

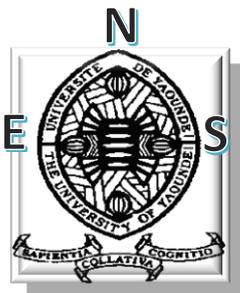
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix-Travail-Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

ÉCOLE NORMALE
SUPÉRIEURE

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace-Work-Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

HIGHER TEACHER
TRAINING COLLEGE

DEPARTMENT OF PHYSICS

VARIABILITE CLIMATIQUE ET EVENEMENTS DE SECHERESSE AU CAMEROUN

*Mémoire présenté et soutenu publiquement en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur
de l'Enseignement Secondaire Deuxième Grade (D.I.P.E.S. II)*

Par :

AOUTACKSA BOUBA Arsène-Thierry

Titulaire du D.I.P.E.S. I et licencié ès Physiques

Matricule : **08Y657**

Sous la direction de :

Dr. POKAM MBA Wilfried

Chargé de Cours

(Université de Yaoundé I)

Membres du jury :

Président : Pr. KENFACK JIOTSA Aurélien (MC)

Rapporteur: Dr. POKAM MBA Wilfried (CC)

Examinatrice : Dr. ETINDELE Anne (CC)

Année académique 2018-2019

VARIABILITE CLIMATIQUE ET EVENEMENTS DE SECHERESSE AU CAMEROUN

*Mémoire présenté et soutenu publiquement en vue de l'obtention du Diplôme de Professeur
de l'Enseignement Secondaire Deuxième Grade (D.I.P.E.S. II)*

Par :

AOUTACKSA BOUBA Arsène-Thierry

Titulaire du D.I.P.E.S. I et licencié ès Physiques

Matricule : **08Y657**

Sous la direction de :

Dr. POKAM MBA Wilfried

Chargé de Cours

(Université de Yaoundé I)

Membres du jury :

Président : Pr. KENFACK JIOTSA Aurélien (MC)

Rapporteur: Dr. POKAM MBA Wilfried (CC)

Examinatrice : Dr. ETINDELE Anne (CC)

Année académique 2018-2019

Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents

BOUBA YOUNGOU DA Jean et KAGOMBE VONDOU pour qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de toute mon affection pour l'effort qu'ils n'ont cessé de consentir afin de m'inculquer cet esprit de travail, d'humilité, de persévérance et de patience qui réside en eux.

Remerciements

Ce mémoire n'est pas seulement le produit de mes efforts, mais aussi de ceux qui de près ou de loin m'ont assistés. Alors, à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet, que ce soit matériellement, financièrement ou moralement, je vous suis infiniment reconnaissant. Je tiens à remercier :

Dieu le Maître de toute chose qui m'a donné le souffle de vie et qui a permis que ce travail s'achève ;

Mon directeur de mémoire le Dr POKAM MBA Wilfried qui a accepté de me diriger dans ce travail et qui m'a appris en un laps de temps les bases de la physique de l'atmosphère.

Toute ma reconnaissance va à l'endroit du chef du laboratoire de physique de l'atmosphère, télédétection et climatologie de l'université de Yaoundé 1, le Pr VONDOU Debortini qui m'a d'abord réservé un accueil chaleureux dans son laboratoire et puis qui a mis à ma disposition tous les outils de programmation nécessaires pour réaliser ce travail.

Toute ma gratitude va à l'endroit de tous les enseignants du département de physique de l'école normale supérieure de Yaoundé pour leur encadrement pendant tous les deux années passées dans cette institution.

A mon épouse WAWA Rosalie et mes enfants MBARDAI Ange Diasmine, ANAVAI AOUTACKSA Chanel Rachel, AOUSSENSA AOUTACKA Doriane et NABEDAY AOUTACKSA Leticia je dis merci pour le sacrifice qu'ils ont fait pour que je puisse finir ces deux années de formation.

A GOUARA Désiré, je dis profondément merci pour son aide.

Je pense à mes amis NGUENA Bernard, SOMI Yannick, MOMO Romaric, NDJIDDA Fabrice, DEUBALBE Amedé pour tous vos conseils et votre soutien.

Je remercie ma petite soeur WAYANG BOUBA Alvine Yolande pour son soutien.

Je remercie mon grand frère DIZAOUNI BOUBA Florentin, mes petits frères : WILARBANG, AOULASSA et mes petites soeurs TAYAMA O, ANADANG et AKETI pour leur encouragement.

A mes amis et camarade de promotion : HAMAN Robert, OUANGBARA Richard, NKOMO Théodore, NJITACK Dimitri, NDOMO Barbara et MFOMO Yves, je dis merci pour leur aide et soutien.

Je remercie aussi tous les aînés du laboratoire pour leur bonne collaboration, et leurs encouragements.

Merci à tous mes camarades de promotion pour leurs échanges fructueuses et constructives pour la réalisation de ce travail.

Enfin, que ma famille et mes amis que je ne peux remercier nommément, ainsi que ceux que ma mémoire a pu ingratement oublier, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Table des matières

Dédicace	ii
Remerciements	iii
Table des matières	vi
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	ix
Liste des Abréviations	x
Résumé	xi
Abstract	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	3
1.1 Dérèglement climatique et évènements extrêmes	3
1.2 Climats du Cameroun	6
1.2.1 Les mécanismes du climat	6
1.2.2 Les différentes unités Climatiques	7
1.3 Les types de sécheresses	10
1.4 Causes et conséquences de la sécheresse	11
1.4.1 Causes de la sécheresse	11
1.4.2 Conséquences de la sécheresse	11
1.5 Historique des sécheresses au Cameroun	13
2 DOMAINE D’ETUDE, MATERIELS ET METHODOLOGIE	14
2.1 Description et localisation de la zone d’étude	14

2.2	Matériels	16
2.2.1	Données d'étude	16
2.2.2	Logiciel utilisé	17
2.3	Méthodologie	17
2.3.1	Indice Standardisé des Précipitations	17
2.3.2	Indice des jours consécutifs secs	19
3	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	20
3.1	Analyse des précipitations	20
3.1.1	Précipitations journalières	20
3.1.2	Cycle annuel des précipitations	22
3.1.3	Variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations	24
3.2	Analyse des indices de sécheresse au Cameroun pendant la pé- riode 1998-2013 pour la saison Avril-Mai-Juin	26
3.2.1	Indice SPI	26
3.2.2	Indice JCS	27
4	IMPLICATIONS PEDAGOGIQUES	33
4.1	Intérêt didactique	33
4.2	Apports chez les enseignants	35
4.3	Apports chez les élèves.	35
4.4	Fiche d'activités	36
4.4.1	Activités	36
4.4.2	Réponses	37
	CONCLUSION GÉNÉRALE	39
	Bibliographie	41

Liste des figures

1.1	Evolution des concentrations atmosphériques en dioxyde de carbone et méthane (GES) et des températures de surface au cours du dernier millénaire. Les modèles climatiques prévoient pour le 21 ^{ème} siècle un accroissement de la température compris entre 1.4°C et 5.8° C (zone grise à droite) (Organe consultatif sur les changements climatiques (OCCC), 2003).	4
1.2	Représentation conceptuelle des phénomènes climatiques extrêmes. Ils sont définis statistiquement comme ayant une probabilité d'occurrence de moins de 5 pourcent (zones bleu foncé et jaune de la courbe du climat actuel, et zones bleu clair et rouge foncé de la courbe du climat futur). Les événements climatiques extrêmes devraient devenir plus fréquents et plus intenses avec des changements de moyenne et/ou des modifications de la distribution des variables climatiques (zone rouge) (Smith 2011a).	5
1.3	Schéma simplifié des zones de temps pour différentes saisons au Cameroun (J.C.Olivry, 1986)	7
1.4	Les régions climatiques du Cameroun (Annuaire statistique du Cameroun, 2014)	9
2.1	Zones agro-écologiques du Cameroun (PNACC, 2015)	15
3.1	Variabilité spatiale des Précipitations (mm/jours) moyennées sur la saison AMJ de 1998 à 2013 pour les données GPCP	21
3.2	Variabilité spatiale des Précipitations (mm/jours) moyennées sur la saison AMJ de 1998 à 2013 dans les données TRMM	21
3.3	Cycle annuel des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données GPCP	23
3.4	Cycle annuel des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données TRMM	23
3.5	Variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données GPCP	24
3.6	Variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données TRMM	25

