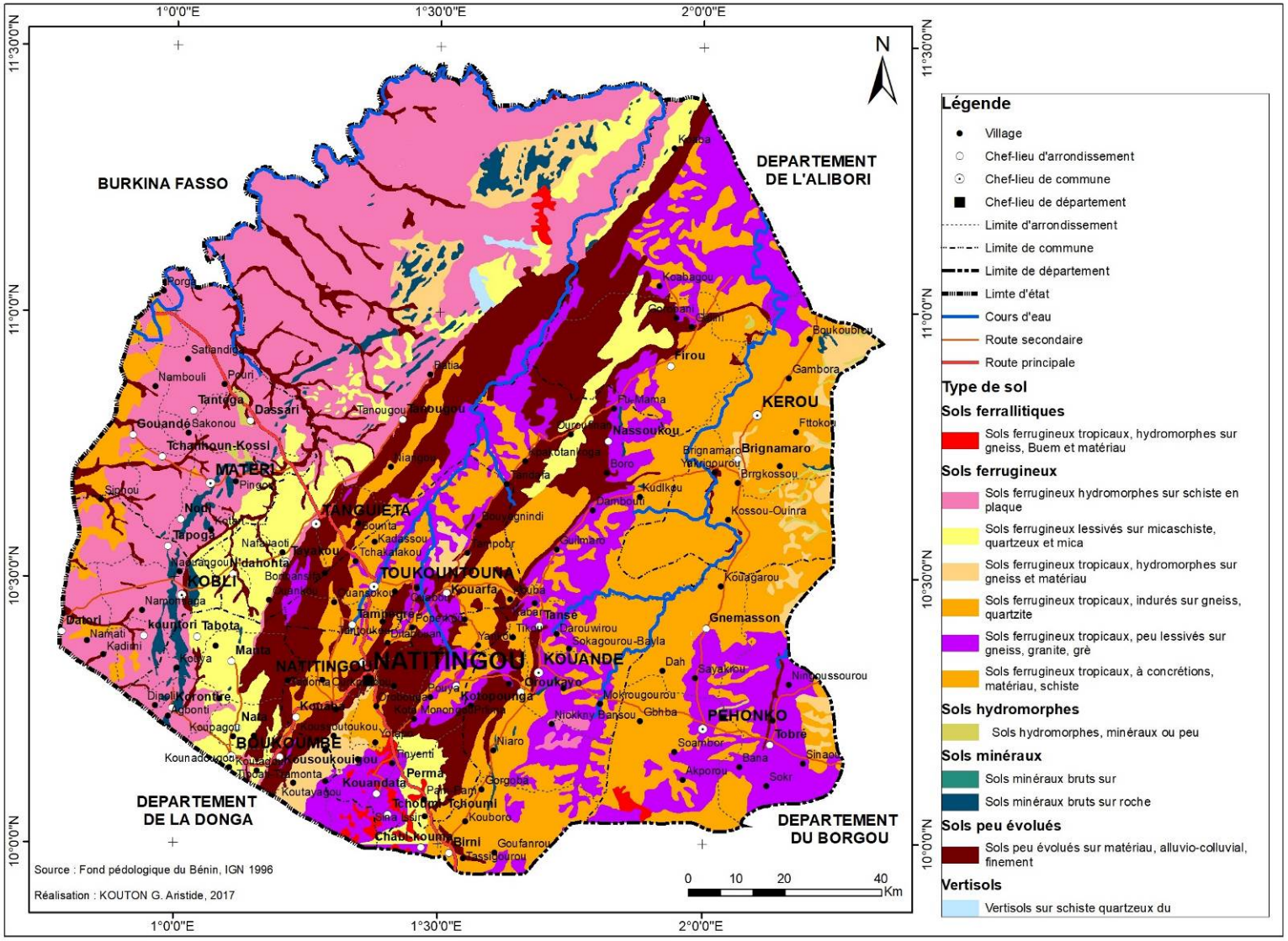


Figure 19: Composantes pédologiques du département de l'Atacora

Plusieurs types de sols sont identifiés à savoir : les sols peu évolués et concrétionnés ; les sols ferrugineux tropicaux lessivés et concrétionnés etc. et suivent une topographie variée :

- **les sols minéraux bruts (profondeur inférieure à 10 cm) :** d'érosion lithiques sur cuirasse. Ils ont un fort enherbement, difficiles à labourer, donc peu favorables à l'agriculture (INRAB, 1995). Ils occupent 18 % de la superficie totale ;
- **les sols peu évolués (profondeur de 10 à 30 cm)**: localisés sur les pentes des différents chaînons du massif atacorien. Ils ont une bonne propriété physique mais de très faibles propriétés chimiques. Suivant leur disposition topographique, ils sont squelettiques aux sommets des pentes et concrétionnés sur les pentes plus faibles et sujets à l'érosion. Ils occupent une étendue appréciable (22 %) et se subdivisent en trois sous-groupes :
  - **les sols non concrétionnés sur schistes quartzeux** : riches en éléments chimiques, à hydromorphie marquée, avec une faible teneur en éléments grossiers de plus de 2 mm ;
  - **les sols non concrétionnés sur quartz à grains fins** : ils occupent les faibles pentes et certains sommets ;
  - **les sols non concrétionnés sur colluvions :** issues des grès-quartzites et jaspes; ils sont associés à des sols rouges moyennement concrétionnés et occupent les pentes de 1 à 2 % et sont intensément cultivés.
  - **les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions (profondeur de 0 cm à 100 cm)** : caractérisés par la présence d'un horizon de surface sableux intensément lessivé. Ils ont un bon drainage et une faible profondeur (moins de 30 cm). Ils occupent 48 % de la superficie totale et se subdivisent en deux :
  - **sols concrétionnés** sur schiste en plaquettes à l'Ouest et au Nord ;
  - **sols concrétionnés** sur schistes quartzeux, dominent dans la plupart des communes et sont très exploités pour l'agriculture ;
  - **les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés**, caractérisent essentiellement la plaine de Gourma. On en rencontre sur les quartzites issus du matériau colluvial qu'est le jaspe. Ces sols (lessivés indurés) sont

modérément aptes à l'agriculture. Leurs exploitations nécessitent cependant des techniques culturales appropriées.

- **les sols ferrugineux tropicaux lessivés hydromorphes**, ces sols sont rencontrés dans les bas-fonds et les lits majeurs des affluents de la Pendjari et du Mékrou. Ces sols ont une capacité de rétention d'eau assez faible, donc très sensibles au déficit hydrique.
- **les sols hydromorphes minéraux ou peu humifères à gley de profondeur,** caractérisés par une faible teneur en matière organique, une texture sableuse, une structure à tendance particulière et sensible à l'érosion. Les sols hydromorphes des bas-fonds ont encore un bon potentiel de fertilité. Ils sont riches en éléments chimiques et présentent une bonne perméabilité dans les horizons humifères et une bonne teneur en matières organiques (plus de 02 % sur les sols non cultivés et 01 % sur les sols très exploités). En général, ce sont des sols sous-exploités avec des jachères allant à plus de 10 ans. Ils se subdivisent en deux et couvrent 08 % de la superficie :
- **les sols hydromorphes** sur micaschistes ;
- **les sols hydromorphes** sur schistes en plaquettes jeunes ;
- **les sols noirs** très riches se trouvent dans les forêts classées comme à Pikiré, Fêtêkou et de Kaobagou (Kérou) et couvrent 04 % de la superficie totale.

Il s'agit globalement des sols peu évolués, exposés à l'érosion avec de faible capacité d'infiltration dans un contexte de forte pente à cause du relief marqué par la présence de la chaîne de l'Atacora. Ces sols conviennent pour la plupart à la production agricole mais subissent l'effet de l'érosion hydrique et des inondations.

3.2.1.4. Réseau hydrographique marqué par la Pendjari et le Mékrou

Le réseau hydrographique du milieu d'étude est organisé autour de deux principaux fleuves : la Pendjari (135 km) et le Mékrou (410 km) avec leurs affluents qui arrosent la plupart des communes du département (figure 20).

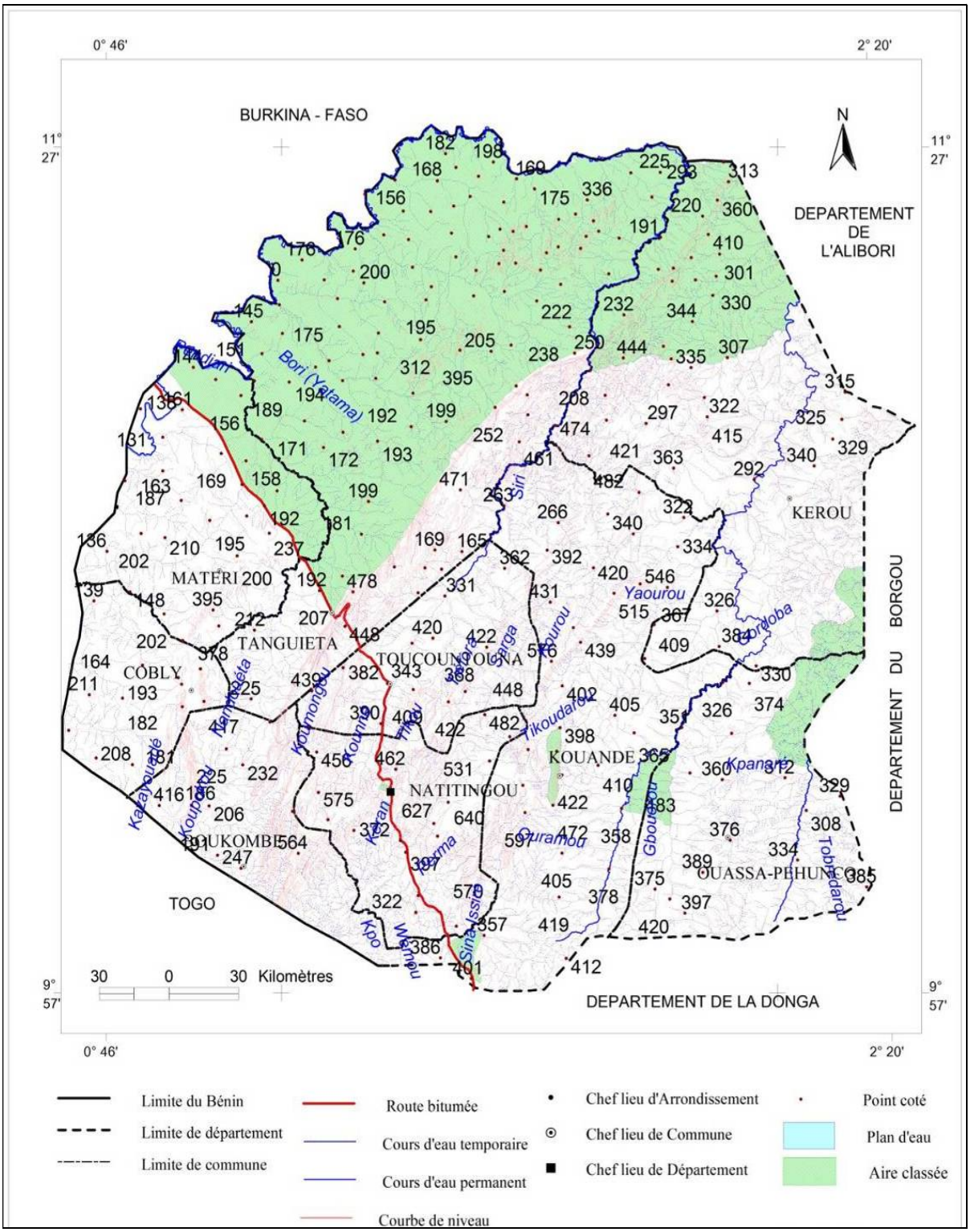


Figure 20: Réseau hydrographique du département de l'Atacora

La Pendjari prend sa source à Perpoyakou (commune de Natitingou), se dirige vers le nord, traverse la chaîne de l'Atacora puis retourne vers le sud-ouest dans le Parc Pendjari (Le Barbe, 1993 ; Idiéti, 2012). Après avoir traversé les communes de

Toucountouna, Tanguiéta et de Matéri, elle devient Oti au Togo, avant de se jeter dans la volta au Ghana (Ouorou-Barrè, 2014).

Le fleuve Mékrou draine les Communes de Kouandé, Péhunco et de Kérou. Les autres cours d'eau sont : Kounin, Tikou, Sarika et Watchetica (Toucountouna) ; Kouniti, Koumagou (Boukoumbé) ; Tikoudarou, Daro, Wokagou, Findarou, Sinaïssiré, Yaourou, Sarga (Kouandé) ; Yaripao, Perma, Sinaïciré et Koumagou (Natitingou) ; Magou, Tchoutchoubou, Yamata et Tanongou (Tanguiéta), etc.

La présence des cours d'eau temporaires offre une richesse en humus aux vallées et constitue un atout pour les aménagements hydro-agricoles dans les localités que traversent ces cours d'eaux. Toutefois, il est nécessaire de souligner qu'en cas d'extrêmes de pluies, les risques d'érosion des voies, et d'inondation des champs et habitations sont très légion dans les communes et communautés qui longent ces cours d'eau augmentant ainsi leur vulnérabilité.

3.2.1.5. Couvert végétal en dégradation continue

La flore est l'ensemble des plantes rencontrées dans le milieu d'étude. Elle est faite de savane arborée et arbustive. Elle est arborée surtout dans les forêts naturelles, reliques, classées et le long des cours d'eau comme la Pendjari, l'Alibori et le Mékrou où elle forme des forêts galeries.

La partie protégée (Parc National et Zone Cynégétique de la Pendjari) englobe toute la plaine inondable. Dans cette partie le peuplement forestier est important et est évalué à près de 455000 ha soit 63 % de la superficie des communes de Tanguiéta et de Matéri (Ouorou-Barrè, 2010). Trois forêts classées sont rencontrées à Kouandé et couvrent 20 % (900 ha) de la superficie communale. Il existe également environ 559 ha de plantations domaniales d'anacardium. A Kérou, la forêt de l'Alibori supérieure occupe une superficie de 10000 ha à Brignamaro. La forêt du Mékrou à Ouassa-Péhunco couvre 20700 ha, soit 1,09 % de la superficie de la commune.

Ces forêts subissent le déboisement à cause de l'action anthropique. Ceci s'explique par le développement de certaines pratiques agricoles telles que : les feux de végétation, la transhumance, le surpâturage etc. Les principales formations forestières rencontrées sont : le *Tectona grandis* (teck), l'*Anacardium occidentale*

(anacardier), l'*Eucalyptus camaldulensis* ou *Eucalyptus citriodora* ou encore *Eucalyptus tereticornis*, le *Vitallaria paradoxa* (Karité), le *Bombax costatum* (faux kapokier), le *Ceiba pentandra* (fromager ou kapokier), le *Borassus aethiopum* (palmier rônier), l'*Hyphaene thebaica* (palmier doum), l'*Adansonia digitata* (baobab) et le *Parkia biglobosa* (néré). Dans ces formations végétales, on y rencontre des espèces faunistiques telles que : les grands animaux de la faune africaine le buffle (*Syncerus*), le lion (*Panthéa leo*), les éléphants (*Loxodonta africana*), les hippopotames (*Hippopotamus amphiblus*), les Cercopitheques (*Cercopithecides, Cercopothecus mona*) etc.

Pour une meilleure appréciation de l'action anthropique sur les formations forestières, l'évolution des unités d'occupation du sol entre 1986 et 2020 a été effectuée (figure 21 et 22).

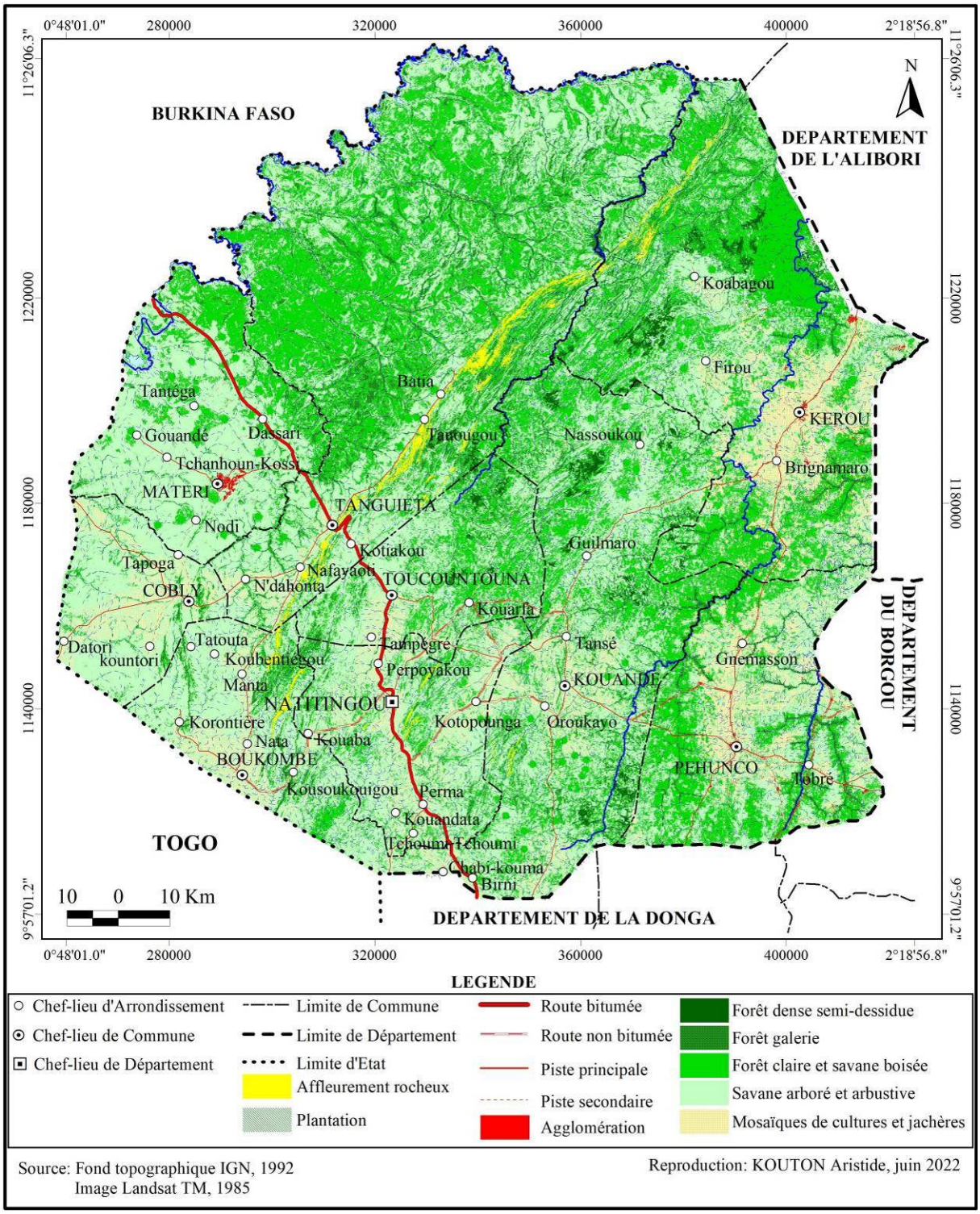


Figure 21: Occupation du sol dans le département de l'Atacora en 1985

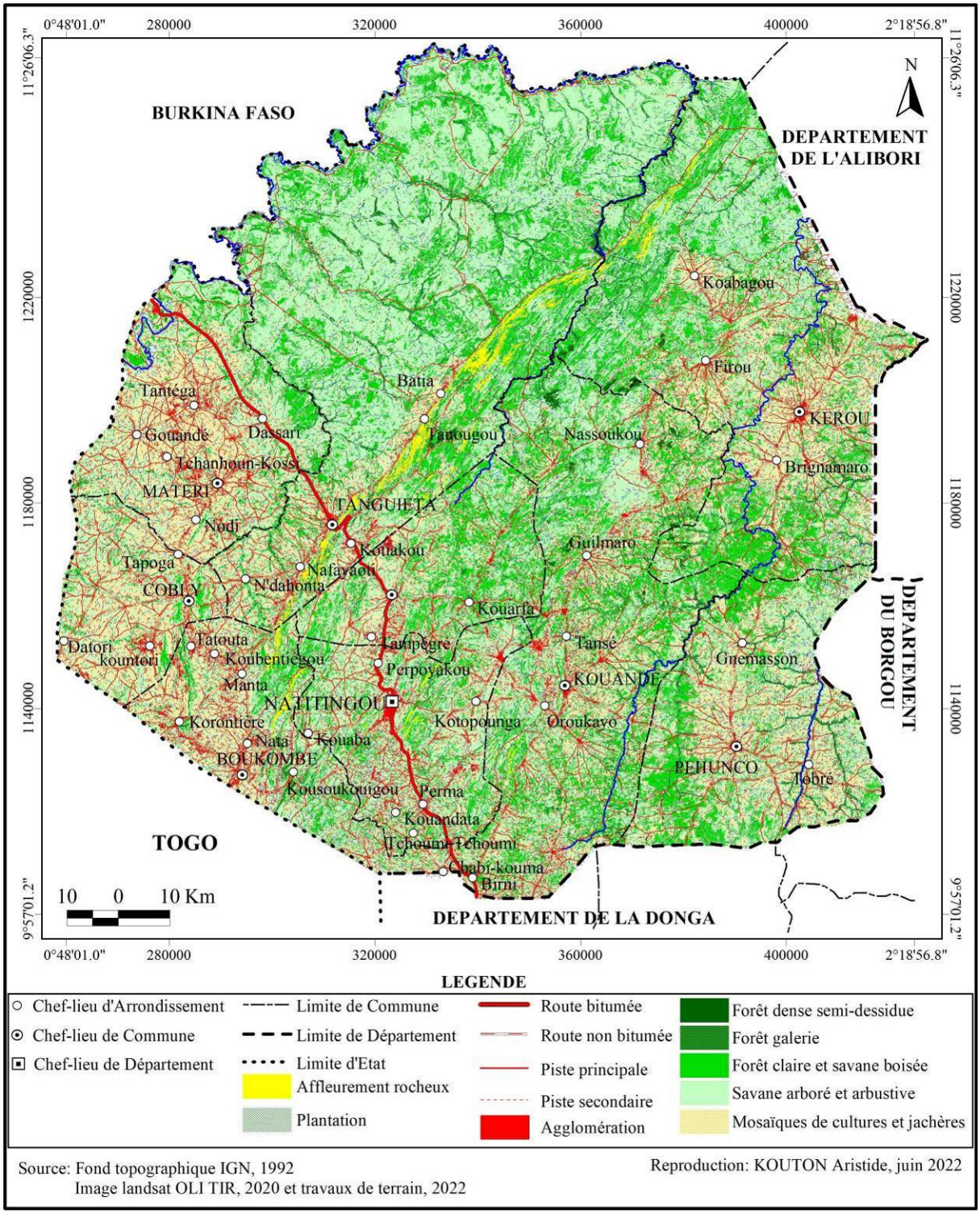


Figure 22: Occupation du sol dans le département de l'Atacora en 2020

La synthèse des différentes unités d'occupation du sol entre 1985 et 2020 est présentée dans le tableau IV.

Tableau VI: Evolution des unités d'occupation du sol de 1985 et 2020

Unités d'occupation du sol	Sup / ha_1985	Proportion (%)	Sup / ha_2000	Proportion (%)	Sup / ha_2020	Proportion (%)	Différence 20-85	Prg / Reg (%) 20-85	Différence 22-20	Prg / Reg (%) 22-20
Forêt dense semi-décidue	37,28	0,18	17,28	0,08	12,45	0,06	-20,00	Régression	-4,84	Régression
Forêt claire et savane boisée	2505,67	12,15	1705,67	8,27	900,49	4,37	-800,00	Régression	-805,18	Régression
Forêt galerie et formation ripicole	700,91	3,40	549,91	2,67	503,96	2,44	-151,00	Régression	-45,95	Régression
Forêt et savane marécageuse	70,25	0,34	68,35	0,33	65,97	0,32	-1,90	Régression	-2,39	Régression
Savane arborée et arbustive	14421,35	69,92	13343,36	64,70	12132,61	58,83	-1077,99	Régression	-1210,75	Régression
Plan d'eau	15,98	0,08	16,78	0,08	24,04	0,12	0,80	Progression	7,27	Progression
Savane saxicole	23,47	0,11	33,67	0,16	34,46	0,17	10,20	Progression	0,80	Progression
Sol érodé et dénudé	16,71	0,08	16,60	0,08	19,60	0,10	-0,11	Régression	3,00	Progression
Plantation	74,34	0,36	94,45	0,46	142,82	0,69	20,11	Progression	48,37	Progression
Mosaïque de cultures et jachère	2704,18	13,11	4704,17	22,81	6649,53	32,24	1999,99	Progression	1945,36	Progression
Agglomération	54,46	0,26	74,36	0,36	138,67	0,67	19,90	Progression	64,31	Progression
	20624,60	**100,00**	**20624,60**	**100,00**	**20624,60**	**100,00**				

Source des données : LABEE, 1985 et 2020 : Résultat d'interprétation des photographies aériennes et images Landsat

De l'analyse des données du tableau, il ressort que, entre 1985 et 2000, les formations naturelles ont connu une régression de leurs superficies au détriment des formations anthropiques. Les forêts denses ont connu une régression de – 0,06 %. Quant aux forêts galeries, elles ont enregistré une régression de – 2,44 %, les forêts claires et savanes boisées une régression de – 4,37 %. Les savanes arborées et arbustives ont régressé de - 15,95 % et celles saxicoles de – 0,31 ha. Par contre, les formations anthropisées ont connu une progression de leur superficie de 0,23 % pour les plantations ou formations végétales artificielles, de 17,20 % pour la mosaïque de champ et jachère et de 0,01 % pour les agglomérations. Cette situation entraine la diminution des formations naturelles et augmente les emblavures et les agglomérations.

Globalement, la diminution du couvert végétal expose les établissements humains aux effets des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora.

Dans le but de favoriser la régénérescence et la protection des espèces végétales, les activités humaines sont interdites dans le Parc Pendjari. Toutefois, cet état de chose a réduit les surfaces cultivables des riveraines.

3.2.1.6. Aspects du relief dans le département de l'Atacora

Dans le département de l'Atacora, le relief est constitué de deux unités morphologiques différenciées par leur altitude. La première unité morphologique est

orientée nord-nord-est et sud-sud-ouest du département de l'Atacora. Elle a une altitude variant entre 400 à 640 mètres, voire plus. La deuxième unité morphologique est orientée sud-sud-est et nord-nord-ouest. Elle a une altitude qui varie entre 150 à 300 mètres (PAP, 1976).

- la première unité morphologique très accidentée et caractérisée par les différents chaînons du massif atacorien, regroupe les communes de Boukoumbé, Tanguiéta, Natitingou, Toucountouna, Kouandé, Cobly et une partie de la Commune de Kérou. A ces chaînons s'ajoutent quelques dômes d'amphibolites et d'ortho gneiss parsemés. Le point le plus culminant est situé à Kouandé, plus précisément à Kampuya (641 m). Les plateaux, plaines, monts, bas-fonds et des vallées dominent ces communes ;
- la deuxième unité morphologique moins accidentée, domine les communes de Matéri, Ouassa-Péhunco et Kérou. Cette situation morphologique réduit les emblavures agricoles et l'effet de l'érosion est fort à cause des pentes fortes variant entre 10 et 15 % (CENAP, 1982).

3.2.2. Facteurs humains

L'origine du peuplement de l'Atacora, les actions anthropiques sur l'environnement et les activités socioéconomiques ont été développées.

➲ Dynamique démographique

Au cours de ces décennies, l'effectif de la population de l'Atacora a évolué de 294 629 habitants en 1979 à 772 262 habitants en 2013. Avec une densité de 38 habitants au km², le département de l'Atacora se classe parmi les moins peuplés du pays (INSAE, 2013). Le rapport de masculinité est de 97,1 hommes pour 100 femmes en 2013. Le poids démographique du département en 2013 est de 7,7 % de la population du Bénin contre 8,1 % en 2002 (INSAE, 2013). La figure 23 présenté l'évolution démographique du département de Plateau.

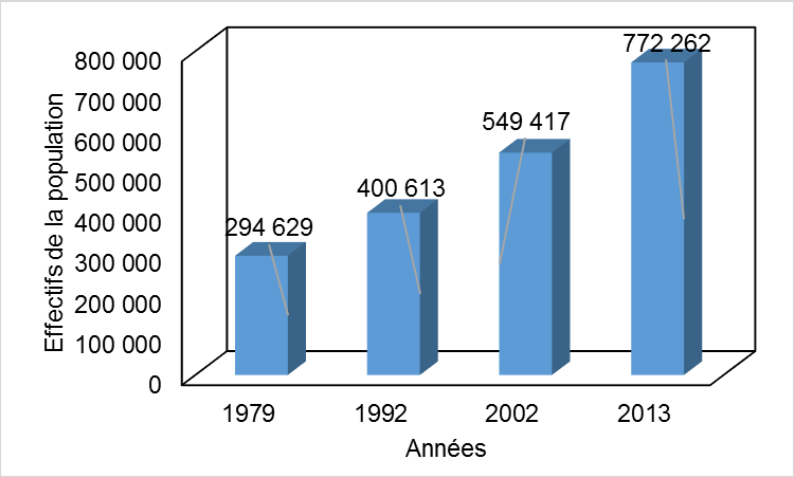


Figure 23 : Evolution démographique du département de l'Atacora
Source des données *: INSAE, 2013*

L'analyse de la figure 23 montre que le département de l'Atacora compte en 2013, une population de 772 262 habitants contre 549 417 en 2002 (INSAE, 2013). Au cours des deux premiers recensements de 1979 et 1992, la population de ce département était respectivement de 294 629 habitants et de 400 613 habitants. Les taux d'accroissement intercensitaire annuels entre les différentes opérations varient de 2,22 entre 1979 et 1992 ; de 3,21 entre 1992 et 2002 et de 3,04 entre 2002 et 2013 (INSAE, 2013).

Il ressort de l'analyse de cette figure que la population du milieu d'étude est en croissance. Cette augmentation de la population a sans doute un effet sur l'espace cultural, la production agricole et par ricochet sur le rendement agricole qui diffère d'une commune à une autre (figure 24).

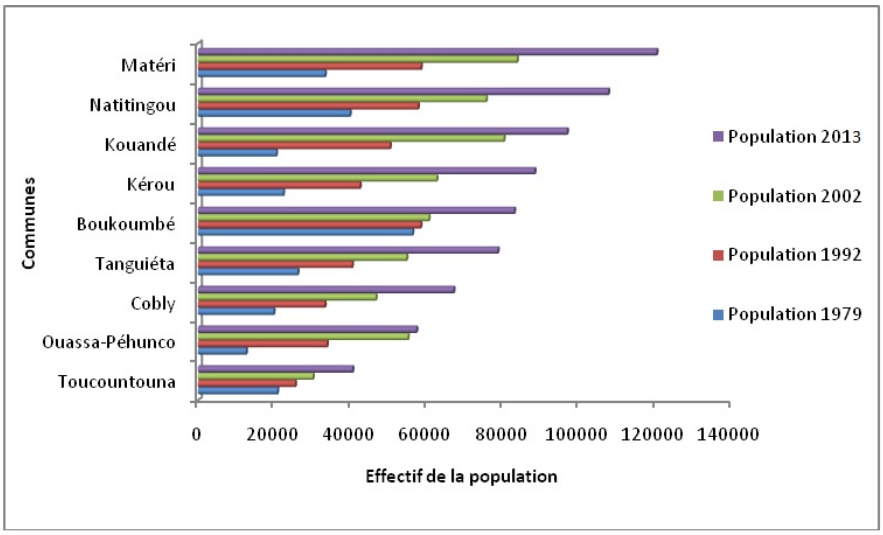


Figure 24 : Evolution de la population par commune de 1979 à 2013
Source des données : INSAE, 2013

La figure 24, montre une augmentation de la population en trois catégories. Une augmentation plus rapide à Natitingou et Matéri. A Boukoumbé, Kérou, Kouandé et Tanguiéta, l'augmentation est moyenne et faible à Cobly, Ouassa-Péhunco et Toucountouna. Cette augmentation de la population a un coup sur les rendements agricoles. La densité actuelle de la population varie d'une commune à une autre (figure 25).

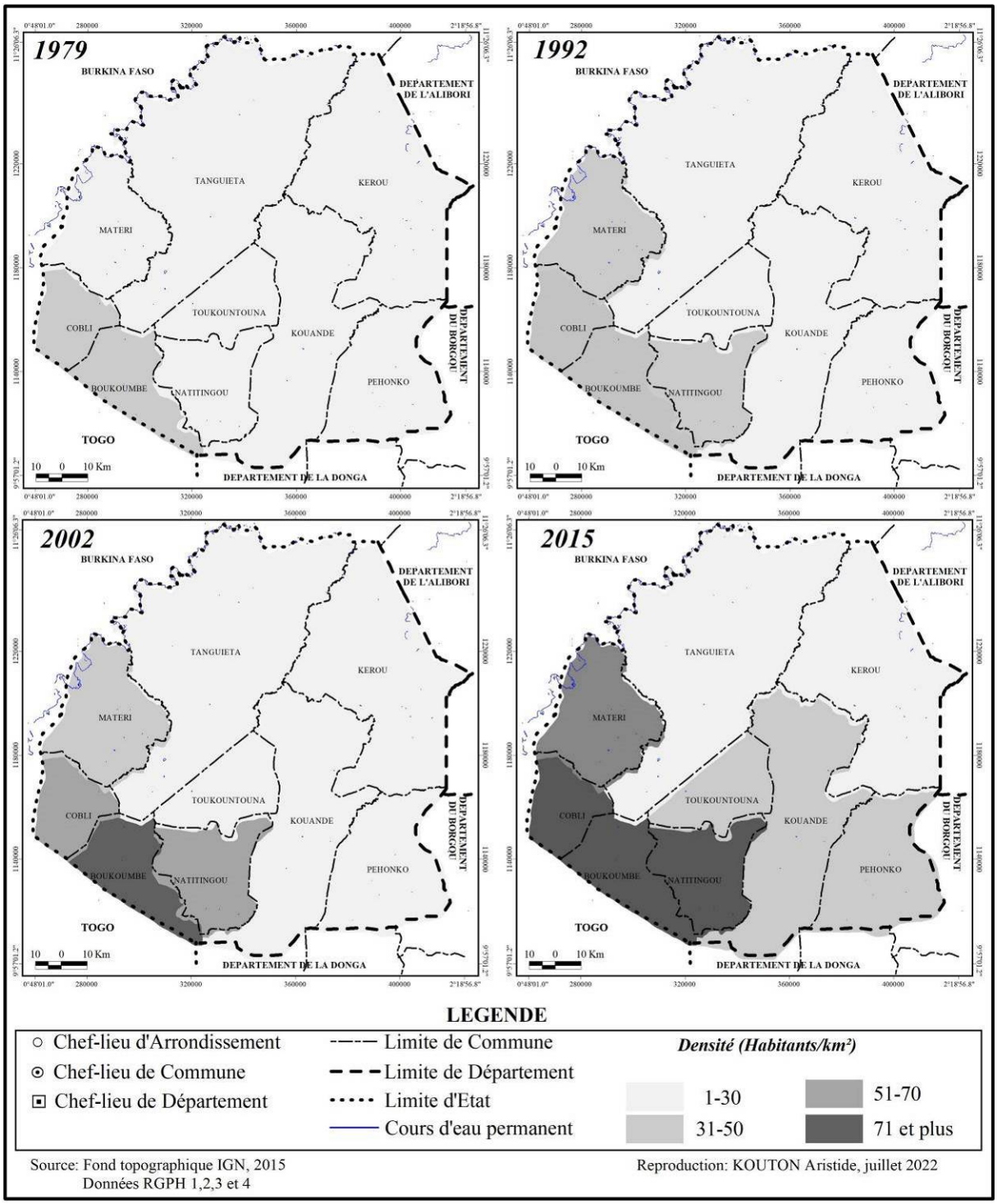


Figure 25: Densité de la population de l'Atacora par commune en 2015

La densité de la population varie d'une commune à une autre. Elle est plus élevée à Cobly avec plus de 84 habitants/km^2 par endroit, suivi de Boukoumbé (80 habitants/km^2), Natitingou (78 habitants/km^2) moyennement élevée à Matéri (64 habitants/km^2) et faible dans les autres communes, variant entre 14 à 39 habitants/km^2. Cette variation de la densité de la population a des répercussions sur la production agricole surtout dans les communes fortement agricoles à densité moyenne.

➲ **Peuplement du département de l'Atacora**

D'après les sources orales et écrites disponibles, la région a été peuplée à partir de l'ouest et ce peuplement est lié aux mouvements de populations qui ont toujours accompagné ou suivi la formation des royaumes en Afrique occidentale. Mais les informations disponibles ne suffisent pas pour déterminer l'origine exacte de ces populations et surtout la chronologie de leur installation. Au sujet de la chronologie deux tendances se dégagent :

- une tendance dite de la chronologie longue qui se réfère à la mention dans les Tarikh des rivalités ayant opposé le Mali puis le Songhaï à des Mossi et aux « païens » du Gourma entre le XIV^{è} et le XV^{è} siècle. Les partisans de cette tendance penchent pour l'existence d'une formation politique mossi bien structurée avant le XIII^{è} siècle qui, sous les pressions maliennes et Songhaï aurait été à l'origine des mouvements de population vers l'est en direction de l'Oti et de l'Atacora vers le XV^{è} siècle (Tauxier et Delafosse, Tarikh es Sudan et Tarikh el Fettach, cités par Ki-Zerbo, 1978) ;
- la seconde tendance dite de la chronologie courte, se réfère à la tradition orale mossi pour situer la naissance des royaumes mossi-dagomba-mamprusi, dont découleraient les mouvements de population, à la fin du XV^{è} siècle et celle du royaume Gulmance au XVI^{è} siècle. Par conséquent, les tenants de cette tendance situent les migrations des populations vers l'Atacora entre les XVII^{è} et XVIII^{è} siècle (Fage et Izard cités par N'Tia, 1993). De l'analyse de tous ces éléments, on peut penser que la mise en place des populations de l'Atacora s'est faite avec les arrivées successives à partir de l'Ouest, du Nord-Ouest ou du Sud-Ouest de différents groupes, les suivants repoussant progressivement vers l'est et le sud-est ceux précédaient. Ce processus a dû s'amorcer avant le XV^{è} siècle avec les

rivalités qui ont opposé les Mosi et les Gourma aux empires du Mali et de Gao et s'est poursuivi ensuite avec les pressions des royaumes mossi, dagomba, mamprusi dont la phase d'expansion se serait située dans la première moitié du XVIè sicle et du royaume Gulmance dont la fondation remonterait au XVè siècle.

Seraient ainsi arrivés dans l'Atacora venant de l'ouest, les Yowa, les Tangba qui ont progressé jusqu'à Djougou, refoulant ou assimilant partiellement les Biyobe, les Kabye, les Lamba et les Lokpa qui les y avaient précédés par l'Ouest et le Sud-Ouest. Les Yowa ont été suivis des Waaba et des Daataba, lesquels à leur tour ont précédé les Bètammaribè. Les Berba auraient fermé la marche sous la pression des Tyokossi.

De la plaine du Gourma, foyer d'effervescence politique à partir du XVè siècle, sont venus des éléments qui ont contribué à la constitution de groupe Natimba, du sous-groupe Tangamba et du groupe Berba. Ces derniers sont demeurés au pied de la falaise de l'Atacora alors que les Natimba et les Tangamba, qui les ont précédés sur la chaîne de l'Atacora ont progressé vers l'est (N'Tia, 1993). En ce qui concerne les Tangamba, ils auraient laissé dans les falaises du Gobnangou (sud-est du Burkina-Faso) des restes d'habitations dont certains murs de construction résistent encore aux intempéries (Millogo, 1993a).

L'Atacora s'est révélé propice à l'installation des groupes sociaux autonomes, auxquels le milieu naturel offrait des ressources et des conditions suffisantes pour leurs activités de production.

Le département est composé de plusieurs groupes sociolinguistiques à savoir : les Bariba, les Berba, les Waama ou Tangamba, les Natemba, les Goulmantchéba ou Gulmanceba et Mossi, les Peulhs, les Dendi, les Djerma, les Haoussa, les Yoruba, les Yom ou Pila-pila et les Fons (figure 26).

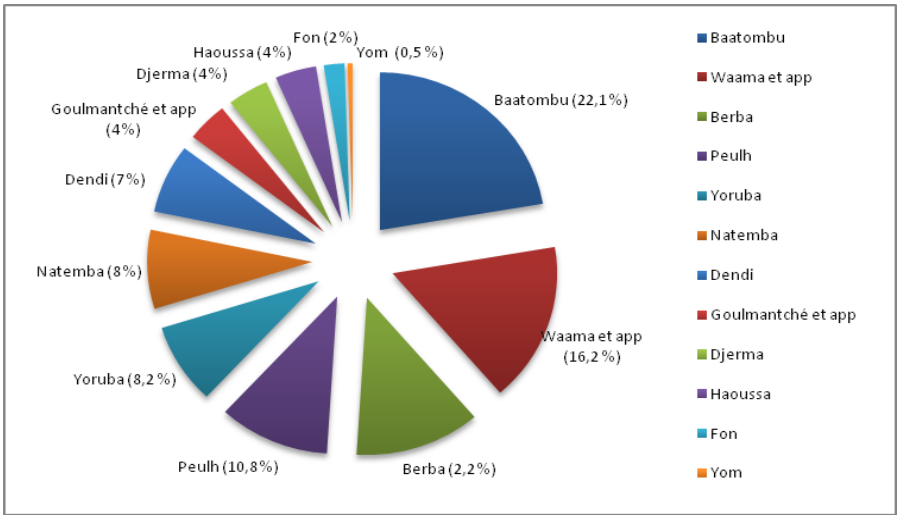


Figure 26: Différents groupes sociolinguistiques dans le département de l'Atacora (app = apparenté)
Source des données : INSAE, 2013

L'analyse de la figure permet de noter que le département de l'Atacora regorge douze (12) groupes sociolinguistiques à travers ses neuf (09) communes. Suivant la dominance de ces groupes sociolinguistiques, les trois premiers sont les Baatombu (22,1 %) les Waama (16,2 %) et les Berba (12,2 %). Les Natimba sont généralement rencontrés à Tanguiéta et à Kouandé et font environ 8 %. Pour ce qui concerne les Gourmantché et les Mossi, ils représentent 4 % et peuplent les communes de Tanguiéta et de Kérou. Parlant des Peulhs, ils représentent 10,8 % et se rencontrent sur l'ensemble du département, mais de façon très moins représentée dans les communes de Boukoumbé et de Cobly. Quant aux autres groupes sociolinguistiques (Dendi, 7 % ; Djerma, 4 % ; Haoussa, 4 % ; Yoruba, 8,7 % ; Fons, 2 % et les Yom encore appelés Pila-pila, 0,5 %), ils sont rencontrés dans presque toutes les communes du département.

Les populations de l'Atacora pratiquent la religion traditionnelle (47,6 %), l'islam (7,9 %) et le catholicisme (5,9 %). Par ailleurs, 17,5 % des populations de l'Atacora ne pratiquent aucune religion (INSAE, 2013).

➲ Action anthropique sur les formations végétales

Le tableau VII, montre le taux de régression annuel des formations végétales.

Tableau VII : Taux de régression annuel des formations végétales dans l'Atacora

Formations Naturelles	Superficie (ha) en 1995	Superficie (ha) en 2006	Taux annuel de régression (%)
Forêt dense	517	494	4,13
Forêt galerie	4512	3024	3,60
Forêt claire et savane boisée	71027	43848	4,30
Savane arborée et arbustive	2181434	1780459	13,06

Source des données **:** Image Landsat TM, 1995 et 2006 ; Légende : XXIII = 23

Les résultats du tableau, montrent que la pression anthropique exercée sur les formations naturelles entraîne par an, la perte de 4,13 % de forêt dense, 3,6 % de forêt galerie, 4,3 % de forêt claire et 13,06 % de savane boisée. Cette situation a entraîné la prise d'assaut des flancs de montagnes, les bas-fonds, les berges par les agriculteurs à cause des contraintes climatiques et pédologiques.

➲ **Activités socio-économiques**

L'économie du milieu d'étude est essentiellement basée sur les productions agricoles qui occupent près de 80 % de la population. La croissance démographique conduit à une demande de terres cultivables. Cette demande entraîne la réduction de la durée de jachère, diminue la fertilité des sols. Dans le but de réduire les terres incultes, d'améliorer les rendements et de faire face aux besoins quotidiens, les agriculteurs développent les spéculations hâtives. Les cultures de rentes prennent de l'ampleur, ceci dans l'optique d'augmenter le pouvoir économique. La chasse et la pêche sont également développées par les communes riveraines du Parc national de la Pendjari.

Conclusion partielle

Le présent chapitre met et relief les différents éléments de détermination des facteurs climatiques dans le département de l'Atacora. Il en ressort que, la topographie est formée de deux grandes unités de relief (la chaîne de l'Atacora et la plaine de Gourma) donnant lieu à un réseau de cours d'eau quasi temporaires autour de la rivière Pendjari. Le substratum géologique est composé de plusieurs types de roches dont les métamorphiques, les schistes, les quartzites, gneiss, grès etc. Les sols peu évolués sur quartzites, ferrugineux tropicaux et hydromorphes sur lesquels se développent les formations végétales sont régis par un climat de type soudanien à deux saisons. L'essor démographique et l'action anthropique sur les formations végétales, constituent l'un des facteurs déterminants de la dynamique des écosystèmes naturels.

CHAPITRE IV

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN

Au cours des dernières décennies, l'Afrique de l'Ouest et la région sahélienne ont subi une récurrence marquée des sècheresses entraînant une baisse des ressources en eau disponibles dont dépendent fortement les principales activités socio-économiques de la région (Le Barbé *et al.,* 2002; Gachon *et al.,* 2007). Les causes avancées sont associées aux changements dans l'occupation du sol ou la déforestation (Xue et Shukla, 1993; Zheng et Eltahir, 1998), à la variabilité de la Température de Surface Océanique (TSO) dans l'Atlantique Nord et Sud ou dans le Pacifique via notamment les téléconnections potentielles avec le phénomène El Nino (Messager *et al.,* 2004), à la variation de la vitesse des courants jets atmosphériques (Sultan et Janicot, 2003) ou à la concentration de poussières atmosphériques (N'tchayi Mbourou *et al., 1997).*

Au Bénin, la variabilité hydropluviométrique s'est manifestée par des anomalies et des crises successives ou alternatives d'excédent et de déficit hydrique. Les profondes modifications climatiques observées se sont exprimées par une réduction chronique d'amplitude annuelle moyenne de 40 % des hauteurs totales de pluie (Le Barbé *et al,* 1993) avec d'importantes conséquences sur le régime des cours d'eau et sur l'environnement. La maitrise de tels phénomènes naturels nécessite une bonne compréhension de la variabilité des paramètres climatiques, du fonctionnement hydrologique des bassins versants en période critique et des phénomènes en cause surtout les évènements d'extrêmes climatiques. Même si certaines études ont permis d'analyser de façon détaillée la variabilité interannuelle et le cycle de la mousson africaine (Sultan et Janicot, 2003 ; Neil *et al.,* 2005), les tendances des extrêmes climatiques, ont été peu étudiées dans le département de l'Atacora. A travers le présent chapitre, il a été analysé les tendances des indices climatiques et l'évolution récente des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora sur la période 1960-2015.

4.1. Tendances des pluies extrêmes liées à la variabilité interannuelle des précipitations

Le calcul de l'indice centré réduit sur les précipitations annuelles a permis de caractériser la variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le département de l'Atacora. En effet, les fluctuations interannuelles des précipitations se caractérisent

par une succession d'anomalies positives et négatives. La figure 27 présente l'indice pluviométrique par poste sur la période d'étude.

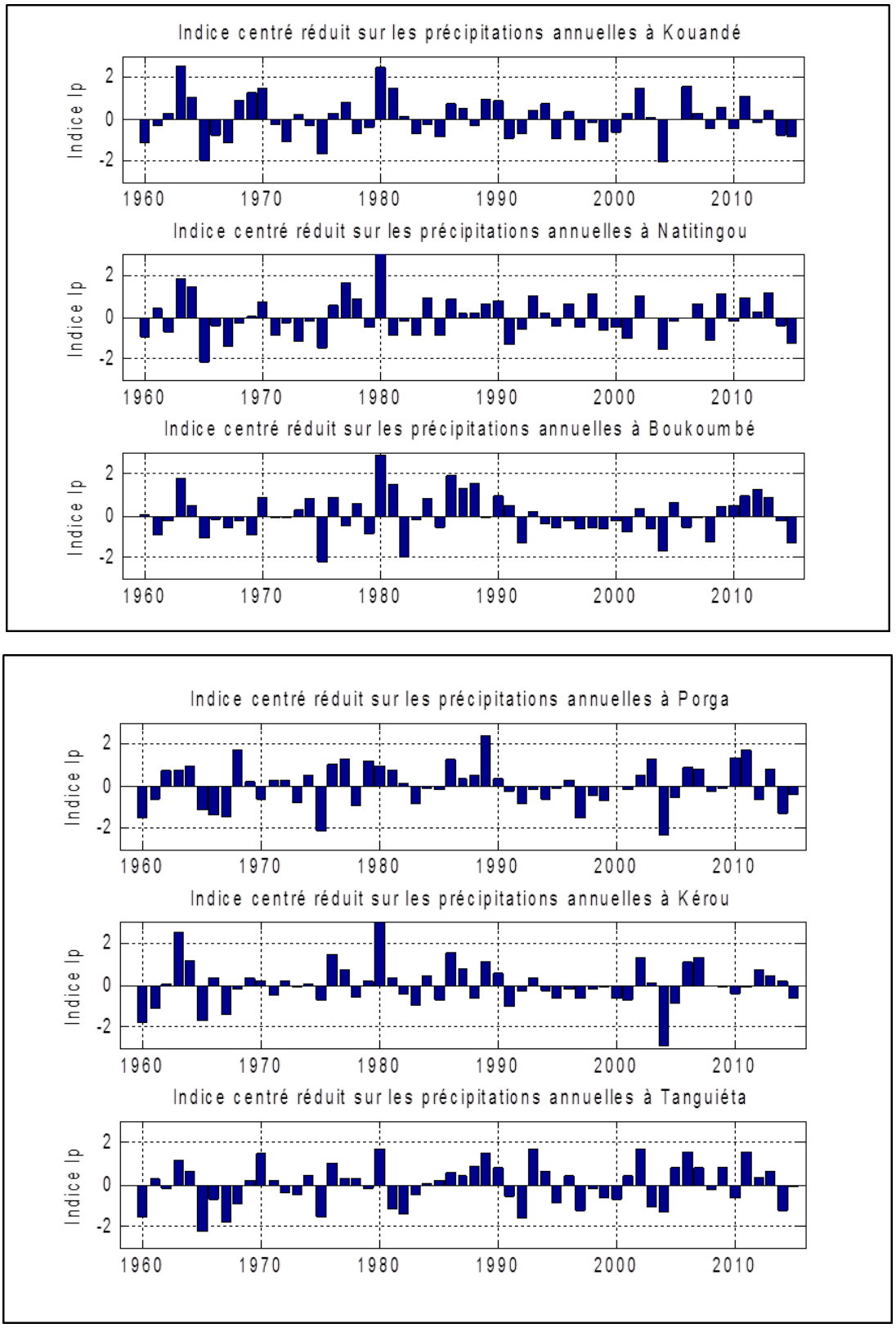
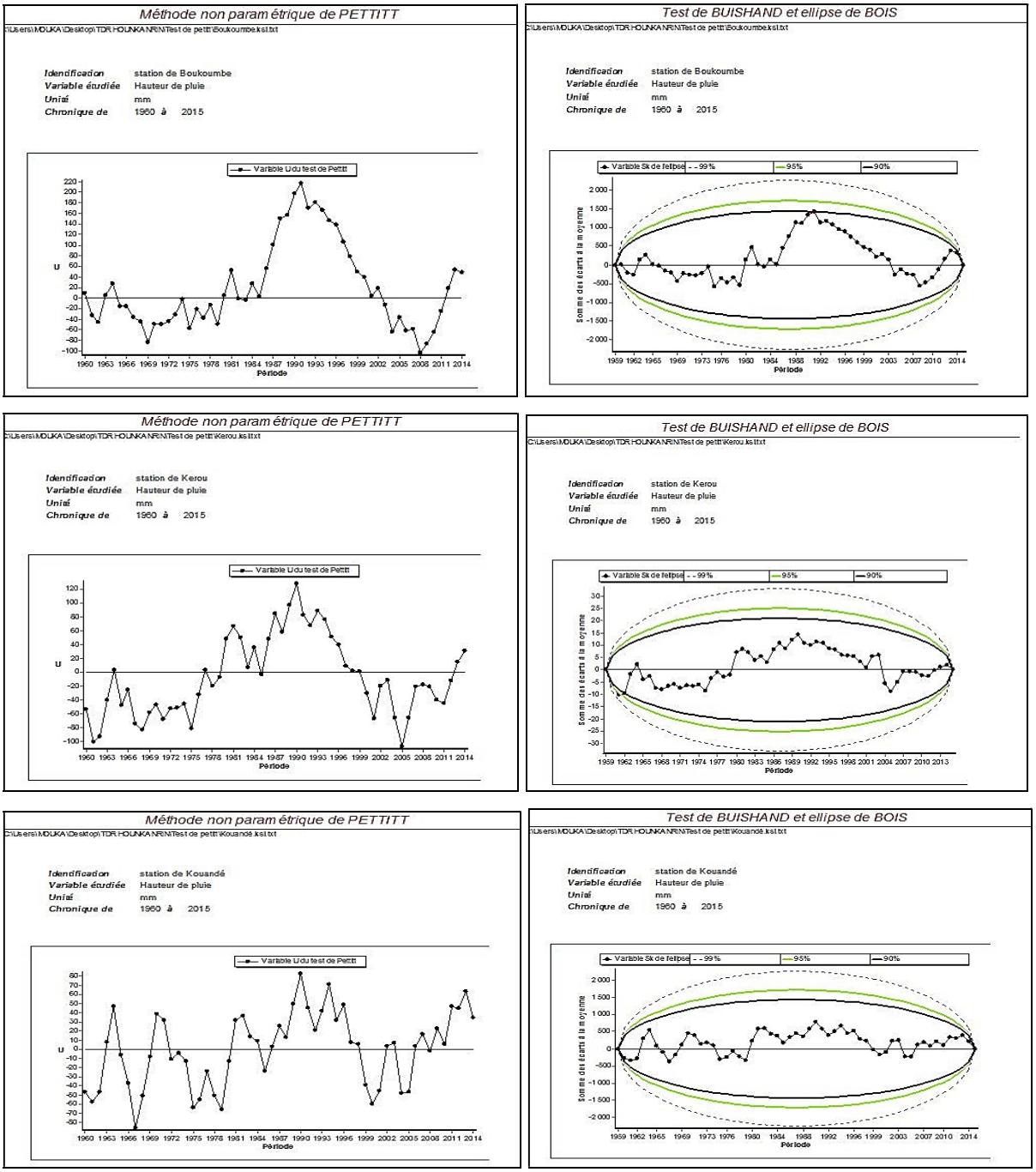


Figure 27: Variabilité Interannuelle des précipitations annuelles
Source des données : Météo-Bénin, 2018

La figure 27 montre la variabilité interannuelle de la pluviométrie dans le département de l'Atacora. Il ressort que le régime pluviométrique du département de l'Atacora se présente sous forme d'une alternance d'années humide et sèche. Cette alternance demeure sans doute le phénomène climatique le plus remarquable des trois dernières décennies et aura des répercussions sur l'agriculture, les plantes et par ricochet sur les hommes. La méthode non paramétrique de Pettitt, le test de Buishand et l'ellipse de Bois ont été appliqués aux séries pluviométriques annuelles (1960-2015) des stations météorologiques retenues pour la rupture de stationnarité (figure 28).



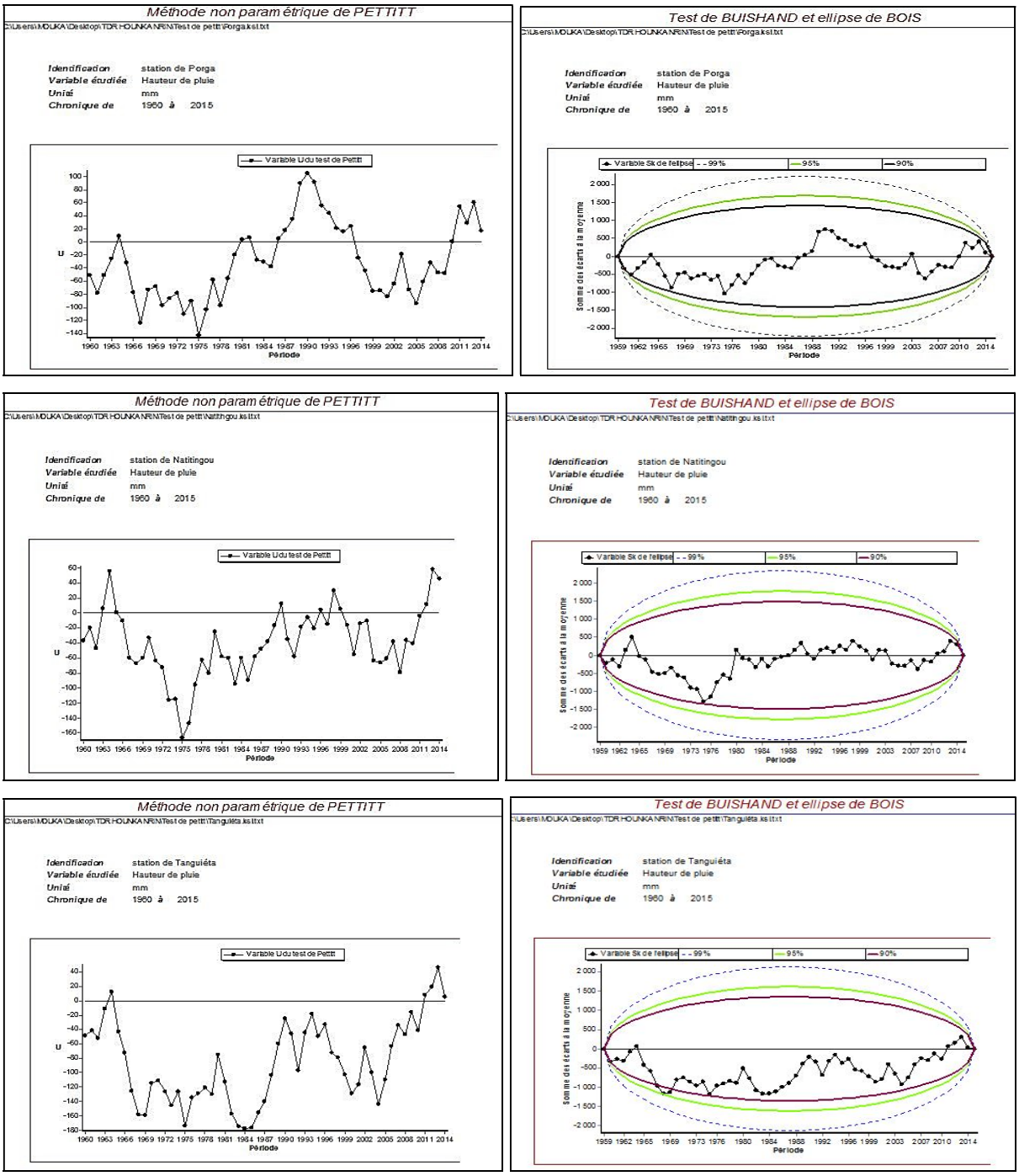


Figure 28 : Test de rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques du département de l'Atacora
Source des données : *Météo-Bénin, 2018*

L'analyse de la figure 28 montre l'application du test de Pettitt et de Buishand à la série des données (1960-2015) qui a permis d'identifier à un seuil de significativité de 5 %, une rupture chronologique en 1969 et 1990 dans le département de l'Atacora. La série 1960-2015 utilisée peut-être subdivisée en 3 sous-périodes : 1960-1969, 1970-1990 et 1991-2015. En outre, dans la région de l'Afrique tropicale, de nombreuses études se sont penchées sur la question (Sircoulon, 1990 ; Panel et

Carbonnel, 1992 ; Mendy, 2010 ; Doukpolo, 2014). Les résultats soulignent l'existence d'une rupture dans les séries pluviométriques. Ceci confirme les résultats des travaux de recherche conduits dans les différentes régions du Bénin sur la problématique climat et agriculture Tossa (2005), Ogouwalé (2006), Yabi (2008) et Akognongbe (2014) qui attestent que des ruptures sont intervenues dans les séries pluviométriques au cours des années 1969 et indiquent une tendance à la baisse des précipitations.

A partir des sous-périodes obtenues des ruptures, les déficits ont été déterminés. Ainsi, les moyennes pluviométriques enregistrées et les déficits observés sont consignés dans le tableau VIII.

Tableau VIII : Pluviométries annuelles et déficits aux différentes sous-périodes

	Porga	**Kérou**	**Tanguiéta**	**Kouandé**	**Natitingou**	**Boukoumbé**
Sous-Périodes	**Précipitations annuelles (en mm)**					
1960-1969	1016,76	1312,29	1188,24	1307,33	1242,48	1284,52
1970-1990	912,2	1207	1030,9	1286,2	1150,1	1157,3
1991-2015	928,08	1202,64	1152,8	1243,4	1188,36	1146,96
Déf 1 % SP1	12,00	-8,02	-13,24	-1,62	-7,44	-9,90
Déf 2 % SP1	-8,72	-8,36	-2,98	-4,89	-4,36	-10,71

Source des données : Traitement des données, Kouton, 2017

Il ressort de l'analyse des données du tableau VIII que les précipitations annuelles ont connu une baisse d'environ -08,42 % dans la deuxième sous-période (baisse par rapport à la première sous-période) et de -06,67 % dans la dernière sous-période (baisse par rapport à la première sous-période) qui annonce une reprise pluviométrique. Les fluctuations interannuelles et les ruptures observées confirment le régime pluviométrique observée à la fin des années 1960 et au début des années 1970 en Afrique de l'Ouest et Centrale sahélienne comme non sahélienne (Hubert *et al,* 1989 ; Mahé et Olivry, 1995 ; Paturel *et al,* 1997 ; Servat *et al,* 1999) et la récession pluviométrique signalée au Bénin par Boko (1988), Afouda (1990), Houndénou (1998), Vissin (2007).

La figure 29 présente la variabilité interannuelle des indices pluviométriques PX1J et PX5J sur la période 1960-2015 dans le département de l'Atacora.

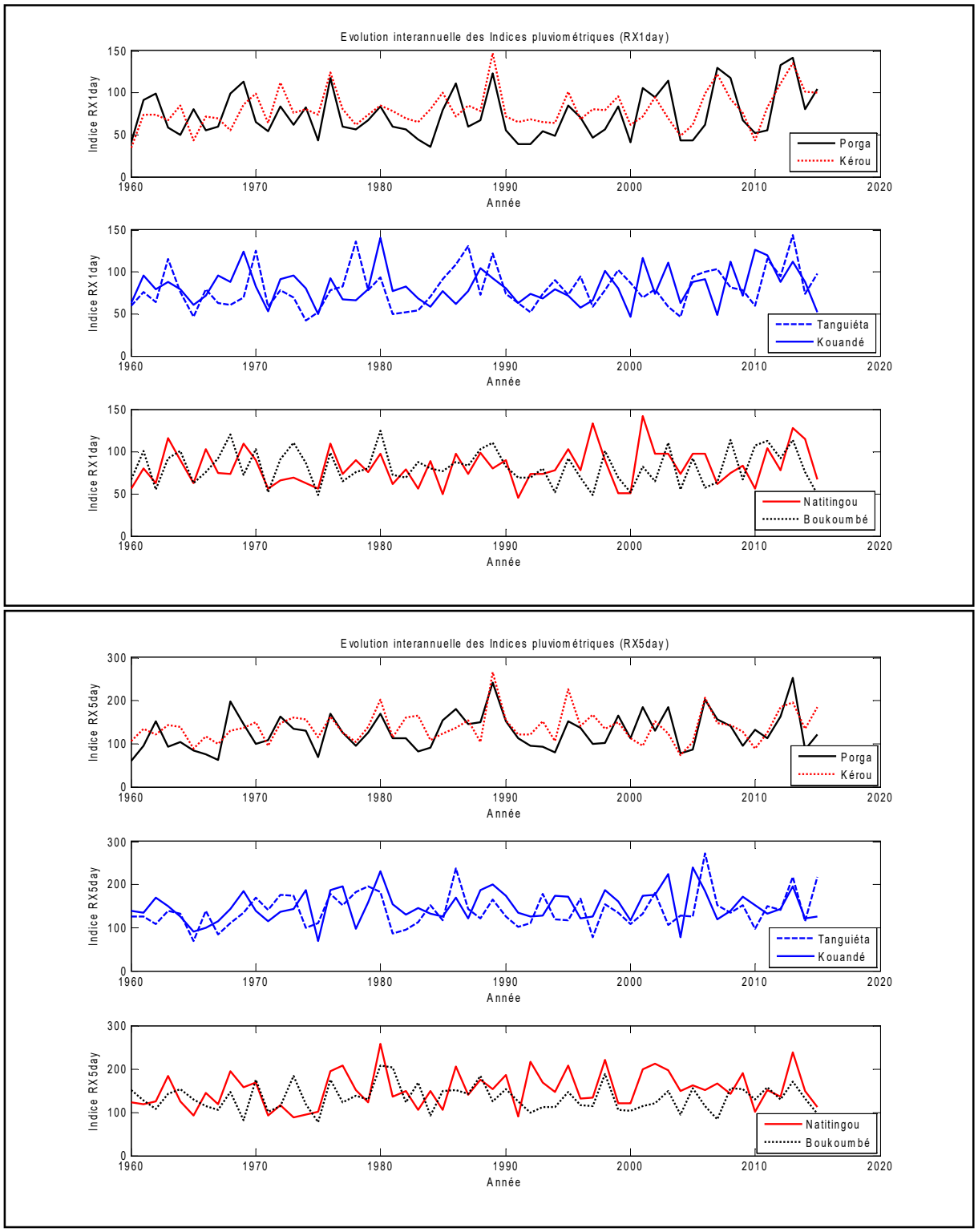


Figure 29 : Variabilité Interannuelle des indices pluviométriques PX1J et PX5J
Source des données : DMN, 2017

La figure 29 présente les séries chronologiques des maxima pluviométriques (RX1J, RX5J). Ces indices ne présentent pas de tendances particulières, elles sont presque stables sur la période d'étude (1960-2015). Toutefois, on observe aux cours des

deux dernières décennies une augmentation non moins importante avec par endroit des pics tels que ceux de 2003, 2009, 2010 et 2015. Ces pics observés témoignent de la reprise pluviométrique avec des précipitations annuelles supérieures à la moyenne de la troisième sous-période. Il apparaît donc clairement que la dramatique période de sécheresse débuté en 1970 s'est terminée dans les années 1990. Cette succession des anomalies positives et négatives connait des ruptures entre 1969-1970 ; entre 1989-1990. Ces ruptures déterminent une alternance de trois sous-périodes ; une sous-période humide (1960-1969), une sous-période sèche (1970-1990) et une sous-période normale (1991-2015). La figure 30 détermine la variabilité interannuelle des indices de précipitations intenses et extrêmes respectivement caractérisés par les variables R95 et R99 sur la période d'analyse.

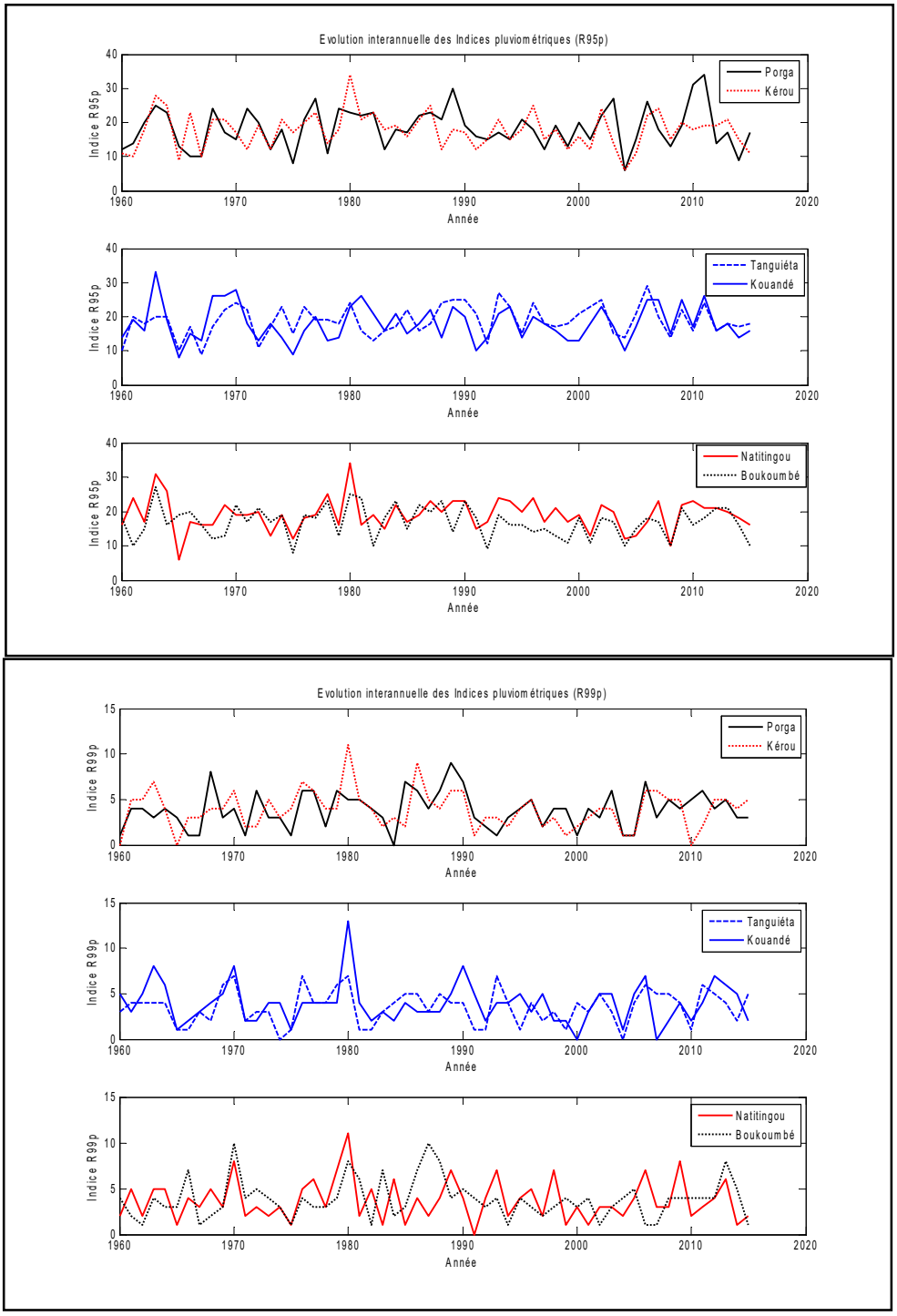


Figure 30 : Variabilité interannuelle de la fréquence des précipitations intenses (P95) et précipitations extrêmes (P99)

Source des données : DMN, 2017

Il ressort de l'analyse de cette figure que la fréquence des précipitations intenses est de l'ordre de quatre (04) jours/an en moyenne au niveau de tous les postes pluviométriques tandis celles des pluies extrêmes est de l'ordre de dix-huit (18) jours/an en moyenne. Toutefois, il faut noter par ailleurs des années particulières où

le nombre de jours d'évènements pluvieux particuliers (intenses ou extrêmes) est élevé. Il s'agit des années 1963, 1980, 2003, 2010 et 2015.

La figure 31 montre les variations interannuelles de la proportion des précipitations intenses (R95p) et précipitations extrêmes (R99p) dans le total pluviométrique annuel.

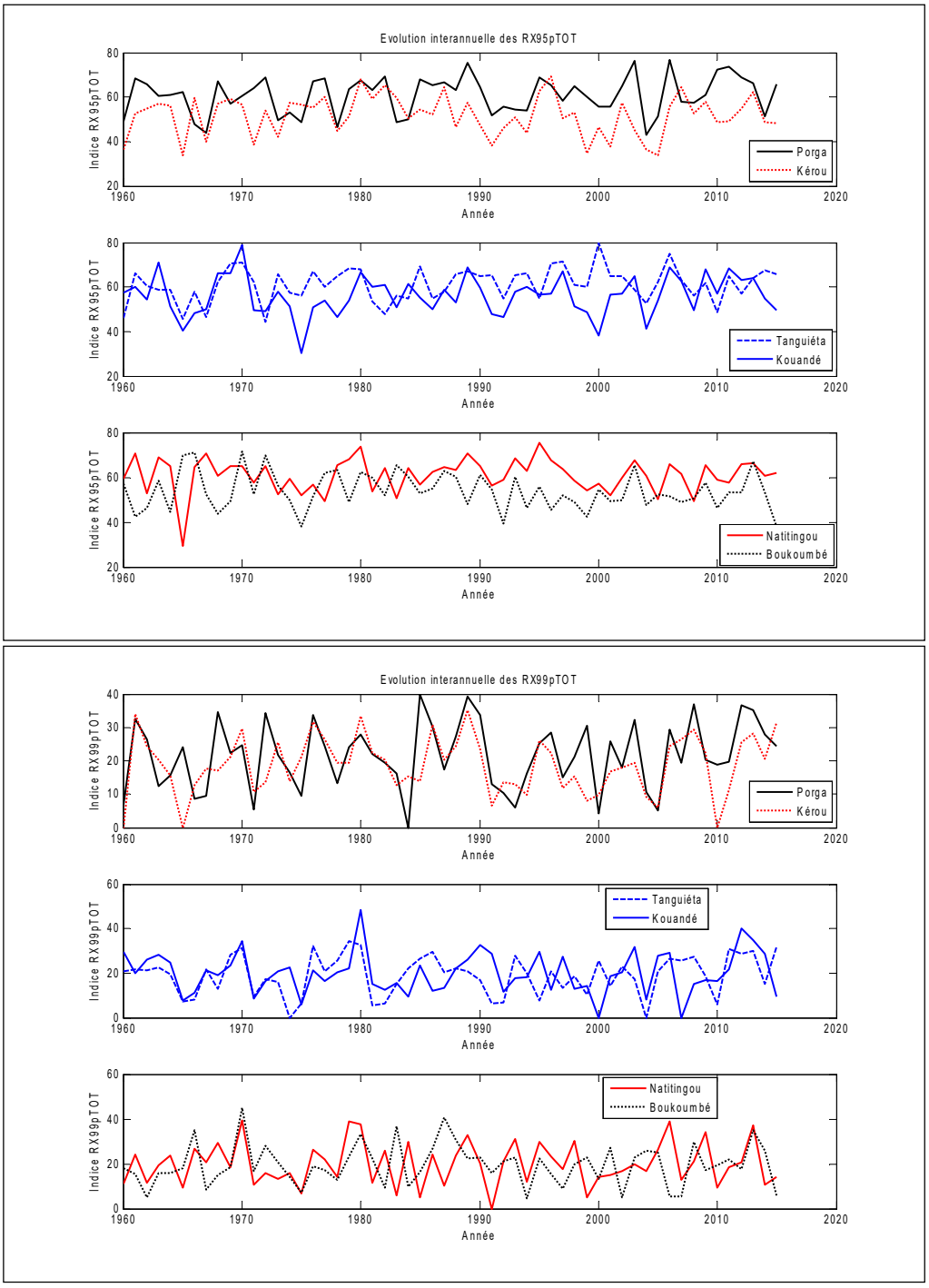


Figure 31: Variabilité interannuelle des indices de précipitations intenses et extrêmes (P95p, P99p)
Source des données : DMN, 2017

Il résulte de l'analyse de cette figure que le poids des pluies importantes (R95p, R99p) est de plus en plus important ces dernières décennies qu'auparavant. Les proportions sont respectivement de l'ordre de 60 % et 20 % en moyenne dans le secteur d'étude. En effet, un ensemble d'indicateurs a été compilé pour analyser l'évolution récente des précipitations extrêmes au cours des dernières décennies. L'étude de la variabilité des précipitations annuelles répercute les observations déjà enregistrées dans la région Ouest-Africaine. Les résultats montrent que la sécheresse dramatique qui accablait l'ensemble du pays depuis 1970 a pris fin en 1991, sans cependant atteindre les totaux pluviométriques d'avant sécheresse. Ce retour à des conditions plus humides avait été suggéré par Ozer *et al.,* (2003) et se confirme actuellement partout en Afrique de l'Ouest comme au Sénégal (Sarr *et al.,* 2013), au Burkina-Faso (Lodoun *et al.,* 2013), au Niger (Ozer *et al.,* 2009), au niveau du bassin du fleuve Niger (Descroix *et al.,* 2013), au Bénin (Vissin, 2007 ; Lawin, 2008 ; Avahounlin, 2016). La variabilité pluviométrique observée s'est accompagnée d'une modification du régime des précipitations à l'échelle du secteur d'étude. Cette modification se traduit par une augmentation non moins importante des maxima pluviométriques durant certaines années exceptionnelles. L'augmentation des maxima enregistrés dans cette région de montagne confirment le rôle important de l'orographie dans les fortes pluies. Celle-ci contribue à l'augmentation des pluies extrêmes par l'effet de Foehn.

L'évolution du nombre de jours où la précipitation est supérieure au 95e centile et 99e centile de référence, entendu respectivement les fréquences de pluies intenses et de pluies extrêmes n'indiquent peu ou pas de changement majeur à l'échelle du secteur d'étude.

Les fortes valeurs de cet indice, enregistrées en 1963, 1980, 2003, 2010 et 2015 correspondent à des années légèrement excédentaires en termes de moyenne quotidienne ainsi qu'une diminution de la fréquence des jours de pluie et à une forte anomalie positive de l'intensité moyenne par jour de pluie. Par conséquent, durant ces années, les rares événements de précipitations intenses ont contribué fortement au cumul saisonnier et à l'intensité moyenne des précipitations. Ceci caractérise les régions sahéliennes où les rares événements de précipitations intenses contribuent fortement à l'intensité moyenne par jour de pluie ainsi qu'au cumul annuel ou saisonnier. En général, les résultats vont dans le sens des conclusions du Groupe

d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat à l'échelle globale, à savoir des précipitations extrêmes inchangées dans un contexte global de dessiccation (GIEC, 2013).

4.2. Analyse de l'occurrence des précipitations maximales

Les méthodes statistiques d'analyse fréquentielle ont été appliquées aux variables RX1J et RX5J observées à l'échelle des différents postes pluviométriques échantillonnés dans le secteur d'étude. Les tableaux IX et X présentent les statistiques descriptives effectuées sur les différents indices constitués.

Tableau IX: Statistiques descriptives des indices RX1J

	Min	Max	Moy	Ecart-type	Médiane	Coeff. Cv
Porga	36	142	73,7	28	63,5	0,381
Kérou	35	147	80,3	21,8	76	0,271
Tanguiéta	42	144	80,4	24	77	0,298
Kouandé	46	141	82,1	21,1	79	0,257
Natitingou	45	142	81,9	22	78	0,268
Boukoumbé	48	124	81,8	20,5	80	0,251

Source des données : Traitement de données, 2017

Tableau X: Statistiques descriptives des indices RX5J

	Min	Max	Moy	Ecart-type	Médiane	Coeff. Cv
Porga	61	252	128	42,7	124	0,334
Kérou	73	267	139	35,9	136	0,258
Tanguiéta	69	273	141	40,1	135	0,285
Kouandé	69	239	150	36,3	143	0,242
Natitingou	89	257	152	41,1	149	0,271
Boukoumbé	77	207	133	30,4	130	0,228

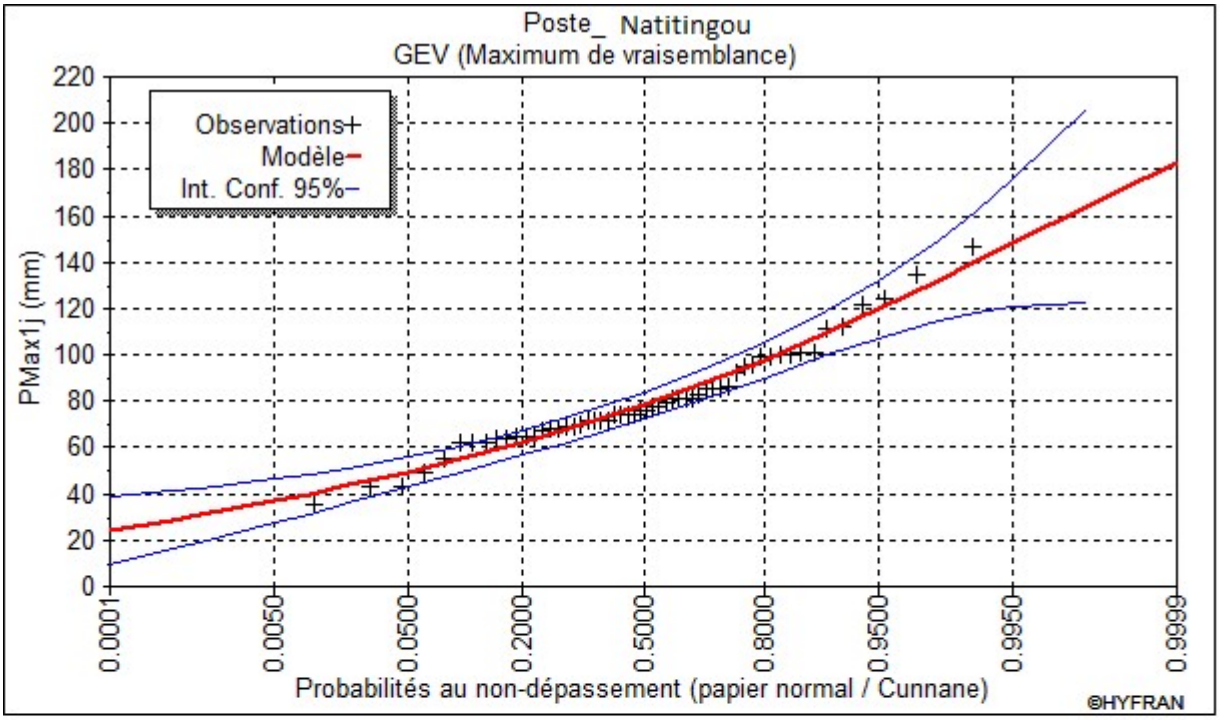
Source des données : Traitement de données, 2017

De l'analyse des données de ces tableaux, il résulte que les variables statistiques sont presque constantes d'un poste pluviométrique à un autre quel que soit l'indice considéré avec un coefficient de variation faible de l'ordre de 0,28 en moyenne. Ceci montre qu'il existe une faible variabilité dans les statistiques des séries considérées, résultat de l'appartenance des données à une même zone climatique.

Les trois tests statistiques à savoir le test d'indépendance de Wald-Wolfowitz, le test de stationnarité de Mann Kendall et celui d'homogénéité de Wilcoxon appliqués aux

différents jeux de données sont acceptés au seuil de 5 % à tous les postes. Ceci confirme l'utilisation des jeux de données pour la détermination de l'occurrence des précipitations maximales.

Aux différentes séries ponctuelles, a été ajustée la loi statistique GEV. En effet, cet ajustement permet de caractériser les périodes de retour des événements pluvieux intenses et extrêmes afin de vérifier si les épisodes pluvieux, sources d'inondations et de catastrophes recensées pourraient être qualifiés d'événements extrêmes ou non. En somme, la période de retour d'un événement est définie comme étant l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de cet événement (Mohymont et Demarée, 2006). Un événement pluvieux peut être qualifié de très exceptionnel (très extrême) ou quasi-inexistant (si sa période de retour T est supérieure à 100 ans) ; d'exceptionnel ou d'extrême (si sa période de retour est comprise entre 30-100 ans) ; de très anormal ou très intense (si la période de retour T est comprise entre 10 - 30 ans) ; d'anormal ou intense (si la période de retour T est comprise entre 6 - 10 ans) et de normal (si la période de retour T est à moins de 6 ans). L'observation des courbes d'ajustements relatives (figure 32) montre que celles-ci s'étendent mieux vers l'extrémité.



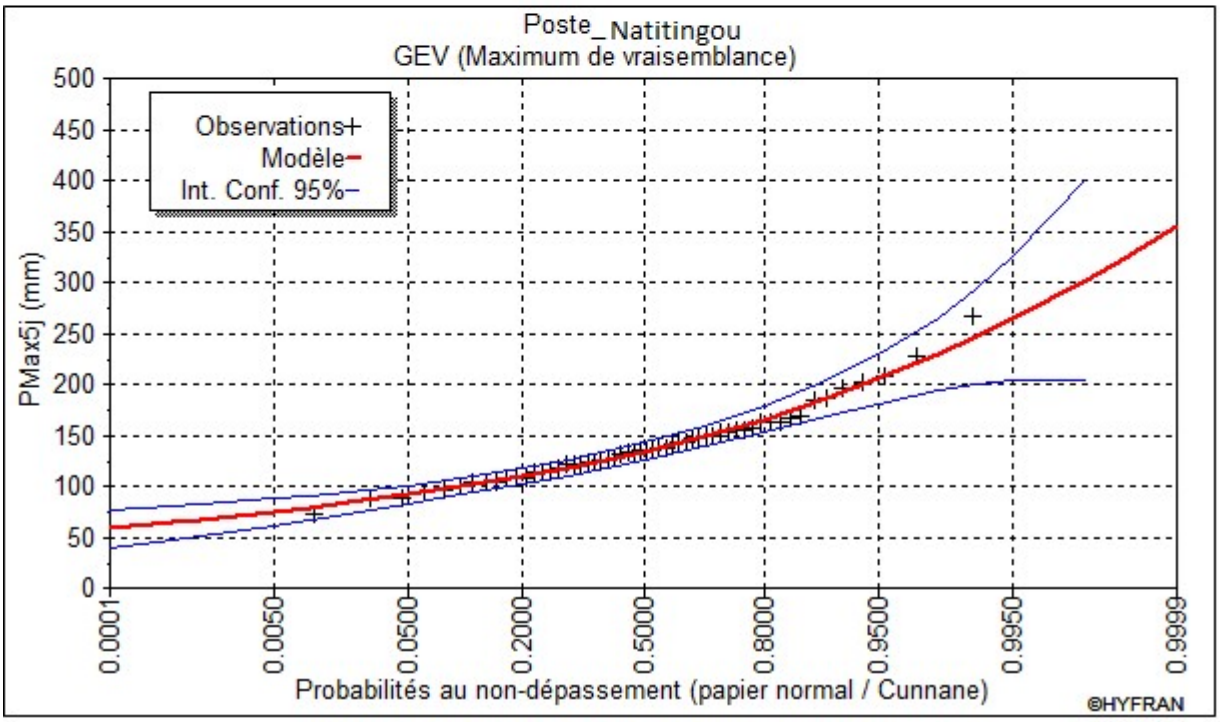


Figure 32: Courbe d'Ajustement des séries ponctuelles constituées à la loi GEV

Source des données : Traitement de données, 2017

La validation de la loi a été établie par le test de khi^2 aux différentes séries. L'hypothèse nulle (hypothèse stipulant que l'échantillon constitué provient de la loi GEV) de ce test est accepté au seuil de 5 % à tous les postes et les paramètres de la loi sont tels que consignés dans le tableau XI.

Tableau XI : Valeurs des paramètres d'ajustement par la loi GEV

Paramètres	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
	Indices pluviométriques PX1J					
alpha	19,33	18,88	18,96	17,90	18,50	19,59
K	-0,17	0,10	0,01	0,08	0,07	0,26
U	59,01	71,32	69,53	73,08	72,36	74,43
	Indices pluviométriques PX5J					
alpha	33,97	28,62	32,45	34,33	34,99	27,27
K	0,01	0,03	0,04	0,21	0,09	0,15
U	108,54	123,57	123,31	135,99	133,93	121,10

Source des données : Traitement des données, 2017

A partir des courbes d'ajustement et de la loi de probabilité validée, les valeurs des quantiles correspondantes à chaque série de données ont été observées. Pour la plupart des séries constituées, les périodes de retour maximales sont comprises entre 2n et 3n, ''**n**'' étant le nombre d'observation (ici n = 56). Etant donné que pour les différents postes pluviométriques, une série temporelle de 56 valeurs annuelles a été établie, les périodes de retour associées à la loi d'ajustement seront de 2, 5, 6, 10, 20, 30, 50 et 100 ans, 100 ans étant la limite de représentativité. Les valeurs des différents quantiles de précipitations maximales, ainsi, les pluies maximales journalières (en mm) de période de retour T (P_2, P_5, P_6, P_{10}, P_{20}, P_{30}, P_{50} et P_{100}) ont été déterminées (tableau XII).

Tableau XII: Quantiles des précipitations maximales calculées (mm)

Périodes de retour (Années)																
	2		**5**		**6**		**10**		**20**		**30**		**50**		**100**	
	RX1d	**RX5d**	**RX1d**	**RX5d**	**RX1d**	**RX5d**	**RX1d**	**RX5d**	**RX1d**	**RX5d**	**RX1d**	**RX5d**	**RX1d**	**RX5d**	**RX1d**	**RX5d**
Porga	66,3	121	92,1	159	93,3	166	112	184	134	208	148	221	167	238	195	261
Kérou	78,1	134	97,5	166	101	171	109	186	120	205	125	216	132	229	140	247
Tanguiéta	76,5	135	97,8	171	102	177	112	193	125	214	133	226	142	241	155	260
Kouandé	79,5	148	98,3	180	101	185	110	197	120	212	126	219	133	227	141	237
Natitingou	79	147	98,6	183	102	189	111	205	122	225	128	236	135	249	144	266
Boukoumbé	81,3	131	98,7	158	101	162	108	173	115	186	118	193	122	201	127	211
Valeurs moyennes																
	76,8	136	97,17	169,5	100,1	175	110,3	189,7	122,7	208,3	129,7	218,5	139	231	150	247

Source des données : Traitement des données, 2017

L'analyse du tableau montre que, quel que soit l'indice et la période de retour considérés, il existe une faible variation des valeurs calculées d'un poste pluviométrique à un autre. Ceci se justifie par l'appartenance des postes pluviométriques à une même zone éco-climatique.