3.7	Variabilité interannuelle du SPI GPCP AMJ de 1998 à 2013	26
3.8	Variabilité interannuelle du SPI TRMM AMJ de 1998 à 2013	26
3.9	variabilité spatiale de la moyenne pour la saison AMJ du JCS dans les données GPCP de 1998 à 2013	28
3.10	variabilité spatiale de la moyenne pour la saison AMJ du JCS dans les données TRMM de 1998 à 2013	28
3.11	Variabilité interannuelle du JCS pendant la saison AMJ dans les données GPCP de 1998 à 2013	29
3.12	Variabilité interannuelle du JCS pendant la saison AMJ dans les données TRMM de 1998 à 2013	29
3.13	Distribution spatiale des tendances du JCS pour la saison AMJ pendant la période 1998-2013 de l'indice JCS dans les données GPCP.	30
3.14	Distribution spatiale des tendances du JCS pour la saison AMJ pendant la période 1998-2013 de l'indice JCS dans les données TRMM.	31

Liste des tableaux

1.1	Historique de quelques sécheresses au Cameroun (BRING et MOUSSA, 2016)	13
2.1	Classification des séquences de sécheresse selon SPI.	19

Liste des Abréviations

FIT	: Front Intertropical.
GES	: Gaz à Effet de Serre.
GIEC	: Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.
GPCP	: Global Precipitation Climatology Project.
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change.
NCAR	: National Center for Atmospheric Research
NCL	: NCAR Command Language
OCCC	: Organe Consultatif sur le Changement Climatique.
OMM	: Organisation Météorologique Mondiale.
PNACC	: Plan National d'Adaptation aux Changements Climatiques.
RNDE	: Réseau National des Données sur l'Eau.
RR	: Rainfall Rate
SPI	: Standardised Précipitation Index
TRMM	: Tropical Rainfall Measuring Mission.
ZAE	: Zone Agro-Ecologique.

Résumé

Au Cameroun, on observe ces 50 dernières années des évènements climatiques extrêmes parmi lesquels la sécheresse. Ces évènements extrêmes sont les conséquences du dérèglement climatique dû aux activités anthropiques. Dans un tel contexte climatique, il est indispensable d'analyser les épisodes secs en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation. L'objectif de notre étude est de caractériser l'évolution des indices des extrêmes associée aux sécheresses, en relation avec la variabilité climatique observée ces dernières années au Cameroun. Pour ce faire, nous avons procédé par l'analyse des précipitations enregistrées pendant la saison AVRIL-MAI-JUIN au Cameroun de 1998 à 2013 et ensuite nous avons analysé les indices de sécheresse notamment l'indice standardisé des précipitations et l'indice des jours consécutifs secs. Les résultats obtenus montrent un renforcement des évènements de sécheresse entre 1998 et 2013 dans le Sud et l'inverse observé dans le Nord du Cameroun.

Mots clés : Cameroun, Evènements extrêmes, Dérèglement climatique, Sécheresse, Indice standardisé des précipitations, Indice des jours consécutifs secs.

Abstract

In Cameroon, we observe the last 50 years extreme weather events including drought. These extreme events are the consequences of climate change due to anthropogenic activities. In such a climatic context, it is essential to analyze dry episodes in order to propose mitigation or adaptation measures to populations. The objective of our study is to characterize the evolution of the extremes indices associated with drought, in relation with the climatic variability observed in recent years in Cameroon. To do this, we proceeded by analyzing the rainfall recorded during the JUNE-MAY-APRIL season in Cameroon from 1998 to 2013 and then we analyzed the drought indices including the standardized index of precipitation and the index of consecutive days dry. The results obtained show a strengthening of drought events between 1998 and 2013 in the South and the opposite observed in northern Cameroon.

Key words : Cameroon, Extreme events, Climate disruption, Drought, Standardized index of precipitation, Index of consecutive dry days.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis plus d'un siècle, les rejets de gaz carbonique (CO_2) produits par l'activité industrielle et économique n'ont cessé de croître, et la concentration atmosphérique de ce gaz est passée d'une valeur préindustrielle d'environ 280ppm à environ 400ppm actuellement (J.F. Royer et al. 2002). Cette augmentation du gaz carbonique ainsi que d'autres gaz comme le méthane et l'oxyde nitreux, produits par divers rejets d'origine anthropique est entrain de renforcer l'effet de serre de l'atmosphère et, par conséquent, de modifier le climat. Ce changement climatique se manifeste par l'augmentation et la récurrence d'extrêmes climatiques tels que : les inondations dues aux fortes précipitations, les tempêtes, ou les sécheresses. Ces extrêmes climatiques préoccupent la communauté scientifique internationale et la plupart des pays du monde entier en raison de leurs impacts négatifs, potentiels et avérés, sur les hommes et les écosystèmes. Le Cameroun ne fait pas exception, le pays fait d'ors et déjà face à une récurrence anormale de phénomènes climatiques extrêmes observés ces 50 dernières années (PNACC,2015). Ceci s'accompagne d'une part d'une diminution de la pluviométrie, laquelle concerne en particulier la zone agro-écologique(ZAE) des hauts plateaux, et surtout la ZAE soudano sahélienne et d'autre part de l'augmentation de la température moyenne annuelle de $+0,7^{\circ} C$. Les zones agro-écologiques les plus touchées par la hausse des températures sont : la ZAE forestière à pluviométrie bimodale et la ZAE des hautes savanes guinéennes ; recrudescence des évènements extrêmes dans tout le pays : les sécheresses, surtout dans la ZAE soudano-sahélienne et la ZAE hautes savanes guinéennes, les tempêtes plus fréquentes et plus violentes, les inondations. Environ 320 000 Ca-

merounais sont touchés par les catastrophes liées au climat (PNACC, 2015).

La sécheresse en particulier est une des conditions climatiques extrêmes affectant plus de personnes que toute autre forme de catastrophe naturelle (Wilhite, 2000). L'occurrence, depuis les dernières décennies, d'importantes sécheresses occupant de grands territoires sur tous les continents souligne l'importance de ce phénomène (Beaudin, 2007). Selon Obassi (1994), près de 1,3 milliards de personnes sont mortes à travers le monde de causes directes ou indirectes liées à la sécheresse. Dans un tel contexte, il est indispensable de pouvoir analyser des séquences de sécheresses en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation au cas échéant.

L'objectif de notre étude est de caractériser l'évolution des indices des extrêmes associée aux sécheresses, en relation avec la variabilité climatique observée ces dernières années au Cameroun.

Ce travail est organisé en quatre chapitres. Le chapitre 1 est consacré à la revue de littérature. Le chapitre 2 présente le domaine d'étude, les matériels utilisés, ainsi que la méthodologie. Le chapitre 3 présente les résultats et les interprétations faites sur ces derniers. Le chapitre 4 montre l'implication pédagogique de notre étude dans le système éducatif Camerounais. Ce travail s'achève par une conclusion générale et des perspectives.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Introduction

La sécheresse étant un évènement climatique extrême dont l'une des causes est la modification ou le changement des caractéristiques climatiques, nous parlerons d'abord dans ce chapitre du dérèglement climatique et évènements extrêmes. Ensuite, nous parlerons des climats du Cameroun ; des types, causes et conséquences des sécheresses. En fin nous finirons ce chapitre par un historique de quelques sécheresses déjà vécues au Cameroun

1.1 Dérèglement climatique et évènements extrêmes

Depuis le 18^{ème} siècle, une augmentation accrue et sans précédent des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) a été observée. Ainsi, le dioxyde de carbone a atteint une concentration de 400 ppm au début du 21^{ème} siècle alors que son niveau ne dépassait pas 280 ppm en période préindustrielle (IPCC, 2014 ; Figure 1.1). Par le phénomène d'effet de serre, ces concentrations atmosphériques élevées en CO_2 ont été identifiées comme responsables d'une modification profonde des mécanismes climatiques notamment via une augmentation de $0.6^\circ C (\pm 0.2^\circ C)$ de la température moyenne de la surface terrestre depuis 1860. La modification des concentrations atmosphériques de GES et leurs conséquences sur le climat a été attribuée aux activités anthropiques accentuées depuis la révolution industrielle. Différents scénarii basés sur des modèles climatiques prévoient qu'une limitation de la concentration de CO_2 à 450 ppm à l'horizon 2100 permettrait de maintenir le réchauffement moyen en

deçà de 2° C (IPCC, 2014 ; Figure 1.1). Par ailleurs, d'autres scénarii moins optimistes prévoient que sans une limitation suffisante des émissions actuelles, des hausses bien plus importantes des concentrations atmosphériques de GES seraient observées, avec des conséquences extrêmement fortes sur le climat et les écosystèmes.

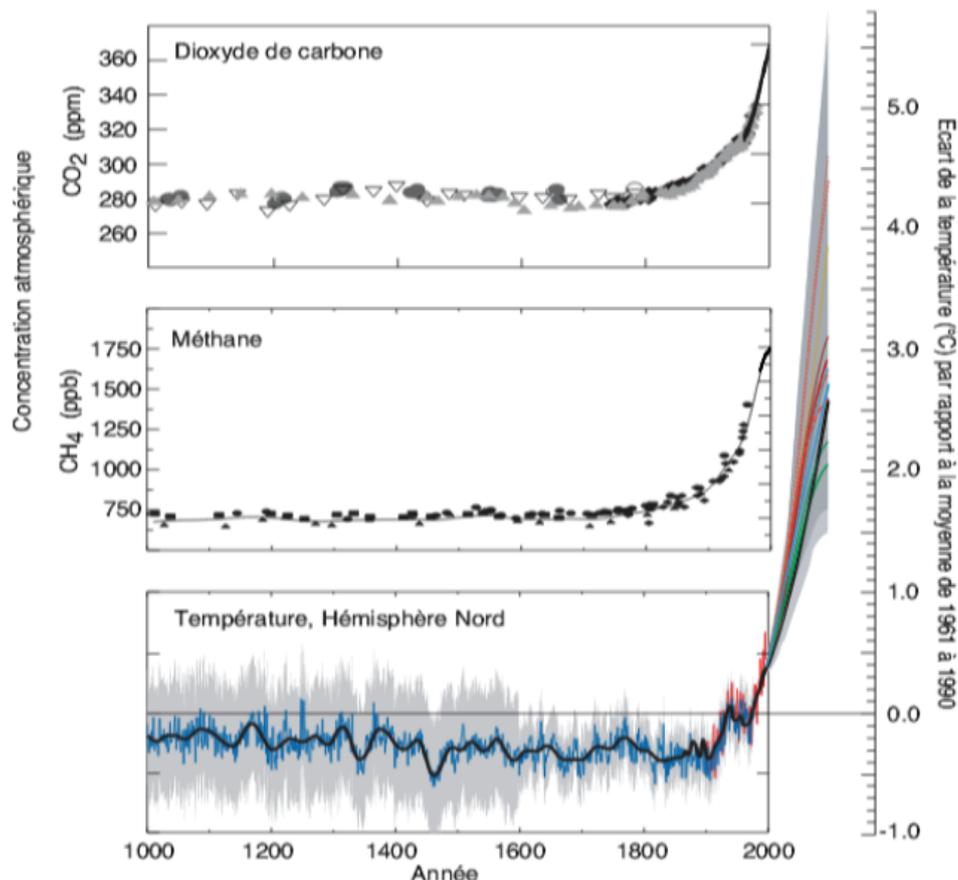


FIGURE 1.1 – Evolution des concentrations atmosphériques en dioxyde de carbone et méthane (GES) et des températures de surface au cours du dernier millénaire. Les modèles climatiques prévoient pour le 21^{ème} siècle un accroissement de la température compris entre 1.4°C et 5.8° C (zone grise à droite) (Organe consultatif sur les changements climatiques (OCCC), 2003).

Les dérèglements climatiques en cours entraînent donc des modifications significatives des moyennes annuelles et saisonnières des variables climatiques comme la température ou les précipitations. Ces modifications des niveaux moyens dues aux activités anthropiques, en se conjuguant à la variabilité climatique inhérente, doivent provoquer une amplification de la variabilité climatique, impliquant un risque accru d'occurrence d'extrêmes climatiques (Figure 1.2). Les extrêmes climatiques sont définis de manière statistique comme des anomalies

climatiques, c'est-à-dire des valeurs s'écartant des maxima ou minima observés sur une période de référence d'au moins 30 ans (IPCC, 2014). De nombreux événements peuvent ainsi être associés à des extrêmes climatiques : canicules, crues, sécheresses, inondations, tempêtes.

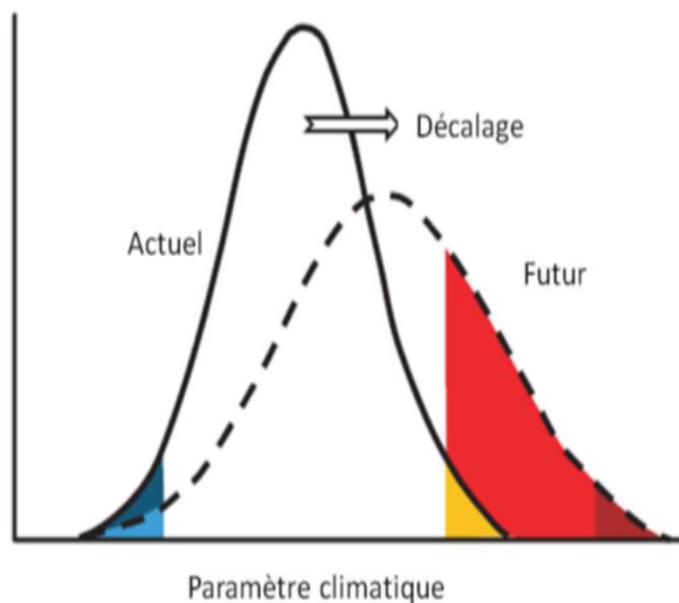


FIGURE 1.2 – Représentation conceptuelle des phénomènes climatiques extrêmes. Ils sont définis statistiquement comme ayant une probabilité d'occurrence de moins de 5 pourcent (zones bleu foncé et jaune de la courbe du climat actuel, et zones bleu clair et rouge foncé de la courbe du climat futur). Les événements climatiques extrêmes devraient devenir plus fréquents et plus intenses avec des changements de moyenne et/ou des modifications de la distribution des variables climatiques (zone rouge) (Smith 2011a).

Avec le réchauffement climatique en cours, la fréquence et l'ampleur des phénomènes climatiques extrêmes devraient ainsi augmenter partout dans le monde et au Cameroun en particulier. Afin de mieux analyser le cas des sécheresses au Cameroun, il est important de faire une étude sur les climats du Cameroun.

1.2 Climats du Cameroun

1.2.1 Les mécanismes du climat

Le climat du Cameroun se trouve sous la dépendance étroite de deux centres d'actions :

- Au sud, l'anticyclone de Sainte-Hélène ;
- Au nord, couvrant le Sahara et faisant suite à l'anticyclone des Açores.

Ces deux centres d'actions aboutissent à la convergence de deux masses d'air complètement différentes :

- L'air continental stable et très sec, au nord : l'harmattan ;
- L'air maritime instable et humide, au sud : la mousson. La zone de rencontre de ces deux masses d'air s'appelle, le Front Intertropical, FIT.

Le FIT se déplace au cours de l'année, restant sensiblement dirigé le long des parallèles. Il suit, avec une amplitude différente et environ un mois de retard, le mouvement en déclinaison du soleil. Ses positions extrêmes sont, en moyenne, le vingtième parallèle Nord en Juillet (la dépression saharienne, très creuse, et l'anticyclone austral envahissant le golfe de Guinée agissent dans le même sens) et le quatrième parallèle Nord en Janvier (l'anticyclone saharien, bien marqué, dirige un flux fort et régulier d'Harmattan, alors que la Mousson est faible, parfois inexistante, l'anticyclone austral s'étant retiré vers le Sud). Dans son oscillation saisonnière, le FIT entraîne quatre zones de temps. Ce sont, du nord au sud :

- la zone A : immédiatement au nord du FIT. Zone de l'Harmattan. Le ciel est clair, ou peu nuageux ;
- la zone B : immédiatement au sud du FIT (400kilomètres de largeur environ). Ciel peu nuageux ;
- la zone C : plus au sud (1 200 kilomètres de largeur). Ciel ouvert ou très nuageux. Orages, grains, lignes de grains ;
- la zone D : encore plus au sud. Nuages stratiformes. Pas ou très peu de précipitations.

C'est le déplacement en latitude de ces quatre zones qui détermine les saisons ; les zones A, B (ou C) et D correspondant respectivement, lorsqu'elles intéressent une région déterminée, à la grande saison sèche, à la saison des pluies et à la petite saison sèche. Au nord de la position septentrionale extrême, l'année comprend une saison sèche et une saison des pluies (climat tropical). Au sud, l'année comprend deux saisons des pluies et deux saisons sèches (climat équatorial). La figure 1.3 situe les masses d'air et les différentes zones de temps en Janvier, Avril, Juillet et Octobre par rapport au Cameroun.