4.3. Caractérisation des pluies extrêmes

Les méthodes d'analyse fréquentielle font appel à diverses techniques statistiques et constituent une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur. Ici, l'ensemble des étapes méthodologiques a été accomplies à l'aide de l'outil statistique HYFRAN (2003). Cet outil permet de réaliser une analyse fréquentielle complète pour n'importe quelle variable pour laquelle on dispose des données numériques. Le logiciel HYFRAN est un logiciel d'ajustement de lois statistiques. Il a été développé par l'équipe du Dr. B. Bobée, qui a plus de 30 années d'expérience en hydrologie statistique, à l'Institut National de la Recherche Scientifique, Eau-Terre et Environnement (INRS-ETE) de l'Université du Québec. Ce logiciel propose des tests statistiques classiques préalables à l'ajustement d'une loi, en vue de vérifier les hypothèses d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité de l'échantillon. Il propose un panel de 16 lois statistiques différentes pour la réalisation des ajustements.

Le logiciel propose également des outils de comparaison graphique et sur la base d'un certain nombre de critères (Parent *et al.,* 2003 ; Hubert, 2005 ; Runge *et al.,* 2005 ; Gomes *et al.,* 2008). HYFRAN (2003) est conçu de façon à simplifier les tâches liées à l'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon aléatoire. Ce logiciel offre une analyse fréquentielle en cinq étapes que sont la constitution d'une série de valeur, la vérification des hypothèses statistiques, l'ajustement de la série constituée à une loi de probabilité, l'estimation des paramètres de la distribution et la validation du modèle fréquentiel donnant l'identification des quantiles (St-Hilaire, 2005). Les cinq (05) étapes ont été appliquées aux chroniques de pluies maximums constituées sur la période d'analyse (1960-2015).

- **Vérification des hypothèses de base**

L'utilisation d'outils statistiques de base a permis de contrôler les séries de valeurs et de vérifier si elles possèdent les qualités requises pour la détermination de leur

fonction de distribution. En effet, pour l'élimination des erreurs d'échantillonnage, les séries de valeurs doivent être suffisamment de longues (minimum de 10 ans). Ainsi, pour vérifier le caractère aléatoire, stationnaire, d'indépendance et d'homogénéité des séries constituées, les tests de stationnarité de Mann Kendall ; d'indépendance de Wald-Wolfowitz (Hache *et al.,* 1999) et d'homogénéité de Wilcoxon (Siegel, 1956) ont été appliqués. Ces tests statistiques permettent essentiellement d'évaluer la représentativité des répartitions observées par rapport aux valeurs connues de la population et servent à évaluer la significativité des observations. Ils sont tous basés sur le même principe qui prend en compte l'énoncé d'une hypothèse sur la population mère et servent à vérifier si les observations constatées sont vraisemblables dans le cadre de cette hypothèse.

L'hypothèse de départ à vérifier est appelée H0 (hypothèse nulle). Pour chaque test, H0 est l'hypothèse nulle à valider. L'hypothèse alternative appelée H1 est à considérer si H0 n'est pas acceptée. Si le résultat du test accepte l'hypothèse nulle (H0), alors la probabilité que la répartition soit due au hasard est élevée. En revanche, le rejet de H0 signifie que cette répartition des réponses recèle des informations qui ne semblent pas provenir du hasard et qu'il convient d'approfondir l'analyse.

Le test de stationnarité de Mann Kendall est un test de corrélation sur le rang. Il sert à détecter les tendances dans les séries (Yue *et al.,* 2004). Pour INRS-ETE (2005), ce test permet aussi de vérifier si les caractéristiques statistiques (moyenne, variance, etc.) sont invariantes dans le temps. Ainsi, l'hypothèse H0 signifie qu'il n'y a aucune tendance dans les observations et H1 montre qu'il y a une tendance dans les observations. Le test d'indépendance de Wald-Wolfowitz est utile pour vérifier dans les observations, l'existence d'une dépendance séquentielle qui conduirait lorsque celle-ci est avérée, à définir le type et le niveau de celle-ci avant de continuer l'étude du processus des fréquences. Pour l'hypothèse H0, les observations sont indépendantes alors que pour H1 les observations sont dépendantes (autocorrélation d'ordre 1). Le test d'homogénéité à l'échelle annuelle de Wilcoxon (Siegel, 1956) permet de vérifier si les informations sont homogènes. Pour effectuer ce test, l'échantillon doit être subdivisé en deux, ce qui permettrait donc de voir si la moyenne du premier sous-échantillon est significativement différente de celle d'un

deuxième sous-échantillon. Si tel est le cas, on conclut que la série de données n'est pas homogène. Dans le cas contraire, la série est homogène. L'hypothèse H0 montre que les moyennes des deux sous-échantillons sont égales tandis que pour l'hypothèse H1, les moyennes des deux sous-échantillons sont différentes.

- **Ajustement de lois de probabilité**

Pour plusieurs lois, HYFRAN offre différentes méthodes d'ajustement. Néanmoins, la détermination de la meilleure loi d'ajustement a toujours été délicate et le choix du modèle peut être crucial pour l'estimation des quantiles. Toutefois, en Afrique tropicale, plusieurs auteurs (Brunet-Moret, 1967 ; Oyebande, 1982 ; Puech *et al.,* 1984 ; Koutsoyiannis, 2004a ; 2004b) ont utilisé la loi Gumbel comme modèle d'ajustement des séries chronologiques de valeurs extrêmes dans le cadre de nombreuses études. Selon Le Barbé *et al.,* (1993) l'utilisation de lois ayant un nombre suffisant de degrés de liberté (trois paramètres en général sont suffisants) permet presque toujours de bons ajustements. Différentes méthodes existent pour ajuster les distributions statistiques aux échantillons.

Dans la littérature, les auteurs (Panigrahi *et al.,* 2002 ; Gellens, 2002 ; Koutsoyiannis, 2004a ; 2004b ; Goula *et al.,* 2007) proposent plusieurs lois comme fonction de distribution des valeurs extrêmes et appliquées aux séries chronologique. On cite la loi Gumbel, les lois normales, la loi exponentielle, les lois Gamma, la loi GEV, les lois Pearson. Ces différentes lois font partie du domaine d'attraction de la loi GEV (Alamou, 2011). Dans le cadre de la présente étude, il a été testé (à partir de l'outil statistique choisi) pour chacune des séries constituées la loi GEV. Au moyen de l'outil statistique, les ajustements ont été effectués et les fréquences empiriques de chaque variable ont été testées et calculée à partir de Hazen (Rosbjerg *et al.,* 1992 ; Llamas, 1993).

4.4. Répartition spatiale des précipitations intenses et extrêmes dans le secteur d'étude

Partant des différents indices de précipitations maximales journalières (RX1J), il a été déterminé les précipitations journalières, caractéristiques d'évènements pluvieux intenses et des évènements pluvieux extrêmes (tableau XIII).

Tableau XIII : Précipitations caractéristiques d'évènements pluvieux intenses et extrêmes

	Evènements pluvieux intenses	**Evènements pluvieux extrêmes**
Stations	**Précipitations (mm)**	
Porga	93,3 - 112	148 - 195
Kérou	101 - 109	125 - 140
Tanguiéta	102 - 112	133 - 155
Kouandé	101 - 110	126 - 141
Natitingou	102 - 111	128 - 144
Boukoumbé	101 - 108	118 - 127

Source des données : Traitement des données, 2017

Les valeurs des précipitations intenses et extrêmes obtenues avoisinent par endroit les maximas pluviométriques annuels. Les figures 33 et 34 présentent leur répartition spatiale à différent seuil inférieur et supérieur à l'échelle du secteur d'étude.

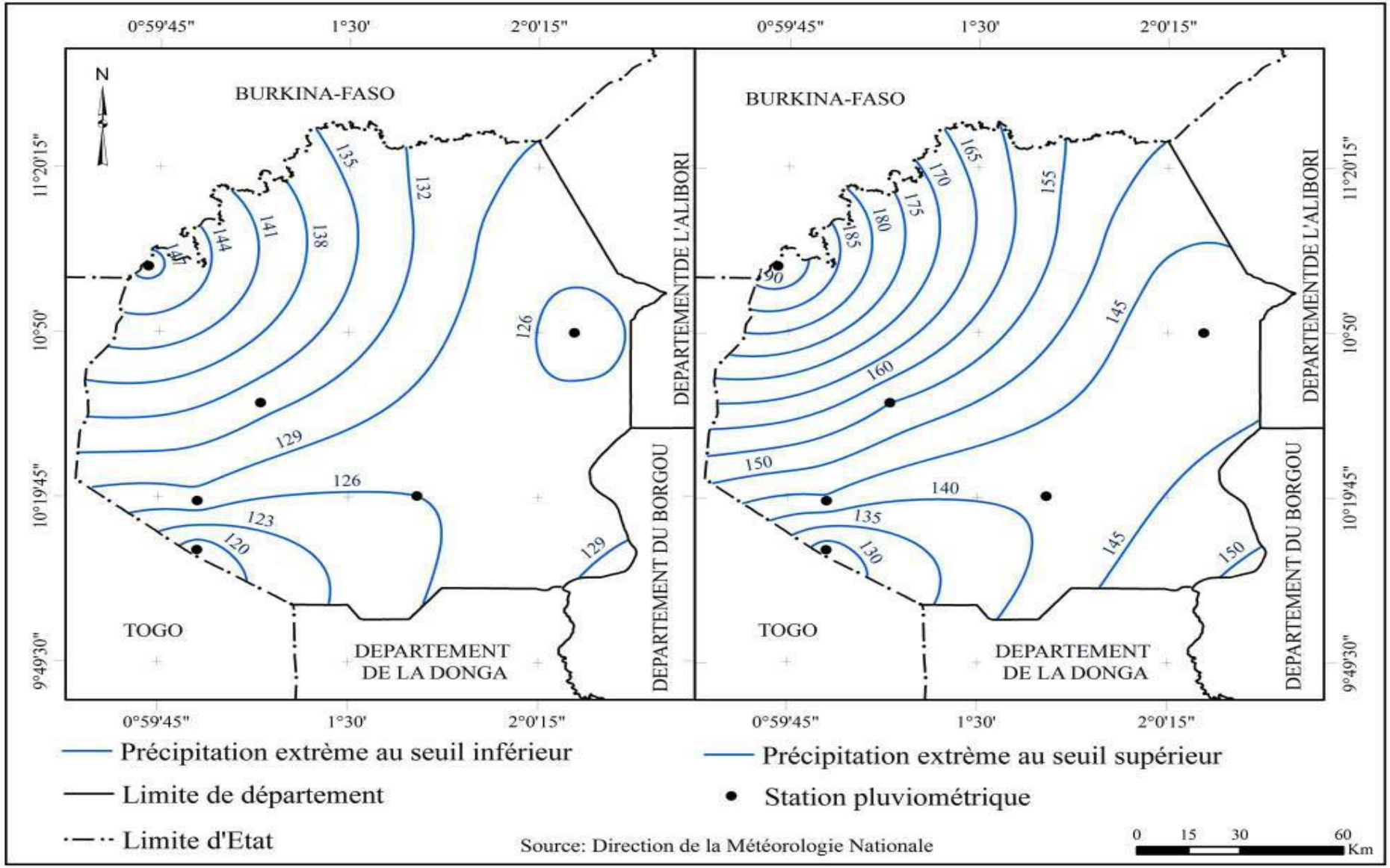


Figure 33: Répartition spatiale des précipitations extrêmes dans le département de l'Atacora

De l'analyse de la figure 33, il ressort que les isohyètes obtenues varient peu à l'échelle du secteur d'étude. Il est observé une concentration de fortes valeurs au Nord-Ouest du secteur d'étude.

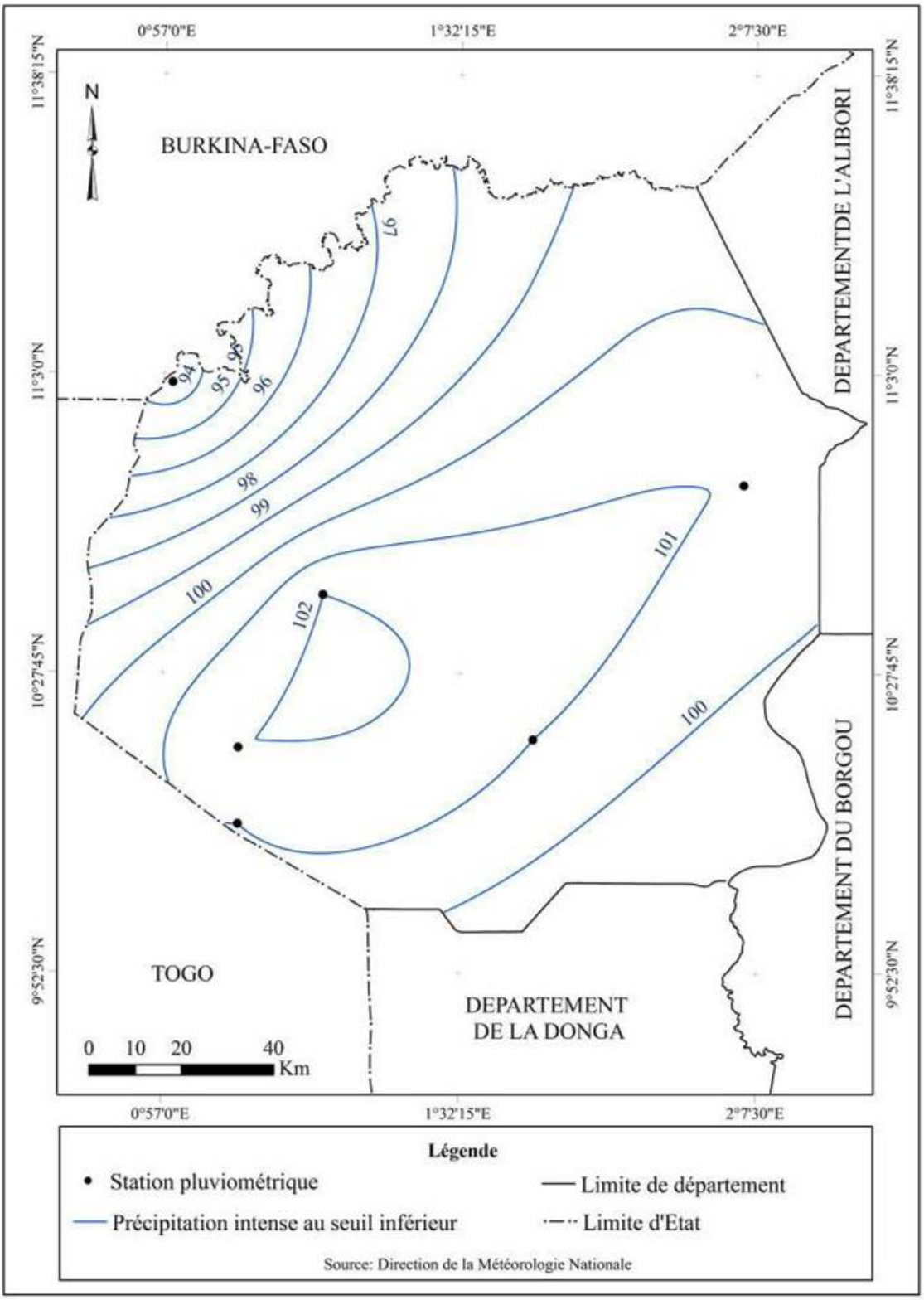


Figure 34: Répartition spatiale des précipitations intenses dans le département de l'Atacora

De l'analyse de la figure 34, il ressort que les zones de concentration des précipitations intenses correspondent aux régions de montagnes et de forêt. En effet, les régions forestières sont le siège d'intense évapotranspiration faisant parfois objet de pluviométrie locale abondante. Aussi, l'orographie du secteur d'étude joue un rôle important dans les fortes pluies, contribuant ainsi à l'augmentation des pluies extrêmes par l'effet de Foehn.

4.5. Discussion

La présente thèse a permis de caractériser la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin. En effet, les extrêmes climatiques se traduisent par le démarrage tardif des pluies, la baisse des précipitations, la mauvaise répartition des hauteurs de pluies et la poche de sècheresse entre les sous-périodes 1960-1969, 1970-1990 et 1991-2015. Ce qui est conforme avec les résultats des travaux de Ogouwalé (2013). Pour ce dernier, l'augmentation de la température, la baisse des hauteurs de pluies, la fin précoce des saisons des pluies sont les indicateurs des extrêmes climatiques au Bénin. Les pluies extrêmes se manifestent surtout par des démarrages précoces ou tardifs des pluies, une baisse des hauteurs annuelles de pluies et une augmentation sensible des températures selon Donou (2015) et Seydou (2020).

Les changements climatiques ont augmenté la fréquence et l'intensité des événements pluviométriques extrêmes tels que les inondations (GIEC, 2013). Ceux qui concordent avec les résultats des travaux de recherche de Koumassi (2014), qui montré que depuis quelques décennies, les changements climatiques se traduisent par de longues périodes de sécheresse ou d'excès en eau avec des conséquences durables sur les modes et moyens d'existence des populations.

Selon Boko (1988), les recherches sur les extrêmes climatiques au Bénin ont connu un regain d'intérêt notamment après les séries de péjorations pluviométriques des années 1970 et 1980. Ainsi, pour Totin (2013), l'évolution du climat se manifeste par une augmentation des températures. Elle est caractérisée par les vagues de chaleur, le réchauffement de la terre et toutes les formes de sécheresse. Une augmentation de 1,5 à 3 °C de température, pourrait fait assister à une diminution de 10 à 15 % des précipitations en zones intertropicales africaines (Aho et Ouassa Kouaro, 2006).

Les résultats d'analyse pluviométrique, montrent deux ruptures en 1969 et 1990 pour l'ensemble des stations étudiées. Ce résultat est en conformité avec celui de Koumassi (2014) et confirmé aussi par les travaux de Akognongbé (2014) lors d'une étude sur influence de la variabilité climatique et des activités anthropiques sur les eaux de surface dans le bassin de l'Ouémé à Béterou au Bénin où ils conclurent à l'apparition d'une nette et brutale fluctuation du régime pluviométrique dans la région à la fin des années 1960 et au début des années 1970. De même Orou-Barré (2015) affirme que les années 1970 marquent ainsi ce qui est communément appelé la rupture climatique dans le département de l'Atacora et, qu'un tel comportement pluviométrique n'a été observé dans aucune autre région.

Des études menées dans de nombreux pays en Afrique (Doukpolo, 2014) à l'Ouest de la République Centrafricaine et dans le sud-Togo (Issaou, 2014) avaient déjà conduit à des résultats similaires. Les changements climatiques majeurs signalés par les paysans enquêtés ont été l'augmentation de la température et la diminution de la quantité des pluies. Quant aux changements futurs des précipitations, on note clairement qu'il y a plus de variations dans les modes de changements pluviométriques, par rapport à ceux pour les températures. Il est aussi évident que ces changements de précipitation ne sont pas les estimations de la variabilité naturelle calculées à partir de la simulation de contrôle du GIEC (2014).

D'après les projections climatiques futures, la température moyenne dans la dépression médiane peut augmenter jusqu'à 1,1 ºC avec le scénario RCP 4.5 et jusqu'à 3 ºC avec le scénario RCP 8.5 à l'horizon 2050 et les scénarii RCP 4.5 et RCP 8.5 font apparaitre probablement une légère augmentation des précipitations à l'horizon 2050 par rapport à la période de référence 1960-2015. Cela aura comme conséquence des risques hydriques beaucoup plus fréquents dans l'avenir, qui associés aux stress thermiques vont, sans changement dans les pratiques agricoles, fortement réduire les rendements des cultures et accentuer leur vulnérabilité, ayant pour conséquence l'insécurité alimentaire des populations.

Conclusion partielle

En somme, le régime pluviométrique dans le département de l'Atacora est unimodal et démarre souvent en mai-juin et prend fin en octobre-novembre. Cette variabilité pluviométrique se présente sous forme d'une alternance des années déficitaires, excédentaires et moyennes. Les précipitations moyennes journalières enregistrées à l'échelle des différents postes pluviométriques sont loin d'être exceptionnelles mais des épisodes d'inondations sont récurrents ces dernières années. Les potentielles causes des inondations cycliques connues par les populations du département de l'Atacora, en l'occurrence celles de Boukoumbé, Matéri, Kérou, Péhunco et Kouandé sont à chercher ailleurs. Dans ce contexte, les mutations rapides dans l'occupation du sol dues à la forte demande en parcelles d'habitation liée à l'augmentation de la population et la faible densité du réseau d'assainissement pluvial pourraient être des facteurs favorisant les inondations dans le département de l'Atacora.

TROISIEME PARTIE

VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS ET PERSPECTIVES DE RESILIENCE DES COMMUNAUTES

Cette partie présente les risques climatiques majeurs dans le département de l'Atacora et les analyses relatives à la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes (chapitre V). Depuis plusieurs années, la population du département de l'Atacora fait face aux effets néfastes des pluies extrêmes. Ainsi, s'il est quasi impossible d'éviter les phénomènes climatiques, il est indispensable de contribuer à la mise en place des stratégies d'adaptation aux pluies extrêmes (chapitre VI).

CHAPITRE V

VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS AUX PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN

Le présent chapitre met en exergue les facteurs de vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes dans le département de l'Atacora. De même, le degré de vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes dans le secteur d'étude est abordé.

5.1. Risques pluviométriques dans le département de l'Atacora

Les travaux de terrain réalisés dans le département de l'Atacora révèlent les risques pluviométriques majeurs illustrés à travers la figure 35.

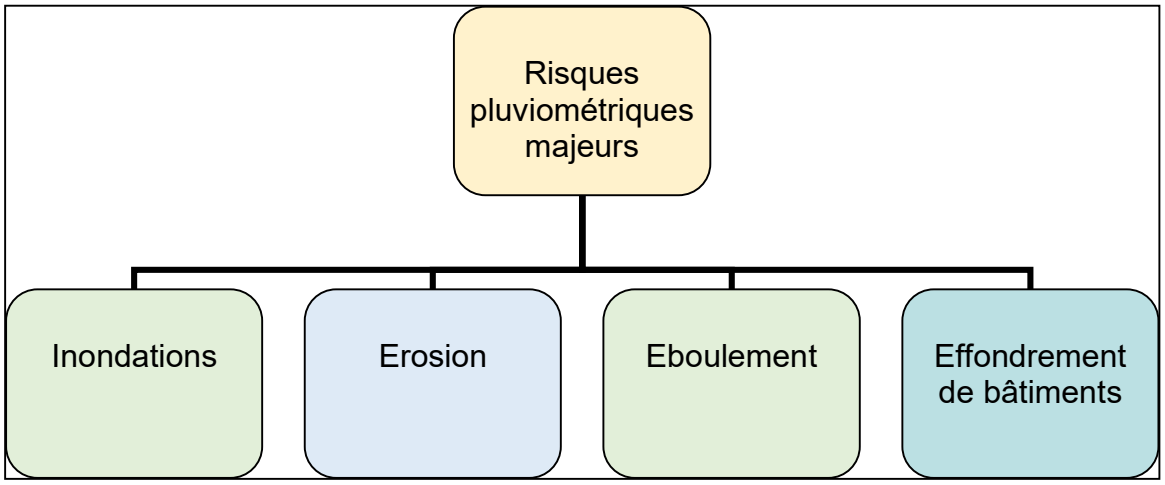


Figure 35 : Risques pluviométriques majeurs sur les établissements humains dans le département de l'Atacora

L'analyse de la figure 35 montre que les risques pluviométriques majeurs dans le département de l'Atacora sont les inondations, l'érosion, l'éboulement et l'effondrement de bâtiments selon 93 % des enquêtés. Ces risques pluviométriques majeurs ont été recueillis par le diagnostic participatif avec les groupes sociaux. Ils sont similaires à ceux indiqué dans la documentation existante (PANA-Bénin, 2007 ; PDC, 2010 ; Initiative LoCAL, 2013, etc.). Les caractéristiques de ces risques sont résumées dans le tableau XIV.

Tableau XIV*:* Caractérisation des risques pluviométriques dans le département de l'Atacora

Risques pluviométriques majeurs	**Fréquence**	**Étendue** (Zones touchées)	**Intensité**	**Durée ou période d'occurrence**
Inondations	Fréquente	Zone longeant les cours d'eau (Koumagou à Boukoumbé et également à Cobly)	Très Forte	Mi-août à mi-septembre
Erosion	Très fréquente (survient presque chaque année)	Tout le département	Très forte	Juin-septembre
Eboulement	Très fréquente (survient presque chaque année)	Toutes les Communes	Forte	Juin-septembre
Effondrement de bâtiments	Très fréquente	Tout le département	Forte	Juin-septembre

Source des données : *PPB-FVC, octobre 2016 et Enquêtes de terrain, 2017*

Les inondations constituent le risque pluviométrique le plus fréquent. Ce risque menace fortement les moyens d'existence des petits exploitants agricoles selon 89 % des enquêtés.

Les inondations surviennent presque tous les ans, même les années où il y a sécheresse. En effet, le retard dans le démarrage de la saison pluvieuse combiné à l'irrégularité des pluies conduit à des périodes sèches prolongées (80 % des enquêtés). Les inondations sont dues au débordement du fleuve Koumagou, des marigots, des rivières et également la présence de nombreux bas-fonds peu aménagés en cas de fortes pluies. En effet, les pluies intenses enregistrées entre les mois d'août et de septembre parfois sur un nombre de jours court causent la crue des cours d'eau et une concentration de l'eau au niveau des bas-fonds selon 89 % des enquêtés. A ces facteurs, s'ajoutent les activités humaines et le faible aménagement du territoire. Selon 87 % des personnes interrogées, depuis 1982, les populations de Boukoumbé, Cobly, Kouandé et Kérou vivent presqu'annuellement les inondations avec des impacts dont l'ampleur varie d'un arrondissement à un autre.

L'effondrement de bâtiments est observé en saison pluvieuse (juin-septembre) et également vers le mois de novembre surtout dans les Communes de Toucountouna, Cobly et Boukoumbé. Ce risque demeure important au regard de sa fréquence qui

est quasi-annuelle. L'encadre 1 présente la perception d'un producteur sur l'importance des risques pluviométriques à Kouandé.

Encadré 1 : Perception d'un producteur sur l'importance des risques pluviométriques majeurs à Kouandé

Ici à Kouandé, c'est vrai que les inondations quand elles surviennent nous rendent la vie difficile mais le risque climatique qui survient presque tous les ans depuis maintenant plus d'une vingtaine d'années est le démarrage tardif des pluies. Non seulement, les pluies commencent en retard mais pire elles s'arrêtent tôt occasionnant des poches de sécheresses qui déciment nos cultures et nous plongent dans des pertes importantes de récoltes. Bien plus, le démarrage tardif s'accompagne parfois de fortes pluies sur une courte durée avec pour conséquences l'inondation des champs, des habitations, des routes, etc.

Source des informations : *Enquêtes de terrain, novembre 2018*

L'analyse du discours de l'encadré 1 montre que les populations ont la mémoire d'une modification pluviométrique dans la localité. Cette modification est caractérisée par une baisse des hauteurs de pluies et un raccourcissement de la durée de la saison des pluies. De plus, il est noté une mauvaise répartition des hauteurs de pluies et une multiplication des évènements pluvieux extrêmes. Aujourd'hui, selon 79 % des populations interviewés, les cultures locales ayant généralement un long cycle végétatif ne résistent plus face à cette nouvelle donnée en matière de durée de saison.

En outre, les paysans âgés d'au moins 30 ans gardent en mémoire les repères permettant de connaître les débuts de saisons et constatent que les indices d'appréciation anticipé des saisons ne sont plus fiables car leurs prévisions ne concordent plus avec ce qui se passe de nos jours.

5.2. Vulnérabilité des établissements humains du département de l'Atacora aux risques pluviométriques

Dans le département de l'Atacora, la production agricole est confrontée à plusieurs problèmes que sont : la baisse de la fertilité des sols, l'insuffisance de l'encadrement technique, la non maîtrise de l'eau, l'inadaptation à l'agriculture des produits financiers proposés par les institutions de micro-finance et la faible mécanisation. Cette agriculture essentiellement pluviale est très vulnérable aux risques pluviométriques, ainsi que les moyens et modes d'existence des populations (tableau XV).

Tableau XV : Matrice de sensibilité des établissements humains ciblés

Risques pluviométriques / Unités d'exposition	Inondations	Erosion	Eboulement	Effondrement de bâtiments	Indice d' exposition	Rang
Habitation	2	1	1	3	**35**	3
Champs	5	1	1	1	**40**	2
Voies	4	4	1	1	**50**	1
Ecoles	3	1	1	2	**35**	3
Indice d'impact	**70**	**35**	**20**	**35**		

Source des données *: Traitement des données, août 2018*

Il ressort de l'analyse du tableau XV que le risque pluviométrique majeur dans le département de l'Atacora est l'inondation avec un indice d'impact 70 %. Les voies sont les plus exposées (50 %). Cette matrice vient confirmer que les établissements humains ciblés dans le cadre de cette recherche sont vulnérables aux risques pluviométriques dans le département de l'Atacora.

5.2.1. Vulnérabilité de la production agricole aux risques pluviométriques

Les principales activités agricoles du département de l'Atacora sont aussi vulnérables à degré divers aux effets des pluies extrêmes (tableau XVI).

Tableau XVI : Matrice de sensibilité des activités agricoles

Risques climatiques / Paramètres	Inondations	Erosion	Eboulement	Effondrement de bâtiments	Indice d' exposition	Rang
Culture du fonio	4	1	1	1	35	2
Culture du sorgho	4	1	1	1	35	2
Culture du niébé	3	1	1	1	30	3
Culture du voandzou	3	1	1	1	30	3
Culture du riz	2	1	1	1	25	4
Culture d'igname	5	1	1	1	40	1
Culture du gombo	2	1	1	1	25	4
Culture de piment	3	1	1	1	30	3
Culture de maïs	5	1	1	1	40	1
Culture de la tomate	4	1	1	1	35	2
Indice des impacts	70	20	20	20		

Source des données *: Traitement des données, août 2018*

Il ressort de l'analyse du tableau XVI que le risque pluviométrique majeurs pour la production agricole est l'inondation (70 %) et que les cultures de maïs et d'igname sont les plus exposées avec leurs indices d'exposition 40 %. A cet effet, le système

agricole est vulnérable aux risques pluviométriques qui constituent un handicap pour le développement du département de l'Atacora. Selon 93 % des enquêtés, l'inondation empêche le développement des cultures. En effet, les cultures de maïs et d'igname sont les plus exposées dans le département de l'Atacora.

Les cultures de maïs et d'igname sont les plus sensibles, suivies de la tomate, de fonio et sorgho. Il faut noter que la tomate a plus besoin d'eau que le piment et le gombo en contre saison. Par contre, en saison pluvieuse le piment est plus vulnérable que la tomate et le gombo.

Cette situation s'explique par le fait que ces cultures sont les plus pratiquées dans le département de l'Atacora.

5.2.2. Vulnérabilité de l'élevage aux risques pluviométriques

La production animale dans le département de l'Atacora est aussi vulnérable à degrés divers aux effets des pluies extrêmes (tableau XVII).

Tableau XVII: Matrice de sensibilité de la production animale

Risques climatiques / Paramètres	Inondations	Erosion	Eboulement	Effondrement de bâtiments	Indice d' exposition	Rang
Production animale de volaille	4	1	1	1	**35**	1
Production animale de bovins	2	1	1	1	**25**	3
Production animale de caprins et d'ovins	3	1	1	1	**30**	2
Indice d'impact	**45**	**15**	**15**	**15**	**-**	**-**

Source des données *: Traitement des données , septembre 2018*

Il ressort de l'analyse du tableau XVII que le risque pluviométrique majeur pour la production animale est l'inondation (40 %) et que la production animale de volaille est le plus exposée avec un indice d'exposition 35 %. Cette matrice fait également apparaître que les groupes sociaux les plus sujets à la vulnérabilité aux pluies extrêmes sont les petits producteurs de céréales et de tubercules, les maraîchers et les éleveurs. En effet, ces catégories disposent de peu de moyens pour faire face aux effets de la variation actuelle du climat et aux phénomènes climatiques extrêmes

et n'arrivent pas à soutenir les pertes subies. En outre, les techniques utilisées sont archaïques et ne permettent pas toujours d'avoir une grande productivité d'où la précarité de leur mode de vie. A cet effet, le système animale est vulnérable aux risques pluviométriques qui constituent un handicap pour le développement de l'élevage dans le département de l'Atacora.

5.3. Impacts observés liés aux pluies extrêmes dans l'Atacora

Les effets néfastes des pluies extrêmes se manifestent aussi bien sur la production végétale que sur la production animale et la pêche ainsi que sur les ressources en eau. Les changements climatiques marqués entre autres par des séquences sèches de plus en plus longues, occasionnent la rareté du pâturage et la baisse du niveau des cours d'eau voire l'assèchement des plans et cours d'eau. Les sols sont plus dégradés et sont de moins en moins productifs ; ce qui facilite la dégradation du couvert végétal et la baisse de la production agricole.

5.3.1. Impacts sur les activités de production végétale

La plupart des éléments et paramètres climatiques influencent les activités du secteur agricole par leurs variations. La variation qui pose le plus de problèmes aux producteurs du secteur, notamment ceux du sous-secteur de la production végétale, est la date de démarrage de la saison des pluies. Les opérations de préparation des terres et de semis sont conditionnées par la connaissance de cette date. A l'échelle du département, les premières pluies utiles de l'année sont observées en mai.

Les extrêmes pluviométriques ont engendré des modifications dans les comportements des cultures en aggravant le stress hydrique, le raccourcissement des cycles végétatifs et de floraison précoce en raison de l'élévation de la température.

Les conséquences sur la production végétale portent sur des pertes de productivité et de production des principales filières vivrières et de rente. Le calendrier agricole est bouleversé et les dates de semis mal maîtrisées. Au moment où on attend les pluies elles ne viennent pas : « *nous ne savons plus exactement quand semer puisque les pluies viennent en retard. Quand elles commencent tôt, elles sont marquées par une rupture et cela nous fatigue beaucoup* ». Les semences, une fois mises en terre, sont affectées par les inondations répétées.

Les phénomènes climatiques extrêmes ont favorisé une évolution du spectre parasitaire des cultures par l'apparition de nouveaux ravageurs qui déciment les cultures occasionnant des pertes agricoles importantes. Les cultures sont de plus en plus attaquées par les parasites avec une baisse de rendements que par le passé.

Le démarrage tardif des pluies et le raccourcissement des saisons sont entre autres, les causes de la réduction d'eau pour les cultures. Les journées de plus en plus chaudes exprimées par les populations locales, traduisent leur perception d'une augmentation de la température qui entraîne un réchauffement du sol et par conséquent une baisse de l'humidité de la partie superficielle du sol. A cet effet, on note un accroissement du stress hydrique des cultures.

La chaleur excessive couplée aux faux départs des pluies et aux démarrages tardifs des pluies accroissent les pertes des semences aux d'igname. Selon les populations locales, les pertes des semences aux d'igname n'étaient pas aussi élevées. Mais ces derniers temps, dans certains champs d'igname, on dénombre très peu de semence aux qui poussent. Le reste pourrit à cause de la chaleur et du fort rayonnement. Pendant la saison des pluies, les jeunes plants subissent aussi cette chaleur. Elles flétrissent lorsqu'il fait très chaud, car la terre s'échauffe et brûle leurs racines. De plus les vents forts occasionnent la verse des cultures (planche 1).

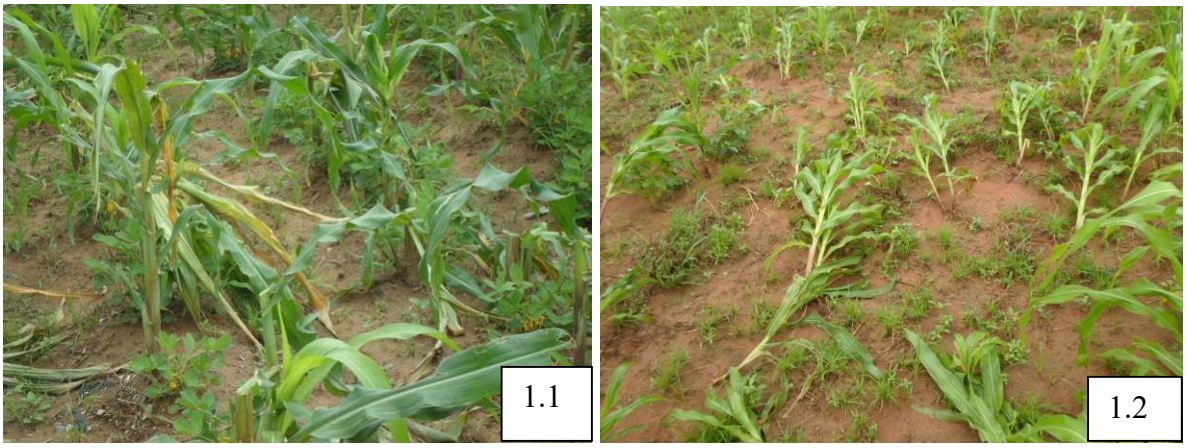


Planche 1 : Cassure et terrassement de plants de sorgho à Kouandé (1.1) et terrassement de plants de maïs à Péhunco (1.2)

Prise de vues : *Kouton, septembre 2017*

De la planche 1, les photos (1.1 et 1.2) montrent respectivement des plants de sorgho à Kouandé et de maïs à Péhunco presque couchés à terre après le passage d'une pluie accompagnée d'un vent fort. Selon 47 % des producteurs interrogés, la verse des cultures ralentit leur croissance et bouleverse les autres stades de

développement. Le vent fort accompagne les fortes pluies. Il s'agit en fait de vents qui dévastent tout sur leur passage et qui provoquent des dégâts aussi bien sur les cultures, les animaux, les arbres que sur les habitations (planche 2).

Planche 2 : Arbre déraciné (2.1), destruction d'une habitation à Toucountouna (2.2) et un bâtiment décoiffé à Cobly (2.3)
Prise de vues : *Kouton, octobre 2018*

De l'observation de la planche 2, la photo (2.1) montre un arbre déraciné après le passage d'un vent violent et la photo (2.2) montre la destruction d'une habitation à Toucountouna. La photo (2.3) montre un bâtiment décoiffé à Cobly après le passage d'un vent fort. Pour 39 % des producteurs, les cultures sont dévastées par des vents forts parfois fréquents qui provoquent la verse des cultures de maïs, du fonio, de sorgho et de gombo. Ils affirment que les vents qui soufflent maintenant veulent ressembler à ceux du Niger. Ça emporte tout et renverse les cultures et fait tomber les jeunes épis de maïs, et sorgho etc. Tous ces phénomènes expliquent les baisses de rendements observées.

5.3.2. Effets néfastes des pluies extrêmes sur la production animale

La production animale au Bénin se caractérise par des pratiques traditionnelles d'élevage des bovins, ovins, caprins, porcins et des volailles. Ce sous-secteur est également affecté par les changements climatiques. Les conséquences des changements climatiques sur la productivité animale sont à la fois directes et indirectes en raison des modifications de la disponibilité des pâturages et de l'eau. La planche 3 présente le pâturage des bœufs dans le département de l'Atacora.

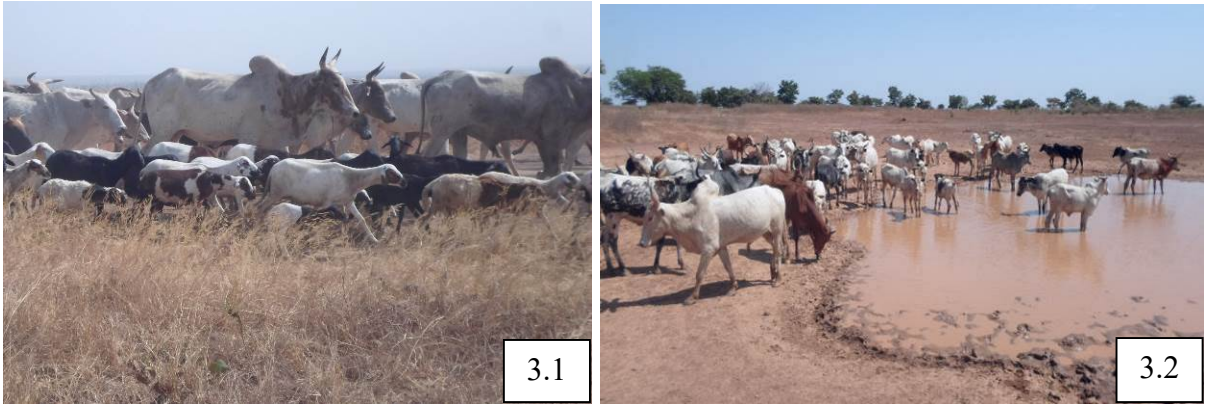


Planche 3 : Pâturage des bœufs à Ouassa-Péhunco
Prise de vues : *Kouton, septembre 2018*

De l'observation de la planche 3, la photo (3.1) montre le déplacement de bœufs à la recherche de nourriture et la photo (3.2) montre un attroupement des bœufs autour d'un cours d'eau dans la commune de Péhunco. Selon 86 % des producteurs enquêtés, le déplacement des bœufs d'un milieu à un autre est causé par les extrêmes pluviométriques, surtout le déficit d'eau dans les localités du département.

L'élévation des températures perturbe profondément la physiologie du gros bétail, notamment au niveau de la production du lait et de la viande, en même temps qu'il est à l'origine de nombreuses pathologies lorsqu'il est couplé avec les variations d'humidité et de d'élevage déterminé par les cycles de sécheresse qui affectent périodiquement la sous-région ouest africaine (DCN, 2011 ; Katé, 2015).

L'insuffisance des pluies couplée avec l'accroissement de la chaleur participe à la raréfaction des points d'eau fonctionnels et de l'herbe en saison sèche, la dégradation des retenues d'eau et des barrages à but multiples, au faible remplissage des barrages agro-pastoraux, à la réduction de la productivité des parcours dans la zone septentrionale.

Au total, les effets néfastes des changements climatiques sur la production animale

concernent :

- la dégradation des pâturages et des couloirs de passage ;
- l'accentuation de la transhumance et des conflits entre agriculteurs et éleveurs ;
- l'aggravation du stress hydrique du bétail ;
- la baisse des productions de lait et de viande ;
- les mutations sociales.

5.3.3. Impacts observés dans le secteur des ressources en eau

Dans le département de l'Atacora, le réseau hydrographique est caractérisé par des cours d'eau intermittents qui s'assèchent en saison sèche plongeant ainsi les ménages ruraux dans des problèmes aiguës d'approvisionnement en eau. Cette situation s'est accentuée au cours de ces dernières années avec l'irrégularité des pluies et l'allongement de la saison sèche. L'assèchement des eaux de surface associée à une chaleur excessive accentuent l'évapotranspiration et participent à la diminution drastique du niveau d'eau de la nappe phréatique.

Les communautés sont dans une situation critique en matière d'accès à l'eau car leur terroir est faiblement alimenté en eau de surface et en puits. Certains villages possèdent parfois un seul puits comme le village de Tèdowonta ou deux puits comme à Koumagou A.

Les difficultés d'approvisionnement en eau se posent aussi en termes de qualité. En effet, les extrêmes pluviométriques risquent d'altérer la qualité de l'eau.

Les extrêmes pluviométriques induisent une forte pression sur les ressources en eau surtout en saison sèche ou en période de déficit pluviométrique en raison de l'attroupement des bêtes et des producteurs autour des points d'eau. En effet, ces périodes sont caractérisées par un assèchement des plans et cours d'eau à régime intermittent entraînant l'attroupement du cheptel autour des ressources en eau.

5.3.4. Impacts sur les conditions socio-économiques des agriculteurs

Les extrêmes pluviométriques occasionnent des baisses de revenus des ménages agricoles. En effet, les extrêmes pluviométriques réduisent la productivité des systèmes de production et par conséquent, les niveaux de production végétale, animale et halieutique. Les producteurs disposent alors de moins de produits à vendre et il en résulte une baisse de leurs revenus et une augmentation de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle.

Les extrêmes pluviométriques compromettent dangereusement le bien-être des ménages agricoles en contribuant à la baisse de la disponibilité alimentaire, à la destruction des moyens de subsistance et à l'aggravation de la pauvreté. En effet, l'étiage des cours d'eau, la dégradation des forêts galeries, les difficultés de transports fluviaux résultant des longues périodes sèches, ou la destruction des routes, des ponts, des centres de santé, des écoles et autres infrastructures socio-économiques par les pluies diluviennes et les inondations, sont autant d'événements qui affectent négativement l'environnement des activités agricoles.

Du fait des effets néfastes des extrêmes pluviométriques, les populations rurales notamment les jeunes sont parfois contraints de migrer vers les terres fertiles ou les milieux urbains afin de trouver les ressources subséquentes pour satisfaire leurs besoins fondamentaux.

5.4. Vulnérabilité des principales cultures dans le département de l'Atacora face aux pluies extrêmes

Selon plusieurs études, le Bénin sera globalement marqué par des modifications mensuelles et saisonnières dans le contexte des changements climatiques prévus. Ces modifications pourraient avoir des incidences sur les valeurs des indices agro-climatiques dont dépendent le développement et le rendement des cultures (Ogouwalé, 2006 ; Issa, 1995).

Le tableau XVIII présente la variation des indices agroclimatiques à l'horizon 2050 comparés aux valeurs moyennes de la période 1960-2015.

Tableau XVIII *:* Variation des indices agro-climatiques (1981-2010 et 2050) dans l'Atacora

	Climat 1981-2010	RCP 4.5		RCP 8.5	
		Horizon 2045	Ecart en jours	Horizon 2050	Ecart en jours
NJS	187	195	+ 8	199	+ 12
NJI	59 – 67	58 – 68	-2	60– 68	-2
NJH	118	115	-3	115	-3
DSC	22 avril	01-mai	-10	05-mai	-15
FSC	01-nov	18-oct	-13	15-oct	-16
DuSC	182	172	-10	174	-10

Source des données : Traitement des données, septembre 2019

Même si les modèles actuels prévoient une hausse des températures à l'horizon 2050, ils n'arrivent pas encore à prédire la situation pour ce qui concerne la répartition spatio-temporelle des pluies extrêmes.

Certes, les hauteurs d'eau et les données de température peuvent avoir d'influences sur les rendements agricoles mais ne peuvent à eux seuls expliquer ces rendements agricoles qui sont fortement liés à d'autres facteurs comme les itinéraires suivis (nature des semences, les engrais, les produits phytosanitaires, période d'application des intrants, gestion de la fertilité des terres, etc.). Par conséquent, les impacts potentiels des extrêmes pluviométriques indiqués sur la productivité agricole sont à relativiser. Ainsi, une augmentation des quantités de pluies peut induire une bonne croissance des plantes cultivées et par conséquent des rendements si ces pluies sont bien réparties dans le temps et dans l'espace. En revanche, si elles ne sont pas bien réparties dans le temps et dans l'espace, elles pourraient entraîner une diminution des rendements.

La situation au niveau des rendements des cultures n'est donc pas facile à projeter. Toutefois, si la tendance actuelle pour ce qui concerne l'augmentation des séquences sèches se maintenait, la quasi-totalité des indices agro-climatiques vont probablement se détériorer à l'horizon 2050 en référence aux valeurs obtenues au cours de la période 1960-2015. Corrélativement au NJS qui pourrait connaître une augmentation de 12 jours, les autres indices, la durée de la saison de croissance (DuSC), le début de la saison de croissance (DSC), la fin de la saison de croissance (FSC), le nombre de jours humides (NJH) vont probablement connaître une réduction significative susceptible d'impacter négativement les rendements agricoles.

Les écarts de rendements moyens de douze (12) cultures en ce qui concerne l'Atacora sont représentés par la figure 36.

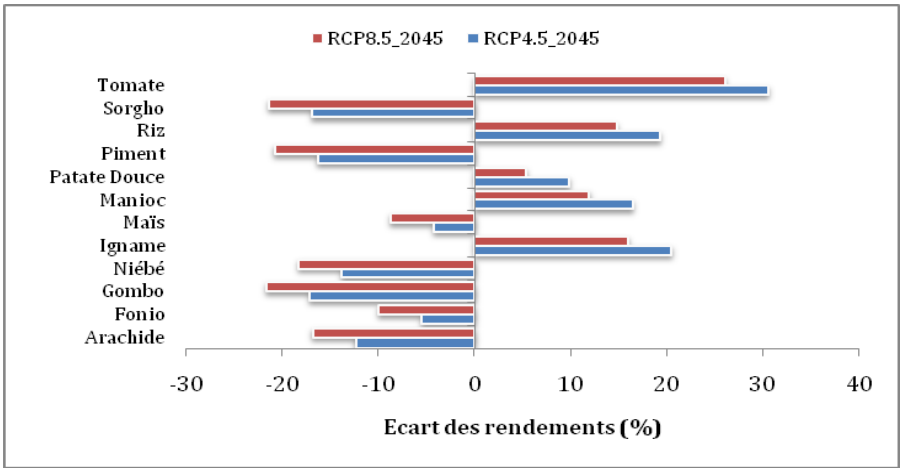


Figure 36 : Ecart en pourcentage (%) des rendements futurs et des rendements moyens actuels (1995-2015) dans l'Atacora
Source des données : Traitement des données, septembre 2019

Si le contexte actuel de mise en valeur des terres se maintenait, les rendements agricoles pourraient baisser à l'horizon 2050 pour certaines cultures quel que soit le scénario dans les conditions pluviométriques projetées. Les rendements du sorgho pourraient décroître de 16,9 % sous le scénario RCP 4.5 à 21,4 % sous le scénario RCP 8.5. Tout comme le sorgho, le piment, le maïs, le niébé, le gombo, le fonio et l'arachide connaîtront probablement des baisses de rendement. Par contre, la tomate, le riz, le niébé et l'igname pourraient enregistrer des écarts positifs de rendement en référence à la période 1995-2015.

5.5. Discussion

Les résultats de la présente thèse permettent aussi d'analyser la vulnérabilité des établissements humains ciblés aux pluies extrêmes dans le département de l'Atacora, notamment la réduction sensible des rendements agricoles découlant du stress hydrique imposé aux cultures par la baisse des hauteurs de pluies et l'augmentation des températures. Ces résultats concordent avec ceux des travaux de Ogouwalé (2006) et Koumassi (2014) ont montré que les situations climatiques préjudiciables à la production agricole ont des impacts sur les paysans impliqués dans l'agriculture pluviale.

Selon Aviotti (2011) et DMN (2011), au Bénin, comme dans la plupart des pays africains, les problèmes d'inondation se posent avec acuité. En effet, les inondations entraînent la dégradation de milieu physique et du cadre de vie des populations installées dans certains quartiers urbains et zones rurales périodiquement inondés et insalubres. Les populations sont alors confrontées à la recrudescence des maladies, des pertes en vies humaines, la destruction des habitations et des infrastructures socio-communautaires. Les inondations sont devenues ces dernières années, un phénomène récurrent dans les grandes cités urbaines du pays (Aïlo, 2010). L'inexistence d'un plan adéquat d'aménagement et la spéculation foncière sont des éléments qui participent à la récurrence de la vulnérabilité aux inondations observées dans les villes du Sud Bénin (Agence Béninoise pour l'Environnement [ABE], 2004).

Pour Ouorou-Barré (2015), les extrêmes climatiques entrainent une augmentation du stress hydrique et thermique au niveau des plantes et ont pour conséquences, une baisse des rendements des principales cultures (sorgho, maïs, niébé, igname, tomate et riz). Ceci engendre de lourdes pertes agricoles et d'énormes manques à

gagner pour les producteurs impliqués dans l'agriculture pluviale. Ce travail met aussi en évidence, la destruction des cultures par les inondations des années extrêmement pluvieuses. Ce qui confirme les résultats obtenus par Yabi (2020) qui révèlent que les inondations occasionnent d'énormes pertes de récoltes dans le secteur d'étude.

Le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (2007) indique que l'augmentation de la fréquence des inondations devrait, selon les projections, affecter la production agricole locale, en particulier les cultures de subsistance. Les inondations se manifestent par de fortes pluies, causant des dégâts agricoles (destruction des cultures, pertes de récolte et destructions des plantations). Quant à Donou (2015), la conséquence des inondations est la destruction des cultures et les difficultés de conservation des produits agricoles, créant ainsi, un manque à gagner pour les paysans au sud-Bénin.

Si le contexte actuel de mise en valeur des terres se maintenait, les rendements agricoles pourraient baisser à l'horizon 2050 pour certaines cultures quel que soit le scénario dans les conditions pluviométriques projetées. Les rendements du sorgho pourraient décroître de 16,9 % sous le scénario RCP 4.5 à 21,4 % sous le scénario RCP 8.5. Tout comme le sorgho, le piment, le maïs, le niébé, le gombo, le fonio et l'arachide connaîtront probablement des baisses de rendement. Par contre, la tomate, le riz, le niébé et l'igname pourraient enregistrer des écarts positifs de rendement en référence à la période 1995-2015. GIEC (2007) signale aussi que les inondations causent dans le monde entier des ravages, des dégâts économiques et des pertes en vies humaines. L'auteur signale que pour les années exceptionnelles telles que 1998 et 2010, les pertes totales dépassent les 40 milliards de dollars.

Les travaux de Allagbé (2005) sur les inondations en milieu urbain révèlent que ces dernières sont source d'affections sanitaires des populations dans la ville et dans ses quartiers périphériques. Abordant dans le même sens, Gnimagnon (2007) confirme que les inondations ont été la cause de nombreuses maladies parmi lesquelles le paludisme représente à lui seul 33 % des affections infectieuses et parasitaires. Il est suivi des affections gastro-entérites et des maladies diarrhéiques. Becht *et al.,* (1998), dans leurs travaux ont constaté que 6 mois après les inondations, 15 à 20 % des enfants montrent des symptômes modérés et élevés de Trouble de Stress Post-

Traumatique ou Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD) et 15 % des adultes expriment des symptômes sévères au même moment.

Conclusion partielle

Les pluies extrêmes constituent une source de risque supplémentaire aux facteurs de vulnérabilité dans le département de l'Atacora, qui induisent des impacts négatifs sur les établissements humains. Ainsi, les pluies tardives et violentes, les poches de sécheresse, la mauvaise répartition spatiale et temporelle des pluies, les vents violents, la fin précoce des pluies, la chaleur excessive et les inondations sont, entre autres, des risques climatiques bien perçus par les populations. Les risques ont été confirmés par l'analyse des données. Les impacts de ces risques sur la disponibilité en eau, la végétation, le sol et les cultures, plus globalement sur l'agriculture sont bien perçus par 98 % des populations échantillonnées et les impacts futurs des extrêmes climatiques sur les principales cultures dans le département de l'Atacora ont été appréciés par les scénarii RCP 4.5 et 8.5. Devant une baisse croissante des rendements, les populations du département de l'Atacora multiplient des stratégies pour réduire les effets néfastes des pluies extrêmes (chapitre VI).

CHAPITRE VI

STRATEGIES ADAPTATIVES DES POPULATIONS DU DEPARTEMENT DE L'ATACORA FACE AUX EFFETS NEFASTES DES PLUIES EXTREMES

A travers ce chapitre, il est présenté les stratégies aussi bien réactives que curatives que développent les populations du département de l'Atacora au Bénin face à leur vulnérabilité aux pluies extrêmes.

Dans le département de l'Atacora, 75 % des jeunes et des petits exploitants agricoles choisissent la migration comme stratégie d'adaptation aux conséquences l'évolution climatique telles que la rupture brutale des pluies, les inondations et la baisse des hauteurs pluviométrique. Les populations pour la plupart, quittent leurs villages pour se rendre dans d'autres régions à l'intérieur du pays (villes : Cotonou, Parakou, Natitingou, Bohicon, etc.) ou à l'extérieur notamment aux Nigeria, Togo, Niger et en Libye. Les migrations observées sont parfois de type saisonnier, annuel ou durable. Ces flux migratoires à caractère saisonniers constituaient autant de soupapes de sécurité qui permettaient aux communautés affectées de s'adapter aux effets néfastes des pluies extrêmes et à la détérioration de leur environnement, en partie responsables d'une pauvreté et d'une insécurité alimentaire croissantes (Ouorou-Barré, 2015).

Face aux différents risques, les populations développent à leur manière des stratégies endogènes de réponses aux dégâts ; mais ces stratégies sont très loin de régler totalement les problèmes liés aux effets néfastes des extrêmes pluviométriques.

6.1. Perception communautaire des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora

La perception de la pluviométrie a été mesurée à travers quatre indicateurs majeurs à savoir, augmentation ou diminution des pluies, durée des saisons des pluies, démarrage des saisons des pluies et variation de la pluie.

6.1.1. Evolution des pluies

Dans le département de l'Atacora, les extrêmes pluviométriques à savoir : augmentation ou diminution des pluies, durée des saisons des pluies, démarrage des saisons des pluies et variation de la pluie, ont été constatés par 93 % des enquêtées. Seulement 3 % des personnes n'ont pas pu constater les modifications

des précipitations. Ce qui montre la forte capacité des populations à percevoir les extrêmes pluviométriques dans les Communes du département. L'évolution de la pluie a été appréciée diversement par les populations (figure 37).

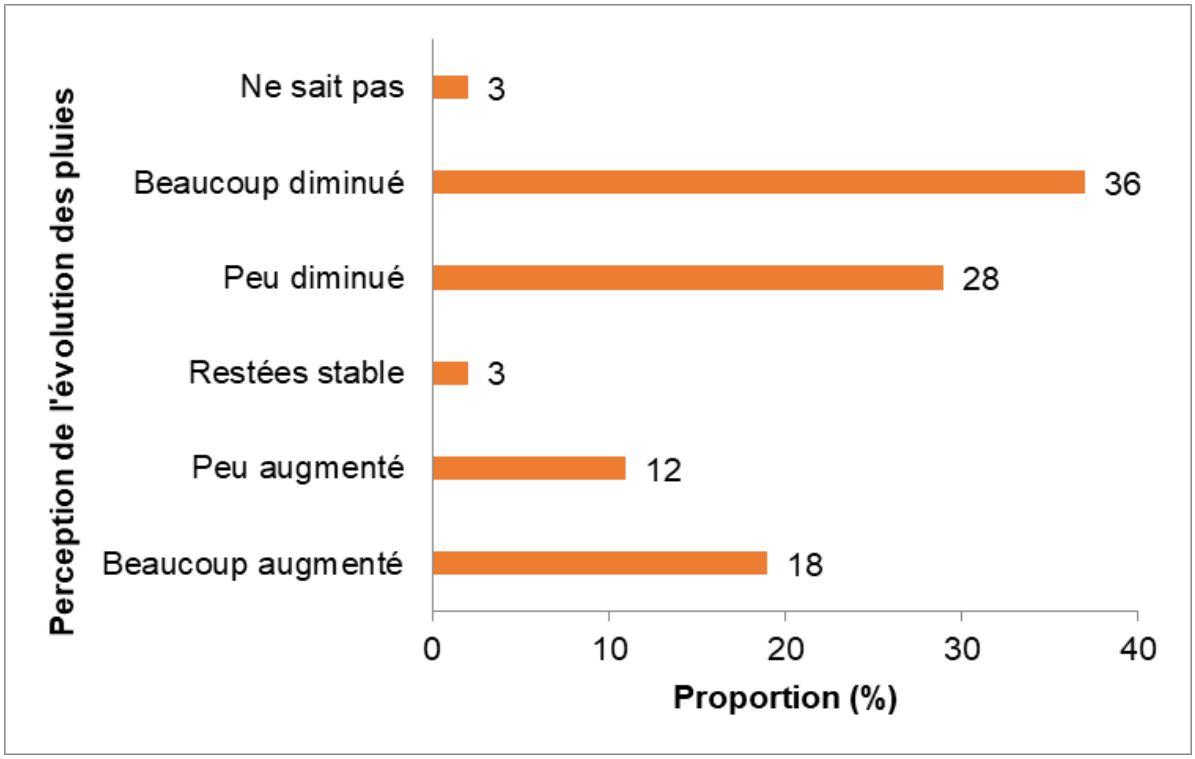


Figure 37: Perception de l'évolution des pluies dans le département de l'Atacora
Source des données : *Enquête de terrain, novembre 2019*

Les personnes interrogées à 80 % ont reconnu la diminution des pluies ces dix (10) dernières années. Selon 36 % de ces personnes, les pluies ont beaucoup diminué et pour 28 % elles ont peu diminué. Par contre, selon 18 % les pluies ont beaucoup augmenté alors que pour 12 % les pluies ont peu diminué. Seulement 3 % n'ont pas pu constater l'évolution des pluies dans le département de l'Atacora.

6.1.2. Durée des pluies

Dans le département de l'Atacora, 94 % des personnes enquêtées, ont perçu la variation de la durée des saisons. La figure 38 présente la perception de la durée des saisons des pluies dans le département de l'Atacora.

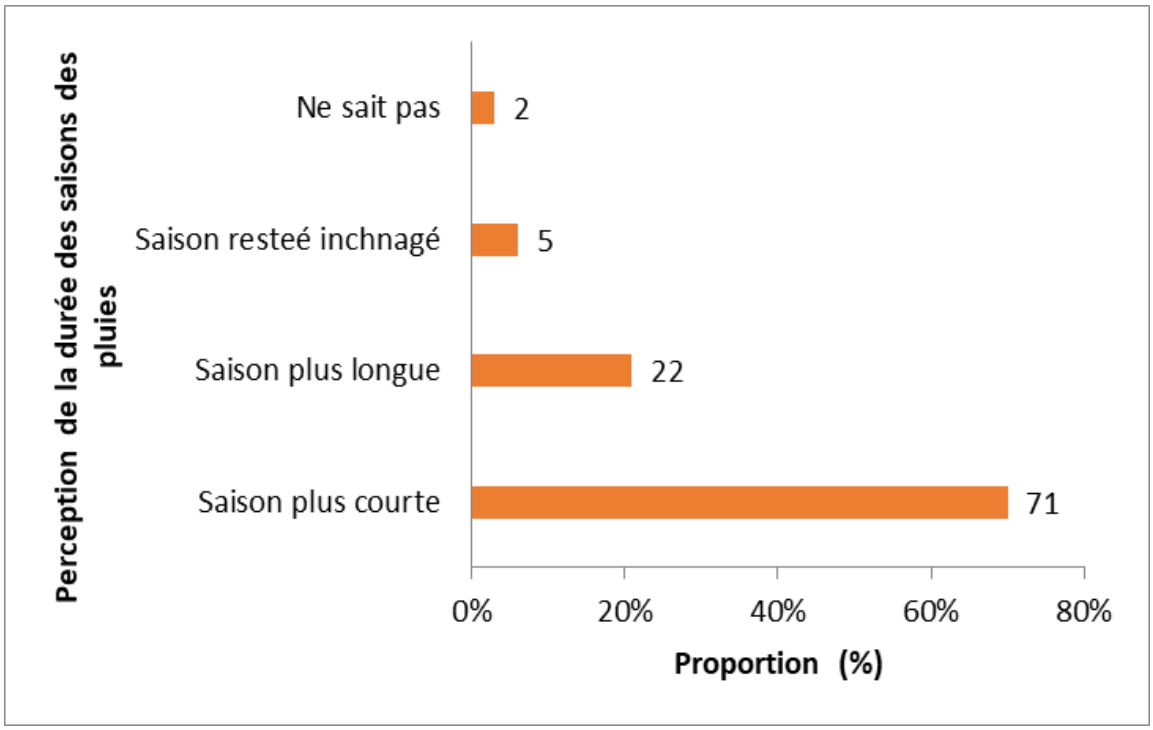


Figure 38 : Perception de la durée des saisons des pluies dans le département de l'Atacora

Source des données : *Enquête de terrain, novembre 2019*

L'analyse de la figure 38 montre que la durée des saisons des pluies est désormais plus courte dans le département de l'Atacora. Il ressort que la plupart (71 %) des populations enquêtées trouvent la durée des pluies plus courte qu'auparavant. Par contre 22 % personnes, estiment que la durée des pluies est plus longue. Le reste de la population ne constate aucune modification au niveau des précipitations. De ces résultats, il ressort que le secteur de recherche est caractérisé par une diminution de la durée de saison de pluie.

6.1.3. Temps des saisons de pluies

Les temps des saisons pluvieuses ne sont plus les mêmes ont-elles relatées, les populations rurales des communes du département de l'Atacora. La figure 39 présente la perception du démarrage des saisons des pluies.

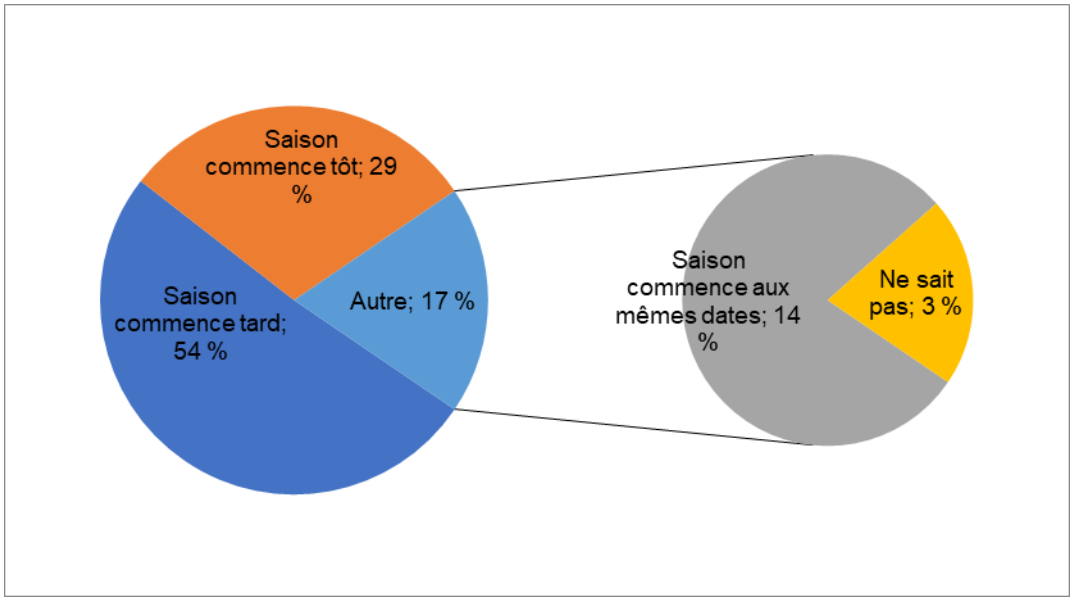


Figure 39 : Perception du démarrage des saisons des pluies département de l'Atacora

Source des données : *Enquête de terrain, novembre 2019*

De la figure 39, il ressort que le démarrage de la saison des pluies varie d'une année à une autre. Dans le département de l'Atacora, au cours des deux dernières décennies, la fréquence des pluies a varié. En effet, selon 54 % des personnes interrogées, la saison des pluies commence tard. Pour 29 % de personnes, la pluie commence plus tôt. Seulement 3 % des personnes interrogées trouvent que la pluie est restée inchangée au cours de ces dernières décennies. Ainsi, il ressort que plus de 50 % des personnes interrogées estiment que la variation des pluies est plus prononcée au cours de ces deux dernières décennies.

6.1.4. Raisons des modifications des pluies

Les raisons des renversements des pluies d'une année à une autre sont également perçues par les populations du département de l'Atacora. Six (06) raisons distinctes sont perçues comme déterminants des renversements des pluies dans le secteur de recherche (figure 40).

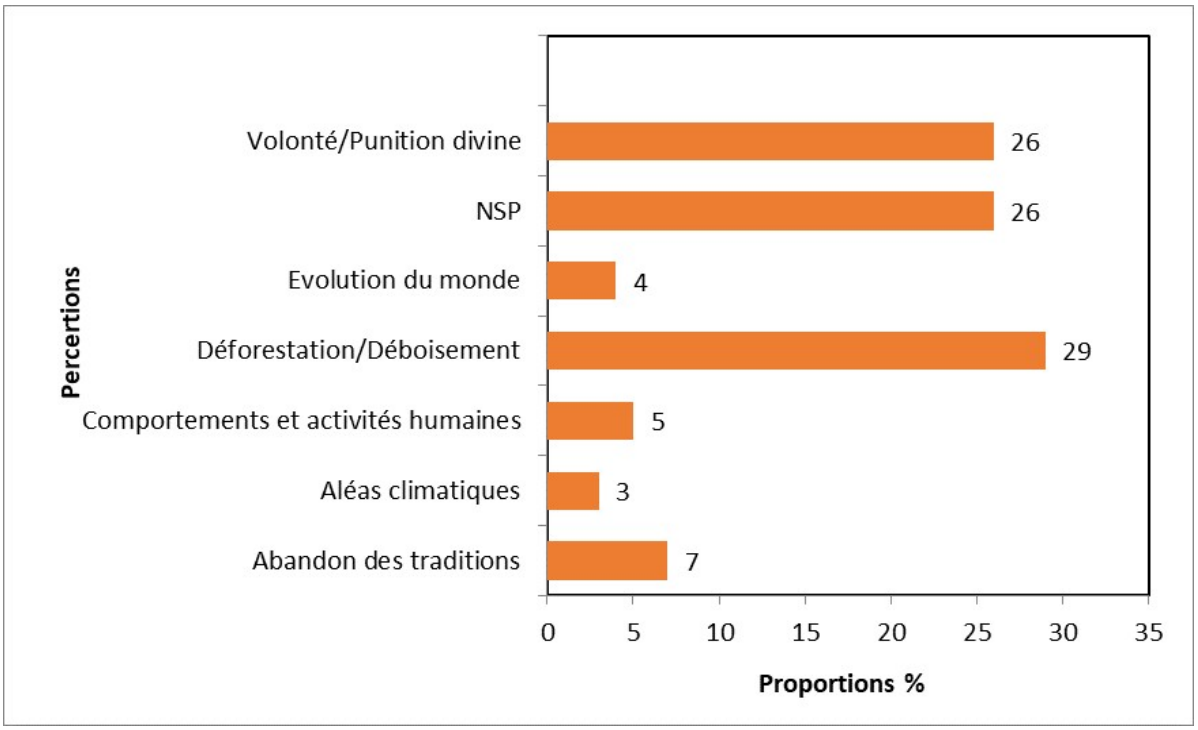


Figure 40 : Perception des raisons de renversement des pluies dans le département de l'Atacora
Source des données : *Enquête de terrain, novembre 2019*

L'analyse de la figure 40 montre que la plupart des populations enquêtées (74 %) perçoivent les raisons de cette variation. En effet, pour 26 %, il s'agit de la volonté divine. Mais 29 % trouvent que c'est les conséquences de la déforestation. Les comportements des hommes et leurs activités sont des raisons avancées par 5 % alors que 3 % trouvent que c'est des aléas climatiques naturels. La variation des pluies se traduit progressivement par sa violence dans le milieu d'étude.

6.1.5. Perception des pluies violentes

Les pluies violentes constituent aujourd'hui un paramètre associé aux extrêmes pluviométriques dans le département de l'Atacora. Il s'agit d'un paramètre changeant du climat qui est perçu par 93 % des personnes enquêtées à travers cinq (05) variables (figure 41).

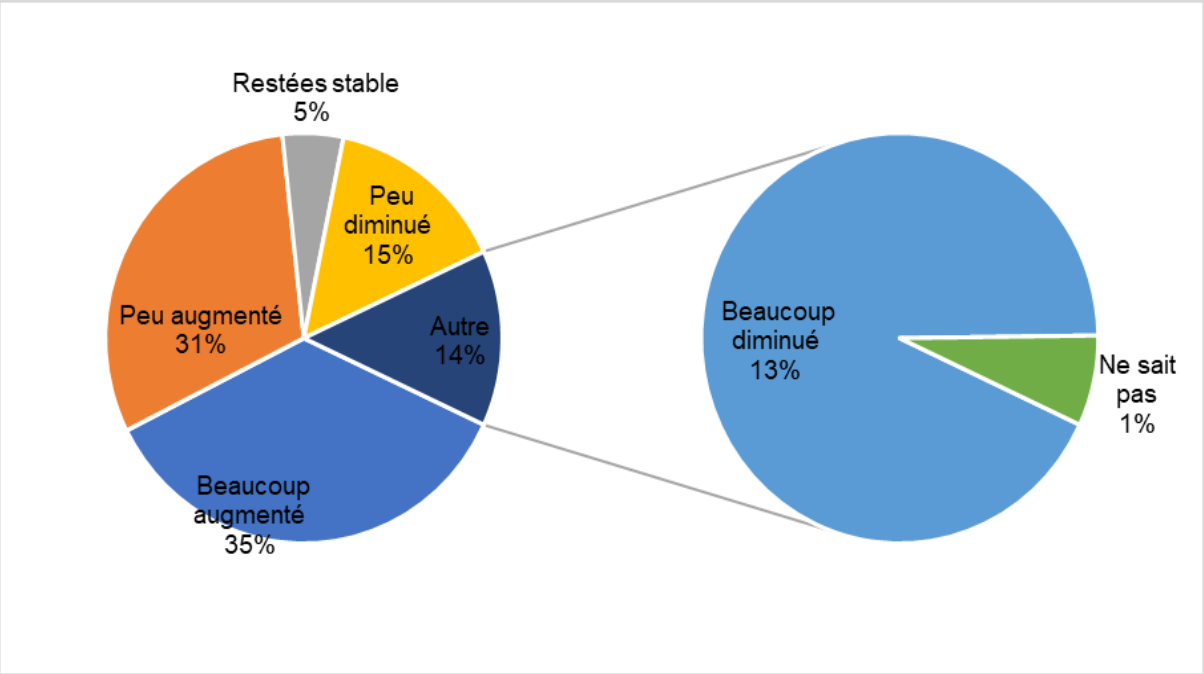


Figure 41 : Appréciation des pluies violentes dans le secteur d'étude
Source des données : *Enquête de terrain, novembre 2019*

L'analyse de la figure 41 montre l'appréciation communautaire des pluies violentes dans le département de l'Atacora. Pour environ 67 % des personnes enquêtées, les pluies violentes ont augmenté dans leur ensemble. Parmi elles, 36 % estiment que ces pluies ont beaucoup augmenté alors que pour 31 %, elles ont peu augmenté. Par contre, 18 % des personnes trouvent plutôt que les pluies violentes ont diminué. Parmi cette dernière catégorie de personnes enquêtées, 15 % ont trouvé que les pluies violentes ont peu diminué pendant que 13 % trouvent que ces pluies ont beaucoup diminué.

6.2. Adaptation communautaire dans le département

Les producteurs développent des stratégies d'adaptation pour réduire leur vulnérabilité aux effets néfastes des risques pluviométriques observés dans le secteur de recherche. Les réponses apportées au retard des pluies, à l'arrêt précoce des pluies, à la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies et aux fortes pluies à l'amélioration des rendements de la production végétale et animale sont illustrées dans le tableau XIX qui présente une synthèse des mesures d'adaptation développées par les communautés.

Tableau XIX : Synthèse des mesures d'adaptation mises en œuvre par les populations de l'Atacora et résultats obtenus

Effets de risques liés aux pluies extrêmes	Mesures d'adaptation développées	Taux d'utilisation (%)	Résultats obtenus
Perturbation du calendrier agricole	Réaménagement du calendrier agricole	80	Réduction des pertes liées aux déficits hydriques
	Utilisation des tracteurs pour rattraper le nouveau calendrier imposé	20	Installation rapide des semis Réduction des délais pour l'exécution des opérations de labour
	Utilisation des semences à cycle court	65	Adéquation des courtes périodes de pluies au cycle des cultures
	Pratique des cultures de contre saison	45	Disponibilité de produit de maraîchage pour la vente
	Semis échelonnés / resemis	85	Réduction des pertes liées aux déficits hydriques Amélioration des rendements
	Adoption de semences améliorées tolérantes aux poches de sécheresse	80	Amélioration des rendements
	Attirance des pluies par des pratiques traditionnelles (prières, magies)	15	Possibilité d'installer des cultures
Baisse des rendements agricoles	Pratique de la jachère	75	Amélioration de la fertilité des sols Accroissement des rendements
	Pratique de la rotation des cultures	60	Accroissement des rendements
	Pratique de l'association des cultures	95	Amélioration des productions totales Amélioration de la fertilité des sols
	Diversification des cultures	60	Disponibilité d'une variété de stock de céréales
	Utilisation des intrants chimiques agricoles	75	Amélioration des rendements
Pauvreté des sols	Développement de l'agroforesterie	30	Restauration des sols
	Pratique de la jachère	60	Restauration des sols
	Pratique de la rotation des cultures	50	Restauration des sols
	Méthode Zaï (petite cuvette aux pieds des	20	Restauration ou amélioration de la fertilité du sol

Effets de risques liés aux pluies extrêmes	Mesures d'adaptation développées	Taux d'utilisation (%)	Résultats obtenus
	plants)		
	Mise en place de cordons pierreux	60	Réduction de l'effet de l'érosion Amélioration des rendements
	Réalisation de diguettes antiérosives végétalisées	40	Réduction de l'effet de l'érosion Amélioration des rendements
Attaques parasitaires dans les champs	Usage de la cendre surtout pour les plantes maraîchères et le niébé	70	Meilleur contrôle des parasites
	Traitement phytosanitaire des cultures	70	Contrôle phytosanitaire des parasites
	Utilisation des solutions aqueuses de neem et l'huile de neem	40	Contrôle phytosanitaire des parasites
Tarissement des mares et cours d'eau destinés à l'agriculture irriguée	Surcreusement des mares et cours d'eau	60	Poursuite des activités de maraîchage Abreuvage des animaux
	Réalisation des trous d'eau dans les cours d'eau	60	Réduction des difficultés liées aux déficits hydriques
	Culture dans les bas-fonds	70	Amélioration des rendements
	Utilisation des ouvrages de retenue d'eau existants	50	Amélioration de la disponibilité en eau Réduction des difficultés liées aux déficits hydriques Abreuvage des animaux d'élevage
Baisse du pâturage	Transhumance ou déplacement des troupeaux vers les zones humides	75	Amélioration de la production animale
	Diversification des animaux d'élevage (petits ruminants, volaille)	80	Amélioration de la production animale

Source des données : *Enquêtes de terrain, septembre 2016*

Certaines mesures d'adaptation présentent un taux d'utilisation élevé. Il s'agit de la pratique de l'association des cultures (95 %), des semis échelonnés / resemis (85 %), du réaménagement du calendrier agricole (80 %) ; de l'adoption de semences améliorées résistantes à la sécheresse (80 %) ; de l'utilisation des intrants chimiques agricoles (75 %), de l'usage de la cendre surtout pour les cultures maraîchères et le niébé (70 %) et du traitement phytosanitaire des cultures (70 %). Par contre, le taux

d'utilisation d'autres mesures d'adaptation reste faible en raison de la non maîtrise de la technologie ou de l'insuffisance de moyens matériels, humains et financiers selon les populations interrogées. C'est le cas par exemple de l'utilisation des tracteurs pour rattraper le retard accusé pour exécuter les opérations de labour, la pratique de méthode Zaï (petite cuvette aux pieds des plants) et la réalisation de diguettes antiérosives végétalisées.

Les pratiques culturelles qui consistent à attirer les pluies par des pratiques traditionnelles (prières, magies) constituent une solution temporaire pour conjurer les pluies tardives, les poches de sécheresse ou les arrêts précoces des pluies.

6.2.1. Culture des variétés de maïs pour s'adapter aux pluies extrêmes

Pour la culture du maïs, les paysans font varier les dates de semis en fonction de la modification pluviométrique. En général, elles sont retardées de 2 à 3 semaines par rapport à la date historique (mi-mars). De nouvelles variétés améliorées sont adoptées. Environ six (06) variétés de maïs sont citées par les agriculteurs. Les plus adoptées sont celles de 90 jours et de 120 jours.

Actuellement la variété de 120 jours est de plus en plus abandonnée par les producteurs du secteur d'étude. Entre temps adoptée à 100 % par les producteurs, cette variété est actuellement adoptée par 70 %. Environ 27 % des populations enquêtées adoptent la variété de 90 jours. D'autres agriculteurs environ 3 % adoptent les variétés de 60 jours et de 75 jours. Les variétés semées par les populations proviennent de cinq (05) sources essentiellement (figure 42).

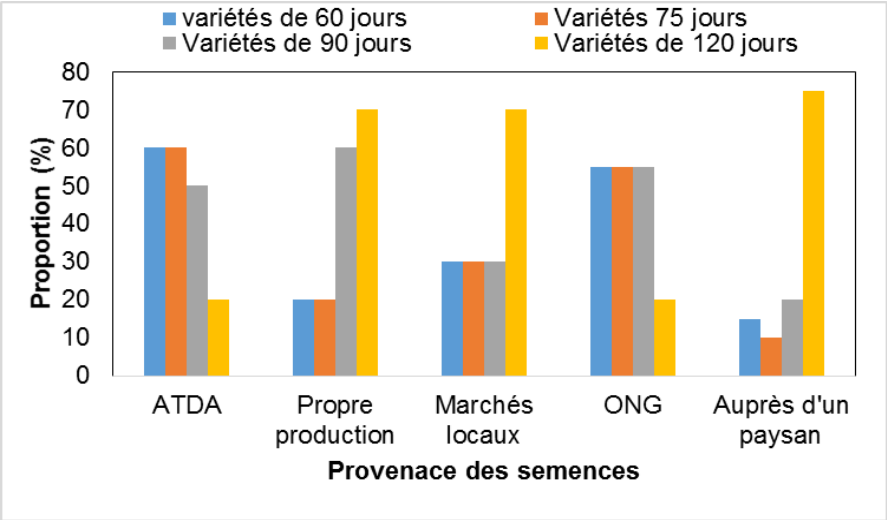


Figure 42 : Provenance des semences des variétés de maïs semé par les paysans
Source des données : *Enquêtes de terrain, septembre 2018*

De l'analyse de la figure 42, il ressort que les semences des quatre variétés les plus adoptées par les producteurs du département de l'Atacora, proviennent des sources diverses. Les variétés de 60, 75 et 90 sont beaucoup offerte par les structures de conseil agricoles, ATDA et ONG alors que la variété de 120 jours est plus offerte par les producteurs eux-mêmes et achetée aux mêmes taux dans les marchés locaux.

Dans le département de l'Atacora, plusieurs raisons justifient le choix des variétés de 60, 75 et 90 jours par les producteurs. Ainsi, 20, 20 et 60 % des producteurs adoptent respectivement les variétés de 60, 75 et 90 jours du fait qu'elles se récoltent plus tôt, 70 % adoptent la variété de 120 jours du fait qu'elle offre de meilleur rendement. La figure 43 montre les raisons qui motivent les choix de chacune des deux variétés adoptées.

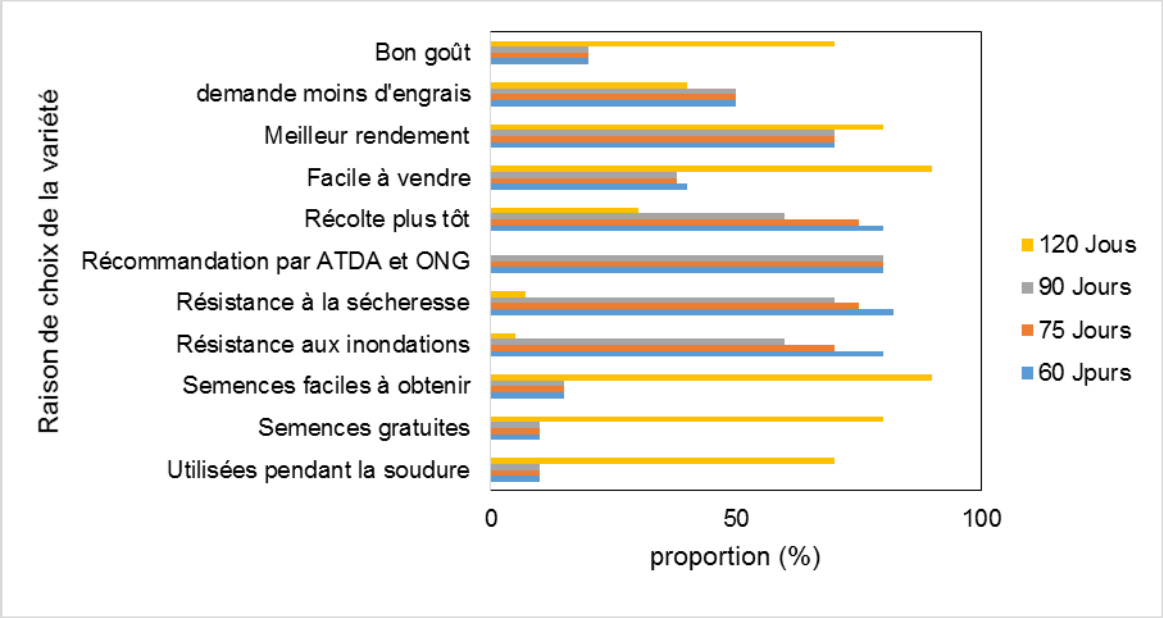


Figure 43 : Raisons de choix de la variété du maïs par les populations
Source des données : *Enquêtes de terrain, septembre 2018*

Il ressort de l'analyse de la figure 43 que trois raisons fondamentales motivent les producteurs à cultiver les variétés du maïs de 60, 75 et 90 jours dans le département de l'Atacora. Il s'agit notamment de ''la récolte plus tôt '' avec 70 %, ''du meilleur rendement'' avec 75 % et la résistance aux extrêmes pluviométriques avec 70 %.

Quant à la variété de 120 jours, parmi les raisons évoquées par les producteurs, on retrouve quelques-unes qui sont identifiées et montrent que les choix de ces variétés peuvent être considérés comme de véritables stratégies d'adaptation face aux pluies

extrêmes. Il s'agit des raisons comme, variété à meilleur rendement (80 %), variété plus résistante à la sécheresse (50 %), variété qui permet de récolter plus tôt, variété utilisée pendant la soudure (70 %). Ces différentes stratégies développées par les populations agricoles permettent de réduire les effets néfastes des pluies extrêmes sur la production agricole.

6.2.2. Culture des nouvelles variétés d'igname pour s'adapter aux pluies extrêmes

Dans le département de l'Atacora, les producteurs ont déclaré avoir cultivé certaines variétés d'igname en guise de stratégie d'adaptation aux extrêmes pluviométriques. Trente-deux (32 %) des personnes enquêtées ont affirmé avoir adopté de nouvelles variétés d'igname. Au total, douze (12) variétés d'ignames ont été citées. Mais les plus adoptées sont entre autres la variété d'igname NUDOSS et la variété d'igname ASANAA pour plusieurs raisons. Les autres nouvelles variétés d'ignames sont entre autres Abuja, « *Agatou, Aïmon, Baanaga (igname bariba), Morkonouha, Vonouko, Sakougarko, Sacata, Yorbadjé, Zougbounouhou, Alasseli, Amha, Alamaila, Kpatanga, Clesso, Côte d'ivoire, Cotonoye, Coutonouma, Damoura, Edjé, Lakissa, Elesso, Foufounoudjè, Gnidoudje, Idoro, Kpakaradje, Ioossona, Nopayeti, Ourtanide* ». Ces deux différentes variétés ont été introduites pour plusieurs raisons (Figure 44).

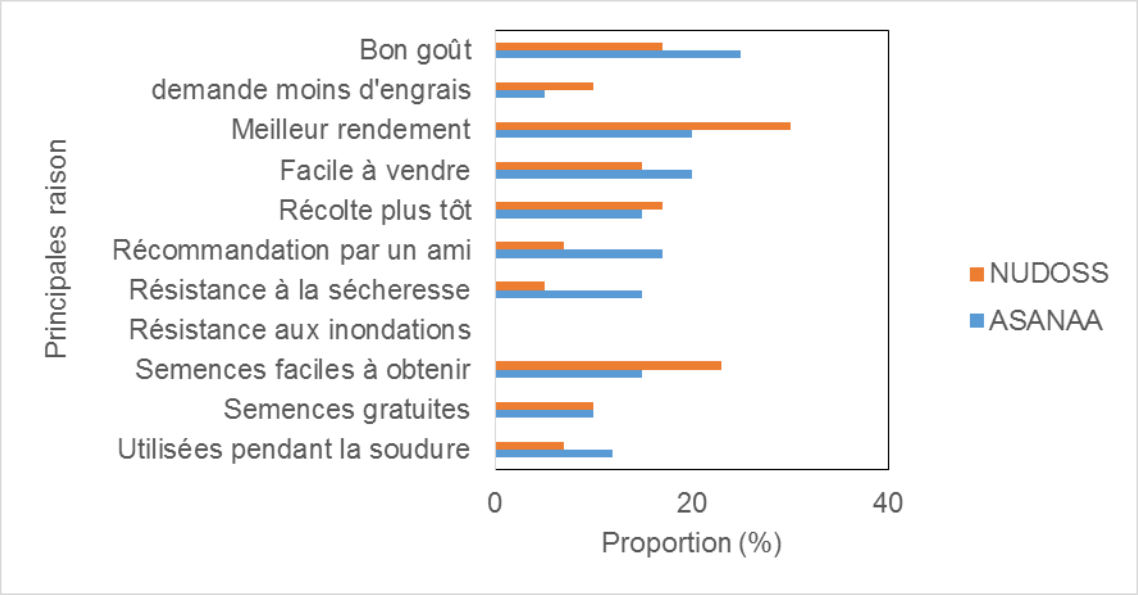


Figure 44 : Principales raisons d'adoption des deux variétés d'igname dans l'Atacora
Source des données : *Enquêtes de terrain, septembre 2018*

L'analyse de la figure 44 montre que les raisons des choix des deux variétés les plus importantes sont en lien avec les extrêmes climatiques en général. En effet, 53 % des producteurs interrogés ont fait le choix de la variété d'igname (NUDOSS) et 40 % ont fait le choix de la variété (ASANAA) pour des raisons telles que la variété à meilleur rendement, la variété la plus résistante aux inondations, la variété qui permet de récolter plus tôt, la variété utilisée pendant la soudure.

6.2.3. Adoption de variétés à cycle court

L'excès et le déficit des pluies ont entraîné le développement des stratégies d'adaptation par les producteurs pour faire face à la pénurie alimentaire (Codjo, 2017 et Seydou, 2020). Dans le but de répondre au contexte climatique actuel et de satisfaire la demande, les producteurs ont adopté de nouvelles variétés de culture. En conséquence, certaines variétés de cultures qui pour l'essentiel ont un cycle long sont en cours d'abandon dans le département. 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 la survenance des phénomènes pluviométriques.