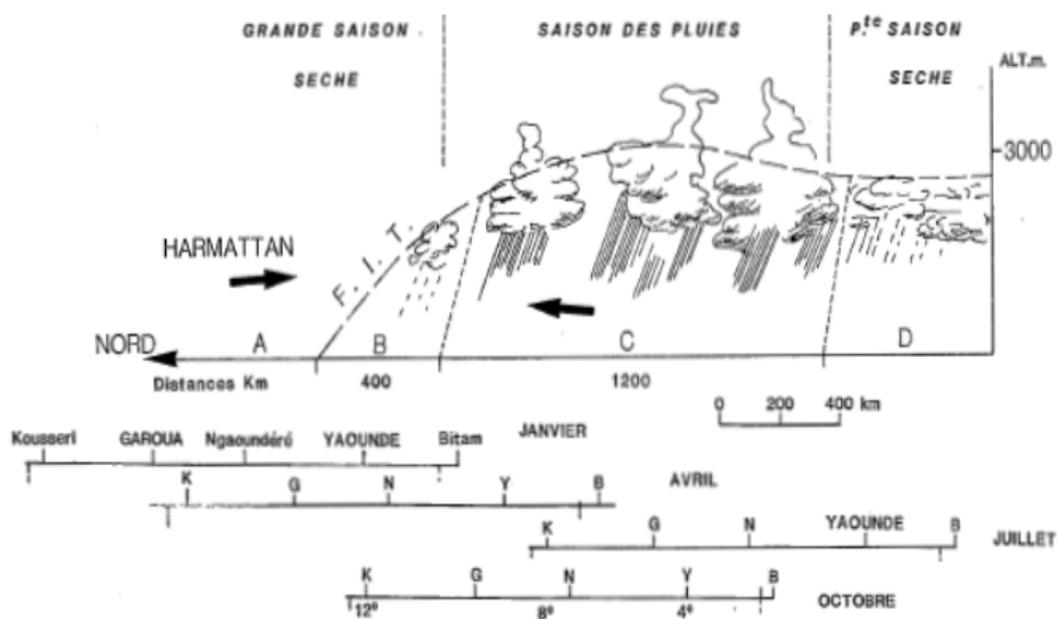


FIGURE 1.3 – Schéma simplifié des zones de temps pour différentes saisons au Cameroun (J.C.Olivry, 1986)

1.2.2 Les différentes unités Climatiques

Nous venons de mettre en évidence les mécanismes qui expliquent que le Cameroun soit soumis à deux régimes climatiques principaux :

- le climat tropical à deux saisons au nord d'une ligne Bertoua-Bafia ;
- le climat équatorial à quatre saisons au sud de cette même ligne.

A ces deux grands types, correspondent des variétés régionales liées à la cir-

culatation atmosphérique régionale, aux approvisionnements en humidité par les océans, la topographie et le développement des systèmes convectifs de meso-échelle. Le schéma de la figure 1.4 indique huit zones différentes de climats :

– Zone 1 : Climat équatorial à quatre saisons bien marquées couvrant tout le sud du pays, de Yaoundé à Yokadouma, d’Ebolowa à Ambam, Moloundou et Ouesso.

– Zone 2 : Climat équatorial type côtier sud à quatre saisons mais beaucoup plus humide par suite de précipitations très abondantes.

– Zone 3 : Climat équatorial type côtier nord à deux saisons seulement ; l’appellation équatoriale a été conservée surtout pour traduire l’abondance des précipitations, mais il n’y a pas de petite saison sèche.

– Zone 4 : Climat équatorial et tropical de transition observé de Bafia à Bertoua, Batouri et de Yoko à Bétaré Oya, Garoua Boulai. Elle se différencie de la zone 1 par une chute de la pluviosité qui est observée en Juillet-Août mais sans véritable petite saison sèche.

– Zone 5 : Climat tropical de montagne de l’Ouest à deux saisons. De Dschang à Foumban, et de Bamenda à Nkambe, cette zone concerne les montagnes des Régions de l’Ouest. Elle est caractérisée par des températures nettement plus basses que dans le reste du pays et par une influence océanique se traduisant par d’importantes précipitations. C’est un régime tropical très humide (saison sèche de 3 mois).

– Zone 6 : Climat tropical d’altitude de l’Adamaoua à deux saisons couvrant l’ensemble du plateau de l’Adamaoua de Banyo à Ngaoundéré et Meiganga. Il est caractérisé par son régime thermique (altitude moyenne de 1000 m) et des précipitations encore assez abondantes. C’est un régime tropical humide avec une saison sèche d’au moins 4 mois.

– Zone 7 : Climat tropical du bassin de la Bénoué, marqué par une hauteur annuelle de précipitations supérieure à 900 mm et une saison sèche de 6 mois. Les températures moyennes paraissent d’autant plus élevées que la transition avec l’Adamaoua au sud est brutale.

– Zone 8 : Climat tropical sec du Nord-Cameroun. Il concerne toute la zone

nord du pays, de Kaélé à Maroua et Mora, et de Yagoua à Kousséri, Makary et le lac Tchad. Les précipitations annuelles varient de 900 à 400mm ; la saison sèche est de 7 mois.

La tendance sahélienne s'affirme dès la latitude de Mora.

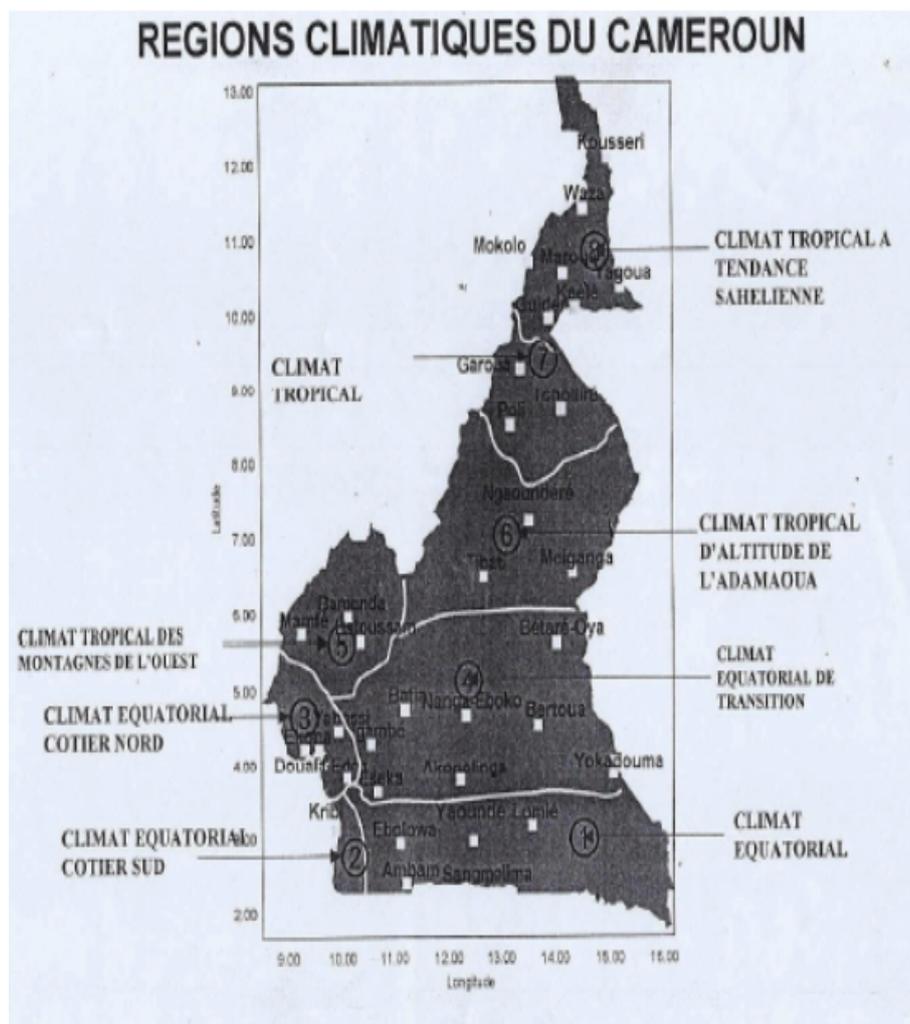


FIGURE 1.4 – Les régions climatiques du Cameroun (Annuaire statistique du Cameroun, 2014)

D'autres études ont distingué quatre régions climatiques principales au Cameroun (J. C. Olivry, 1986) :

A - Climat équatorial de type guinéen à quatre saisons dont 2 mois moins humides, de Kribi à Banyo et de Garoua-Boulai à Ouesso. Les précipitations y varient de 1 500 à 2000mm. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25° et l'amplitude moyenne annuelle de 2°4. Son extension correspond aux

zones 1, 2 et 4.

B - Climat équatorial de type camerounien avec mousson équatoriale (2 saisons et 0 à 3 mois moins humides), localisé sur la côte et les régions montagneuses de l'ouest de l'embouchure du Nyong à Nkambe. Les précipitations abondantes varient de 2000 à 10 000 mm (Mont Cameroun). Dans le sous-type côtier, la température moyenne annuelle est de 26°, l'amplitude annuelle de 2°8. Dans le sous-type d'altitude, la température moyenne annuelle tombe à 21° et l'amplitude à 2°2. Ce climat correspond aux zones 3 et 5.

C - Climat soudanien ou tropical humide avec deux saisons et 3 à 6 mois secs. Ce climat intéresse le Nord-Cameroun, de l'Adamaoua aux Monts Mandara. Les précipitations annuelles varient de 900 à 1500 mm. La température moyenne annuelle est de 28° et l'amplitude moyenne annuelle de 6°4. Ce climat s'étend sur les zones 6 et 7.

D - Climat soudano-sahélien avec 7 mois et plus de sécheresse. Son extension correspond à la zone 8 précédemment citée dans l'extrême nord du pays. Les précipitations annuelles varient de 400 à 900 mm. La température moyenne annuelle atteint 28° et l'amplitude 7°7.