Selon les responsables de l'ATDA, en dehors du maïs de 65 jours qui est en expérimentation, une grande partie des populations agricoles (85 %) ont adopté le maïs de 90 jours en remplacement du maïs local qui a un cycle de 120 jours. Ainsi, la culture du voandzou disparaît lentement au profit de l'arachide. Cela peut s'expliquer par la transformation de l'arachide en huile, galettes et de ses feuilles qui servent à la nutrition des ovins et bovins en période de soudure.

6.2.4. Récolte précoce des cultures

La récolte précoce des cultures est une pratique très utilisée dans le département de l'Atacora selon 76 % des producteurs interrogés. En effet, lorsque les cultures atteignent déjà la maturité avant que ne surviennent les inondations liées parfois aux pluies extrêmes, les producteurs précipitent la récolte. Dans ce cas, ils parviennent à récupérer une partie de leur production. Quelques épis de maïs et sorgho qui tombent dans l'eau sont ramassés et servent à nourrir des animaux. Les cultures qui ont la chance de boucler leur cycle végétatif avant l'arrivée dudit phénomène (inondations) sont stockées dans les greniers à maïs. Celles qui sont encore

fraîches, à défaut de techniques de conservation des produits, sont bradées aussitôt après les récoltes. Cette pratique permet aux paysans d'éviter le pourrissement des produits et de satisfaire les besoins de circonstance.

6.2.5. Amélioration des techniques de semis

Le semis se fait le deuxième jour après une pluie utile au mois de juin selon 93 % des producteurs.

Le **semis échelonné** consiste à semer la même culture sur deux parcelles à des dates différentes (photo 1).

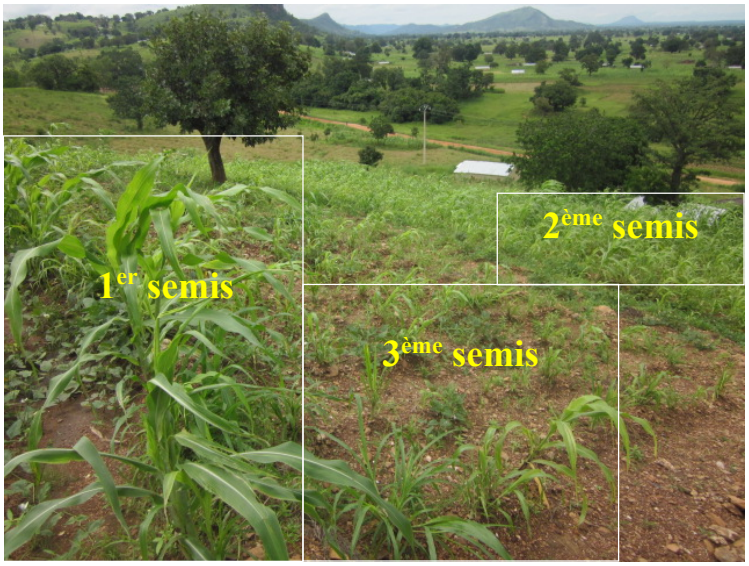


Photo 1 : Semis échelonnés dans un champ à Boukoumbé
Prise de vue *: Natta, 2017*

L'observation de la photo 1 permet de distinguer trois stades d'évolution du mil sur trois parcelles différentes caractérisant trois différentes phases de semis. La pratique du semis échelonné permet aux producteurs en cas de rupture de pluie que l'une des cultures corresponde au rythme pluviométrique. Elle est pratiquée par 72 % des producteurs ciblés. L'objectif premier est de palier aux rythmes pluviométriques selon les exigences phénologiques de la culture et aussi d'avoir un bon rendement.

Quant au **semis répété**, il consiste à semer plusieurs fois la même culture sur les mêmes parcelles au cours de la saison agricole. D'après 68 % des producteurs, il permet de faire des 'resemis' c'est-à-dire procéder au remplacement des plants fanés par l'insuffisance hydrique consécutive à une rupture pluviométrique. En saison sèche et particulièrement dans les mois de janvier, février, mars et avril, le producteur développe des techniques de mise en terre des semenceaux d'igname pour réduire le taux de pourrissement. Ils

procèdent à la protection des buttes par les coussins faits de débris d'herbes après les semis. Cette technique protège les semenceaux, les nouveaux plants contre le dessèchement et permet aux producteurs de réduire la perte des semenceaux par l'excès de la chaleur et favorise une croissance et un bon développement des cultures. Elle est pratiquée par 84 % des producteurs échantillonnés.

6.2.6. Accroissement de la mise en valeur des bas-fonds et développement du maraîchage

Selon les 77 % des producteurs enquêtés, les sommets et les pentes des versants des collines et montagnes sont de moins en moins utilisées à des fins agricoles, car moins fertiles et abandonnées au profit des bas-fonds. Ces milieux utilisés pour la riziculture pendant la saison des pluies sont exploités pour le maraichage, notamment en saison sèche. Les plantes cultivées sont l'oignon, la tomate, le gombo, le piment, etc. La planche 4 présente des spéculations développées dans les bas-fonds dans la commune de Boukoumbé.

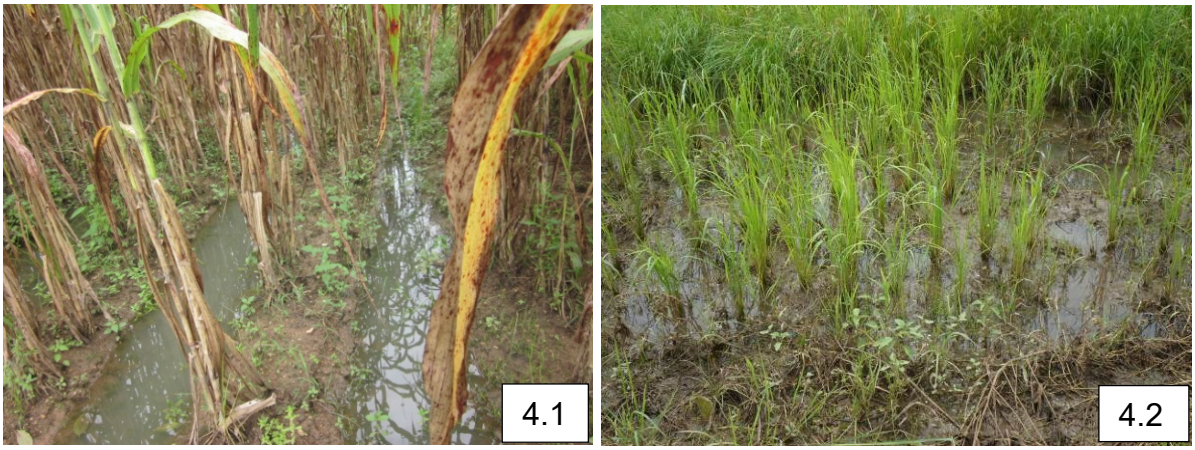


Planche 4 : Culture de Sorgho à Dikon-Hein (4.1) et culture du riz à Kounacogou (4.2) dans des bas-fonds
Prise de vues : *Kouton, Août 2017*

La planche 4 montre respectivement les cultures de sorgho (4.1) et du riz réalisé dans des bas-fonds. En effet, la présence de l'eau dans ces milieux favorise le développement et un bon rendement des cultures. Les bas-fonds et les bas des versants sont de plus en plus exploités en raison de leur fertilité et de leur aptitude à conserver plus longtemps l'humidité.

6.2.7. Réaménagement du calendrier agricole

Le calendrier agricole endogène a subi progressivement des modifications. Il connaît un décalage d'environ un mois. L'essentiel des semis intervient en juin pour les agriculteurs du département de l'Atacora. Les tableaux XX et XXI présentent les calendriers traditionnel et réaménagé.

Tableau XX : Calendrier traditionnel : 1960- 2000

Mois / Activités	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Préparation des champs semis et récoltes	Défrichement maïs, sorgho, niébé, arachide et				Billonnage et semis maïs, sorgho, niébé,							
						Entretien						
							Récolte maïs, sorgho, niébé, arachide et riz					
		Semis igname								Labour igname		
								Récolte igname				

Source *: Résultats d'enquête, 2018*

Tableau XXI: Calendrier réaménagé

Mois / Activités	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Préparation des champs semis et récoltes	Défrichement maïs, sorgho, niébé, arachide et riz											
					Billonnage et semis maïs, sorgho, niébé, arachide et riz							
							Entretien					
		Semis igname										
								Récolte maïs, sorgho, niébé, arachide et riz				
									Labour igname			
								Récolte igname				

***Source** : Résultats d'enquête, septembre 2018*

L'analyse des données des tableaux XX et XXI révèle que les billonnages et les semis des cultures du maïs, du sorgho, du riz, du niébé et de l'arachide qui se faisaient de mi-avril à juin il y a dix ans, est passée de juin à juillet. Les récoltes qui commençaient de juillet à octobre commencent à partir du mois d'août à décembre. Ce décalage de calendrier traditionnel est donc dû à l'irrégularité des pluies. Par rapport à l'entretien, le sarclage dépend toujours de la fertilité des sols. Lorsqu'un sol est fertile, le nombre de sarclage est élevé et varie en fonction de la culture pratiquée.

6.2.8. Association culturale

Dans le but de répondre au manque d'espaces cultivables causés par le problème foncier ethnique, les paysans développent la technique de l'association des cultures. Mais cette pratique a des inconvénients en ce sens qu'elle a des risques au niveau du besoin en eau pour le cycle végétatif des différentes cultures mises en association. La planche 5 présente l'association culturale dans le département de l'Atacora.

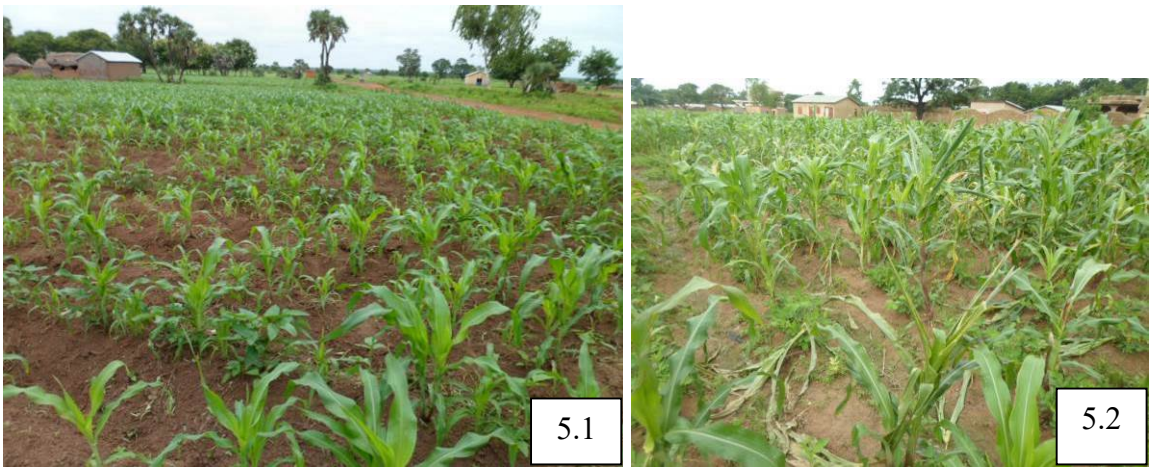


Planche 5 : Association de cultures à Péhunco
Prise de vues : *Kouton, juillet et octobre 2018*

A l'observation de la planche 5, la photo (5.1) montre l'association du maïs et du niébé à Péhunco et la photo (5.2) montre l'association de cultures (maïs-arachide) dans la commune de Kouandé. Selon 96 % des enquêtés, l'association culturale permet d'occuper le sol avec plusieurs plantes à cycles végétatifs et à exigences hydriques différents. Ce système de polyculture permet de combiner jusqu'à deux (02) cultures ou plus (céréales, légumineuses, plantes à tubercules). Le principe consiste à optimiser toute la durée de la saison humide. Aussi, en cas de retard

pluviométrique ou de rupture de la saison des pluies, les plantes ayant les exigences hydriques les plus faibles donneront-elles quand même un rendement acceptable.

6.2.9. Rotation des cultures

C'est le système cultural qui établit un changement de culture sur les champs selon les exigences des saisons ou pour le maintien de la fertilité du sol. Les variétés culturales diffèrent selon les saisons et la durée des cycles végétatifs des cultures. La saison la plus longue étant plus indiquée aux variétés à cycle relativement long, on choisit les variétés hâtives pour la deuxième saison culturale plus courte et plus aléatoire que la première. Ce système cultural fait développer une sole niébé et du maïs ce qui fait la spécificité du secteur de l'étude. Ces cultures reviennent non seulement en raison des habitudes alimentaires mais aussi en raison de la sacralisation des us et coutumes de la localité.

6.2.10. Stratégies d'adaptation des habitations et des voiries aux pluies extrêmes

Les stratégies d'adaptation sont développées par les populations en fonction de leur capacité financière, les ressources du milieu et leur ingéniosité. Les enquêtes de terrain (87 %) ont révélé qu'au cours des inondations, l'eau stagne un peu partout dans les villages et quartiers parcourus dans les communes de Boukoumbé, de Kouandé, de Cobly, Kérou et de Toucountouna. Ainsi, dans plusieurs villages, après de fortes pluies, l'eau stagne entre les concessions et tout au long des rues, débordant largement et couvrant la chaussée de 10 à 25 cm. De même, ces eaux font tomber des murs des maisons surtout construites en terre battue.

Selon les travaux de terrain, des blocs de moellon et/blocs de pierres mélangés à du sable permettent le renforcement de la fondation qui est sapée par le mouvement des eaux de surface et fragilisant le bâtiment entier. Ce dispositif est entretenu continuellement et renforcé par la pause de bloc de pierres au pieds du mur et tout autour des habitations. D'après les propriétaires, chaque matin, les femmes balaient la cour de manière à rassembler davantage le sable autour des habitations.

Cependant, les personnes ayant un peu les moyens financiers construisent des terrasses et crépissent les murs. En effet, ladite terrasse est réalisée à base du ciment mélangé à du sable et du gravier pour consolider le socle de la maison. De la

sorte, la fondation est armée et assure au bâtiment une résistance face aux forces érosives des eaux pour un temps donné.

En dehors des mesures précédentes, qui demeurent individuelles, il y en a d'autres qui sont collégiales. Selon 85 % des enquêtés, les populations s'organisent pour faire des aménagements pour dévier le sens de l'écoulement des eaux afin de mettre les habitats de la localité à l'abri. Cette technique est destinée à contrer et à éconduire l'eau afin d'éviter que la cour des habitations soient envahies.

Pour sauvegarder les habitations vulnérables, 65 % des populations interrogées renforcent le bas des murs jusqu'à 50 à 90 cm par des sables ou terres battues renforcés avec des blocs de pierres étant donné que cette richesse naturelle est à leur portée de mains. Aussi, 52 % de ces populations construisent des rigoles ou canaux d'évacuation des eaux stagnées ou de ruissellement afin d'éviter ou de limiter les dommages susceptibles de survenir.

6.3. Limites des mesures développées pour la réduction de la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes

Des efforts sont déployés par les populations du département de l'Atacora pour améliorer leur bien-être. Mais, les effets de ces stratégies sont temporaires et parfois ponctuels. Les efforts consentis par les populations, parfois épuisant, se sont révélés peu efficaces et nécessitent pour la plupart du temps des réajustements permanents.

Par rapport au renforcement des fondations des habitations, elles permettent, certes, aux maisons de tenir un peu plus longtemps que si rien n'était fait, mais cette technique est pénible et demande une attention et un effort physique de la part des balayeurs des cours toutes les fois.

Les digues artisanales ont une durée de vie assez limitée. Les sacs contenant le sable sont exposés aux intempéries (pluie). Ils pourrissent et se désagrègent au bout de quelques temps.

Il en est de même pour les pistes rechargées à base des morceaux de pierres. Cette forme d'adaptation ne dure que la période d'une saison sèche. Après une pluie, les éléments apportés sont charriés et la voie redevient dégradée.

En ce qui concerne les tranchées dans les champs agricoles, elles sont aussitôt comblées par de nouveaux matériaux à la suite d'une nouvelle pluie et la situation revient à celle de l'inondation.

Selon les propos recueillis auprès des populations pendant les investigations en milieu réel, les limites des mesures endogènes développées pour l'adaptation aux pluies extrêmes se rapportent aux principaux points suivants :

- ✓ les populations disposant des moyens très limités ;
- ✓ les mesures adoptées pour lutter contre les inondations dont elles sont victimes demeurent individuelles et non intégrées dans aucun plan global de lutte ;
- ✓ la Loi « du plus haut s'en sort » de sorte que le problème n'est à chaque fois que déplacé d'un ménage à un autre selon les moyens du moment du propriétaire ;
- ✓ les initiatives d'actions communes inscrites dans un micro-plan global de lutte contre les effets des pluies extrêmes dans un milieu, sont rares de la part des populations ;
- ✓ l'adoption de certaines mesures impose un investissement financier important qui affaiblissent les ressources des ménages ;
- ✓ les différentes mesures communautaires ne tiennent qu'à des techniques d'adaptation conçues sur la base de matériaux précaires ;
- ✓ les mesures ne visent guère à contribuer à la résolution définitive du problème d'inondation dans les localités mais permet aux populations de s'adapter.

Le tableau XXII fait la synthèse des limites de mesures endogènes d'adaptation des établissements humains aux pluies extrêmes.

Tableau XXII : Limites des mesures adoptées pour l'adaptation des établissements humains

Mesures mises en œuvre	Limites des mesures développées
Habitations	
Renforcement des socles d'habitation	• Risque d'écroulement des habitations même celles dont les fondations sont construites en briques dures • Faible résistance des murs en terre battue et matériaux semis-durs aux eaux de ruissellement en cas de pluies extrêmes et de submersion • Effondrement des murs lorsque la hauteur des eaux dépasse le niveau des socles érigés • Habitations toujours exposées au risque d'effondrement au regard de la nature du sol

Mesures mises en œuvre	Limites des mesures développées
Construction de digue artisanale	• Durée de vie très réduite des digues • Dégradation des sacs contenant du sable à cause de leur exposition aux intempéries • Lutte temporaire contre les inondations pluviales • Précarité des matériaux utilisés pour la construction de digues • Digues emportées par les eaux de ruissellement en cas de fortes pluies • Erosion des socles des habitations • Inondation des maisons et des biens qui s'y trouvent à cause de la porosité des digues
Construction en matériel précaire	• Faible résistance des matériaux utilisés aux catastrophes d'inondation • Maison inondée en cas de débordement au niveau des cours et plans d'eau et de forte pluie • Risque d'écroulement des maisons en matériaux précaires à la longue
Ouverture de tranchée	• Non maîtrise de la technique • Absence d'une norme dans la réalisation des tranchées • Submersion des habitations en cas d'inondation
Sites de production agricole	
Récolte précoce	• Perte partielle de récoltes à cause de l'immaturité des produits • Mesure non opérationnelle parfois • Applicable si et seulement si la culture est partiellement ou entièrement à maturité • Mesure nécessitant la mise à disposition des populations de l'information relative à l'alerte
Adoption de cultures à cycle court	• Moins efficace en cas de survenance du risque d'inondation pluviale • Champs toujours inondées à cause du manque d'alerte
Modification des dates de semis	• Inefficace en cas de pluies extrêmes • Exposition des cultures à l'inondation sans la maîtrise au préalable du calendrier agro-climatique de la saison • Mesure peu durable
Promotion de cultures maraichères et riziculture	• Sites maraichers et rizicoles fréquemment inondés • Stratégie obligeant les paysans à installer les zones de production en zones à risque
Circulation des personnes et biens	
Reprofilage des pistes	• Mesure efficace en saison sèche

Mesures mises en œuvre	Limites des mesures développées
rurales	• Voies submergées par endroit • Difficultés de transport de personnes et biens • Pistes dégradées après l'intervention de fortes pluies
Construction d'ouvrages de franchissement de fortune	• Utilisable souvent pendant la saison sèche • Submersion des ouvrages au cœur de la saison pluvieuse

Sources : *Travaux de terrain, septembre 2019*

Par ailleurs, l'irrégularité des rencontres entre acteurs freine les activités de mise en œuvre des mesures d'adaptation. En effet, la première contrainte qui revient constamment dans les entretiens concerne l'irrégularité des rencontres entre les parties prenantes au niveau local et étatique. Les communautés n'organisent de rencontres qu'à l'approche de la saison des pluies. Après la saison pluvieuse, aucune rencontre ne s'observe selon les membres des communautés cibles interrogées. L'irrégularité des rencontres constitue un véritable handicap au débat sur la question des pluies extrêmes. La deuxième difficulté est liée au manque de ressources financières et matérielles auquel sont confrontées les autorités communales pour accompagner les communautés. A cette difficulté s'ajoute la précarité et/ou l'inexistence des infrastructures adéquates permettant de faire face aux risques pluviométriques, notamment des digues de protection.

En outre, en tant qu'action publique, la gestion des inondations mobilise une diversité d'acteurs aux intérêts différents (Etat central, autorités locales, partenaires techniques et financiers, communautés locales). Mais l'enjeu est de voir comment cette diversité est-elle coordonnée. A ce niveau, il est observé un déficit de coordination des interventions sur le terrain. En raison du déficit de coordination des interventions et de la faible inclusion des sinistrés, les différents acteurs ne sont pas en mesure de proposer des réponses conformes aux demandes sociales.

6.4. Accompagnements institutionnels et règlementaires

Pour mieux réagir aux effets néfastes des extrêmes pluviométriques, les différents gouvernements du Bénin ont mis en place un mécanisme institutionnel et règlementaire.

6.4.1. Cadre législatif et réglementaire

Les pluies extrêmes étant une question d'ordre environnemental, le Bénin dispose de plusieurs documents législatifs favorable à la prise en compte des aspects liés à la variabilité pluviométrique dans les projets et programmes de développement.

L'article 27 de la Constitution du Bénin fait déjà d'un environnement durable un droit constitutionnel depuis 1990. Il stipule que « Toute personne a droit à un environnement sain, satisfaisant et durable et a le devoir de le défendre. L'État veille à la protection de l'environnement ».

La loi n°98-030 du 12 février 1999 portant loi-cadre sur l'environnement en République du Bénin définit les objectifs nationaux de protection de l'environnement (article 4), les mesures à prendre pour réaliser ces objectifs (article 5) et les institutions responsables (articles 6 et 7).

La loi n° 97-029 du 15 janvier 1999 portant sur l'organisation des Communes en République du Bénin stipule en son article 82 que les autorités locales ont une compétence partagée avec l'état en matière de gestion et de la protection de l'environnement. De plus, le Bénin possède une « charte nationale de gouvernance environnementale ». Cette charte définit les rôles et responsabilités de l'État, des élus locaux et de la société civile dans la gouvernance environnementale. D'après la charte, l'État est tenu d'apporter, via une structure décentralisée, son soutien et ses conseils aux municipalités pour le développement et la mise en œuvre de projets environnementaux.

6.4.2. Cadre institutionnel

Pour faciliter la promotion des dispositions constitutionnelles et législatives mentionnées supra, le Bénin a créé en 1992, le Ministère en charge de l'Environnement. Ce ministère a connu plusieurs dénominations, en passant par le Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme (MEHU) de 1992 à 2006, le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MEPN), le Ministère de l'Environnement Chargé de la Gestion des Changements Climatiques, du Reboisement et de la Protection des Ressources Naturelles et Forestières (MECGCCRPRNF) et depuis avril 2016, le Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable (MCVDD). Ce ministère est responsable de l'élaboration et

de la mise en œuvre des politiques environnementales nationales, et veille à ce que les programmes et projets mis en œuvre soient conformes aux dispositions légales. Dans le domaine spécifique des changements climatiques, le Bénin dispose de plusieurs structures dont les responsabilités favorisent la mise en œuvre des politiques d'atténuation et d'adaptation. Il s'agit de la Direction Générale des Changements Climatiques (DGCC), du Fonds National pour l'Environnement et le Climat (FNEC), la mise en place du Programme National de Gestion des Changements Climatiques (PNGCC), la mise en place du Comité National sur les Changements Climatiques (CNCC), la mise en place de la Commission de Modélisation Economique des Impacts du Climat et de l'Intégration des Changements Climatiques dans le Budget Général de l'Etat (CMEICB).

Dans le cadre de son Programme d'Action National d'Adaptation (PANA), le Bénin a également mis en place une équipe de coordination nationale et des groupes thématiques d'experts pour différents secteurs (agriculture, ressources en eau, énergie, zone côtière, exploitation forestière et santé).

Ce cadre institutionnel a été renforcé par le processus de la décentralisation qui a consacré en 1999, la création de 77 communes dirigées par une administration locale d'élus. Ces communes, ayant à charge le développement local, devront inscrire les préoccupations des changements climatiques au rang des défis majeurs à relever au niveau communal.

Au sein de ces administrations locales, notamment celles des Communes particulièrement vulnérables aux effets néfastes des changements climatiques, il a été mis en place un Point Focal Réduction de Risques et Catastrophes. Pour apporter des réponses aux catastrophes naturelles y compris celles liées aux effets néfastes des changements climatiques, il a été mis en place une plate - forme nationale de réduction des risques de catastrophe dirigée par l'Agence Nationale de Protection Civile (ANPC). Cette plateforme regroupe plusieurs structures qui produisent des données et informations au profit de la gouvernance de l'alerte précoce et de la veille climatique.

6.4.3. Cadre Politique

Au le plan national, plusieurs documents de politiques et programmes ont un potentiel important à faire avancer le développement durable et l'adaptation aux changements climatiques.

L'Étude nationale des perspectives à long terme Bénin Alafia 2025 est un des instruments les plus importants pour l'élaboration d'une politique de lutte contre les changements climatiques. En soutenant plusieurs stratégies et programmes, elle vise à faire du Bénin un pays économiquement prospère et compétitif tout en assurant le bien-être de la population. La Stratégie Nationale de Mise en œuvre de la CCNUCC élaboré en 2003 contient des mesures sectorielles pour l'adaptation aux changements climatiques et l'atténuation de ses effets.

Le PANA du Bénin a été formulé en 2008. Il identifie les activités prioritaires qui répondent à des besoins urgents d'adaptation aux changements climatiques et a conduit entre autres au projet du FEM-FPMA intitulé Programme intégré d'adaptation pour combattre les effets des changements climatiques sur la production agricole et la sécurité alimentaire au Bénin.

Par ailleurs, le Programme d'Actions du Gouvernement (PAG) 2017-2021 offre des orientations au profit de l'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques. Plusieurs axes prioritaires d'intervention de ce programme sont relatifs aux secteurs de l'agriculture et des ressources en eau. Le PAG se concentre sur la dynamisation des pôles de croissance et de compétitivité par l'amélioration du système de production agricole ; la promotion des filières agricoles et pastorales (ananas, anacarde, cultures maraîchères, maïs, riz, manioc, lait, viande, œufs, poissons) ; la création de sept pôles de développement agricole ; la promotion de la recherche et de l'innovation technologique.

La modernisation des outils et méthodes de production au profit de la promotion des filières agricoles porteuses constitue aussi un axe stratégique d'intervention. A cet effet, le Gouvernement entend non seulement poursuivre la modernisation de l'agriculture par une mécanisation adaptée aux différentes conditions agro écologiques et la maîtrise de l'eau mais également faire la promotion de la recherche et des semences améliorées ainsi que la spécialisation de l'encadrement et la

vulgarisation des itinéraires techniques les plus appropriés pour l'obtention de meilleurs rendements.

Dans le secteur des ressources en eau, le PAG se focalise sur la modernisation des infrastructures hydrauliques et l'amélioration de l'accès à l'eau potable à travers la gestion intégrée des ressources en eau, la coordination et la régulation du secteur de l'eau, la réalisation des sources d'eau potable en milieux rural et urbain.

- le Programme d'Action National de Lutte contre la Désertification vise à identifier les facteurs contribuant à la désertification et les mesures pratiques nécessaires pour la combattre et atténuer les effets de la sécheresse.

- la Politique Forestière Nationale vise la conservation et la gestion des forêts avec la participation des communautés locales.

Cependant, malgré cet éventail de politiques et de structures étatiques consacrées au développement durable, la capacité des institutions à résoudre les problèmes liés aux changements climatiques reste encore faible.

6.5. Suggestions

Dans le cadre de cette recherche, plusieurs stratégies sont suggérées.

6.5.1. Utilisation de *Mucuna* ou *Aeschinomenae* comme plantes fertilisantes

L'utilisation de plantes de couverture en culture associée permet de couvrir le sol et de le protéger contre les coups d'insolation limitant son dessèchement. L'humidité est donc maintenue sous la plante cultivée. De même, les propriétés physiques et chimiques du sol sont améliorées. En effet, l'augmentation du taux de la matière organique relève la fertilité et assure une bonne rétention de l'eau dans le sol à moyen et long terme. Le *Mucuna* et *l'Aeschinomenae* sont des légumineuses à forte capacité d'amélioration de la fertilité des sols. Ils produisent suffisamment de matières organiques qui retiennent l'eau dans le sol pour plusieurs jours. Ils sont le plus souvent associés au maïs (et autres céréales), igname. Le *Mucuna* a la facilité de couvrir tout le sol, luttant ainsi contre les adventices et participe à la protection du sol contre l'érosion et la forte évapotranspiration (Prosol-Bénin, 2017).

6.5.2. Cultures des plantes tolérantes aux pluies extrêmes

Les producteurs et productrices du Bénin ont adopté largement le maïs comme la culture qui est la denrée de base de l'alimentation. Avec les changements climatiques marqués par des pluies irrégulières et de longues poches de sécheresse, le maïs est devenu la culture la plus sensible qui ne donne pas un seul grain quand sa montaison vient coïncider avec une longue sécheresse. Au même moment où la culture du maïs devient de plus en plus délicate, les cultures de l'igname supportent mieux le manque d'eau lorsque la germination est amorcée (Prosol-Bénin, 2017). De plus, l'igname a un port arbustif et, grâce à cette caractéristique, une fois la plante germée ou levée, elle supporte mieux les poches de sécheresse.

La promotion des cultures tolérantes aux extrêmes pluviométriques est strictement liée à une évolution à opérer au niveau des champs paysans pour aller vers l'adoption à grande échelle des haies vives. Il faut aujourd'hui que les agricultures béninoise et africaine opèrent cette révolution. Elle conditionne l'établissement durable des technologies à mettre en œuvre dans la restauration et la protection des sols agricoles (Prosol-Bénin, 2017).

Bien que les populations locales développement déjà des pratiques pour s'adapter aux effets néfastes de l'évolution pluviométrique, il existe d'autres mesures susceptibles de contribuer efficacement à la réduction de leur vulnérabilité. Ces mesures ont été exprimées sous forme de besoins d'adaptation que les paysans souhaitent mettre en œuvre.

6.5.3. Autres mesures préconisées

Les effets des pluies extrêmes sur la production agricole au cours de ces cinq dernières décennies ont amené les populations à développer des stratégies d'adaptation qui reste à renforcer.

Pour ce faire, les structures intervenant dans le secteur agricole comme le MAEP, le ATDA et le service de météorologique doivent travailler ensemble en vue de non seulement améliorer la recherche agronomique, mais aussi d'intégrer l'information climatologique dans le développement agricole. A cet effet, il serait opportun de :

- installer le Système d'Information et d'Alerte Rapide (SIAR), qui permet le suivi des disponibilités et des prix des principaux aliments ;
- contrôler et régulariser les flux des produits agricoles par les zones frontalières ;
- prévoir les éventuels crises de façon à pouvoir intervenir rapidement et efficacement ;
- intensifier les ateliers et séminaires, dans le cadre de la sensibilisation des acteurs du monde agricole sur le mode d'utilisation des terres en période de soudure ;
- développer l'agroforesterie qui permet de gérer et de maintenir un nombre suffisant d'arbres déjà existants dans les champs ;

Il serait souhaitable d'investir dans le domaine de l'irrigation. La stratégie pour la maîtrise de l'eau sera axée autour des points suivants :

- augmenter la réalisation des infrastructures devant faciliter l'accès aux ressources en eau disponibles ;
- réaliser des micro-aménagements ou des périmètres exploitables dans l'agriculture au profit des populations ;
- multiplier la vulgarisation des cultures à cycle végétatif court et en besoin d'eau faible ;
- initier les paysans à la vulgarisation des techniques agraires qui préservent l'environnement ;
- faire des drainages en période excédentaire des hauteurs pluviométriques.

Si aujourd'hui, les manifestations des aléas climatiques sur l'agriculture ne sévissent pas trop dans le département de l'Atacora autant que dans le Sahel, elles ne doivent pas être écartées de nos appréhensions. L'évolution alternative de la hausse et de la baisse des hauteurs de pluie observées ces dernières années est peut-être un signe précurseur d'une récession pluviométrique plus grave.

6.6. Besoins d'adaptation ressentis par les populations mais non satisfaits faute de ressources

Dans le département de l'Atacora, en dépit des stratégies endogènes d'adaptation aux effets néfastes des extrêmes pluviométriques que la communauté tente de développer afin de réduire sa vulnérabilité, assez de défis restent encore à relever. Les besoins d'adaptation ressentis mais non réalisés faute de ressources sont résumés dans le tableau (XXIII).

Tableau XXIII : Besoins d'adaptation ressentis mais non satisfaits faute de ressources dans le département de l'Atacora

N°	Besoins d'adaptation ressentis mais non satisfaits faute de ressources
1.	Mise en place d'un système d'alerte précoce et d'information sur la prévision des dates de début et de fin de saison des pluies
2.	Mise à disposition des producteurs, des intrants agricoles adéquats (semences de variétés à cycle court de maïs, de sorgho et de riz)
3.	Intensification de la vulgarisation et de la recherche de variétés améliorées de riz, de maïs, de sorgho
4.	Mise à disposition de matériels agricoles adéquats notamment le tracteur et la charrue
5.	Appui à la promotion des itinéraires techniques d'aménagement des bas-fonds
6.	Facilitation de l'accès aux crédits agricoles adéquats
7.	Vulgarisation des itinéraires techniques adaptés aux nouvelles contraintes climatiques en matière de production et de conservation des produits agricoles
8.	Formation sur les techniques de restauration des sols et de fabrication des engrais organiques
9.	Appui à l'amélioration de la fertilité des sols à partir de l'élevage de la volaille et des bovins
10.	Mise en place d'un fonds pour assurer la santé des producteurs
11.	Appui pour le reboisement des berges des retenues d'eau existantes à base d'essences locales adaptées
12.	Réalisation des ouvrages de rétentions d'eau à des fins agro-pastorales
13.	Appui à la réalisation des barrages hydro-agricoles et mise à disposition de matériels d'irrigation
14.	Réalisation de forages pour faciliter l'approvisionnement en eau
15.	Formation sur les bonnes pratiques de gestion durable des ressources en eau
16.	Appui vétérinaire aux éleveurs de volaille, ovins, caprins et porcins
17.	Appui à la promotion de l'agro-élevage
18.	Promotion de l'élevage en enclos selon les normes techniques
19.	Appui à la professionnalisation du secteur de transformation agroalimentaire
20.	Appui au développement des marchés d'écoulement des produits agroalimentaires
21.	Promotion des labours de fin de campagne
22.	Appui à la promotion de l'agroforesterie
23.	Appui à la production de fourrages
24.	Appui à l'organisation des filières agricoles

Source des données : *Enquêtes de terrain, octobre 2017*

De l'analyse du tableau XXIII, il ressort que les besoins d'adaptation ressentis par les populations peuvent être catégorisés en plusieurs options d'adaptation.

6.6.1. Options prioritaires urgentes

Les options prioritaires d'adaptation aux effets néfastes des changements climatiques découlent des besoins d'adaptation exprimés par les populations locales lors des assemblées villageoises et communale. Ainsi, sept (07) options ont été identifiées et résumées dans le tableau XXIV.

Tableau XXIV : Options d'adaptation identifiées dans l'Atacora

Options d'adaptation	Actions à mettre en œuvre
Option 1 : Renforcement de la gouvernance du système d'alerte précoce et de la veille climatique	Mise en place d'un système d'alerte précoce et d'information sur la prévision des dates de début et de fin de saison des pluies
Option 2 : Restauration des sols et gestion durable des terres	Appui à l'amélioration de la fertilité des sols à partir de l'élevage (bovins, petits ruminants et volailles)
	Promotion des labours de fin de campagne
	Appui à la promotion de l'agroforesterie
Option 3 : Formation et renforcement des capacités des acteurs agricoles sur les bonnes pratiques agricoles et de gestion durable des ressources en eau	Vulgarisation des itinéraires techniques adaptés aux nouvelles contraintes climatiques en matière de production et de conservation des produits agricoles
	Formation sur les techniques de restauration des sols et de fabrication des engrais organiques
	Appuyer les producteurs semenciers pour rendre disponibles des semences de variétés à cycle court de maïs, de sorgho et de riz
	Faciliter l'acquisition de tracteurs et de multiculteurs par les Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole (CUMA)
	Formation sur les bonnes pratiques de gestion durable des ressources en eau
	Appui vétérinaire aux éleveurs de volaille, ovins, caprins et porcins
	Appui à la production de fourrages
Option 4 : Développement des infrastructures d'écoulement des produits vivriers	Appui au développement des marchés d'écoulement des produits agroalimentaires
	Appui à la construction/réhabilitation des pistes de désenclavement rural
Option 5 : Promotion du financement des activités agricoles	Facilitation de l'accès aux crédits agricoles adéquats
	Mise en place d'un fonds pour assurer la santé des producteurs
Option 6 : Promotion et gestion durable des ouvrages d'aménagement hydro-agricole agricole et d'approvisionnement en eau	Appui à la promotion des techniques d'aménagement des bas-fonds
	Réalisation des ouvrages de retenue d'eau à des fins agro-pastorales
	Appui à l'acquisition de matériels d'irrigation
	Réalisation de forages pour faciliter l'approvisionnement en eau
Option 7 : Promotion de la recherche agricole	Intensification de la vulgarisation et de la recherche de variétés améliorées de riz, de maïs, de sorgho

Source des données : *Enquêtes de terrain, octobre 2019*

De l'analyse du tableau XXIV, il ressort que les 24 besoins d'adaptation exprimés par les populations dans les secteurs de l'agriculture et des ressources en eau ont été regroupés en 7 options d'adaptation. Le tableau XXV présente les options prioritaires d'adaptation dans le département de l'Atacora.

Tableau XXV : Options prioritaires d'adaptation dans le département de l'Atacora

Options prioritaires	Options d'adaptation
1er	**Option 2 :** Appui et renforcement des capacités des producteurs sur le développement des pratiques agricoles de gestion durable des terres
2ème	**Option 4 :** Promotion des aménagements et ouvrages hydroagricoles au profit des producteurs
3ème	**Option 1 :** Mise à disposition des producteurs d'un système d'alerte précoce et d'information sur la prévision des dates de début et de fin de saison des pluies
4ème	**Option 6 :** Financement des activités agricoles
5ème	**Option 3 :** Mise à disposition des agriculteurs des outils de production agricole et de conservation des produits agricoles adéquats
6ème	**Option 5 :** Développement des infrastructures d'écoulement des produits vivriers
7ème	**Option 7 :** Prise en charge sanitaire des producteurs

***Source** : Enquêtes de terrain, février 2021*

L'analyse du tableau XXV montre que l'option 1 prioritaire des populations est l'appui et le renforcement des capacités des producteurs sur le développement des pratiques agricoles de gestion durable des terres et la dernière option prioritaire des populations est la prise en charge sanitaire des producteurs. Si toutes ces options sont capitalisées et valorisées et que les producteurs bénéficient véritablement du renforcement de capacités et d'appuis techniques conséquents, ces options contribueront davantage à l'amélioration de la résilience des populations rurales aux risques pluviométriques dans le département de l'Atacora.

6.6.2. Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des options prioritaires

Le tableau XXVI présente les indicateurs de mise en œuvre des options prioritaires d'adaptation aux effets néfastes des extrêmes pluviométriques.

Tableau XXVI : Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des options prioritaires

Options d'adaptation	Actions à mettre en œuvre	Indicateurs
Option 1 : Renforcement de la gouvernance du système d'alerte précoce et de la veille climatique	Mise en place d'un système d'alerte précoce et d'information sur la prévision des dates de début et de fin de saison des pluies	Nombre d'alertes fournies par an par le SAP
Option 2 : Restauration des sols et gestion durable des terres	Appui à l'amélioration de la fertilité des sols à partir de l'élevage (bovins, petits ruminants et volailles)	Superficies de terres agricoles ayant reçu de la fumure organique provenant de l'élevage
	Promotion des labours de fin de campagne	Superficies des labours de fin de campagne
	Appui à la promotion de l'agroforesterie	Superficies des parcelles sous agroforesterie
Option 3 : Formation et renforcement des capacités des acteurs agricoles sur les bonnes pratiques agricoles et de gestion durable des ressources en eau	Vulgarisation des itinéraires techniques adaptés aux nouvelles contraintes climatiques en matière de production et de conservation des produits agricoles	Nombre de paquets technologiques d'adaptation aux Changements climatiques vulgarisés
	Formation sur les techniques de restauration des sols et de fabrication des engrais organiques	Nombre de producteurs formés sur les techniques de restauration des sols et de fabrication des engrais organiques
	Appuyer les producteurs semenciers pour rendre disponibles des semences de variétés à cycle court de maïs, de sorgho et de riz	Proportion d'agriculteurs utilisant des semences de variétés à cycle court de maïs, de sorgho et de riz
	Faciliter l'acquisition de tracteurs et de multicultures par les Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole (CUMA)	Nombre de CUMA appuyées dans l'acquisition des tracteurs et de multicultures
	Formation sur les bonnes pratiques de gestion durable des ressources en eau	Nombre de personnes formées sur les bonnes pratiques de gestion durable des ressources en eau
	Appui vétérinaire aux éleveurs de volaille, ovins, caprins et porcins	Nombre d'éleveurs ayant reçu les appuis des techniciens vétérinaires
	Appui à la production de fourrages	Superficies des parcelles fourragères installées

Options d'adaptation	Actions à mettre en œuvre	Indicateurs
Option 4 : Développement des infrastructures d'écoulement des produits vivriers	Appui au développement des marchés d'écoulement des produits agroalimentaires	Nombre de marché construit /réhabilité
	Appui à la construction/réhabilitation des pistes de désenclavement rural	Linéaires des pistes de désenclavement construites/réhabilitées
Option 5 : Promotion du financement des activités agricoles	Facilitation de l'accès aux crédits agricoles adéquats	Proportion des producteurs demandeurs de crédits satisfaits
	Mise en place d'un fonds pour assurer la santé des producteurs	Proportion des producteurs demandeurs ayant bénéficié d'une assurance santé
Option 6 : Promotion et gestion durable des ouvrages d'aménagement hydro-agricole agricole et d'approvisionnement en eau	Appui à la promotion des techniques d'aménagement des bas-fonds	Nombre de producteurs formés sur les techniques d'aménagement de bas-fonds
	Réalisation des ouvrages de retenue d'eau à des fins agro-pastorales	Nombre d'ouvrages de retenue d'eau réalisés
	Appui à l'acquisition de matériels d'irrigation	Proportion des irrigants appuyés pour l'acquisition des matériels d'irrigation
	Réalisation de forages pour faciliter l'approvisionnement en eau	Nombre de forages réalisés
Option 7 : Promotion de la recherche agricole	Intensification de la vulgarisation et de la recherche de variétés améliorées de riz, de maïs, de sorgho	

Source des données : *Enquêtes de terrain, octobre 2019*

L'examen du tableau XXVI montre que pour Option 1 et 2 les indicateurs sont respectivement le nombre d'alertes fournies par an par le SAP et les superficies de terres agricoles ayant reçu de la fumure organique provenant de l'élevage.

Les indicateurs des options 5 et 6 sont, la proportion des producteurs demandeurs de crédits satisfaits, la proportion des producteurs demandeurs ayant bénéficié d'une assurance santé et le nombre de producteurs formés sur les techniques d'aménagement de bas-fonds

6.7. Discussion

Cette recherche a aussi présenté les stratégies d'adaptation des populations pour accroître leur résilience aux effets néfastes des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin, telles que : pratiques occultes d'adaptation, utilisation des intrants, augmentation des emblavures, abandon des variétés à cycle long et utilisation des variétés à cycle court, semis échelonné, semis répété, association culturale et réaménagement du calendrier agricole pour contrecarrer les déficits et excès hydriques que rencontrent leurs cultures. Les résultats obtenus semblent bien correspondre aux travaux de Bani (2016) à Ouagadougou qui sont penchés sur les stratégies que les autorités devraient prendre pour la suppression ou la réduction de la vulnérabilité aux inondations, mais l'auteur n'interroge pas en profondeur les pratiques d'adaptation des populations vivant dans les quartiers spontanés. Il tente également de mettre en exergue les enjeux liés à la cohésion sociale des communautés. De plus il fait constater que les premiers secours viennent du voisinage, de proche, ou de parents, tandis que la mairie ou l'Etat intervient plus tardivement.

Pinhéiro (2010) a indiqué que face aux inondations, l'Etat central, les autorités communales et même certaines institutions internationales mettent en exécution plusieurs plans de lutte contre ce phénomène. De même, Biaou (2011) a constaté que face aux inondations, les populations de même que les autorités locales développent diverses mesures dont le curage des caniveaux, la construction de passages avec des bois pour lutter contre le phénomène. Blalogoé (2004) trouve aussi que face aux inondations, les autorités et les populations développent des mesures d'adaptation. Les autorités éditent des textes de loi et mettent en place des cadres institutionnels de gestion. Pendant les inondations, elles déplacent certains sinistrés vers les infrastructures sociocommunautaires. Elles distribuent également des moustiquaires, médicaments et vivres. Les populations quant à elles développent des mesures telles que la mise en hauteur des objets, la construction des digues et la pose des sacs de jutes remplis de sable, le déménagement temporaire des maisons inondées. Avant et après la crise d'inondation, les ménages sinistrés réalisent des travaux de colmatage des murs.

Aïlo (2010), quant à lui, a évalué les mesures endogènes développées par les populations et celles proactives définies par les autorités locales. L'auteur a proposé

des mesures complémentaires aux dites mesures. Ainsi, les résultats de cette recherche, en termes de stratégies d'adaptation, se rapprochent sensiblement de ceux de Molua (2009). En effet, après la survenue des inondations les populations répondent, pour protéger leur maison contre les futures attaques, en se délocalisant (22 %), émigrer (06 %), reconstruire (23 %), en renforçant la résistance des maisons (68 %), construire des murs protecteurs (18 %) et planter des arbres (04 %). Ces études menées dans la ville de Buea, non loin de Cap Cameroun, Tiko, Idenau rythment avec les réalités que vivent les populations dans le département de l'Atacora.

Limites de la recherche

Cette thèse s'inscrit dans l'étude de la vulnérabilité des établissements humains à la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département. Cette partie permet d'énumérer quelques limites et de dégager des perspectives pour les recherches futures. En effet, les données climatologiques, à tous les pas de temps, dans le département de l'Atacora comme sur l'ensemble du territoire, sont discontinues en qualité et en longueur de séries. La non disponibilité des données projetées de quelques stations dans le département de l'Atacora doit être également mentionnée. Cette insuffisance rend difficile l'atteinte des résultats escomptés notamment l'étude d'impacts des pluies extrêmes et l'évaluation de la vulnérabilité des établissements humains. Bien qu'il puisse être possible d'établir une évaluation basée sur les sorties des modèles climatiques globaux, cette démarche présente des limites inhérentes aux capacités imparfaites de tous les modèles climatiques à simuler des détails régionaux et temporels de manière bien précise.

Pour ce qui concerne le modèle statistique utilisé pour la projection, il faut indiquer que l'insuffisance majeure est la nature des données utilisées. En effet, dans le souci d'aligner les données sur la même échelle, l'année a été retenue pour l'analyse. Or, l'impact des excès pluviométriques est saisonnier et les saisons agricoles durent d'une année à une autre. Ainsi, les productions agricoles annuelles utilisées peuvent cacher d'autres variations saisonnières. Il peut arriver qu'une année de bonnes productions agricoles soit de mauvaises productions saisonnières. Ces limites feront objet d'autres recherches dans le cadre de la poursuite des travaux dans le secteur d'étude.

Conclusion

L'étude de la vulnérabilité des établissements humains ciblés à la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora à travers les hauteurs de pluie et les données de température issues du service Météo-Bénin d'une part et des données socio-anthropologiques d'autre part, ont permis d'apprécier les conséquences sociales et démographiques que celle-ci ont sur les établissements humains. En effet, le régime pluviométrique dans le département de l'Atacora est unimodal et démarre souvent en mai-juin et prend fin en octobre-novembre. L'évolution des paramètres climatiques au cours de la période de 1960-2015 montre une modification significative de la pluviométrie et des températures. Ce qui caractérise les pluies extrêmes au cours de cette période. Cette variabilité pluviométrique se présente sous forme d'une alternance des années déficitaires, excédentaires et moyennes. Ainsi, trois sous périodes se dégagent. Une première période allant de 1960-1969, une seconde de 1970-1990 et une troisième de 1991-2015. Les précipitations moyennes journalières enregistrées à l'échelle des différents postes pluviométriques sont loin d'être exceptionnelles mais des épisodes d'inondations sont récurrents ces dernières années. Par ailleurs, la température moyenne est d'environ 27° C avec des variations de 17° C à 38° C à la station synoptique de Natitingou. Les amplitudes thermiques sont fortes entre le jour et la nuit, surtout pendant la période de l'harmattan (vent froid et sec venant de l'est entre novembre et février). Les températures les plus élevées sont enregistrées en mars et avril ; les plus basses en décembre et janvier. L'humidité relative de l'air dans la zone est maximale en saison pluvieuse et minimale en saison sèche. Elle varie de 10 % à 96 %. Les établissements humains sont très vulnérables aux pluies extrêmes constituent une source de risque supplémentaire dans le département de l'Atacora. Ainsi, les inondations, l'érosion, l'éboulement et l'effondrement de bâtiments sont, entre autres, des risques pluviométriques bien perçus par les populations. Les risques ont été confirmés par l'analyse des données. Les impacts de ces risques sur la disponibilité en eau, la végétation, le sol et les cultures, plus globalement sur l'agriculture sont bien perçus par 98 % des populations et les impacts futurs des extrêmes pluviométriques sur les principales cultures dans le département de l'Atacora ont été appréciés par les scénarii RCP 4.5 et 8.5. Devant une baisse croissante des rendements, les populations multiplient des stratégies pour réduire les

effets néfastes pluies extrêmes tels que : récolte précoce des cultures, pratiques occultes d'adaptation, utilisation des intrants, augmentation des emblavures, abandon des variétés à cycle long et utilisation des variétés à cycle court, cultures en billons, association culturale et réaménagement du calendrier agricole mis en œuvre par les producteurs agricoles pour contrecarrer les déficits et excès hydriques que rencontrent leurs cultures. Aussi les stratégies d'adaptation des habitations et les voiries aux pluies extrêmes ont été présentées dans le département de l'Atacora.

Pour renforcer les stratégies développées par les populations, les mesures, telles que : l'utilisation de *Mucuna ou Aeschinomenae* comme plantes de couverture, la culture des plantes tolérantes pluies extrêmes, l'adoption des Solutions Fondées sur la Nature (SFN), l'incitation des membres des communautés à travailler associations de développement villageois (exemple des Travaux Mobilisateurs d'Intérêt Collectif _ TMIC pour les pistes rurales), le renforcement du réseau d'observation pluviométrique dans l'Atacora, la mise en place des services météo-climatiques locaux, la valorisation des bas-fonds et la diversification des sources de revenu sont proposés. Il est urgent de mettre en place un dispositif efficace de recherche-action de concert avec l'Etat central et ses partenaires, les populations et les autorités locales pour réduire les conséquences des extrêmes pluviométriques dans le département de l'Atacora

Bibliographie

1. **Adam Kolawolé Sikirou & Boko Michel (1993) :** Le Bénin. Ed. du flamboyant, Cotonou, 93 p.

2. **Afouda Fulgence (1988) :** Extraits des cours de stage du Centre de Météorologie Spatiale ; Lannion, 56 p.

3. **Afouda Fulgence (1990) :** L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural dans la savane africaine. Thèse de doctorat unique de l'Université Paris IV Sorbone, 428 p.

4. **Afouda Fulgence (2006) :** Bilan de l'eau et applications agroclimatologiques dans le nord Bénin. Annale de la FLASH, Université d'Abomey-Calavi, n°12 (2006), pp. 85-101.

5. **Agence Canadienne de Développement International (ACDI) (1985) :** Une solution à long terme pour le Sahel : l'assistance bilatérale canadienne. Québec : ACDI, 28 p.

6. **Ahlonsou Epiphane, Aho Nestor & Lawin Emmanuel (2015) :** Etude sur les approches, méthodes et outils pour l'évaluation de la vulnérabilité face aux changements climatiques dans le contexte du Bénin. Rapport final, Direction Générale des Changements Climatiques, 151 p.

7. **Alle Ulrich, Vissoh Pierre, Guibert Hervé, Agbossou Euloge & Afouda Abel (2013) :** Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin. In Vertigo, la Revue électronique en sciences de l'Environnement, Volume 13, Numéro 3 de décembre 2013, 14 p.

8. **Amani Michel Kouassi, Koffi Fernand Kouamé, Yao Blaise Koffi, Kouakou Bernard Dje, Jean Emmanuel Paturel & Sekouba Oulare (2010) :** Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte-d'Ivoire », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, article 513, mis en ligne le 07 décembre 2010, 33 p.

9. **Amoussou Ernest (2010) :** Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 310 p.

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

11. **Ansoumana Bodian (2012) :** Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest), in revue Physio-géo, pp. 297-312.

12. **Arlery Raymond & Grisollet Henri (1973) :** Climatologie : Méthodes et pratiques, Gautier Villars, Paris, 434 p.

13. **ASECNA (1990) :** Bref aperçu sur le temps et le climat au Bénin, 20 p.

14. **Avahounlin Ringo Fernand (2016) :** Etude des extrêmes hydropluviométriques du bassin de l'Ouémé dans un contexte de variabilité climatique. Thèse de doctorat unique à la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'Université d'Abomey-Calavi. CIPMA - Chaire UNESCO, 284 p.

15. **Avahounlin Ringo Fernand, Emmanuel Lawin, Eric Adéchina Alamou, Alamou Chabi & Abel Afouda (2013) :** Analyse fréquentielle des séries de pluies et débits maximaux de l'Ouémé et estimation des débits de pointe. EJSR, Vol. 107 N 0 3 July, 2013, pp.355-369.

16. **Banque mondiale (2010) :** Rapport sur le développement 2010 dans le monde. Développement et changement climatique. Pour un climat favorable au développement. Abrégé – version préliminaire, Banque Mondiale, 52 p.

17. **Becerra Sylvia & Peltier Anne (2009) :** *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Paris, Le Harmattan, 576 p.

18. **Becerra Sylvia & Roussary Aurélie (2008) :** Gérer la vulnérabilité de l'eau potable : une action publique désengagée ? *Nature, Sciences & Société*, 16, pp. 220-231.

19. **Beck Elyse & Glatron Sandrine (2009) :** Vulnérabilité socio-spatiale aux risques majeurs : l'approche du géographe », In : Becerra Sylvia, Peltier Anne, *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Paris, L'Harmattan, 17 p.

20. **Beliveau Julie (2006) :** Analyse fréquentielle multivariée de la pointe, du volume et de la durée de la crue. Mémoire de maîtrise de la Faculté des Sciences et de Génie, Université Laval, Québec, 50 p.

21. **Benkhaled Abdelkader (2007) :** Distributions statistiques des pluies maximales annuelles dans la région du Chéliff : comparaison des techniques et des résultats. Courrier du Savoir-N°08, pp. 83-91.

22. **Bidou Je & Droy Isabelle (2007) :** Pauvreté et vulnérabilité alimentaire dans le sud de Madagascar : les apports d'une approche diachronique sur un panel de ménages, *Mondes en développement*, 2007/4, 140, pp. 45-64.

23. **Bigot Sylvain, Pierre Camberlin, Vincent Moron & Yves Richard (1997) :** Structure spatiale de la variabilité des précipitations en Afrique : une transition climatique à la fin des années 1951. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t.324, série IIa, pp 181-188.

24. **BIPEN (2012) :** Implications économiques des changements climatiques dans le secteur agricole. Bilan et Perspectives à court et à moyen termes de l'Economie nationale. Direction de la Prévision et de la Conjoncture, 110 p.

25. **Birkmann Jörn (2006):** *Measuring vulnerability to natural hazard*, New-Delhi, Unu- Teri Press, 527 p.

26. **Bodian Ansoumana (2014) :** Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). Physio-Géo., vol. 8, mis en ligne le 12 janvier 2014. [En ligne le 31 Août 2019] : http://physio-geo.revues.org/4243 ; DOI : 10.4000/physio-géo.4243.

27. **Bohle Hans Günter (2002):** Land degradation and human security, In: Plate, E. (Ed.), *Environment and Human Security*, Contributions to a workshop in Bonn. Bonn, 60 p.

28. **Boidin Bruno & Lallau Benoît (2007) :** Introduction, *Mondes en développement*, num. Spé. « Vulnérabilité, pauvreté et stratégies de survie », 140, pp. 7-8.

29. **Boko Michel (1988) :** Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de doctorat d'Etat ; 2 tomes ; Centre de Recherches de Climatologie. URA 909 CNRS. Université de Bourgogne, Dijon, 608 p.

30. **Boko Michel & Adjani Lucien (1994) :** Recherche de tendance dans les séries pluviométriques du Bénin : implications agro climatologiques. Publication de l'AIC, Vol 7, pp 294-304.

31. **Bokonon Ganta Eustache (1987) :** Les climats de la région du golfe du Bénin. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Paris 248 p + annexes.

32. **Bokonon Ganta Eustache (1992) :** Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne : Remise en cause de la stationnarité des séries. In l'aridité : une contrainte pour le développement. Editions ORSTOM ? pp 37-51.

33. **Bollin Christina, Schneiderbauer Stefan & Liersch Stefan (2014) :** Analyse intégrée de la Vulnérabilité au Burundi. Méthodologie détaillée de l'Analyse de Vulnérabilité nationale, GIZ, 72 p.

34. **Bouchon Sara Marie (2009) :** L'analyse de vulnérabilité pour identifier les infrastructures critiques européennes exemple du système gazier en Europe, In : Becerra Sylvia et Peltier Anne, 2009, *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Paris, Le Harmattan, pp 215-229.

35. **Bouka Biona Clobite & Mpounza Marcel (2009) :** Impacts des effets actuels et attendus du changement climatique en République du Congo ; Centre de recherche sur les Tropiques Humides (CRTH), 9 p.

36. **Brou Yao Telesphore Eric Servat & Jean-Emmanuel Paturel (1998) :** Activités humaines et variabilité climatique : cas du sud forestier ivoirien Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 1-7.

37. **Camberlin Pierre, Beltrando Gérard, Fontaine Bernard & Richard Yves (2002) :** Pluviométrie et crises climatiques en Afrique Tropicale : changements

durables ou fluctuations interannuelles ? Historiens et Géographes, 379 p ; pp. 263-273.

38. **Cartier Stéphane (2002) :** *Chronique d'un déluge annoncé, crise de la solidarité face aux risques naturels*, Paris, Grasset, 373 p.

39. **Chabi Abiodoun Phillipe (2010) :** Répartition spatio-temporelle des pluies journalières dans le Bénin central. Mémoire de maîtrise en géographie, UAC/FLASH, 70 p.

40. **Chardon Anne Cathérine (1994) :** Etude intégrée de la vulnérabilité de la ville de Manizales (Colombie) aux risques naturels. *Revue de géographie alpine*, 82, 4, pp. 97-111.

41. **Châtel Vivianne & Roy Shirley (2008) :** *Penser la vulnérabilité : visages de la fragilisation du social*, Québec, PUQ, 243 p.

42. **Chourou Ali (1988) :** Structure de la saison des pluies en Afrique Soudano-Sahélienne. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 263 p.

43. **Colin Lindsay (2004) :** Changement climatique, phénomènes météorologiques extrêmes et effets sur la santé en Alberta. Université d'Alberta, 13 p.

44. **Contandriopoulos André-Pièrre, Champagne François, Potvin Louise, & Denis Jean-Louis (2005) :** *Savoir préparer une recherche : La définir, la structurer, la financer*. Montréal : Gaëtan morin éditeur ltée, 197 p.

45. **D'Ercole Robert (1991) :** Vulnérabilité des populations face au risque volcanique. Le cas de la région du volcan Cotopaxi (Equateur), Thèse de doctorat, Université J. Fourier, 460 p.

46. **D'Ercole Robert, Thouret Jean-Claude., Dolfus Olivier & Asté Jean-Pièrre (1994) :** Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modèles d'analyse, *Revue de Géographie Alpine*, 82,4, pp. 87-96.

47. **Dacosta Honoré, Konate Yaye Kandia & Malou Raymond (2002) :** La variabilité spatio-temporelle des précipitations au Sénégal depuis un siècle, FRIEND Regional Hydrology: Bridging the Gap Between Research and Practice. Proceedings of the Fourth International FRIEND Conference held in Cape Town, South Africa, March 2002, Publ. no. 274.2002, pp. 499-506.

48. **Dakuyo Patrice Zerbo (2000) :** *Rôle des connaissances traditionnelles dans le développement socio-économique : cas de la médecine traditionnelle au Burkina Faso*. Genève : UNCTAD, 4 p.

49. **Décamps Henri (2007) :** La vulnérabilité des systèmes socio-écologiques aux événements extrêmes : exposition, sensibilité, résilience, *Natures Sciences Sociétés*, 15, pp 48-52.

50. **Descroix Luc & Aïda Diongue Niang (2013) :** Évolution des pluies de cumul élevé et recrudescence des crues depuis 1951 dans le bassin du Niger Moyen (Sahel). Climatologie, n° 10, pp. 37-49.

51. **Diop Cheikh, Sagna Pascal & Sambou Pierre Corneille (2014) :** Vulnérabilité des populations urbaines face aux fortes pluies : l'exemple du Sénégal en 2012. Actes du XXVIIe colloque de l'association internationale de climatologie, 2-5 juillet 2014, Dijon (France), pp. 554-559.

52. **Direction de la Météorologie de Cotonou (1990) :** Bref aperçu sur le climat du Bénin 89 p.

53. **Donou Tolidji Blaise :** Dynamique pluvio-hydrologique et manifestation des crues dans le bassin du fleuve Ouémé à Bonou. Mémoire de Maîtrise de géographie, UAC/FLASH. 104 p.

54. **Donou Tolidji Blaise (2009) :** Evénements Pluvio-hydrologiques extrêmes et production agricole dans le delta du fleuve Ouémé. Mémoire de DEA/UAC/FLASH, 82 p.

55. **Douguédroit Annick (2016) :** L'évolution de la climatologie. Publication consultée sur http://www.cnfg.fr le 20 août 2016 à 11H GMT, 6 p.

56. **Doukpolo Bertrand (2007) :** Vulnérabilité et tendances pluviométriques dans le Nord-Ouest centrafricain : Enjeux environnementaux. Mémoire de DEA, EDP/UAC, 73 p.

57. **Emmanonhoue Arlette (2008) :** Répartition spatiale des pluies dans le Mono-Couffo et conséquence sur la production agricole. Mémoire de maîtrise de géographie, UAC/FLASH, 94 p.

58. **ENDA-CIAT (2005) :** Renforcement des capacités en matière d'évaluation de la vulnérabilite et des stratégies d'adaptation aux changements climatiques. Modules I, II, III du Manuel Winograd (Colombie), 464 p.

59. **Escourrou Gisèle (1987) :** Climatologie pratique ; Masson, Paris, 172 p.

60. **Fabiani Jean-Louis (2010) :** Repères : Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés, *Natures Sciences Sociétés* 18, pp. 473-496.

61. **Fabiani Jean-Louis & Theys Jacques (1987) :** La société vulnérable. Évaluer et maîtriser les risques, Paris, Presses de l'Ecole Normale Supérieure, 674 p.

62. **FCCC/SBSTA (2018) :** Adaptation et établissements humains : les principaux résultats et les perspectives, 32 p.

63. **Fontaine Bernard (1986) :** La variabilité des précipitations en domaine Sahélien et ses connexions avec la circulation atmosphérique africaine atlantique. In cahier de centre de recherche de climatologie, N°11, URA 909 CNRS. Université de Bourgogne, Dijon, pp 85-91.

64. **Fontaine Bernard (1990) :** Etude comparée des moussons indiennes et Ouest-africaine : caractéristiques, variabilités et télé-connexions. Thèse de doctorat d'Etat ès-Lettres et Sciences Humaines, centre de recherches de climatologie, URA 909 du CNRS, université de Bourgogne, Dijon, 2 volumes, 511 p.

65. **Fontaine Bernard, Abdourahamane Konaré, Seidou Ibrah Sanda, Arona Diedhiou, Roucou M & Janicot Serge (2012) :** Variabilité pluviométrique, changement climatique et régionalisation en région de mousson africaine, La Météorologie, Spécial AMMA, pp. 41-48.

66. **Gaillard Jean-Christophe (2007) :** De l'origine des catastrophes : phénomènes extrêmes ou âpreté du quotidien ? *Natures, Sciences, Sociétés*, 15, pp. 44-47.

67. **Gallée Hubert & Guy Schayes (1994):** Development of a three-dimensional meso-*γ* primitive equation model: Katabatic wind simulation in the area of Terra Nova Bay, Antarctica. *Mon. Wea. Rev.*, pp. 671-685.

68. **Gauthier Biaou (2004) :** *Recherche sociale : De la problématique à la collecte des données*, 4e éd. Sainte-Foy (Qué.) : Presses de l'Université du Québec, 619 p.

69. **GIEC (1997) :** Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Évaluation de la vulnérabilité (Rapport spécial du GIEC). «s.l.» : OMM, PNUE, 27 p.

70. **GIEC (2001) :** Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington, 53 p.

71. **GIEC (2001) :** Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité ; résumés du Groupe de travail II du GIEC, 101 p.

72. **GIEC (2001a) :** Bilan des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité » Cambridge University Press, Cambridge, http://www.ipcc.ch/, consulté le 12 juin 2011.

73. **GIEC (2001a):** Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 1032 p.

74. **GIEC (2001b) :** Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Rapport spécial sur l'Evaluation de la vulnérabilité en Afrique. Island Press, Washington, 53 p.

75. **GIEC (2001b):** Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 881 p.

76. **GIEC (2007) :** Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des groupes de travail I, II, III au quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [équipe de rédaction principale, Pachauri, R. K. et Reiseinger, A. GIEC, Genève, Suisse, 103 p.

77. **GIEC (2007) :** Résumé à l'intention des décideurs (traduction non-officielle). Contribution du groupe de travail 1 au 4ème rapport d'évaluation du GIEC. Bilan 2007 des changements climatiques : les bases scientifiques physiques, 25 p.

78. **GIEC (2007a):** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the fourth Assessment report of the IPCC. Cambridge University Press, pp 391-431.

79. **GIEC (2007b) :** Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse, GIEC, Genève, 114 p.

80. **GIEC (2014) :** Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R. K. Pachauri et L. A. Meyer]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

81. **Gilbert Claude (2005) :** Erreurs, défaillances, vulnérabilités : vers de nouvelles conceptions de la sécurité ? In : Borraz O., Claude Gilbert, P.-B. Joly (s/d), *Risques, crises et incertitudes : pour une analyse critique*, Grenoble, CNRS, pp. 69-115.

82. **Gilbert Claude (2006) :** La vulnérabilité, une notion à explorer, *Pour la Science*, 51, pp. 116-120.

83. **Gilbert Claude (2009) :** La vulnérabilité : une notion vulnérable ? À propos des risques naturels, In : Becerra S., et A. Peltier, *Risques et Environnement : recherches interdisciplinaires sur la Vulnérabilité des sociétés,* Paris, L'Harmattan, pp. 23-40.

84. **Giorgi Filippo, Jones Colin & Asrar Ghassem (2009) :** L'expérience CORDEX: répondre aux besoins d'information climatologique à l'échelle régionale. Bulletin de l'OMM 58 (3) - Juillet 2009, pp. 175-183.

85. **Guillot Pierre & David Durband, (1980) :** Pluies et débits extrêmes. Journées d'étude sur les précipitions atmosphériques, du 12 au 13/06/1979, Météorologie, pp. 65 -71.

86. **Houndakinnou Gisèle Rose (2003) :** Fréquence des événements pluvieux extrêmes et leurs impacts environnementaux dans la ville de Cotonou. Mémoire de maîtrise de DEA, UAC, 60 p.

87. **Houndakinnou Gisèle Rose (2005) :** Evénements pluviométriques extrêmes et vulnérabilité des établissements humains dans le sud-Bénin. Mémoire de maîtrise de géographie, UAC/FLASH, 129 p.

88. **Houndénou Constant (1992) :** Variabilité pluviométrique et conséquences socio-écologiques dans les plateaux du bas-bénin (Afrique de l'Ouest). Mémoire de DEA « climats et contraintes climatiques », Dijon, 2 tomes, tome1, texte (90 p), tome 2, figures et tableaux.

89. **Houndénou Constant (1999) :** Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de doctorat. UMR 5080 CNRS « Climatologie de l'espace tropical », Université de Bourgogne, centre de Recherche de Climatologie, Dijon, 341 p.

90. **Houndénou Constant & Hernandez Karine (1998) :** Modification de la saison pluvieuse dans l'Atacora (1961-1990) : un exemple de sécheresse au nord-ouest du Bénin (Afrique Occidentale). Science et changements planétaires, 14 p.

91. **Hounsou Mathieu (2004) :** Variabilité climatique et développement agricole dans la commune de Tchaourou. Mémoire de Maîtrise de géographie, UAC/FLASH, 92 p.

92. **Houssou Christophe Sègbè (1998) :** Les bioclimats humains de l'Atacora (Nord-Ouest du Bénin et leurs implications socio-économiques. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 331 p.

93. **http://unfccc.int/resource/docs/publications/annguid_f.pdf:** Lignes Directrices pour l'établissement de programmes d'action nationaux aux fins de l'adaptation, Groupe d'experts pour les pays les moins avancés, juillet 2002, 48 p (consulté le 22 septembre 2019).

94. **http://pluiesextremes.meteo.fr** (consulté le 24 juin 2019).

95. **Hulme Mike, Ruth Doherty, Todd Ngara & Mark New (2001) :** Climatic perspectives on Sahelian dessiccation : 1973-1998. Global Environmental Change, vol. 11, pp 19-29.

96. **HYFRAN, (2003):** A software for statistical modeling. INRS-Eau, University of Québec.

97. **Idiéti M'po Edouard (2012) :** Les hydro-écorégions du bassin de la Pendjari au Bénin : Analyse des déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels. Thèse de doctorat unique, UAC, FLASH, EDP, 232 p.

98. **IFDC & CTA (2003) :** Outils d'aide à la décision pour l'agriculture en Afrique sub-saharienne, Un guide pratique, 223 p.

99. **IMPETUS (2009) :** Atlas du Bénin – Résultats de recherches 2000-2007. Projet Impetus, 3ème édition, 144 p.

100. **INSAE (2015) :** Enquête par grappes à Indicateurs Multiples (MICS) 2014 Rapport de résultats clés, UNICEF, Cotonou, 22 p.

101. **INSAE (2015) :** Les tendances de la pauvreté au Bénin sur la période 2007-2015, Cotonou, 132 p.

102. **INSAE (2016) :** Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4, 2013), Cotonou, 85 p.

103. **IPCC (2001):** Third Assessment Report Climate Change the Scientific basis, 2001; 121 p.

104. **IPCC (2002):** Workshop on changes in extreme weather a climate event. Beijing, China 11 - 13 June 2002.

105. **IPCC (2007) :** Quatrième rapport sur le changement climatique, 384 p.

106. **IPCC (2007):** Climatic changes 2007: impacts adaptations and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; M. L. Parry, O. F. Canziani, J.P. Palutikof, P. J. Van Der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.

107. **IPCC, (2013):** Climatic Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

108. **Issa Maman-Sani (2012) :** Changements climatiques et agrosystèmes dans le Moyen Bénin : Impacts et stratégies d'adaptation. Thèse de doctorat unique, EDP, UAC, FLASH, 273 p.

109. **Janicot Serge (1990) :** Variabilité des précipitations en Afrique de l'ouest et circulation quasi-stationnaire durant une phase de transition climatique. 1ère partie - synthèse. Thèse de doctorat, Université Paris VI, 178 p + annexes.

110. **Janin Pierre (2008) :** Marginalité, vulnérabilité et pratiques de survie, Communication au Colloque Dynamiques de pauvretés et vulnérabilités, Louvain, 18 p.

111. **Mike Hulme, Ruth Doherty, Todd Ngara, Mark New & David Lister (2001) :** African climate change (1900-2100), CLIMATE RESEARCH, Vol. 17 : pp. 145–168

112. **Jones Phil & Hulme Mike (1996):** Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: Methods and illustrations. International Journal of Climatology, 16, pp. 361-377.

113. **Koumassi Dègla Hervé (2014) :** Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Coubéri. Thèse de doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi, 245 p.

114. **Kouton Gbènagnon Aristide (2011) :** Changements climatiques et inondations dans la ville de Cotonou : diagnostic et analyse prospective. Mémoire de Maîtrise de Géographie-Physique, Université d'Abomey-Calavi, 70 p.

115. **Kouton Gbènagnon Aristide (2014) :** Caractérisation et dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le Nord-Bénin. Mémoire de DEA, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire de la FLASH de l'Université d'Abomey-Calavi, 66 p.

116. **Laraque Alain & Mahé Gil (2001):** Spatiotemporal variations in hydrological regimes within Central Africa during the XXth century, Hydrol J. 245: pp. 104-17.

117. **Lawin Emmanuel (2007) :** Analyse climatologique et statistique du régime pluviométrique de la haute Vallée de l'Ouémé à partir des données pluviographiques AMMA-CATCH-Bénin. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 231 p.

118. **Le Barbé Luc (1997):** Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990. Journal of Hydrology 188, pp. 43-73

119. **LEG-CCNUCC (2012) :** Lignes directrices pour l'établissement de programmes d'action nationaux aux fins de l'adaptation, 162 p.

120. **Léone Frédéric (2007) :** Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisques (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones), Mémoire d'H.D.R, vol. 2, Université Paul Valéry Montpellier 3 ; 245 p. + annexes.

121. **Léone Frédéric & Vinet Freddy (2007) :** La vulnérabilité un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels, *Géorisques*, 1, pp. 9-25

122. **Leroux Maxime (1970) :** La dynamique des précipitations en Afrique Occidentale. Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université de Dakar, 582 p.

123. **Leroux Maxime (1983) :** Le climat de l'Afrique tropicale, t. 1 636 p., t. 2250 cartes, H. Champion/ M, Slatkine, Paris/Genève.

124. **Magnan Alla (2013) :** Changement climatique : tous vulnérables ? Repenser les inégalités. Éditions des Presses de la Rue d'Ulm, Paris, 2013, pp. 35-40.

125. **Magnan Alla (2014) :** De la vulnérabilité à l'adaptation au changement climatique : éléments de réflexion pour les sciences sociales. In Monaco A., Prouzet P. (dir.), Risques côtiers et adaptations des sociétés, ISTE Editions, pp. 241-274.

126. **Mairie de Boukoumbé (2015) :** Plan d'adaptation aux changements climatiques de la Commune de Boukombė. Rapport provisoire, Initiative LoCAL, 48 p.

127. **Issa Mama Sani (1993) :** Les perturbations pluvio-orageuses en 1987 à partir des images Météosat II. Mémoire de Maîtrise UNB/FLASH, 87 p.

128. **Manga Souleymane (2015) :** Étude de la vulnérabilité de la commune de Kolda face aux fortes pluies de l'année 2012. Mémoire de Master II (Ressources-Environnement-Développement), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 108 p.

129. **Massouangui Kifouala Miame (2004) :** Etude de la pluviométrie journalière dans le sud du Congo de 1950 à 2002. Mémoire de DEA. UMN/FLSH, 70 p.

130. **Meylan et Musy (1999) :** Hydrologie générale : Analyse fréquentielle. Annale revue hydrologie, 19 p.

131. **Ministère du Plan et du Développement (2017) :** Programme d'Action du Gouvernement du Bénin 2016-2021, 62 p.

132. **Nathan Fillion (2009) :** Comprendre le risque et la vulnérabilité : une perspective de sciences sociales à propos des risques de glissement de terrain à La Paz, Bolivie, In : Becerra S. et A. Peltier, *Risques et Environnement : recherches interdisciplinaires sur la Vulnérabilité des sociétés*, Paris, L'Harmattan, pp. 117-128.

133. **OFEV (2012) :** Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro), 78 p.

134. **Ogouwalé Euloge (2001) :** Vulnérabilité/Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans le Département des Collines. Mémoire de maîtrise de Géographie. UAC, FLASH, 119 p.

135. **Ogouwalé Euloge (2004) :** Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. Mémoire de DEA, UAC/FLASH/EDP, 103 p.

136. **Ogouwalé Euloge (2006) :** Changements climatiques dans le bénin méridional et central. Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de doctorat unique, EDP, UAC, FLASH, 302 p.

137. **OMM (1990) :** Guide des pratiques climatologiques OMM Genève, 829 p.

138. **OMM (Octobre 1997) :** Vol 46, bulletin N°4

139. **OMM (Octobre 1998) :** vol 47, bulletin n°4

140. **OMM (Octobre 1999) :** vol 48, bulletin n°4

141. **OMM (Octobre 2000) :** vol 49, bulletin n°4

142. **OMM (2002) :** Réduction de la vulnérabilité à l'égard des phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes ; Genève 36 p.

143. **Ouorou-Barrè Fousseni Imorou (2007) :** Variabilité climatique et production vivrière dans la Commune de Tanguiéta. Mémoire de Maîtrise de géographie, UAC/FLASH, 75 p.

144. **Ouorou-Barrè Fousseni Imorou (2010) :** Variabilité climatique et production agricole dans les Communes de Tanguiéta et Matéri. Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi, 109 p.

145. **Ouorou-Barrè Fousseni Imorou (2014) :** Contraintes climatiques, pédologiques et production agricole dans l'Atacora (Nord-Ouest du Bénin). Mémoire de Thèse de doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi, 241 p.

146. **Pagney Pierre (1973) :** La climatologie. QSJ ? PUF ; Paris, 190 p.

147. **Panthou Gérémy, Thierry Lebel & Théo Vischel (2013) :** Tendances récentes sur les précipitations au Sahel. Deuxième atelier scientifique Escape, Marseille, 11-12 février 2013, LTHE, OSUG, 17 p.

148. **Perreault Luc & Bobée Bernard (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, 22 p.

149. **Pettitt Anthony (1979):** A non-parametric approach to the change-point problem. Applied Statistics, 28, pp. 126-135.

150. **Philippon N. (2002) :** Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : Méthodes et diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001). Thèse de Doctorat, CRC, Université de Bourgogne, 242 p.

151. **Pigeon Patrick (2009) :** Enjeux et vulnérabilités cachées évolutions récentes en géographie des risques, in : Becerra S., et A. Peltier, 2009, *Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, Paris, L'Harmattan, pp. 54-64.

152. **Quenum Gandomè Mayeul (2016) :** Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le bassin de l'Ouémé, Bénin. Revue *Afrique SCIENCE* 12(3), pp. 315 - 328.

153. **République du Bénin (2014) :** Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA). Programme Alimentaire Mondiale, 146 p.

154. **Roqueplo Phillipes (1987) :** Les pluies acides considérées comme un « accident au ralenti », In : Fabiani J-L. et Theys J., *La société vulnérable, évaluer et maîtriser les risques*, Paris, Presses de l'Ecole normale supérieure, pp. 153-179.

155. **Sagna Pascal (1995) :** L'évolution pluviométrique récente de la Grande-Côte du Sénégal et de l'archipel du Cap-Vert. Revue de géographie de Lyon, vol. 70, n° 3-4, pp. 187-192.

156. **Sagna Pascal (2005) :** Dynamique du climat et son évolution récente dans la partie Ouest de l'Afrique occidentale. Thèse d'État ès lettres, université Cheikh Anta Diop, Dakar, 2 t, 786 p.

157. **Sagna Pascal (2007) :** Caractéristiques climatiques, Atlas du Sénégal, Paris, Les éditions J. A., pp. 66-69.

158. **Sagna Pascal & Diongue Niang (2015) :** Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? Are recent climate variations observed in Senegal in conformity with the descriptions given by the IPCC scenarios? Article publié dans Pollution atmosphérique - N°227, Octobre - Décembre 2015 – pp.

159. **Sambou Pierre Corneille (2015) :** Évolution climatique récente, impacts et stratégies d'adaptation des populations dans les arrondissements de Sakal et de Ndande, dans la région de Louga. Thèse de doctorat unique, département de géographie, faculté des lettres et sciences humaines, école doctorale, études sur l'homme et la société (ET.HO.S), 456 p.

160. **Sané Tidiane (2003)** : La variabilité climatique et ses conséquences sur l'environnement et les activités humaines en Haute-Casamance. Thèse, université Cheikh Anta Diop de Dakar, 367 p.

161. **Sarr Mamadou Adama (2009) :** Évolution récente du climat et de la végétation au Sénégal (cas du bassin versant au Ferlo). Thèse, université Jean-Moulin Lyon III France – Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 401 p.

162. **Sirven Nicolas (2007) :** De la pauvreté à la vulnérabilité : Évolutions conceptuelles et méthodologiques, *Monde en développement*, 2007/4, 140, pp. 9-24.

163. **Sultan Benjamin (2004) :** La méningite à méningocoque au Mali et la circulation atmosphérique en Afrique de l'Ouest. Environnement, risques et Santé, vol. 3, n°1, pp. 21-32.

164. **Meddi Mohamed & Mahé Gil (2015) :** Evolution des pluies extrêmes dans le bassin du Chéliff (Algérie) au cours des 40 dernières années 1971-2010. Received: 15 April 2015 – Accepted: 15 April 2015 – Published: 11 June 2015, 06 p.

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

166. **Van Vyve Nathalie (2006) :** Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la pluie au Fakara, Niger, Travail de fin d'études présenté en vue d'obtention du grade de bio-ingénieur, 75 p.

167. **Van Ypersele & Jean Pascal (2006) :** « L'injustice fondamentale des changements climatiques ». *Alternatives Sud*, vol. 13, pp. 7-19.

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

169. **Vissin Expédit Wilfried (2007)** : Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne. Dijon, France, 285 p.

170. **Vissin Expédit Wilfried, Boko Michel, Perard Josline & Houndénou Constant, (2003) :** Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest). Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Besançon. Vol 15, pp. 368-376

171. **Wyss Kaspar (2006) :** Introduction : Santé et vulnérabilité des populations défavorisées en milieu urbain de l'Afrique de l'Ouest. Etudes de cas en Côte d'Ivoire, Mauritanie et au Tchad, [*VertigO] la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série 3, décembre, [En ligne] URL : http://vertigo.revues.org/1425 Format APA MLA Chicago (consulté le 16 octobre 2017).

172. **Yabi Ibouraïma (2002) :** Particularité de la variabilité pluviométrique entre le 7° et 8° de latitude nord au Bénin 95 p + annexes.

173. **Yabi Ibouraïma & Afouda Fulgence (2007) :** Variabilité des hauteurs et du nombre de jours de pluie dans la région de transition climatique béninoise. Climat et développement, Université d'Abomey-Calavi, n°001 pp. 13-22.

174. **Yabi Ibouraïma, Afouda Fulgence & Boko Michel (2004) :** Quelques particularités de la variabilité pluviométrique dans un climat de transition : Cas du département du Zou au Bénin (Afrique de l'Ouest). Actes du XVIIème colloque de l'association Internationale de climatologie, université de Caen Basse-Normandie en France, pp. 237-240.