1.3 Les types de sécheresses

La sécheresse est une notion relative, car non seulement ses manifestations sont diverses mais sa définition même varie en fonction de son impact et selon l'approche scientifique. On parlera donc de sécheresse en agriculture, en météorologie et en hydrologie.

La sécheresse agricole

En agriculture, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et permanent de la pluie qui affecte les productions agricoles estimées d'après des valeurs moyennes ou attendues.

La sécheresse météorologique

D'un point de vue météorologique, la sécheresse est une absence prolongée, un déficit significatif, voire une faible distribution, des précipitations, en relation avec une valeur dite normale.

La sécheresse hydrologique

En hydrologie, on parle de sécheresse dès lors qu'à l'échelle régionale la hauteur des pluies est inférieure à la moyenne saisonnière, ce qui se traduit par un approvisionnement insuffisant des cours d'eau et des réserves d'eau superficielles ou souterraines.

Ces types de sécheresses ont des causes d'origines diverses et des conséquences graves pour notre milieu naturel, la population et l'activité économique.

1.4 Causes et conséquences de la sécheresse

1.4.1 Causes de la sécheresse

La sécheresse est un phénomène normal qui peut survenir sous n'importe quel climat n'importe où dans le monde, même dans les déserts et les forêts tropicales. La principale cause de la sécheresse est l'absence ou l'insuffisance des pluies annuelles. Cette cause naturelle est accentuée par des activités de l'homme. Notamment les activités industrielles et économiques. En effet, ces activités produisent des GES et modifient les paramètres climatiques.

1.4.2 Conséquences de la sécheresse

Les sécheresses se classent parmi les dangers naturels les plus coûteux d'une année à une autre ; elles ont des conséquences considérables et étendues, qui touchent en même temps notre milieu naturel, une multitude de secteurs économiques et une large population. Des périodes de sécheresse prolongées ont un effet négatif sur la disponibilité en eau de la végétation naturelle. Celle-ci va donc connaître des périodes de stress plus ou moins intenses. La végétation

herbeuse est la première touchée et on va constater une grande perte de biomasse herbacée. La sensibilité à l'érosion va s'accroître du fait de la dénudation des sols : le moindre coup de vent va mettre en suspension dans l'atmosphère les particules fines des sols qui peuvent atteindre les hautes couches de l'atmosphère, être pris dans la circulation générale autour de la planète et contribuer ainsi à l'augmentation de l'effet de serre. Si des pluies violentes surviennent les sols seront d'autant plus attaqués qu'ils sont à nu, ils ne retiendront pas bien l'eau qui va ruisseler, entraînant ainsi une forte érosion hydrique et aggravant les risques de crues. Le paradoxe est grand de voir une grande sensibilité aux inondations dans les régions arides. En cas d'aggravation des périodes de sécheresse les buissons, arbustes, fourrés, voir les arbres, sont aussi atteints par le stress hydrique. En plus de cette dégradation de la végétation qui entraîne un grand risque de dégradation des sols on constate également un appauvrissement du nombre de variétés et donc de la biodiversité végétale, et aussi animale quand la faune ne peut plus se nourrir ; certaines espèces de la pharmacopée et des systèmes de culture disparaissent progressivement. On aura donc une aridité croissante au fur et à mesure que la végétation n'arrivera pas à se reconstituer puis une désertification quand on atteint le stade où plus rien ne repousse. La déstructuration des sols diminue leur capacité de stockage du carbone. Les réserves globales en eau vont diminuer du fait de la moindre capacité des sols à l'emmagasiner. Des lacs naturels rétrécissent (Lac Tchad) et des réservoirs ont des difficultés à se remplir. La végétation sèche peut conduire à des incendies pendant la sécheresse. La dégradation des sols due à la sécheresse entraîne une perte de récolte, perte des produits de l'élevage (lait, viande) et également une perte en terres due à l'érosion, donc on a un recul des superficies cultivables et par conséquent une baisse de la production alimentaire. Cette baisse de la production alimentaire peut entraîner certaines années des situations de pénuries pouvant aller à des famines. Elles se mesurent ensuite en termes sociaux : la population s'appauvrit et se nourrit moins bien, les tendances à l'immigration se renforcent, les structures sociales s'affaiblissent. Dans le domaine de la santé, on peut assister à des périodes d'épidémies (choléra, méningites).

1.5 Historique des sécheresses au Cameroun

Les sécheresses touchent beaucoup de localités du Cameroun surtout la partie septentrionale du pays (à cause de son climat comme nous l'avons vu plus haut dans le paragraphe 1.2.2, caractérisé par une longue saison sèche) et causent beaucoup des dommages. L'historique de quelques sécheresses est répertorié dans le tableau ci-contre.

TABLE 1.1 – Historique de quelques sécheresses au Cameroun (BRING et MOUSSA, 2016)

Localité	Dates	Dégats humains	Dégats sur le milieu
Waza	Septembre 1982		Disparition espèces animales
Mayo-sava	03 Aout 1984		Plaine arride et dénudé
Nord	15 Juin 1985	Pénurie de denrés alimentaitres	
Garoua	21 Aout 1985		Espace vert ravagé et apparition d'insectes
Maroua	15 Février 1991	Mauvaise récolte, baisse de production arachide et niébé	
Kousseri	06 juin 1991	Epidémie de coléra	Mauvaise qualité d'eau
Extreme-Nord	27 Juillet 1992	Epidémie de méningites	
Adamaoua	13 Juillet 1985		Dégradation des pâturages et tarissement des marées
Extreme-Nord	25 juillet 1985	Pénurie de denrés alimentaires	
Logone et Chari	12 Mai 1987	Pénurie de denrés alimentaires	
Mora	12 Mai 1987	Pénurie d'eau potable	
Vina	12 Mai 1987	Pénurie d'eau potable	
Logone et Chari	18 Aout 1998	Destruction des cultures, famine	
Maroua	20 janvier 1987	Pénurie d'eau, invasion des criquets	
Kaélé	12 Décembre 1995	Famine	
Kousséri	2000		Détérioation de l'environnement

Conclusion

En somme, la sécheresse est un phénomène naturel accentué par le dérèglement climatique dû aux activités anthropiques. Elle se manifeste dans plusieurs domaines (en agriculture, en météorologie et en hydrologie) et a des conséquences considérables et étendues qui touchent en même temps notre milieu naturel, une multitude de secteurs économiques et une large population.

DOMAINE D'ETUDE, MATERIELS ET METHODOLOGIE

Introduction

Dans ce chapitre, nous commençons par bien circonscrire la zone d'étude ; nous présentons ensuite le matériel utilisé et nous achevons ce chapitre par la méthodologie utilisée.

2.1 Description et localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est le Cameroun :

Situation géographique

Situé en Afrique centrale, la République du Cameroun s'étend du Golfe de Guinée au Lac Tchad, entre 2° et 13° de latitude Nord, puis, 8°30' et 16°10' de longitude Est (PNACC, 2015). Il a schématiquement la forme d'un triangle délimité par le lac Tchad au Nord ; la Guinée équatoriale, le Gabon et la République du Congo au Sud ; la République centrafricaine et le Tchad à l'Est ; le Nigéria et l'océan atlantique à l'Ouest.

Climat et Végétation

Le Cameroun est situé dans la zone intertropicale, les températures annuelles varient de 21°C à 28°C et augmentent du sud vers le nord. Le pays possède une saison principale des pluies. Les précipitations varient avec la proximité de la mer, l'altitude et la latitude, ainsi elles diminuent de la mer vers l'intérieur et

du Sud vers le Nord. De par sa situation géographique, le Cameroun comporte une grande diversité de climats. Il est traditionnellement divisé en 5 zones agro-écologiques comme le montre la figure 2.1 : Ces zones sont définies sur la base de leurs caractéristiques écologiques, climatiques et édaphiques, elles constituent les entités géographiques les plus appropriées en termes d'adaptation aux changements climatiques (PNACC, 2015).