Liste des encadrés

Encadré 1 : Perception d'un producteur sur l'importance des risques climatiques majeurs à Kouandé 134

Liste des figures

Figure 1: Motifs de préoccupation quant aux incidences projetées des changements climatiques..... 22
Figure 2 : Stratégies d'adaptation et de gestion des risques de catastrophes face ..... aux changements climatiques 26
Figure 3 : Les spatialités du territoire..... 40
Figure 4 : Schéma explicatif du concept résilience aux risques climatiques..... 42
Figure 5 : Répartition spatiale des stations retenues dans le département de l'Atacora 47
Figure 6 : Etapes méthodologiques de l'analyse fréquentielle..... 63
Figure 7 : Cadre conceptuel utilisé pour l'étude de la vulnérabilité dans le secteur de l'agriculture et des ressources en eau 67
Figure 8 : Cadre des moyens d'existence..... 71
Figure 9 : Capacité d'adaptation des paysans..... 72
Figure 10: Modèle PEIR appliquée à l'étude de la vulnérabilité des établissements humains dans le département de l'Atacora au Bénin 73
Figure 11: Situations géographique et administrative du département de l'Atacora. 77
Figure 12: Circulation générale et mousson ouest africaine..... 79
Figure 13 : Principaux champs de pression régissant la circulation ouest africaine en surface (état en janvier 2002)..... 80
Figure 14 : Principaux champs de vents régissant la circulation de la mousson ouest africaine..... 81
Figure 15 : Variation saisonnière de la Mousson Ouest Africaine 82
Figure 16: Régime pluviométrique moyen mensuel (1960-2015) dans l'Atacora..... 85
Figure 17 : Répartition spatiale des pluies annuelles dans le département de l'Atacora de 1960 à 2015..... 87
Figure 18: Formations géologiques du département de l'Atacora 89
Figure 19: Composantes pédologiques du département de l'Atacora 91
Figure 20: Réseau hydrographique du département de l'Atacora 94
Figure 21: Occupation du sol dans le département de l'Atacora en 1985 97
Figure 22: Occupation du sol dans le département de l'Atacora en 2020 98
Figure 23 : Evolution démographique du département de l'Atacora..... 101
Figure 24 : Evolution de la population par commune de 1979 à 2013..... 101
Figure 25: Densité de la population de l'Atacora par commune en 2015 102
Figure 26: Différents groupes sociolinguistiques dans le département de l'Atacora (app = apparenté)..... 105
Figure 27: Variabilité Interannuelle des précipitations annuelles..... 108

Figure 28 : Test de rupture de stationnarité dans les séries pluviométriques du ..... département de l'Atacora..... 110
Figure 29 : Variabilité Interannuelle des indices pluviométriques PX1J et PX5J 112
Figure 30 : Variabilité interannuelle de la fréquence des précipitations intenses (P95) et précipitations extrêmes (P99)..... 114
Figure 31: Variabilité interannuelle des indices de précipitations intenses et extrêmes (P95p, P99p) 115
Figure 32: Courbe d'Ajustement des séries ponctuelles constituées à la loi GEV.. 119
Figure 33: Répartition spatiale des précipitations extrêmes dans le département de l'Atacora..... 126
Figure 34: Répartition spatiale des précipitations intenses dans le département de l'Atacora..... 127
Figure 35 : Risques pluviométriques majeurs sur les établissements humains dans le département de l'Atacora..... 132
Figure 36 : Ecart en pourcentage (%) des rendements futurs et des rendements moyens actuels (1995-2015) dans l'Atacora..... 143
Figure 37: Perception de l'évolution des pluies dans le département de l'Atacora . 148
Figure 38 : Perception de la durée des saisons des pluies dans le département de l'Atacora..... 149
Figure 39 : Perception du démarrage des saisons des pluies département de l'Atacora..... 150
Figure 40 : Perception des raisons de renversement de la pluie dans le département de l'Atacora..... 151
Figure 41 : Appréciation des pluies violentes dans le secteur d'étude 152
Figure 42 : Provenance des semences des variétés de maïs semé par les paysans 155
Figure 43 : Raisons de choix de la variété du maïs par les populations 156
Figure 44 : Principales raisons d'adoption des deux variétés d'igname dans l'Atacora 157

Liste des photos

Photo 1 : Semis échelonnés dans un champ à Boukoumbé..... 159

Liste des planches

Planche 1 : Cassure et terrassement de plants de sorgho à Kouandé (1.1) et terrassement de plants de maïs à Péhunco (1.2)..... 138
Planche 2 : Arbre déraciné (2.1), destruction d'une habitation à Toucountouna (2.2) et un bâtiment décoiffé à Cobly (2.3)..... 139
Planche 3 : Pâturage des bœufs à Ouassa-Péhunco..... 140
Planche 4 : Culture de Sorgho à Dikon-Hein (4.1) et culture du riz à Kounacogou (4.2) dans des bas-fonds..... 160
Planche 5 : Association de cultures à Péhunco..... 164

Liste des tableaux

Tableau I : Caractéristiques des stations et postes dont les données ont été utilisées 45
Tableau II : Répartition des ménages interrogés 51
Tableau III : Barème d'évaluation des risques climatiques 68
Tableau IV : Présentation formelle d'une matrice de sensibilité 69
Tableau V : Barème de notation des indicateurs socio-économiques 72
Tableau VI: Evolution des unités d'occupation du sol de 1995 et 2006 99
Tableau VII : Taux de régression annuel es formations végétales dans l'Atacora.. 106
Tableau VIII : Pluviométries annuelles et déficits aux différentes sous-périodes.... 111
Tableau IX: Statistiques descriptives des indices RX1J 117
Tableau X: Statistiques descriptives des indices RX5J 117
Tableau XI : Valeurs des paramètres d'ajustement par la loi GEV 120
Tableau XII: Quantiles des précipitations maximales calculées (mm) 121
Tableau XIII: Précipitations caractéristiques d'évènements pluvieux extrêmes et intenses 125
Tableau XIV*:* Caractérisation des risques pluviométriques dans le département de l'Atacora 133
Tableau XV : Matrice de sensibilité des étabilissements humains..... 135
Tableau XVI : Matrice de sensibilité des activités agricoles..... 135
Tableau XVII: Matrice de sensibilité de la production animale..... 136
Tableau XVIII *:* Variation des indices agro-climatiques (1981-2010 et 2045) dans l'Atacora 142
Tableau XIX : Synthèse des mesures d'adaptation mises en œuvre par les populations de l'Atacora et résultats obtenus 153
Tableau XX : Calendrier traditionnel : 1960- 2000 162
Tableau XXI: Calendrier réaménagé 163
Tableau XXII : Limites des mesures adoptées pour l'adaptation des établissements humains 167
Tableau XXIII : Besoins d'adaptation ressentis mais non satisfaits faute de ressources dans le département de l'Atacora 176
Tableau XXIV : Options d'adaptation identifiées dans l'Atacora 177
Tableau XXV : Options prioritaires d'adaptation dans le département de l'Atacora 178
Tableau XXVI : Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des options prioritaires . 179

Liste des publications

1. AKINDELE Akibou A., **KOUTON G. Aristide**, OGOUWALE Euloge et. CLEDJO Placide F. G. A. (2012) : Inondations dans le Grand Cotonou : Facteurs pluviométriques déclencheurs et actions individuelles amplificatrices. In revue Annales FLASH vol2, N°18 de décembre 2012 ; pp. 272-281

2. **KOUTON G. Aristide**, OUOROU-BARRE Imorou, GOUNOU Hadi et CLEDJO Placide F. G. A. (2012) : Exploitation des carrières de sable et mutations environnementales dans l'arrondissement de Perma. In revue Annales FLASH vol1, N°18 de décembre 2012 ; pp. 223-241

3. **KOUTON G. Aristide**, DOHOU Béatrice CODJO H. Thierry et OGOUWALE Euloge (2013) : Incidences de l'érosion pluviale sur les infrastructures socio-communautaires et stratégies adaptatives dans la ville de Porto-Novo. In revue Annales FLASH vol1, N°19 de décembre 2013 ; pp. 223-239

4. DONOU T. Blaise, ISSA Maman-Sani, **KOUTON G. Aristide**, YABI Ibouraïma et OGOUWALE Euloge (2013) : Vulnérabilité saisonnière de la production agricole du bassin inférieur du fleuve Ouémé face aux déficits pluviométriques. In revue Annales FLASH vol3, N°19 de décembre 2013 ; pp. 116-128

5. CODJO H. Thierry, CLEDJO Placide F. G. A., **KOUTON G. Aristide**, LAMODI Félix, HOUEDANOU Séraphin, DAOUDOU Aaron et OGOUWALE Euloge (2013) : Incidences environnementales des stratégies paysannes d'adaptation aux risques climatiques dans la commune de Pobè. In revue Annales FLASH vol3, N°19 de décembre 2013 ; pp. 41-50

6. CODJO H. Thierry, AKPLOGAN Cyrille, **KOUTON G. Aristide**, LOUGBEGNON Toussaint et OGOUWALE Euloge (2014) : Phénologies d'apparition de *gallinula chloropus* dans le bas delta de l'Ouémé. In revue Annales FLASH vol1, N°20 de décembre 2014 ; pp. 68-78

7. **KOUTON G. Aristide**, YABI Ibouraïma, OGOUWALE Euloge et AFOUDA Fulgence (2014) : Extrêmes pluviométriques journaliers dans le Nord-Bénin de 1951 à 2010. In revue Annales FLASH vol2, N°20 de décembre 2014 ; pp. 232-249

8. DJEVI Joseph Fanakpon, AKINDELE Akibou A., **KOUTON G. Aristide**, YABI Ibouraïma et AFOUDA Fulgence (2015) : Savoirs et connaissances des communautés rurales du département de la Donga sur les Types de temps saisonniers. In revue Annales FLASH vol1, N°21 de décembre 2015 ; pp. 237-249

9. CODJO Thierry H., AKINDELE Akibou A., **KOUTON G. Aristide**, OGOUWALE Euloge et AGBOSSOU Euloge (2016) : Indicateurs pluvio-thermométriques des changements climatiques dans la basse vallée de l'Ouémé. In revue Annales FLASH vol1, N° 22 de décembre 2016 ; pp. 276-291

Annexes

Annexe 1 : Résultats des tests statistiques réalisés

- **indice.RX1day**

Poste_Porga

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	36.0
Maximum	142
Moyenne	73.7
Ecart-type	28.0
Médiane	63.5
Coefficient de variation (Cv)	0.381
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.730
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.35

Poste_Porga

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations : 56

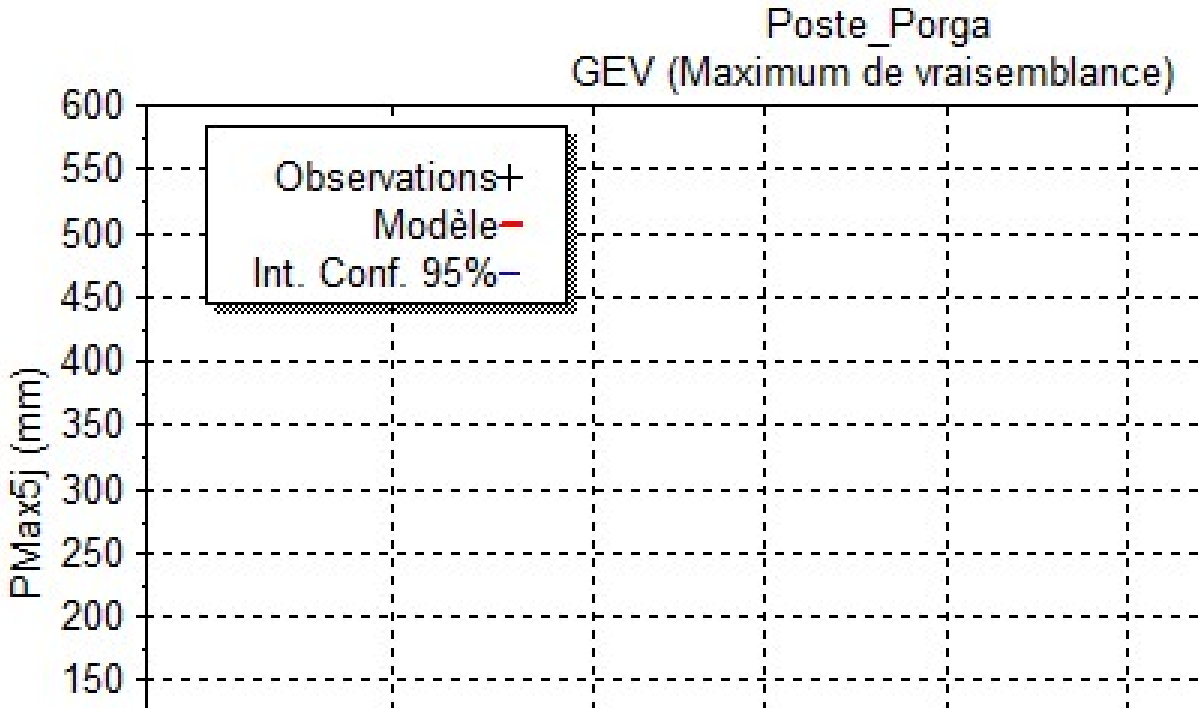
Paramètres

alpha	19.334024
k	-0.173582
u	59.005031

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	499	268	N/D	N/D
2000.0	0.9995	364	149	N/D	N/D
1000.0	0.9990	317	113	N/D	N/D
200.0	0.9950	227	55.6	N/D	N/D
100.0	0.9900	195	39.2	118	272
50.0	0.9800	167	26.8	114	219
20.0	0.9500	134	15.3	104	164
10.0	0.9000	112	9.68	93.3	131
5.0	0.8000	92.1	6.07	80.2	104
3.0	0.6667	77.9	4.40	69.3	86.5
2.0	0.5000	66.3	3.43	59.6	73.0
1.4286	0.3000	55.5	2.70	50.2	60.8
1.2500	0.2000	50.2	2.45	45.4	55.0

1.1111	0.1000	44.0	2.35	39.4	48.6
1.0526	0.0500	39.7	2.48	34.8	44.6
1.0204	0.0200	35.5	2.82	30.0	41.0
1.0101	0.0100	33.1	3.11	27.0	39.2
1.0050	0.0050	31.0	3.41	24.3	37.7
1.0010	0.0010	27.3	4.07	19.3	35.2
1.0005	0.0005	26.0	4.33	17.5	34.4
1.0001	0.0001	23.4	4.90	13.8	33.0



Poste_Kérou

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	35.0
Maximum	147
Moyenne	80.3
Ecart-type	21.8
Médiane	76.0
Coefficient de variation (Cv)	0.271
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.795
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.85

Poste_Kérou

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

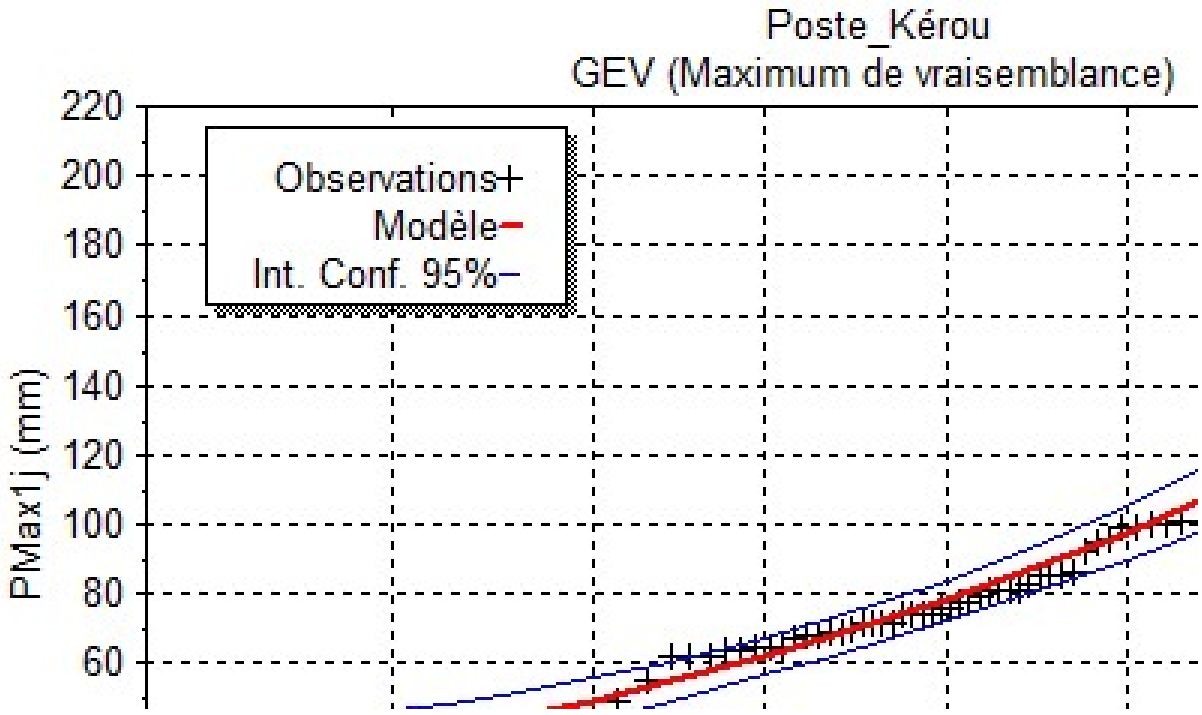
Paramètres

alpha	18.884217
k	0.104606
u	71.319266

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	183	33.1	N/D	N/D
2000.0	0.9995	170	24.9	N/D	N/D
1000.0	0.9990	164	21.4	122	206
200.0	0.9950	148	14.1	120	176
100.0	0.9900	140	11.4	118	163
50.0	0.9800	132	8.93	114	149
20.0	0.9500	120	6.30	107	132
10.0	0.9000	109	4.86	99.7	119
5.0	0.8000	97.5	3.89	89.9	105
3.0	0.6667	87.6	3.38	81.0	94.2
2.0	0.5000	78.1	3.00	72.2	84.0
1.4286	0.3000	67.8	2.72	62.4	73.1
1.2500	0.2000	62.1	2.69	56.8	67.4
1.1111	0.1000	54.9	2.90	49.2	60.5
1.0526	0.0500	49.4	3.28	42.9	55.8
1.0204	0.0200	43.6	3.91	36.0	51.3
1.0101	0.0100	40.0	4.40	31.4	48.7
1.0050	0.0050	36.9	4.89	27.3	46.5
1.0010	0.0010	30.9	5.98	19.2	42.6
1.0005	0.0005	28.7	6.42	16.1	41.2

1.0001 0.0001 24.1 7.38 9.64 38.6



Poste_Tanguiéta

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	42.0
Maximum	144
Moyenne	80.4
Ecart-type	24.0
Médiane	77.0
Coefficient de variation (Cv)	0.298
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.759
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.90

Poste_Tanguiéta

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

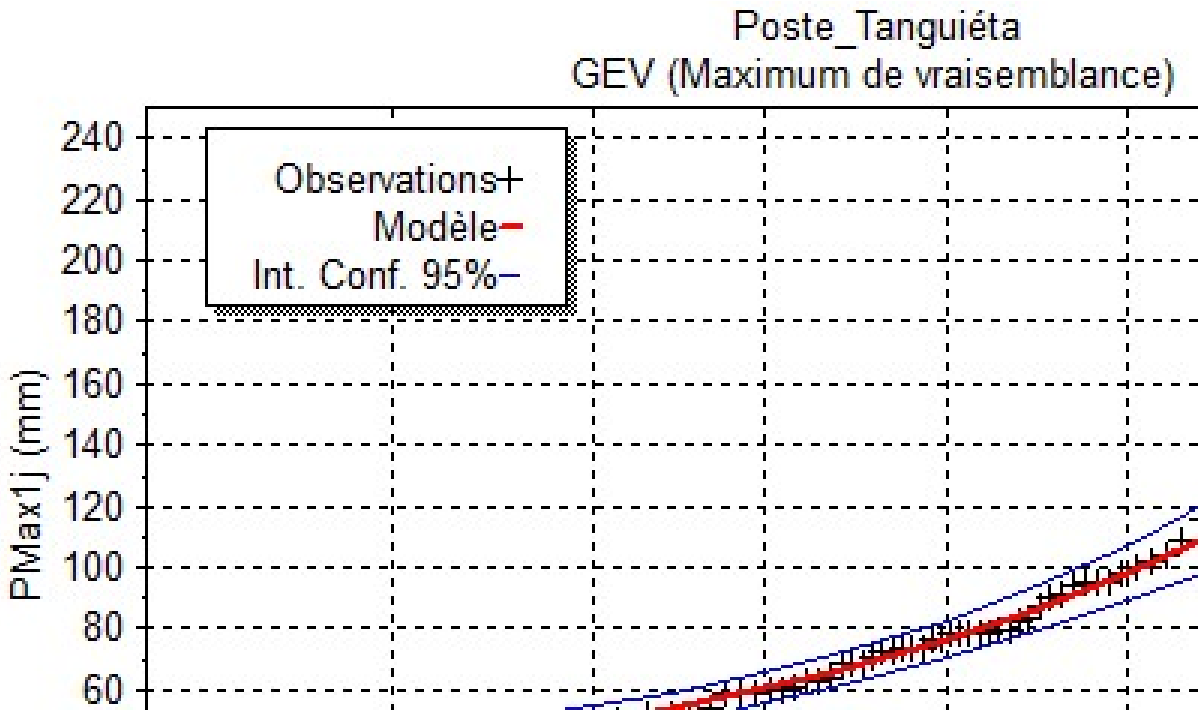
Paramètres

alpha	18.958800
k	0.008246
u	69.527967

Quantiles

q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)		
10000.0		0.9999	238	66.9	N/D	N/D
2000.0		0.9995	209	45.8	N/D	N/D
1000.0		0.9990	197	38.0	N/D	N/D
200.0		0.9950	168	22.8	123	213
100.0		0.9900	155	17.6	121	190
50.0		0.9800	142	13.2	117	168
20.0		0.9500	125	8.60	108	142
10.0		0.9000	112	6.15	99.7	124
5.0	0.8000	97.8	4.51	88.9	107	
3.0	0.6667	86.6	3.69	79.3	93.8	
2.0	0.5000	76.5	3.14	70.3	82.6	
1.4286		0.3000	66.0	2.70	60.7	71.3
1.2500		0.2000	60.5	2.59	55.4	65.6
1.1111		0.1000	53.7	2.68	48.4	58.9
1.0526		0.0500	48.6	2.97	42.8	54.4
1.0204		0.0200	43.5	3.48	36.7	50.3
1.0101		0.0100	40.4	3.89	32.8	48.0
1.0050		0.0050	37.7	4.31	29.3	46.1
1.0010		0.0010	32.6	5.22	22.4	42.8
1.0005		0.0005	30.8	5.59	19.8	41.7
1.0001		0.0001	27.0	6.40	14.5	39.6



Poste_Kouandé

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	46.0
Maximum	141
Moyenne	82.1
Ecart-type	21.1
Médiane	79.0
Coefficient de variation (Cv)	0.257
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.626
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.93

Poste_Kouandé

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

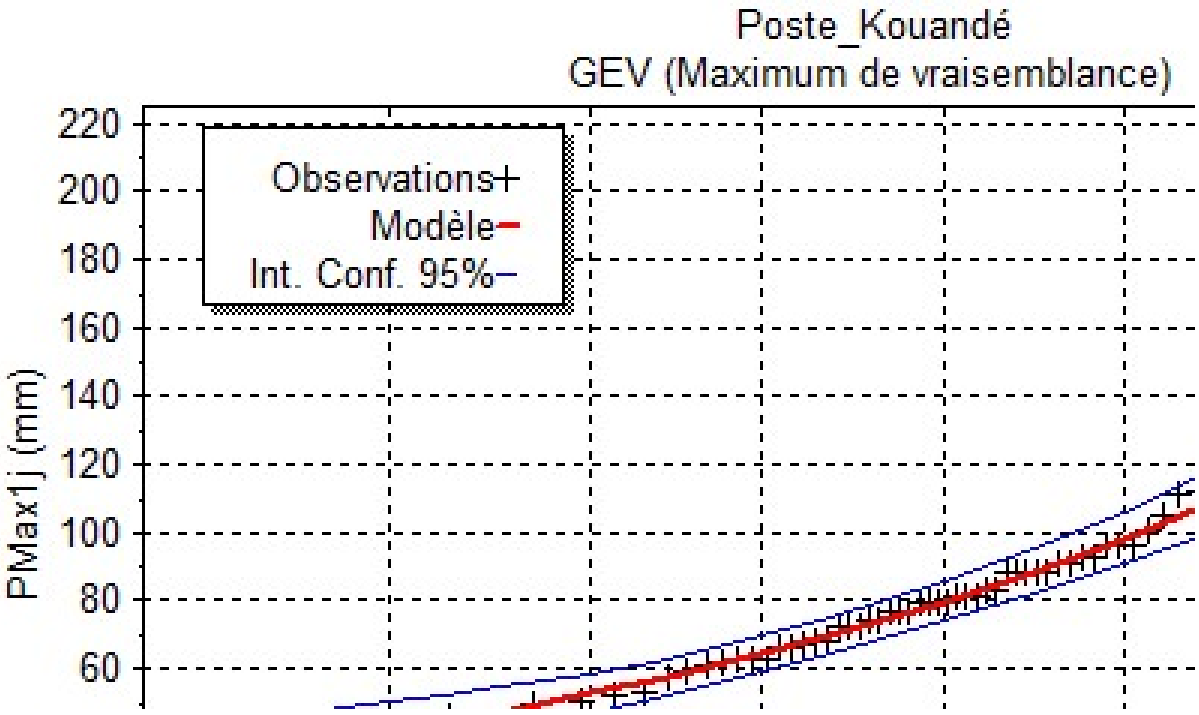
Paramètres

alpha	17.895830
k	0.084585
u	73.078337

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	188	36.2	N/D	N/D
2000.0	0.9995	173	26.7	N/D	N/D
1000.0	0.9990	167	22.9	122	212
200.0	0.9950	149	14.8	120	179
100.0	0.9900	141	11.8	118	164
50.0	0.9800	133	9.18	115	151
20.0	0.9500	120	6.37	108	133
10.0	0.9000	110	4.83	100	119
5.0	0.8000	98.3	3.80	90.8	106
3.0	0.6667	88.6	3.26	82.2	95.0
2.0	0.5000	79.5	2.87	73.9	85.2
1.4286	0.3000	69.7	2.57	64.7	74.8
1.2500	0.2000	64.4	2.53	59.4	69.3
1.1111	0.1000	57.6	2.70	52.3	62.9
1.0526	0.0500	52.5	3.05	46.5	58.5
1.0204	0.0200	47.2	3.61	40.1	54.3
1.0101	0.0100	43.9	4.06	35.9	51.9
1.0050	0.0050	41.0	4.51	32.2	49.9
1.0010	0.0010	35.5	5.50	24.7	46.3
1.0005	0.0005	33.5	5.91	21.9	45.1

1.0001 0.0001 29.4 6.79 16.1 42.7



Poste_Natitingou

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	45.0
Maximum	142
Moyenne	81.9
Ecart-type	22.0
Médiane	78.0
Coefficient de variation (Cv)	0.268
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.600
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.85

Poste_Natitingou

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

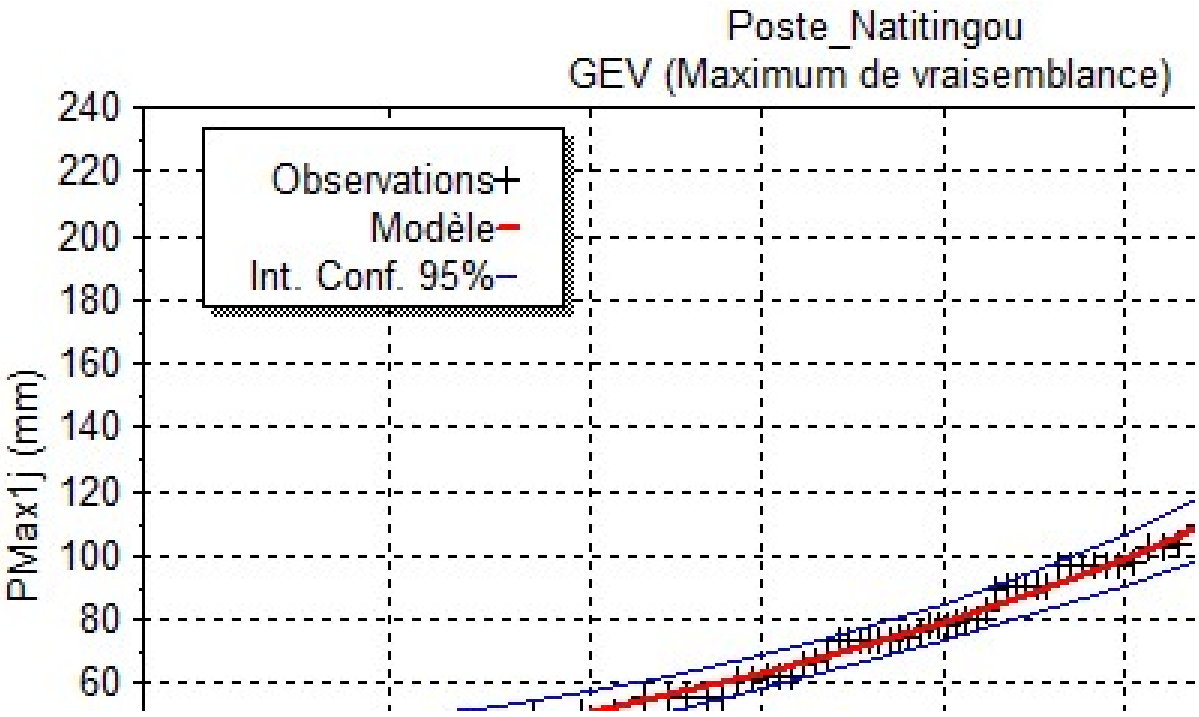
Nombre d'observations: 56

Paramètres

alpha	18.495084
k	0.074050
u	72.360185

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)		
10000.0	0.9999	196	40.4	N/D	N/D	
2000.0	0.9995	180	29.5	N/D	N/D	
1000.0	0.9990	172	25.2	123	222	
200.0	0.9950	153	16.1	122	185	
100.0	0.9900	144	12.8	119	170	
50.0	0.9800	135	9.90	116	154	
20.0	0.9500	122	6.81	108	135	
10.0	0.9000	111	5.12	101	121	
5.0	0.8000	98.6	3.99	90.8	106	
3.0	0.6667	88.5	3.40	81.9	95.2	
2.0	0.5000	79.0	2.98	73.2	84.9	
1.4286	0.3000	68.9	2.66	63.7	74.1	
1.2500	0.2000	63.4	2.60	58.3	68.5	
1.1111	0.1000	56.4	2.76	51.0	61.9	
1.0526	0.0500	51.2	3.11	45.1	57.3	
1.0204	0.0200	45.8	3.69	38.6	53.0	
1.0101	0.0100	42.5	4.14	34.3	50.6	
1.0050	0.0050	39.5	4.60	30.5	48.5	
1.0010	0.0010	33.9	5.60	23.0	44.9	
1.0005	0.0005	31.9	6.01	20.1	43.7	
1.0001	0.0001	27.7	6.90	14.2	41.3	



Poste_Boukoumbé

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	48.0
Maximum	124
Moyenne	81.8
Ecart-type	20.5
Médiane	80.0
Coefficient de variation (Cv)	0.251
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.169
Coefficient d'aplatissement (Ck)	1.99

Poste_Boukoumbé

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

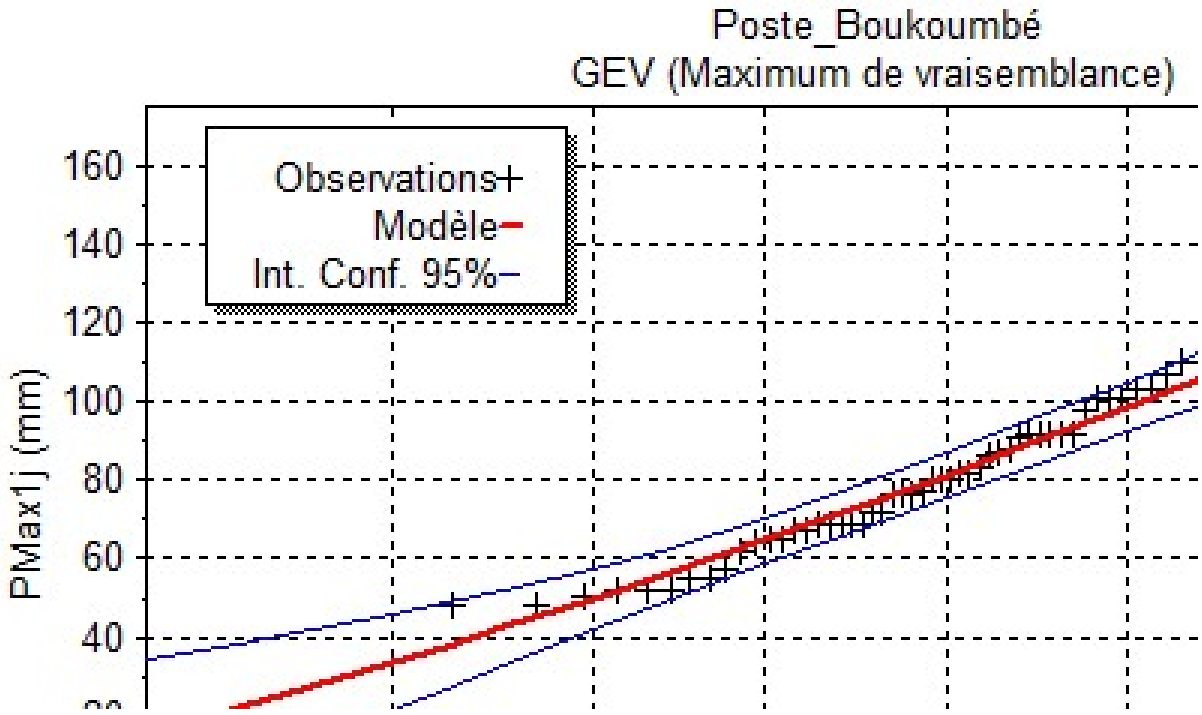
Paramètres

alpha	19.588528
k	0.260849
u	74.430556

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	143	11.1	121	165
2000.0	0.9995	139	9.38	121	158
1000.0	0.9990	137	8.53	120	154
200.0	0.9950	131	6.44	118	143
100.0	0.9900	127	5.55	116	138
50.0	0.9800	122	4.74	113	132
20.0	0.9500	115	3.88	107	123
10.0	0.9000	108	3.45	101	115
5.0	0.8000	98.7	3.19	92.5	105
3.0	0.6667	90.2	3.04	84.2	96.1
2.0	0.5000	81.3	2.90	75.6	87.0
1.4286	0.3000	70.7	2.86	65.1	76.3
1.2500	0.2000	64.5	2.98	58.7	70.4
1.1111	0.1000	56.2	3.42	49.5	62.9
1.0526	0.0500	49.5	4.02	41.7	57.4
1.0204	0.0200	42.3	4.89	32.8	51.9
1.0101	0.0100	37.7	5.56	26.8	48.6
1.0050	0.0050	33.5	6.23	21.3	45.7
1.0010	0.0010	25.2	7.72	10.1	40.3

1.0005	0.0005	22.1	8.33	5.72	38.4
1.0001	0.0001	15.5	9.69	-3.49	34.5



- **indice.RX5day**

Poste_Porga

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	61.0
Maximum	252
Moyenne	128
Ecart-type	42.7
Médiane	124
Coefficient de variation (Cv)	0.334
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.773
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3.22

Poste_Porga

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

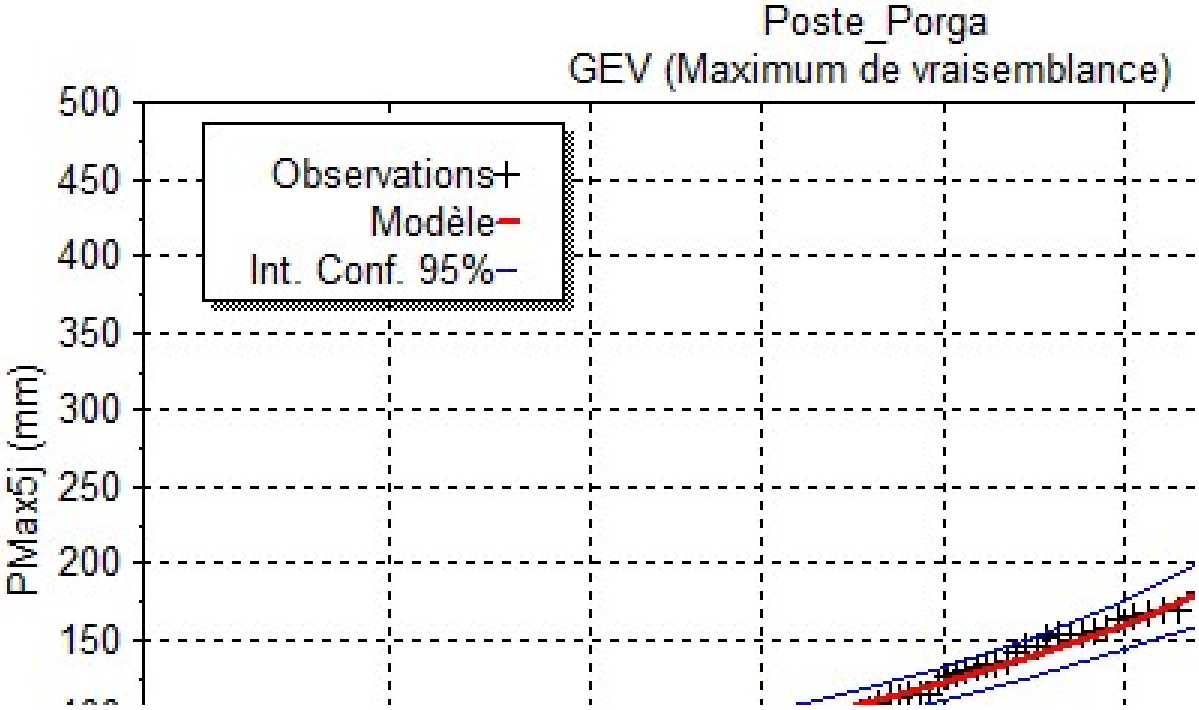
Nombre d'observations: 56

Paramètres

alpha 33.974169
k 0.012199
u 108.535984

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)		
10000.0	0.9999	405	116	N/D	N/D	
2000.0	0.9995	355	80.1	N/D	N/D	
1000.0	0.9990	334	66.6	N/D	N/D	
200.0	0.9950	283	40.1	204	361	
100.0	0.9900	261	31.0	200	321	
50.0	0.9800	238	23.2	192	284	
20.0	0.9500	208	15.2	178	237	
10.0	0.9000	184	10.9	163	205	
5.0	0.8000	159	8.04	143	175	
3.0	0.6667	139	6.59	126	152	
2.0	0.5000	121	5.62	110	132	
1.4286	0.3000	102	4.85	92.7	112	
1.2500	0.2000	92.3	4.65	83.2	101	
1.1111	0.1000	80.1	4.81	70.6	89.5	
1.0526	0.0500	71.0	5.34	60.5	81.5	
1.0204	0.0200	61.8	6.26	49.5	74.1	
1.0101	0.0100	56.2	7.01	42.4	69.9	
1.0050	0.0050	51.3	7.76	36.1	66.5	
1.0010	0.0010	42.1	9.41	23.6	60.5	
1.0005	0.0005	38.8	10.1	19.0	58.5	
1.0001	0.0001	32.1	11.5	9.46	54.7	



Poste_Kérou

Statistiques de base Nombre d'observations 56

Minimum	73.0
Maximum	267
Moyenne	139
Ecart-type	35.9
Médiane	136
Coefficient de variation (Cv)	0.258
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.11
Coefficient d'aplatissement (Ck)	4.71

Poste_Kérou

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

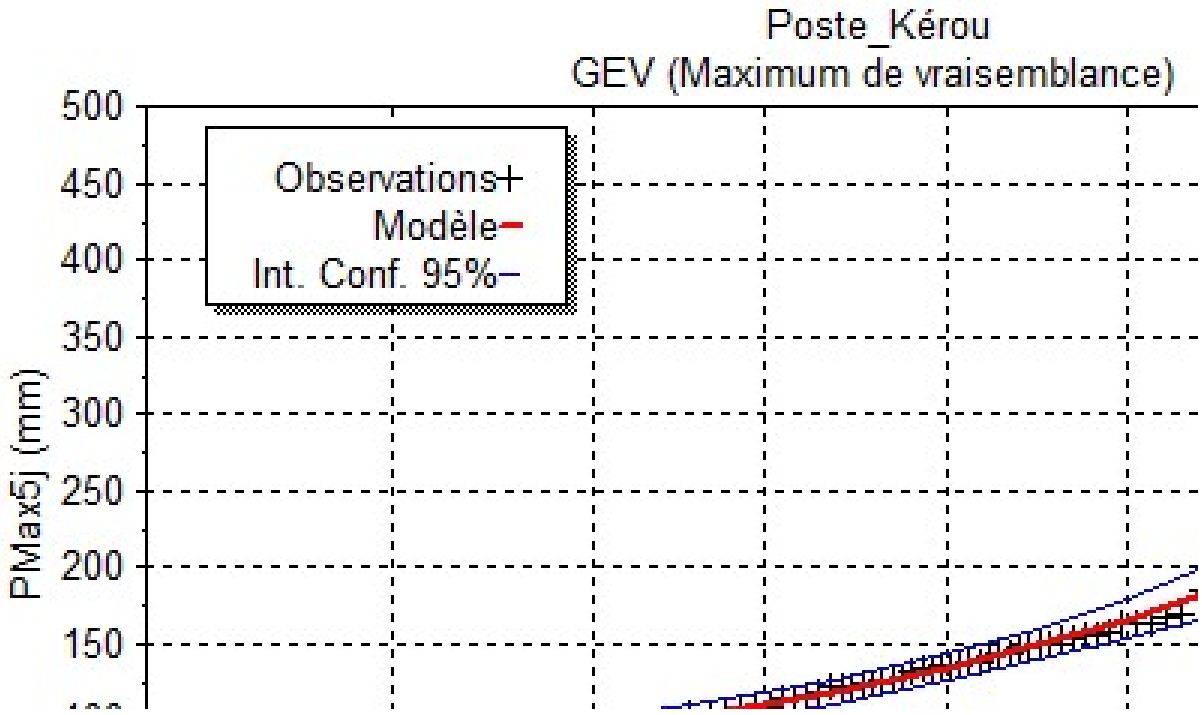
Paramètres

alpha	28.617222
k	0.029558
u	123.574598

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)		
10000.0	0.9999	354	86.2	N/D	N/D	
2000.0	0.9995	318	60.4	N/D	N/D	
1000.0	0.9990	302	50.6	203	402	
200.0	0.9950	264	31.0	203	325	
100.0	0.9900	247	24.2	199	294	
50.0	0.9800	229	18.3	193	265	
20.0	0.9500	205	12.1	181	229	
10.0	0.9000	186	8.83	169	203	
5.0	0.8000	166	6.60	153	178	
3.0	0.6667	149	5.46	138	160	
2.0	0.5000	134	4.69	125	143	
1.4286	0.3000	118	4.09	110	126	
1.2500	0.2000	110	3.94	102	118	
1.1111	0.1000	99.4	4.12	91.3	107	
1.0526	0.0500	91.7	4.59	82.7	101	
1.0204	0.0200	83.7	5.39	73.2	94.3	
1.0101	0.0100	78.9	6.04	67.0	90.7	
1.0050	0.0050	74.7	6.69	61.5	87.8	
1.0010	0.0010	66.7	8.12	50.7	82.6	

1.0005	0.0005	63.8	8.70	46.7	80.8
1.0001	0.0001	57.9	9.97	38.4	77.4



Poste_Tanguiéta

Statistiques de base		Nombre d'observations	56
Minimum	69.0		
Maximum	273		
Moyenne	141		
Ecart-type	40.1		
Médiane	135		
Coefficient de variation (Cv)		0.285	
Coefficient d'asymétrie (Cs)		0.935	
Coefficient d'aplatissement (Ck)		3.97	

Poste_Tanguiéta

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

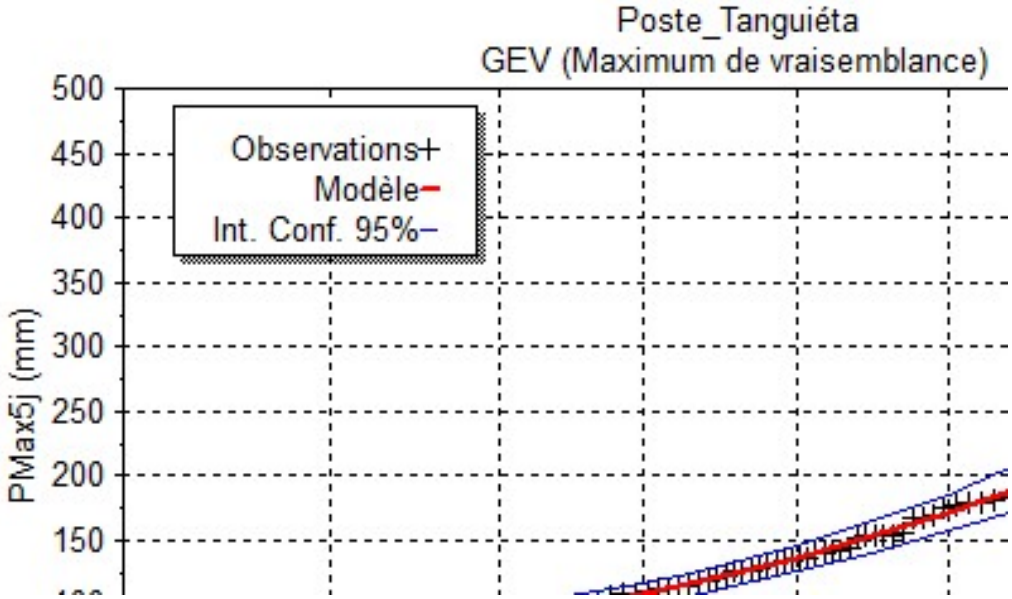
Nombre d'observations: 56

Paramètres

alpha 32.447280
k 0.040033
u 123.308590

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)		
10000.0	0.9999	373	90.5	N/D	N/D	
2000.0	0.9995	336	64.1	N/D	N/D	
1000.0	0.9990	319	53.9	213	425	
200.0	0.9950	278	33.4	213	344	
100.0	0.9900	260	26.1	208	311	
50.0	0.9800	241	19.9	202	279	
20.0	0.9500	214	13.3	188	240	
10.0	0.9000	193	9.77	174	212	
5.0	0.8000	171	7.36	156	185	
3.0	0.6667	152	6.14	140	164	
2.0	0.5000	135	5.30	125	145	
1.4286	0.3000	117	4.64	108	126	
1.2500	0.2000	108	4.49	98.9	117	
1.1111	0.1000	95.8	4.71	86.6	105	
1.0526	0.0500	86.9	5.26	76.6	97.2	
1.0204	0.0200	77.8	6.20	65.7	90.0	
1.0101	0.0100	72.2	6.95	58.6	85.8	
1.0050	0.0050	67.4	7.69	52.3	82.4	
1.0010	0.0010	58.1	9.35	39.8	76.4	
1.0005	0.0005	54.8	10.0	35.1	74.4	
1.0001	0.0001	48.0	11.5	25.5	70.5	



Poste_Kouandé

Statistiques de base Nombre d'observations 56
Minimum 69.0
Maximum 239
Moyenne 150
Ecart-type 36.3
Médiane 143
Coefficient de variation (Cv) 0.242
Coefficient d'asymétrie (Cs) 0.271
Coefficient d'aplatissement (Ck) 2.80

Poste_Kouandé

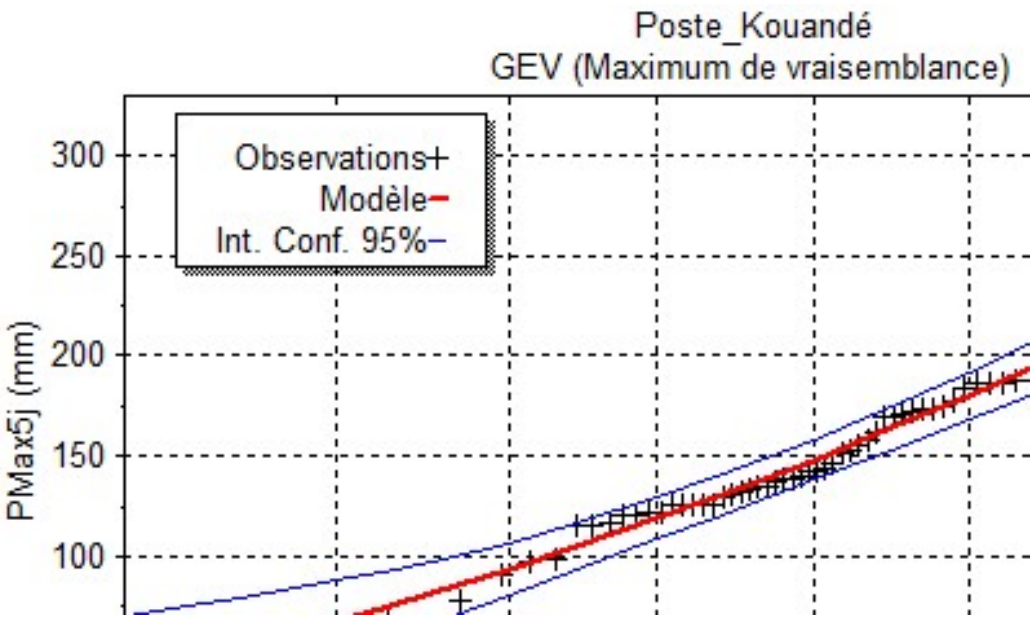
Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

Paramètres
alpha 34.327247
k 0.210995
u 135.985936
Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	275	28.1	N/D	N/D
2000.0	0.9995	266	22.9	221	311
1000.0	0.9990	261	20.5	221	301
200.0	0.9950	245	14.8	216	275
100.0	0.9900	237	12.5	213	262
50.0	0.9800	227	10.4	207	248
20.0	0.9500	212	8.05	196	228
10.0	0.9000	197	6.82	184	211
5.0	0.8000	180	6.03	168	192
3.0	0.6667	164	5.58	153	175
2.0	0.5000	148	5.21	138	158
1.4286	0.3000	129	4.99	120	139
1.2500	0.2000	119	5.12	109	129
1.1111	0.1000	105	5.76	93.4	116
1.0526	0.0500	93.6	6.68	80.5	107
1.0204	0.0200	81.7	8.08	65.9	97.6
1.0101	0.0100	74.1	9.16	56.2	92.1
1.0050	0.0050	67.4	10.2	47.3	87.4
1.0010	0.0010	54.1	12.6	29.3	78.8
1.0005	0.0005	49.1	13.6	22.4	75.8
1.0001	0.0001	38.8	15.8	7.85	69.7



Poste_Natitingou

Statistiques de base		Nombre d'observations	56
Minimum	89.0		
Maximum	257		
Moyenne	152		
Ecart-type	41.1		
Médiane	149		
Coefficient de variation (Cv)		0.271	
Coefficient d'asymétrie (Cs)		0.488	
Coefficient d'aplatissement (Ck)		2.41	