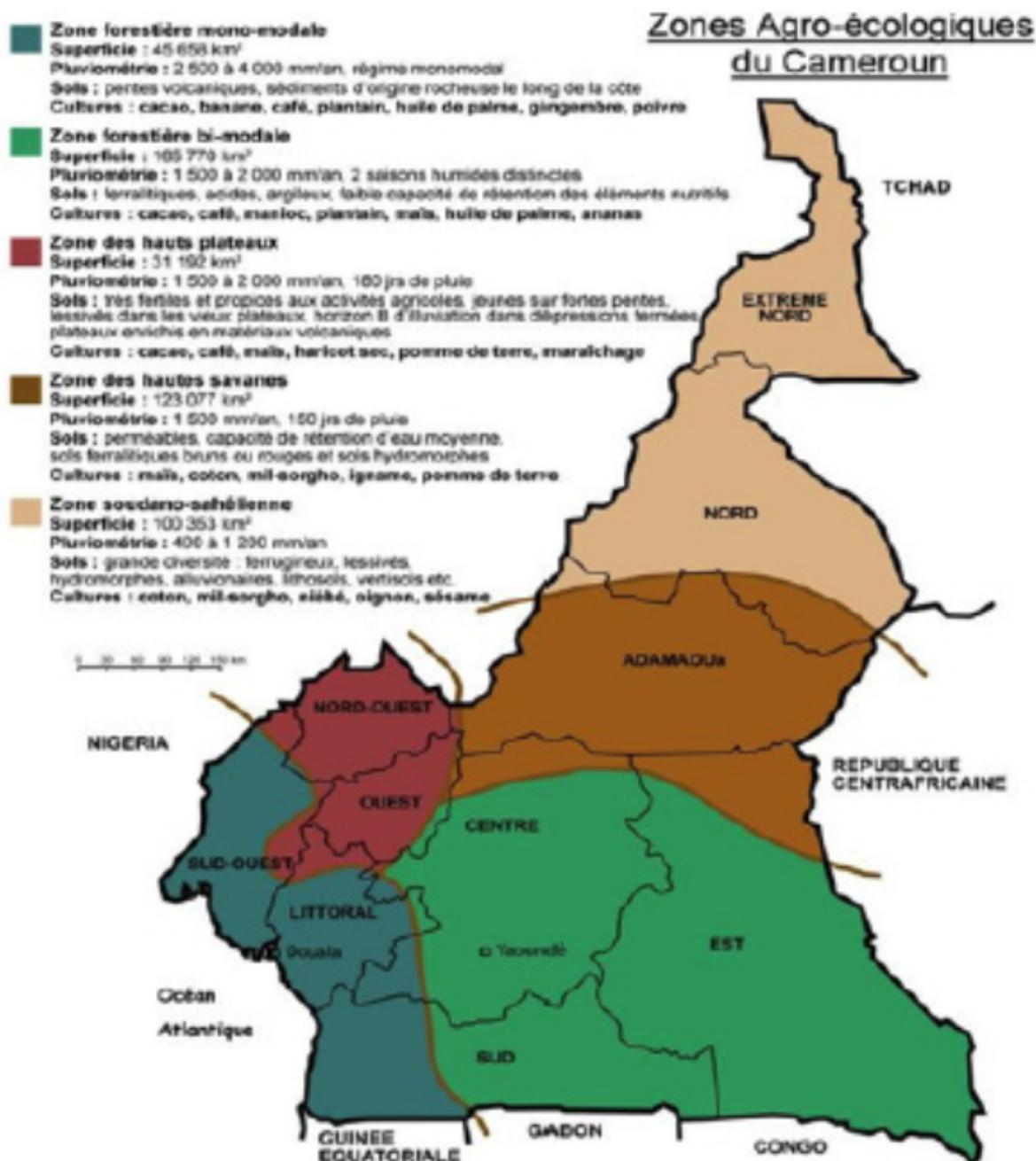


FIGURE 2.1 – Zones agro-écologiques du Cameroun (PNACC, 2015)

2.2 Matériels

2.2.1 Données d'étude

L'un des principaux problèmes dans l'analyse du climat en Afrique et donc au Cameroun est le manque de données d'observation de haute qualité à une résolution spatiale et temporelle appropriée (Nikulin et al. 2012). Au cours des dernières décennies, les mesures satellitaires ont en partie amélioré la situation, et nous utiliserons les données de précipitations journalières des mois d'Avril, Mai et Juin observées par satellite avec une chronique de 16 ans (1998 à 2013). Ces données proviennent de deux sources : Tropical Rainfall Measuring Mission (Huffman et al., 2007) et Global Precipitation Climatology Project (Huffman et al., 2001).

Tropical Rainfall Measuring Mission

Le Tropical Rainfall Measuring Mission en abrégé TRMM, est un satellite entièrement destiné à la mesure des précipitations. Il a permis d'obtenir des séries de données sur les précipitations tropicales et sur les cycles interannuels diurnes. Il a fourni des informations nouvelles et fondamentales sur les systèmes climatiques tropicaux et sub-tropicaux. Dans le domaine de la recherche appliquée la Mission de mesure des précipitations tropicales a notamment fourni de nombreuses informations sur les processus physiques à l'oeuvre à une échelle fine sur la formation des précipitations tropicales. Il a permis également d'établir les mesures effectuées par les instruments d'autres satellites. Dans cette étude, les données journalières TRMM sur la période 1998-2013, à la résolution spatiale $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ont été utilisées.

Global Precipitation Climatology Project

Les données du Global precipitation Climatology Project en abrégé GPCP sont des données de précipitations relevées par la NASA à partir des satellites géostationnaires. Les GPCP offrent aussi le potentiel pour étudier les changements dans la répartition des précipitations. Les données GPCP utilisées sont

des précipitations journalières de $1^\circ \times 1^\circ$ de résolution spatiale sur la période 1998-2013.

2.2.2 Logiciel utilisé

Le logiciel utilisé ici est NCL (NCAR Command Language). C'est un produit du laboratoire informatique et systèmes informatiques du centre national de recherche atmosphérique(NCAR) et parrainé par la National Science Foundation.

L'utilité de la langue NCL est évidente dans trois composantes principales :

- Entrée et sortie de fichier ;
- L'analyse des données ;
- La visualisation.

NCL possède de nombreuses fonctionnalités communes aux langages de programmation modernes, notamment les types, les variables, les opérateurs, les expressions, les instructions, les boucles et les fonctions et procédures.

NCL est utilisé dans le cadre de notre étude pour lire les données qui sont au format netCDF, écrire les programmes pour tracer les différentes figures.

2.3 Méthodologie

Pour étudier la sécheresse dans notre zone d'étude, nous avons étudié le comportement des précipitations ; ensuite nous avons procédé par le calcul des indices statistiques. En effet, Plusieurs indices ont été proposés par les chercheurs pour quantifier la sévérité de la sécheresse. Deux indices feront l'objet de notre étude

2.3.1 Indice Standardisé des Précipitations

L'indice standardisé des précipitations « SPI»(Mc Kee et al. 1993 ; Hayes, 1996) (Standardised Precipitation Index) a été développé en vue de quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources

en eau pour une période donnée. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{S} \quad (2.1)$$

P_i : Pluie de l'année i ; P_m : Pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée ; S : Ecart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

Notons ici que dans le langage de programmation NCL la fonction SPI est prédéfinie. Le SPI est obtenu en ajustant une distribution gamma aux valeurs mensuelles des précipitations. La mise en àoeuvre actuelle de la fonction (`dimspi-n`) utilise un ajustement de distribution gamma à 2 paramètres où les paramètres de forme et d'échelle sont des estimations de probabilité maximale comme décrit ci-dessous.

La fonction de distribution gamma

La densité de probabilité de la fonction de distribution gamma est définie par l'équation 2.2

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right) \quad (2.2)$$

Pour $x > 0$ et où $\alpha > 0$ est une forme de paramètre, $\beta > 0$ est une échelle paramétrique, $x > 0$ est la quantité de précipitations et $g(x)$ est la fonction gamma. Des descriptions plus détaillées de la fonction de distribution gamma se trouvent dans Lloyd-Hughes et Saunders(2002) et Guttman(1999). α et β sont estimés à partir des données d'échantillonnage. En utilisant l'approximation pour ML définie par Thom(1958), ils peuvent être estimés à partir des équations 2.3 et 2.4

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2.3)$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad (2.4)$$

Où x est une précipitation moyenne et A donné par l'équation 2.5

$$A = \ln(x) - n^{-1} \sum \ln(x) \quad (2.5)$$

Classification des sécheresses selon le SPI

Cet indice est utilisé pour la caractérisation des sécheresses locales ou régionales. Etudier cet indice permet également de distinguer les années sèches des années humides ou les années déficitaires des années excédentaires. Une sécheresse sévit lorsque le SPI est consécutivement négatif et se termine lorsque le SPI devient positif. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs du SPI (Tableau 2.1).

TABLE 2.1 – Classification des séquences de sécheresse selon SPI.

Classe des SPI	Qualification
SPI>2	Humidité extrême
1<SPI<2	Humidité forte
0<SPI<1	Humidité modérée
-1<SPI<0	Sécheresse modérée
-2<SPI<-1	Sécheresse forte
SPI<-2	Sécheresse extrême

2.3.2 Indice des jours consécutifs secs

L'indice des jours consécutifs secs (JCS) ou Consecutive Dry Days (CDD) a été étudié par Haylock et al (2006). Il définit le nombre de jours consécutifs avec un total de précipitation ou Rainfall Rate (RR) inférieur à 1 mm/jour.

Conclusion

En somme, nous utilisons les données de précipitations journalières de la saison Avril-Mai-Juin relevées par satellite à partir de deux sources : TRMM et GPCP. Le logiciel NCL nous a permis d'avoir les figures qui sont présentées dans le chapitre suivant.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction

L'application de la méthodologie présentée au chapitre précédent sur les données de précipitations journalières de nos deux sources, nous a donné des résultats qui sont présentés dans ce chapitre. Ce dernier aura donc pour objectif de faire tout d'abord l'analyse des précipitations, ensuite, de faire l'analyse des différents indices utilisés à fin de pouvoir tirer des conclusions.

3.1 Analyse des précipitations

3.1.1 Précipitations journalières

Les figures 3.1 et 3.2 nous montrent les variabilités spatiales de la moyenne des précipitations saisonnières d'Avril- Mai-Juin des données GPCP et TRMM respectivement.

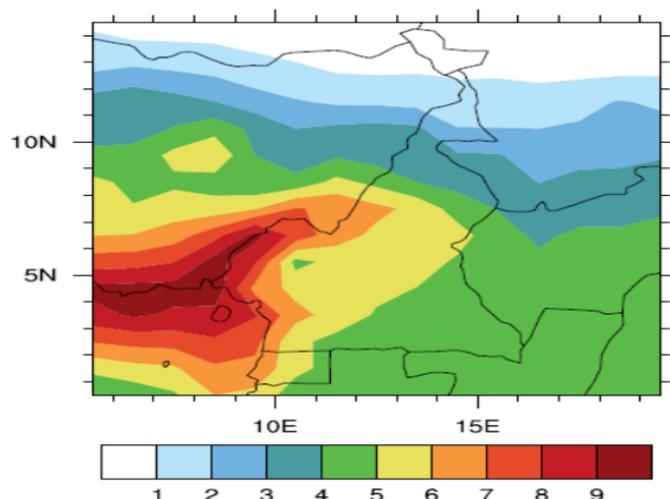


FIGURE 3.1 – Variabilité spatiale des Précipitations (mm/jours) moyennées sur la saison AMJ de 1998 à 2013 pour les données GPCP

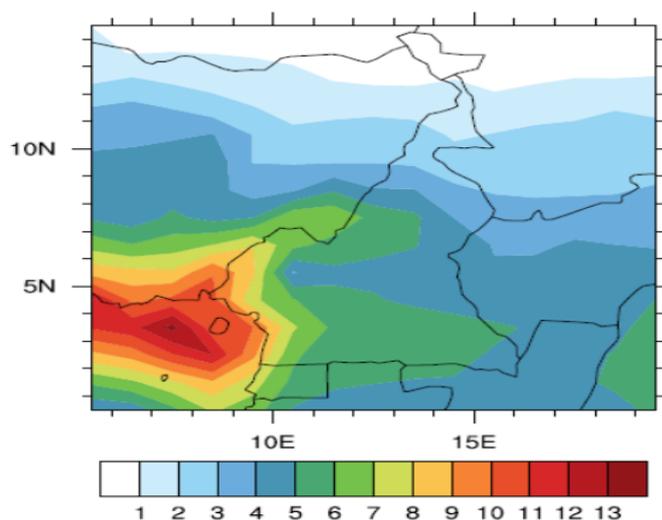


FIGURE 3.2 – Variabilité spatiale des Précipitations (mm/jours) moyennées sur la saison AMJ de 1998 à 2013 dans les données TRMM

Il ressort de ces deux figures que les précipitations journalières moyennées sur la période Avril- Mai-Juin dans les deux sources de données varient entre 0 et 12mm/jour. Ces précipitations diminuent du sud vers le nord et de la mer vers l'intérieur du continent (Figure 3.1 et 3.2). En effet, les précipitations des régions du sud-Ouest, du littoral et une partie de la région du sud Cameroun plus précisément la ville de KRIBI situées au bord de l'océan atlantique sont plus

abondantes et varient entre 6 et 12 mm/jour dans les données GPCP (Figure 3.1) et entre 7 et 10 mm/jour dans les données TRMM (Figure 3.2). Dans les régions de l'Ouest et du Nord-Ouest, les précipitations varient entre 6 et 9 mm (Figures 3.1 et 3.2). Les régions de l'Adamaoua, du centre, de l'est et du sud ont enregistré des précipitations qui varient de 4 à 7 mm/jour (Figures 3.1 et 3.2); Celles de la partie septentrionale notamment pour les régions du nord et de l'extrême nord sont plus faibles et varient de 0 à 4 mm/jour (Figures 3.1 et 3.2). Bien que les données TRMM (Figure 3.1) et GPCP (Figure 3.2) présentent de fortes similitudes telles que la co-localisation des maxima et minima, ainsi que la diminution des précipitations du Sud vers le Nord de la zone d'étude, quelques différences apparaissent. Notamment, on note des intensités de pluie plus importantes dans les données GPCP (Figure 3.1) comparées aux données TRMM (Figure 3.2).

Les précipitations enregistrées obéissent aux caractéristiques climatiques du Cameroun. Selon ces résultats, la probabilité d'avoir eu des événements de sécheresse est plus grande dans la partie septentrionale du pays. Car les précipitations journalières enregistrées sont plus faibles. Nous continuons l'analyse des précipitations dans le paragraphe suivant consacré à l'analyse du cycle annuel des précipitations.

3.1.2 Cycle annuel des précipitations

Le calcul des moyennes mensuelles des précipitations journalières nous a permis de représenter le cycle annuel des précipitations dans la zone d'étude. Les figures 3.3 et 3.4 montrent l'évolution moyenne annuelle des moyennes mensuelles des précipitations pour la période allant de 1998 à 2013 respectivement dans les données GPCP et TRMM.

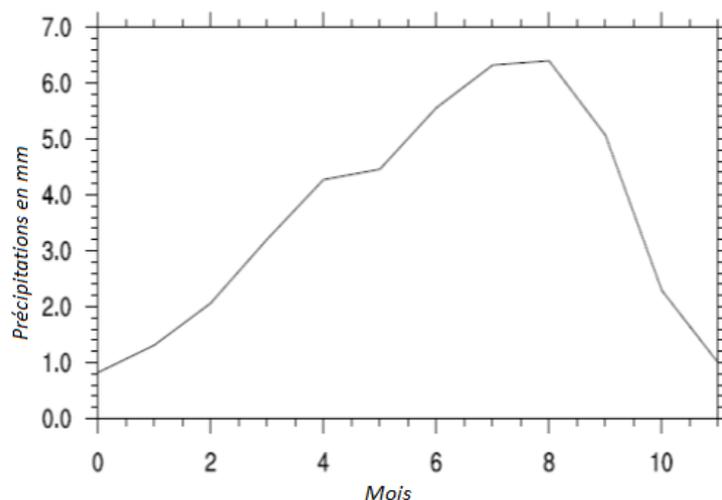


FIGURE 3.3 – Cycle annuel des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données GPCP

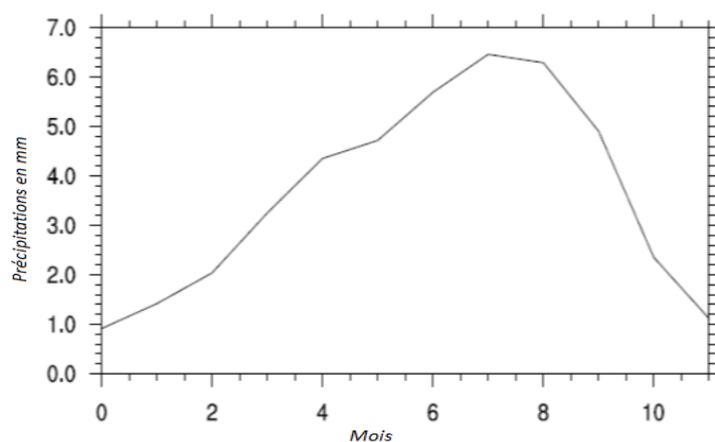


FIGURE 3.4 – Cycle annuel des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données TRMM

La figure 3.3 nous montre que les précipitations augmentent de Janvier à Septembre, puis baissent de Septembre à Décembre. La plus grande valeur est obtenue en Septembre et vaut environ 6,8 mm ; la plus petite valeur des précipitations est enregistrée au mois de Janvier et vaut environ 0,8mm.

La figure 3.4 par contre nous montre que les précipitations augmentent de Janvier à Aout, puis baissent d’Aout à Décembre. La valeur maximale est donc obtenue au mois d’Aout et vaut environ 6,8mm et la valeur minimale est obtenue en Janvier et vaut environ 0,9mm. Ces résultats sont en accord avec la littérature

(J.C. Olivry, 1986). En effet, plus de la moitié du pays se situe au nord du FIT en Janvier et au sud du FIT entre Juillet et Octobre. Selon ces résultats, il est probable qu'il y ait eu plus d'événements de sécheresse au Cameroun de 1998 à 2013 pendant les mois de Janvier, Février et Décembre. Car les précipitations sont plus faibles dans le pays pendant ces mois. Le paragraphe suivant présente la variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations.