Poste_Natitingou

Résultats de l'ajustement

GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

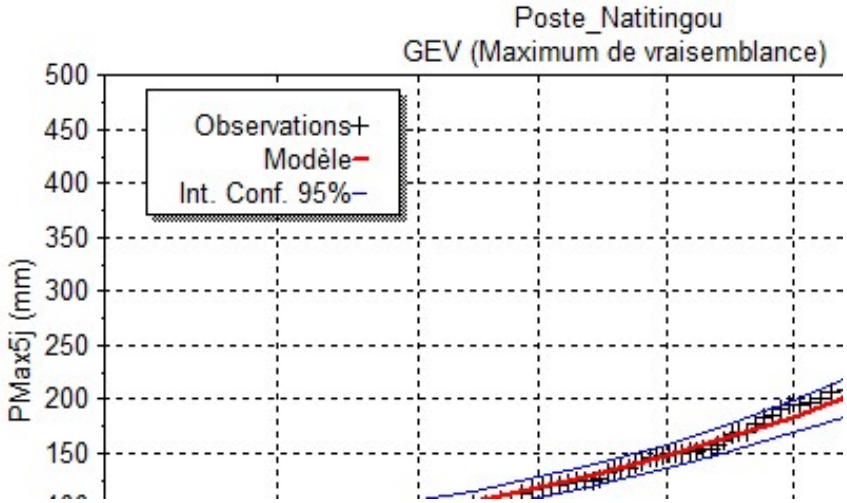
Paramètres

alpha	34.987251
k	0.089145
u	133.927377

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	354	68.5	N/D	N/D
2000.0	0.9995	327	50.8	N/D	N/D

1000.0	0.9990	314	43.5	229	400
200.0	0.9950	282	28.3	226	337
100.0	0.9900	266	22.6	222	310
50.0	0.9800	249	17.6	215	284
20.0	0.9500	225	12.3	201	249
10.0	0.9000	205	9.35	187	224
5.0	0.8000	183	7.37	169	197
3.0	0.6667	164	6.34	152	177
2.0	0.5000	147	5.60	136	158
1.4286	0.3000	127	5.03	118	137
1.2500	0.2000	117	4.95	107	127
1.1111	0.1000	104	5.30	93.3	114
1.0526	0.0500	93.6	5.99	81.9	105
1.0204	0.0200	83.2	7.10	69.3	97.1
1.0101	0.0100	76.7	7.99	61.0	92.4
1.0050	0.0050	71.0	8.87	53.6	88.4
1.0010	0.0010	60.1	10.8	38.9	81.4
1.0005	0.0005	56.1	11.6	33.4	78.9
1.0001	0.0001	48.0	13.4	21.8	74.2



Poste_Boukoumbé

Statistiques de base		Nombre d'observations	56
Minimum	77.0		
Maximum	207		
Moyenne	133		
Ecart-type	30.4		
Médiane	130		
Coefficient de variation (Cv)		0.228	
Coefficient d'asymétrie (Cs)		0.409	
Coefficient d'aplatissement (Ck)		2.55	

Poste_Boukoumbé

Résultats de l'ajustement

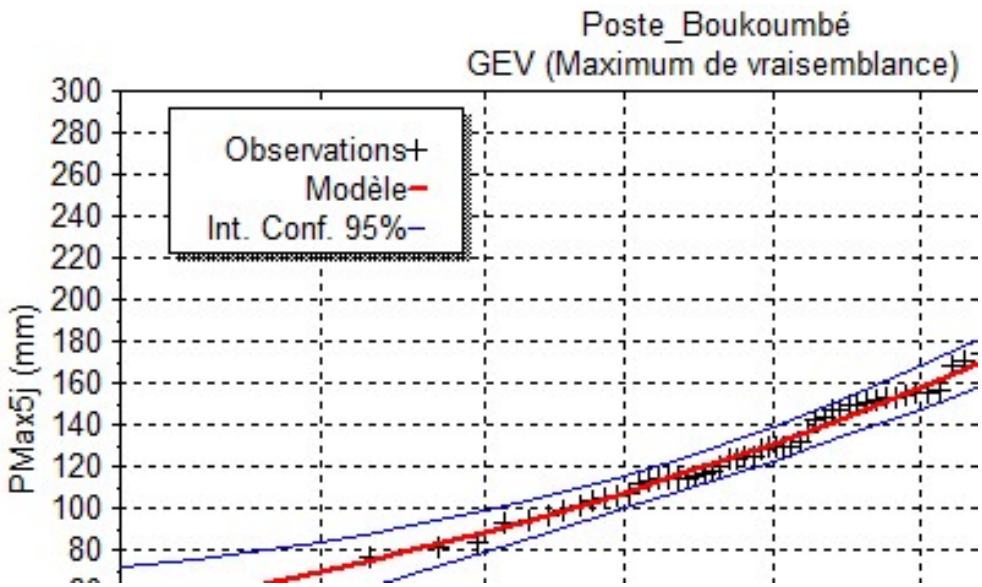
GEV (Maximum de vraisemblance)

Nombre d'observations: 56

Paramètres
alpha 27.265571
k 0.152561
u 121.103206

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	XT	Ecart-type	Intervalle de confiance (95%)	
10000.0	0.9999	256	33.9	N/D	N/D
2000.0	0.9995	244	26.5	N/D	N/D
1000.0	0.9990	238	23.3	192	283
200.0	0.9950	220	16.0	189	252
100.0	0.9900	211	13.2	185	237
50.0	0.9800	201	10.6	181	222
20.0	0.9500	186	7.77	171	201
10.0	0.9000	173	6.25	161	185
5.0	0.8000	158	5.22	147	168
3.0	0.6667	144	4.67	135	153
2.0	0.5000	131	4.25	122	139
1.4286	0.3000	116	3.94	108	124
1.2500	0.2000	108	3.96	99.9	115
1.1111	0.1000	96.9	4.35	88.3	105
1.0526	0.0500	88.5	4.99	78.8	98.3
1.0204	0.0200	79.8	5.98	68.0	91.5
1.0101	0.0100	74.2	6.76	61.0	87.5
1.0050	0.0050	69.3	7.53	54.6	84.1
1.0010	0.0010	59.8	9.24	41.7	77.9
1.0005	0.0005	56.3	9.93	36.8	75.8
1.0001	0.0001	49.0	11.5	26.6	71.5



Annexe 2 : Indices utilisés

Indices RR

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1960	603	832	804	1006	976	1216
1961	806	983	1208	1195	1296	977
1962	1131	1262	1097	1337	1025	1135
1963	1129	1845	1394	1862	1659	1621
1964	1177	1529	1285	1517	1560	1314
1965	683	842	661	817	675	950
1966	631	1325	986	1085	1100	1164
1967	626	916	760	1002	861	1075
1968	1342	1204	932	1481	1143	1137
1969	994	1332	1182	1560	1206	984
1970	803	1282	1470	1615	1370	1402
1971	1025	1131	1193	1211	992	1166
1972	1018	1297	1052	1017	1136	1178
1973	782	1223	1041	1317	916	1258
1974	1078	1261	1243	1200	1165	1380
1975	461	1082	805	873	852	671
1976	1191	1599	1376	1334	1337	1412
1977	1242	1419	1203	1463	1598	1089
1978	735	1108	1208	1101	1418	1329
1979	1223	1294	1099	1170	1091	1003
1980	1179	1955	1522	1850	1997	1885
1981	1126	1323	882	1610	990	1537
1982	992	1149	838	1295	1161	731
1983	763	1012	1042	1114	988	1149

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1984	930	1340	1157	1212	1427	1381
1985	922	1070	1186	1080	995	1068
1986	1237	1615	1276	1436	1416	1657
1987	1029	1439	1238	1387	1249	1517
1988	1074	1088	1338	1192	1249	1558
1989	1500	1497	1460	1497	1359	1179
1990	1042	1374	1324	1480	1386	1425
1991	895	1006	1025	1061	889	1307
1992	760	1182	791	1103	1071	893
1993	910	1324	1515	1376	1454	1241
1994	812	1190	1288	1442	1254	1109
1995	924	1096	949	1057	1095	1075
1996	1018	1191	1239	1351	1366	1137
1997	611	1087	876	1033	1088	1047
1998	854	1208	1105	1226	1462	1066
1999	794	1214	1010	1013	1041	1058
2000	951	1087	989	1126	1083	1136
2001	915	1079	1229	1343	963	1014
2002	1077	1564	1514	1618	1455	1281
2003	1242	1272	910	1285	1184	1047
2004	407	549	857	795	835	795
2005	829	1032	1322	1268	1161	1347
2006	1157	1511	1486	1641	1188	1068
2007	1138	1553	1312	1340	1363	1173
2008	894	1228	1087	1158	944	912
2009	938	1210	1315	1405	1459	1302
2010	1267	1144	1002	1168	1159	1314
2011	1343	1209	1490	1523	1436	1422
2012	811	1408	1227	1226	1259	1489
2013	1144	1338	1289	1371	1494	1412
2014	649	1297	871	1091	1099	1145
2015	862	1087	1122	1065	907	884

Source des données : Traitements des données, septembre 2017

Indices R95p

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1960	12	11	10	14	16	18
1961	14	10	20	19	24	10
1962	20	18	18	16	17	15
1963	25	28	20	33	31	27
1964	23	25	20	19	26	16
1965	13	9	10	8	6	19
1966	10	23	17	15	17	20
1967	10	10	9	13	16	16
1968	24	21	17	26	16	12
1969	17	21	22	26	22	13
1970	15	17	24	28	19	22
1971	24	12	22	18	19	17
1972	20	19	11	13	20	21
1973	12	12	17	18	13	17
1974	18	21	23	14	19	19
1975	8	17	15	9	12	8
1976	21	20	23	16	18	19
1977	27	23	19	20	19	18
1978	11	14	19	13	25	23
1979	24	18	18	14	16	13
1980	23	34	24	23	34	25
1981	22	21	16	26	16	24
1982	23	23	13	21	19	10
1983	12	18	16	16	15	18
1984	18	19	17	21	22	23
1985	17	16	22	15	17	15
1986	22	21	16	18	19	22
1987	23	25	18	22	23	20
1988	21	12	24	14	20	23
1989	30	18	25	23	23	14
1990	19	17	25	20	23	23
1991	16	12	21	10	15	18
1992	15	15	12	14	17	9
1993	17	21	27	21	24	19
1994	15	15	23	23	23	16
1995	21	18	15	14	20	16
1996	18	25	24	20	24	14
1997	12	15	18	18	17	15
1998	19	18	17	16	21	13
1999	13	12	18	13	17	11
2000	20	16	21	13	19	18
2001	15	12	23	18	13	11
2002	22	24	25	23	22	18
2003	27	14	15	17	20	17

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
2004	6	6	14	10	12	10
2005	15	11	21	17	13	15
2006	26	22	29	25	17	18
2007	18	24	20	25	23	17
2008	13	15	14	15	10	10
2009	19	20	22	25	22	21
2010	31	18	16	17	23	16
2011	34	19	24	26	21	18
2012	14	19	16	16	21	21
2013	17	21	18	18	20	21
2014	9	15	17	14	18	16
2015	17	11	18	16	16	10

Source des données : Traitements des données, septembre 2017

Indices R99p

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1960	1	0	3	5	2	4
1961	4	5	4	3	5	2
1962	4	5	4	5	2	1
1963	3	7	4	8	5	4
1964	4	4	4	6	5	3
1965	3	0	1	1	1	3
1966	1	3	1	2	4	7
1967	1	3	3	3	3	1
1968	8	4	2	4	5	2
1969	3	4	6	5	3	3
1970	4	6	7	8	8	10
1971	1	2	2	2	2	4
1972	6	2	3	2	3	5
1973	3	5	3	4	2	4
1974	3	3	0	4	3	3
1975	1	4	1	1	1	1
1976	6	7	7	4	5	4
1977	6	6	4	4	6	3
1978	2	4	4	4	3	3
1979	6	4	6	4	7	4
1980	5	11	7	13	11	8
1981	5	5	1	4	2	6
1982	4	4	1	2	5	1
1983	3	2	3	3	1	7
1984	0	3	4	2	6	2
1985	7	2	5	4	1	3
1986	6	9	5	3	4	7
1987	4	5	3	3	2	10
1988	6	4	5	3	4	8
1989	9	6	4	5	7	4
1990	7	6	4	8	4	5
1991	3	1	1	5	0	4
1992	2	3	1	2	4	3
1993	1	3	7	4	7	4
1994	3	2	4	4	2	1
1995	4	4	1	5	4	4
1996	5	5	4	3	5	3
1997	2	2	2	5	2	2
1998	4	3	3	2	7	3
1999	4	1	1	2	1	4
2000	1	2	4	0	3	3
2001	4	3	3	3	1	4
2002	3	4	5	5	3	1
2003	6	4	3	5	3	3

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
2004	1	1	0	1	2	4
2005	1	1	4	5	4	5
2006	7	6	6	7	7	1
2007	3	6	5	0	3	1
2008	5	5	5	2	3	4
2009	4	5	4	4	8	4
2010	5	0	1	2	2	4
2011	6	2	6	4	3	4
2012	4	5	5	7	4	4
2013	5	5	4	6	6	8
2014	3	4	2	5	1	5
2015	3	5	5	2	2	1

Source des données : Traitements des données, septembre 2017

Indices RX1days

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1960	41	35	60	63	56	67
1961	91	74	76	96	80	101
1962	99	74	64	79	62	55
1963	59	67	116	88	116	92
1964	50	85	76	79	90	101
1965	80	43	47	61	62	62
1966	55	72	79	72	103	76
1967	60	69	63	96	74	92
1968	99	55	61	88	73	120
1969	113	86	69	124	109	72
1970	65	99	125	83	90	103
1971	54	64	59	53	56	52
1972	84	112	78	91	66	91
1973	62	76	69	96	69	110
1974	83	81	42	81	62	86
1975	43	74	52	50	56	48
1976	118	124	78	93	109	98
1977	60	81	83	67	73	65
1978	56	62	136	66	90	76
1979	67	74	78	79	76	80
1980	84	85	94	141	97	124
1981	60	78	50	77	61	72
1982	56	70	52	83	79	69
1983	44	65	54	68	56	88
1984	36	81	71	59	89	80
1985	79	100	91	77	50	77
1986	111	72	109	62	97	87
1987	60	85	131	77	73	83
1988	67	78	73	105	98	103
1989	123	147	122	93	80	110
1990	55	72	74	81	90	82
1991	39	65	63	63	45	69
1992	39	68	52	74	73	69
1993	54	65	74	68	73	80
1994	49	64	90	79	78	52
1995	85	101	73	72	103	92
1996	71	68	95	57	78	69
1997	47	81	59	66	133	48
1998	56	79	78	101	90	101
1999	84	96	102	81	51	69
2000	41	62	87	46	51	52
2001	106	72	69	117	142	82
2002	95	95	79	74	97	65
2003	114	69	59	111	97	110

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
2004	43	49	46	63	73	55
2005	43	62	95	88	97	92
2006	62	99	100	91	97	57
2007	130	122	104	49	61	64
2008	118	92	82	112	74	114
2009	67	76	78	72	83	67
2010	52	43	60	126	56	107
2011	55	83	116	120	104	113
2012	133	111	95	88	78	92
2013	142	135	144	112	128	114
2014	81	101	74	88	115	76
2015	105	100	98	52	67	50

Source des données : Traitements des données, septembre 2017

Indices RX5days

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1960	61	107	125	140	123	151
1961	95	134	126	135	118	128
1962	152	122	108	170	125	107
1963	92	144	139	151	183	143
1964	104	138	133	126	124	153
1965	84	88	69	90	93	130
1966	76	118	139	99	145	114
1967	63	100	84	115	119	105
1968	199	131	110	143	195	147
1969	146	136	134	184	157	81
1970	99	149	169	138	168	174
1971	108	96	142	115	92	101
1972	163	147	177	137	116	114
1973	134	162	175	144	89	183
1974	131	157	99	187	94	118
1975	68	116	111	69	101	77
1976	169	163	179	188	195	175
1977	125	126	152	197	208	123
1978	96	104	183	97	152	137
1979	127	138	195	158	123	130
1980	169	202	182	230	257	207
1981	112	114	86	155	135	203
1982	113	162	96	131	150	123
1983	83	166	113	146	105	168
1984	91	108	153	132	148	93
1985	155	123	117	126	105	150
1986	181	136	238	169	205	152
1987	146	155	143	122	140	142
1988	151	104	122	188	176	183
1989	242	267	166	201	153	125
1990	152	154	125	174	185	153
1991	113	121	101	134	90	125
1992	96	122	111	126	217	99
1993	92	153	178	129	168	113
1994	81	107	119	174	146	112
1995	153	227	117	171	207	147
1996	136	141	167	121	132	116
1997	99	168	78	126	133	114
1998	102	134	154	187	220	188
1999	166	150	135	162	121	106
2000	112	113	108	117	120	104
2001	184	95	132	175	200	114
2002	130	153	180	177	213	120
2003	184	124	106	225	196	150

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
2004	77	73	129	78	150	94
2005	86	104	127	239	161	155
2006	202	208	273	186	151	115
2007	157	148	152	120	166	84
2008	142	143	135	139	142	155
2009	95	128	153	172	190	154
2010	133	89	98	153	102	129
2011	113	126	151	133	151	157
2012	164	184	142	143	136	130
2013	252	196	217	196	239	171
2014	86	135	114	122	149	132
2015	122	186	218	125	112	96

Source des données : Traitements des données, septembre 2017

Indice R95pTOT

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1960	49	36,407767	46,2017435	57,4425574	59,4650206	57,0486397
1961	68,3291771	52,4640657	66,0596026	59,9832215	70,4791345	42,18107
1962	65,7522124	55,0079491	60,6392694	54,5727136	52,9872674	46,1606355
1963	60,6411398	57,1973828	58,5611511	70,8423326	69,0634441	58,4672435
1964	60,7659574	56,2705187	58,9243959	51,1228534	64,7851187	44,7749809
1965	62,1502209	33,8902148	45,5235205	40,2214022	29,4205052	69,7257384
1966	47,8537361	59,4368341	57,8093306	48,1000927	64,3573382	71,0232158
1967	43,9807384	39,8685652	46,3768116	49,8997996	70,5471478	52,4697111
1968	66,9902913	56,9630872	62,406015	66,0121869	60,7705779	43,5739437
1969	57,0131181	59,080633	70,6530958	66,3876368	65,0332226	49,4393476
1970	60,723192	56,3721658	70,8843537	78,6956522	65,0329188	71,5511079
1971	63,8861629	38,5840708	62,1008403	49,7105045	57,4898785	52,5321888
1972	68,9655172	53,9299611	44,2215855	49,0603363	65,0220264	69,9574468
1973	49,550706	41,9672131	65,7692308	57,7862595	52,2404372	56,3795853
1974	52,9247911	57,3248408	57,5464084	51,3807531	59,4315245	49,8912255
1975	48,4716157	56,372093	56,1490683	30,1605505	52,173913	37,9104478
1976	67,0886076	55,0533584	67,2250546	50,9419744	56,7365269	51,3819986
1977	68,5529507	60,1551481	59,883236	53,7722908	49,3416928	61,7511521
1978	46,5846995	44,5652174	64,9210308	46,5328467	65,6073446	63,4513941
1979	63,6811832	51,4728682	68,4594348	53,8593482	68,1359045	48,9
1980	67,7145285	67,8296562	67,7419355	66,504065	73,7105658	62,4734607
1981	62,9794826	59,3607306	53,5754824	60,1368159	53,5425101	59,5953003
1982	69,2307692	65,2097902	47,7791116	60,9907121	64,137931	51,9944979
1983	48,8188976	59,800995	55,9615385	50,7207207	50,811359	65,3879686
1984	49,8378378	50,2625656	54,8917749	61,2261806	64,1549296	60,0145138
1985	67,9347826	54,5625588	69,1722973	55,1948052	56,5656566	52,8638498
1986	65,3160454	52,2684897	54,866562	49,9300699	62,3055163	55,0995775
1987	66,5692008	64,2508711	57,7669903	58,9725036	64,4747394	62,8968254

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1988	62,9906542	46,4944649	65,7677903	52,9461279	63,19166	60,0899743
1989	75,2839011	57,421088	66,8951337	68,8546551	70,7658321	48,2112436
1990	64,4508671	47,5529584	64,8484848	59,7014925	64,9566474	60,9978918
1991	51,8477044	38,038038	65,3281097	47,7767266	56,2076749	54,6779141
1992	55,7615894	46,1342396	55,0063371	46,6001813	58,8785047	39,3258427
1993	54,185022	50,6828528	65,5445545	57,8639356	68,2758621	60,3880356
1994	53,8271605	43,7869822	66,1227661	59,9305556	62,8890662	46,4317977
1995	68,9804772	62,8099174	54,6413502	56,6413662	75,2520623	56
1996	65,2517275	69,3480102	70,3883495	57,1958457	67,7182685	45,3744493
1997	58,3606557	50,4604052	71,5428571	66,9253152	63,9042357	52,1572387
1998	64,8235294	53,0884808	60,9247507	51,3114754	58,6703221	49,0601504
1999	60,2791878	34,7107438	60,1585728	48,857994	54,3352601	42,5592417
2000	55,5438226	46,6728281	79,7160243	38,1121995	57,0500928	54,7136564
2001	55,8370044	37,8151261	64,7681041	56,780924	52,0876827	49,3083004
2002	64,8648649	57,6282051	64,7058824	56,9659443	59,7661623	50
2003	76,4090177	45,382794	58,6549063	65,0038971	67,8238781	65,5205349
2004	43,2098765	36,4140481	52,6932084	41,3619168	60,4567308	47,4083439
2005	51,4492754	33,625731	62,4430956	53,968254	50,1727116	52,5765497
2006	76,5828274	55,8588549	75,016835	68,6202686	65,7961247	51,364064
2007	57,7228597	64,5725389	63,0335366	62,5468165	61,4988979	48,7179487
2008	57,3991031	52,5798526	56,2097516	49,349523	49,4692144	50,4395604
2009	60,7675906	58,0082988	61,7378049	67,9487179	65,4770075	57,7248271
2010	72,4110672	48,8596491	48,6513487	56,9827586	58,8744589	46,4176829
2011	73,6214605	49,0016639	64,8957633	68,2685978	57,4912892	53,1404375
2012	68,625	54,7398432	56,9331158	62,9901961	65,843949	53,0639731
2013	66,1984197	62,4156039	63,9471639	64,1812865	66,1073826	66,9978708
2014	51,1627907	48,8012374	67,6639816	55,0230415	60,6198724	53,2513181
2015	65,6577416	48,199446	65,8035714	49,3862134	62,0421754	38,2519864

Source des données : Traitements des données, septembre 2017

Indice R99pTOT

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1960	6,83333333	0	20,6724782	29,4705295	11,0082305	17,9719703
1961	32,6683292	34,0862423	21,6059603	19,7147651	24,2658423	15,3292181
1962	26,3716814	24,4038156	21,2785388	25,9370315	11,5572968	4,85436893
1963	12,3775601	20,3925845	22,6618705	28,1317495	19,3353474	15,7601978
1964	15,7446809	15,6927118	19,4076383	24,8348745	23,5407312	15,7894737
1965	24,005891	0	7,13201821	7,50307503	9,21248143	17,9324895
1966	8,74403816	12,7853881	8,01217039	11,3067655	26,8003646	34,9097163
1967	9,63081862	17,7437021	21,7391304	21,0420842	20,4889406	8,57409133
1968	34,6527259	17,0302013	12,8893663	18,8896412	29,4220665	15,1408451
1969	22,1997982	21,175584	28,2442748	23,5028976	18,6877076	18,5524975
1970	24,8129676	29,5543393	31,3605442	34,2236025	39,5025604	45,1751251
1971	5,29931305	10,5309735	9,49579832	8,68486352	10,7287449	16,8240343
1972	34,2857143	13,6964981	17,47851	16,6172107	15,8590308	27,8297872
1973	21,6944801	25,5737705	16,1538462	20,9923664	13,2240437	20,4944179
1974	16,6202414	13,8535032	0	22,5104603	15,9345392	13,9231327
1975	9,38864629	21,0232558	6,45962733	5,73394495	6,58049354	7,1641791
1976	33,8396624	31,7639674	32,2651129	21,0248681	26,3473054	18,9227498
1977	24,4139046	26,3751763	20,9341118	16,5980796	21,8181818	17,235023
1978	13,2513661	19,2934783	25,436409	20,5291971	14,2655367	12,8108515
1979	24,0755957	19,379845	34,4576117	22,212693	39,0266299	23,3
1980	27,8674596	33,5556696	32,4555629	48,5094851	37,7065598	33,2271762
1981	22,1231044	22,4505327	5,6753689	15,1119403	11,3360324	22,3237598
1982	19,4331984	20,2797203	6,242497	12,3839009	25,862069	9,49105915
1983	16,2729659	12,6368159	14,9038462	15,4054054	5,67951318	36,8788143
1984	0	15,3788447	22,1645022	9,61060481	29,7887324	9,94194485
1985	39,7826087	13,9228598	26,5202703	23,4693878	5,05050505	16,3380282
1986	30,3079417	30,76445	29,6703297	12,1678322	23,9745403	26,9161135
1987	17,4463938	20,2787456	20,2265372	13,4587554	10,0240577	40,6084656

	Porga	Kérou	Tanguiéta	Kouandé	Natitingou	Boukoumbé
1988	27,1962617	24,3542435	22,247191	22,0538721	23,7369687	30,4627249
1989	39,2117568	35,2585628	20,6305689	26,1219022	32,9896907	22,2316865
1990	33,8150289	23,5208181	16,8939394	32,8358209	20,0144509	22,9093465
1991	13,1019037	6,50650651	6,17042116	28,5714286	0	15,9509202
1992	10,3311258	13,5938828	6,59062104	11,4233908	21,1214953	20,8988764
1993	5,94713656	13,0500759	27,9207921	17,7029993	31,1034483	22,8779305
1994	16,2962963	9,72104818	19,7358197	17,9861111	12,0510774	4,69738031
1995	25,1626898	26,2626263	7,70042194	29,4117647	29,8808433	22,2325581
1996	28,4304047	22,3539373	20,8737864	12,388724	23,4776229	15,5066079
1997	15,0819672	11,878453	13,4857143	27,2550921	17,771639	8,91658677
1998	21,2941176	15,1919866	18,4950136	13,1147541	30,2947224	19,8308271
1999	30,4568528	7,9338843	10,1090188	14,2999007	4,9132948	23,0331754
2000	4,32946146	9,88909427	25,4563895	0	14,1929499	13,1277533
2001	25,8810573	16,713352	14,1578519	18,5543964	14,822547	26,9762846
2002	17,8937558	18,0769231	22,8023794	20,247678	16,6437414	5,08607199
2003	32,2866345	19,4948698	17,199559	31,644583	19,6443692	22,9226361
2004	10,617284	9,05730129	0	7,9445145	16,7067308	25,9165613
2005	5,19323671	6,04288499	21,016692	27,6984127	26,2521589	25,1680358
2006	29,3148309	24,3009321	26,6666667	29,3040293	39,0058972	5,3621825
2007	19,4174757	26,5544041	25,4573171	0	12,7112417	5,47008547
2008	36,9955157	29,2383292	27,5068997	15,0043365	21,2314225	30
2009	20,3624733	22,2406639	18,5213415	16,8803419	34,0425532	17,217525
2010	18,8932806	0	5,99400599	16,2931034	9,26406926	19,3597561
2011	19,7466468	11,2312812	30,8675185	21,5273206	18,6759582	22,0889203
2012	36,75	25,5880257	28,7112561	39,9509804	20,7006369	17,6430976
2013	35,2063213	28,2820705	29,8368298	35,0146199	37,2483221	34,8474095
2014	27,9069767	20,5723125	15,3049482	28,6635945	10,4831358	25,659051
2015	24,330617	31,4866113	31,875	9,63172805	14,2064373	5,6753689

Source des données : Traitements des données, septembre 2017

Annexe 2 : Outils de collecte des données

Groupes cibles : Ménages agricoles, Leaders d'opinion, Responsable des GV et des institutions décentralisées

I-/ EVALUATION DE LA PERCEPTION DES POPULATIONS SUR LES PLUIES DANS L'ATACORA

1.1. Les saisons agricoles se déroulent-elles de la même façon qu'auparavant dans votre localité ?

OUI ☐	
Comment et depuis quand ?	
Pourquoi ?	
NON ☐	
Comment ?	
Pourquoi ?	

1.2. Avez-vous remarqué des changements au niveau de la pluviométrie au cours des dernières années ?

	OUI ☐	NON ☐
Si oui, Comment et depuis quand ?		

1.3. Avez-vous observé des changements au niveau des ressources en eau ?

	OUI ☐	NON ☐
Si oui, Comment et depuis quand ?		

1.4. Êtes-vous informés des changements climatiques / Pluies extrêmes ?

OUI ☐ NON ☐

1.5. Si Oui, par qui ?

Variantes	**Taux de réponse (%)**		
	Hommes & Femmes	**Hommes**	**Femmes**
Membres de la famille			
Voisins agriculteurs			
Voisins non agriculteurs			
Vulgarisateurs agricoles			
Brochures			
Journées d'information			
Perception personnelle			
Autres moyens			

II / IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES RISQUES PLUVIOMETRIQUES MAJEURS

2.1. Quels sont les signes de changements climatiques les plus importants que vous avez notés ces dix dernières années ☐ vingt dernières années ☐ ou trente dernières années ? *(Consultants renseignez uniquement les risques observables dans le milieu)*

Types de risques	Avis de l'enquêté	Ordre d'importance		
		H/F	H	F
Sécheresses	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Démarrage tardif des saisons pluvieuses	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Démarrage précoce des saisons pluvieuses	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Fin précoce des saisons pluvieuses	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Vents violents suivis de fortes pluies	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Inondations	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Désertification	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Vague de chaleur dans les maisons	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Vague de froid dans les maisons	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Crue	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Etiage	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Chevauchement des saisons	Oui ☐ Non ☐ Ne sais pas ☐			
Autres à préciser				

2.2. Comment ces risques liés aux changements climatiques se manifestent – ils dans l'Atacora ?

(Consultants renseignez uniquement les risques observables dans le milieu)

Types de risques	**Fréquence** (Rare, fréquent ou très fréquent)	**Étendue** (Ponctuelle, locale ou régionale)	**Amplitude** (Intensité) [Assez faible, Faible, Moyenne, Assez forte, Forte]	**Durée** (Momentanée, Temporaire, Permanente)
Sécheresse				
Démarrage tardif des saisons pluvieuses				
Démarrage précoce des saisons pluvieuses				
Fin précoce des saisons pluvieuses				

Vents violents suivis de pluies intenses				
Inondations				
Désertification (dégradation des sols due à l'homme et aux pluies extrêmes)				
Vague de chaleur dans les maisons				
Vague de froid dans les maisons				
Crue				
Étiage				
Chevauchement des saisons				
Autres à préciser				

III. EFFETS DES RISQUES LIES AUX PLUIES EXTREMES

3.1. Quels sont les moyens et modes d'existence les plus affectés par les pluies extrêmes dans votre localité ?

Moyens et modes d'existence	**Amplitude (intensité)** [Assez faible, Faible, Moyenne, Assez forte, Forte]	**Taux de réponse**		
		H/F	**H**	**F**
Services rendus par les écosystèmes				
Ressources en eau de surface				
Ressources en eau souterraine				
Faune sauvage				
Pâturage				
Biomasse				
Autres à préciser				
MOYENS D'EXISTENCE				
Agriculture				
Culture du maïs				
Culture du niébé				
Culture du manioc				
Culture du mil				
Culture sorgho				
Culture du fonio				
Culture d'arachide				
Culture du piment				

Moyens et modes d'existence	Amplitude (intensité) [Assez faible, Faible, Moyenne, Assez forte, Forte]	Taux de réponse		
		H/F	H	F
Culture de la tomate				
Culture du coton				
Plantation d'anacarde				
Autres à préciser				
Recherche des plantes médicinales				
Cueillette des feuilles pour la guérison des maladies				
Cueillette des racines des plantes pour la guérison des maladies				
Cueillette des produits forestiers non ligneux à des fins alimentaires				
Autres à précise				
Pêche / Pisciculture / Élevage				
Pêche				
Pisciculture				
Production animale de volaille				
Production animale de bovins				
Production animale de caprins et d'ovins				
Autres à préciser				
MODES D'EXISTENCE				
Producteurs de céréales et des tubercules (petits exploitants)				
Producteurs de plantes pérennes				
Maraîchers (petits exploitants de cultures de piment et tomate)				
Guérisseurs et autres pratiquants de la pharmacopée				
Pêcheurs				
Pisciculteurs				
Éleveurs				
Autres à préciser				

3.2. Quels sont les effets des risques lies aux changements climatiques sur les ressources naturelles dans l'Atacora ?

Effets observables sur les ressources naturelles	**Étendue du phénomène** (Ponctuelle, locale ou régionale)
Désertification	
Érosion des sols	
Assèchement des cours d'eau	
Disparition de certaines espèces animales et végétales	
Baisse du taux de fertilité des terres	
Perturbation du cycle de vie de certaines espèces animales et végétales	
Baisse du rendement de certaines espèces animales et végétales	
Diminution de la biomasse produite par certaines espèces animales et végétales	
Autres à préciser	

3.3. Quels sont les effets des risques lies aux pluies extrêmes sur les activités socio-économiques dans l'Atacora ?

Effets observables sur les activités socio-économiques	**Étendue du phénomène**		
	Ponctuelle	Locale	Régionale
Perturbation du calendrier agricole			
Baisse du rendement agricole			
Perte des produits agricoles			
Perturbation des activités de pêche			
Baisse du rendement de la pêche			
Perturbation des activités de production animale			
Pertes poste récoltes			
Baisse du rendement de la production animale			
Disparition des pâturages			
Perturbation du système de transformation des produits			
Dégradation des pistes rurales et ouvrages d'arts			
Perte de bétail, de volaille, d'ovin ou de caprin			
Autres à préciser			

3.4. Quels sont les effets des risques lies aux changements climatiques sur les populations dans l'Atacora ?

Effets observables sur les personnes	**Étendue du phénomène** (Ponctuelle, locale ou régionale)
Baisse du revenu des populations	
Dégradation de la santé des populations	
Perturbation des activités génératrices de revenu des populations	
Dégradation de l'habitat des populations	
Dégradation du cadre de vie des populations	
Dégradation des pistes rurales	
Insuffisance de vivres au cours de l'année	
Autres à préciser	

IV. NIVEAU DE VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS AUX RISQUES LIES AUX PLUIES EXTREMES

	Risques pluviométriques							
Services rendus par les écosystèmes	**Risque 1**	**Risque 2**	**Risque 3**	**Risque 4**	**Risque 5**	**Risque 6**	**Risque 7**	**Indicateurs d'exposition**
Ressources en eau de surface								
Ressources en eau souterraine								
Faune sauvage								
Pâturage								
Biomasse								
MOYENS D'EXISTENCE								
Agriculture								
Culture du maïs								
Culture du Coton								
Culture du mil								
Culture du sorgho								
Culture d'arachide								
Plantation d'anacarde								
Culture du niébé								
Culture sorgho								
Culture du manioc								
Culture du piment								
Culture de la tomate								

	Risques pluviométriques							
Services rendus par les écosystèmes	**Risque 1**	**Risque 2**	**Risque 3**	**Risque 4**	**Risque 5**	**Risque 6**	**Risque 7**	**Indicateurs d'exposition**
Culture de la tomate								
Plantation d'anacarde								
Recherche des plantes médicinales								
Cueillette des feuilles pour la guérison des maladies								
Cueillette des produits forestiers non ligneux à des fins alimentaires								
Cueillette des racines des plantes pour la guérison des maladies								
Pêche / Pisciculture / Élevage								
Pêche								
Pisciculture								
Production animale de volaille								
Production animale de bovins								
Production animale de caprins et d'ovins								
MODES D'EXISTENCE								
Producteurs de céréales et des tubercules (petits exploitants)								

	Risques pluviométriques							
Services rendus par les écosystèmes	**Risque 1**	**Risque 2**	**Risque 3**	**Risque 4**	**Risque 5**	**Risque 6**	**Risque 7**	**Indicateurs d'exposition**
Habitations								
Champs								
Voirie								
Ecoles								
INDICATEURS DE VULNERABILITE								

Attribuer un score à l'ampleur des effets du risque, sur une échelle allant de 1-5 comme ci-dessous :

1 = Assez f**aible** : à peine perceptible ; 2 = **Faible :** faibles impacts ; 3 = **Moyenne** : incidence moyenne ; 4 = **Assez forte** : impacts élevés ; 5 = **Forte** : impacts très élevés

V. ANALYSE DES STRATÉGIES D'ADAPTATION DÉVELOPPÉES PAR LES POPULATIONS

4.1. Prenez-vous des mesures d'adaptation aux effets néfastes des pluies extrêmes ? OUI ☐ NON ☐		
4.2. Si Oui, lesquelles		
Effets de vulnérabilité	**Stratégies endogènes**	**Réponse obtenue**
Perturbation du calendrier agricole		
Stress hydrique		
Baisse des rendements agricoles		
Pauvreté des sols		
Disparition de certaines espèces		
Attaques parasitaires		
Dégradation des forêts		
Perturbation des activités de pêche		
Baisse des rendements de pêche		
Destruction des habitations et infrastructures		
Perturbation des activités de chasse		
Baisse des rendements de chasse		
Tarissement des cours d'eau		
Apparition de nouvelles maladies		
Autres à préciser		

4.3. Quelles sont les structures qui vous appuient dans la mise en œuvre des mesures que vous développez dans le village pour limiter les effets/impacts des risques climatiques ?

Catégorie de structure (ONG, Projets, Service publics, PTF)	**Intitulé de la structure**	**Types d'appuis apportés (Financier, formation, institutionnel, matériel ou autres à préciser)**

4.4. Quels sont les besoins d'adaptation aux effets des changements climatiques que vous ressentez dans votre localité mais non satisfaits faute de ressources ?

N°	**Types de besoins** (Financier, formation, institutionnel, matériel ou autres à préciser)	**Besoins d'adaptation aux effets ressentis mais non satisfaits faute de ressources**

1		
2		
3		
4		

4.5. Énumérez les mesures d'adaptation les plus urgentes sur lesquelles un appui vous est nécessaire ?

Domaines	**Mesures d'accompagnement urgentes à mettre en œuvre**	**Taux de réponse**		
		H/F	**H**	**F**
Agriculture dans les bas-fonds				
Agriculture hors bas-fonds				
Élevage				
Pêche				
Transformation agroalimentaire				
Approvisionnement en eau				
Sécurisation des biens, habitations et infrastructures				
Stockage et conservation des produits agricoles				
Aménagement des pistes				
Autres à préciser				

4.7. Quels sont les indicateurs précis de suivi de la mise en œuvre des options prioritaires dans le village ?

N°	**Indicateurs de suivi de mise en œuvre des options prioritaires**
1	
2	
3	
4	

Commentaire libre

Identification

Date de l'enquête : ……. / ……. /…….

Commune	
Arrondissement	
Village	

Merci !!!

Table des matières

Sommaire 2
Dédicace.....4
Sigle, abréviations et acronymes.....5
Avant-propos 7
Résumé 11
Abstract 12
Introduction.....13

PREMIERE PARTIE

CADRES THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE DE LA RECHERCHE.....18

CHAPITRE I

ETAT DES CONNAISSANCES, CLARIFICATION DES CONCEPTS ET PROBLEMATIQUE……19

1.1. Etat des connaissances 19
1.1.1. Occurrence des phénomènes climatiques extrêmes 19
1.1.2. Vulnérabilité des systèmes et établissements humains aux pluies extrêmes ...21
1.1.3. Stratégies d'adaptation aux pluies extrêmes 25
1.2. Problématique 28
1.2.1. Justification du sujet 28
1.2.2. Questions de recherche.....31
1.2.3. Hypothèses de travail 32
1.2.4. Objectifs de recherche.....32
1.3. Clarification de concepts.....33

CHAPITRE II

APPROCHE METHODOLOGIQUE D'ANALYSE DES PLUIES EXTREMES ET D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS.....44

2.1. Nature et sources des données utilisées.....44
2.1.1. Données climatologiques.....44
2.1.2. Statistiques agricoles.....48
2.1.3. Statistiques démographiques et informations socio-économiques 48
2.2. Collecte des données 48
2.2.1. Recherche documentaire.....49
2.2.2. Enquêtes de terrain 49
2.2.2.1. Echantillonnage 49
2.2.2.2. Outils et techniques de collecte des données.....52
2.3. Traitement des données et analyse des résultats 53
2.3.1. Méthode de caractérisation de la dynamique spatio-temporelle des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin 54
2.3.1.1. Comblement des données climatologiques manquantes 54
2.3.1.2. Méthode d'analyse des hauteurs pluviométriques globales 55
2.3.1.3. Méthode d'analyse des ruptures de stationnarité et de comparaison des moyennes à partir du test de Pettitt 56

2.3.1.4. Méthode d'analyse fréquentielle des séries 57
2.3.2. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des établissements humains 65
2.3.2.1. Evaluation de la vulnérabilité 66
2.3.2.2. Analyse de la vulnérabilité aux risques pluviométriques 68
2.3.3. Analyse des résultats 73
Conclusion partielle 74

DEUXIEME PARTIE

FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES ET MANIFESTATIONS DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA 75

CHAPITRE III

FONDEMENTS GEOGRAPHIQUES DE LA VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS AUX PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN 76

3.1. Situation géographique du département de l'Atacora 76
3.2. Facteurs explicatifs de la fréquence des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora au Bénin 78
3.2.1. Facteurs naturels dans le département de l'Atacora 78
3.2.1.1. Contexte climatique général du département de l'Atacora 78
3.2.1.2. Contexte géologique dominé par des roches dures 88
3.2.1.3. Contexte pédologique dominé par des sols peu évolués 90
3.2.1.4. Réseau hydrographique marqué par la Pendjari et le Mékrou 93
3.2.1.5. Couvert végétal en dégradation continue 95
3.2.1.6. Aspects du relief dans le département de l'Atacora 99
3.2.2. Facteurs humains 100
Conclusion partielle 106

CHAPITRE IV

DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DES PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN 107

4.1. Tendances des pluies extrêmes liées à la variabilité interannuelle des précipitations 107
4.2. Analyse de l'occurrence des précipitations maximales 117
4.3. Caractérisation des pluies extrêmes 122
4.4. Répartition spatiale des précipitations intenses et extrêmes dans le secteur d'étude 124
4.5. Discussion 128
Conclusion partielle 130

TROISIEME PARTIE

VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS ET PERSPECTIVES DE RESILIENCE DES COMMUNAUTES 131

CHAPITRE V

VULNERABILITE DES ETABLISSEMENTS HUMAINS AUX PLUIES EXTREMES DANS LE DEPARTEMENT DE L'ATACORA AU BENIN 132

5.1. Risques pluviométriques dans le département de l'Atacora 132

5.2. Vulnérabilité des établissements humains du département de l'Atacora aux risques pluviométriques 134
5.2.1. Vulnérabilité de la production agricole aux risques pluviométriques 135
5.2.2. Vulnérabilité de l'élevage aux risques pluviométriques 136
5.3. Impacts observés des pluies extrêmes dans l'Atacora 137
5.3.1. Impacts sur les activités de production végétale 137
5.3.2. Effets néfastes des pluies extrêmes sur la production animale 140
5.3.3. Impacts observés dans le secteur des ressources en eau 141
5.3.4. Impacts sur les conditions socio-économiques des agriculteurs 141
5.4. Vulnérabilité des principales cultures dans le département de l'Atacora face aux pluies extrêmes 142
5.5. Discussion 144
Conclusion partielle 146

CHAPITRE VI

STRATEGIES ADAPTATIVES DES POPULATIONS DU DEPARTEMENT DE L'ATACORA FACE AUX EFFETS NEFASTES DES PLUIES EXTREMES 147
6.1. Perception communautaire des pluies extrêmes dans le département de l'Atacora 147
6.1.1. Evolution des pluies 147
6.1.2. Durée des pluies 148
6.1.3. Temps des saisons de pluies 149
6.1.4. Raisons des modifications des pluies 150
6.1.5. Perception des pluies violentes 151
6.2. Adaptation communautaire dans le département 152
6.2.1. Culture des variétés de maïs pour s'adapter aux pluies extrêmes 155
6.2.2. Culture des nouvelles variétés d'igname pour s'adapter aux pluies extrêmes. 157
6.2.3. Adoption de variétés à cycle court 158
6.2.4. Récolte précoce des cultures 158
6.2.5. Amélioration des techniques de semis 159
6.2.6. Accroissement de la mise en valeur des bas-fonds et développement du maraîchage 160
6.2.7. Réaménagement du calendrier agricole 161
6.2.8. Association culturale 164
6.2.9. Rotation des cultures 165
6.2.10. Stratégies d'adaptation des habitations et des voiries aux pluies extrêmes .. 165
6.3. Limites des mesures développées pour la réduction de la vulnérabilité des établissements humains aux pluies extrêmes 166
6.4. Accompagnements institutionnels et règlementaires 169
6.4.1. Cadre législatif et réglementaire 170
6.4.2. Cadre institutionnel 170
6.4.3. Cadre Politique 172
6.5. Suggestions 173

6.5.1. Utilisation de *Mucuna* ou *Aeschinomenae* comme plantes fertilisantes.....173
6.5.2. Cultures des plantes tolérantes aux pluies extrêmes 174
6.5.3. Autres mesures préconisées 174
6.6. Besoins d'adaptation ressentis par les populations mais non satisfaits faute de ressources 175
6.6.1. Options prioritaires urgentes 176
6.6.2. Indicateurs de suivi de la mise en œuvre des options prioritaires.....178
6.7. Discussion 181
Limites de la recherche.....182
Conclusion.....183
Bibliographie.....185
Liste des encadrés 199
Liste des figures 199
Liste des photos 200
Liste des planches.....200
Liste des tableaux.....201
Liste des publications 202
Annexes.....203
Table des matières 247