3.1.3 Variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations

Les figures 3.5 et 3.6 ci-dessous montrent la variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations pendant la période 1998-2013 au Cameroun pour les données GPCP et TRMM respectivement.

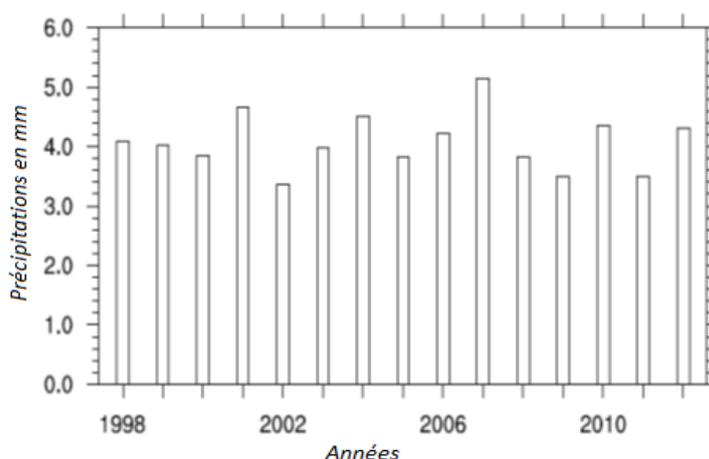


FIGURE 3.5 – Variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données GPCP

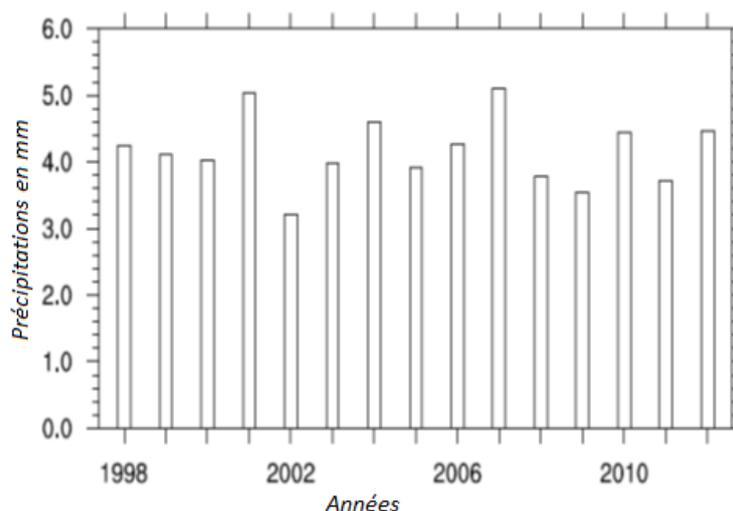


FIGURE 3.6 – Variabilité interannuelle des moyennes saisonnières AMJ des précipitations pendant la période 1998-2013 dans les données TRMM

Ces deux figures sont presque identiques et présentent chacune cinq périodes distinctes : la première va de 1998 à 2000 caractérisée par une baisse très légère des précipitations au cours du temps. La deuxième va de 2002 à 2004 caractérisée par une augmentation des précipitations. La troisième de 2005 à 2007 où les précipitations croient également. La quatrième est caractérisée par une diminution des précipitations au cours du temps et va de 2007 à 2009. Pour la cinquième période, les précipitations diminuent de 2010 à 2011, puis augmentent de 2011 à 2012. Les baisses des précipitations pendant la saison Avril-Mai-Juin observées sur certaines périodes pourraient être à l'origine des événements de sécheresse.

Au terme de cette analyse des précipitations, il ressort que le sud du Cameroun est plus arrosé que la partie septentrionale. La plus grande valeur de la moyenne mensuelle des précipitations est obtenue entre Aout et Septembre et la plus petite valeur est obtenue entre Janvier et Février. On note également des périodes où les précipitations de la saison Avril-Mai-Juin baissent et des périodes où ces précipitations augmentent. On s'attendrait donc à des alternances d'évènements secs et humides. Le calcul des indices de sécheresse nous a donné les résultats présentés dans le paragraphe 3.2 suivant.

3.2 Analyse des indices de sécheresse au Cameroun pendant la période 1998-2013 pour la saison Avril-Mai-Juin

3.2.1 Indice SPI

Le calcul du SPI effectué sur nos données nous a donné les résultats qui nous ont permis d'obtenir les figures 3.7 et 3.8 montrant la variabilité interannuelle du SPI de 1998 à 2013 au Cameroun pour les données GPCP et TRMM respectivement.

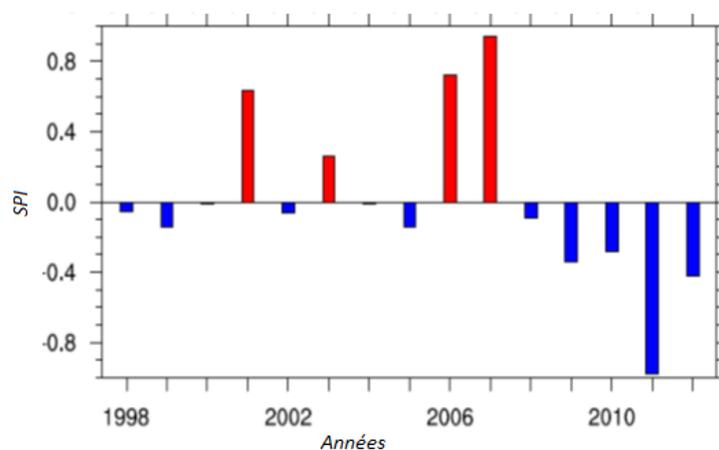


FIGURE 3.7 – Variabilité interannuelle du SPI GPCP AMJ de 1998 à 2013

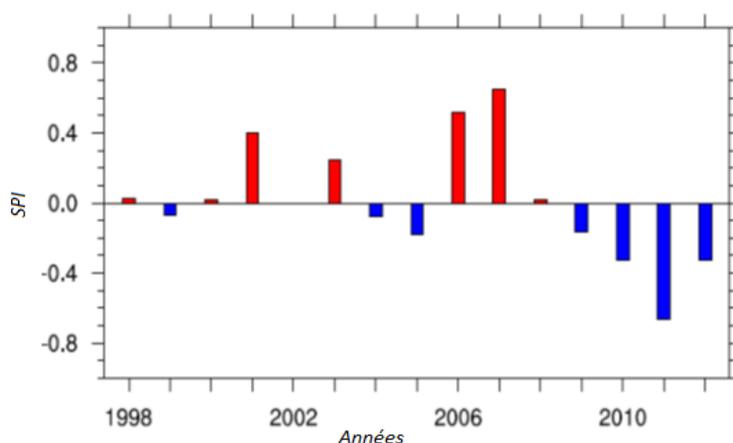


FIGURE 3.8 – Variabilité interannuelle du SPI TRMM AMJ de 1998 à 2013

Il ressort de la figure 3.7 que sur la période allant de 1998 à 2013, notre zone d'étude a enregistré plus d'années sèches que d'années humides. Soit 11 années sèches contre 4 années humides. On note également deux périodes sèches : la première période va de 1998 à 2000 et la deuxième période de 2008 à 2012. Ces deux périodes sont des périodes à sécheresse modérée ($0 < SPI < -1$). Entre ces deux périodes de sécheresse, on note une période dite de transition car on a alternativement des années sèches et humides mais les années humides ont une intensité bien plus importante. Cette zone de transition va de 2001 à 2007 et présente des sécheresses et humidités modérées ($-1 < SPI < 1$). A partir de 2008, on note un renforcement des conditions sèches avec un pic en 2011.

La figure 3.8 par contre montre que sur la période allant de 1998 à 2013, notre zone d'étude a enregistré autant d'années sèches que d'années humides. Soit 7 années sèches et 7 années humides. Ces sécheresses et humidités sont de types modérées ($-1 < SPI < 1$). On note ce pendant deux périodes : Jusqu'en 2008 on a une alternance d'années sèches et humides mais les années humides ont une intensité bien plus importante. A partir de 2009 on note un renforcement des conditions sèches avec un pic en 2011.

De l'analyse des figures 3.7 et 3.8 précédentes, on a une tendance générale du SPI à la baisse sur la période d'étude ce qui prévoirait un renforcement des conditions sèches. Nous ferons l'analyse de l'indice des jours consécutifs secs (JCS) dans le paragraphe 3.2.2 ci après.

3.2.2 Indice JCS

Variabilité spatiale

Le calcul de l'indice des jours consécutifs secs nous a donné les résultats qui nous ont permis d'obtenir les figures 3.9 et 3.10 montrant la variabilité spatiale du JCS pendant la période 1998-2013 au Cameroun pour les données GPCP et TRMM respectivement.

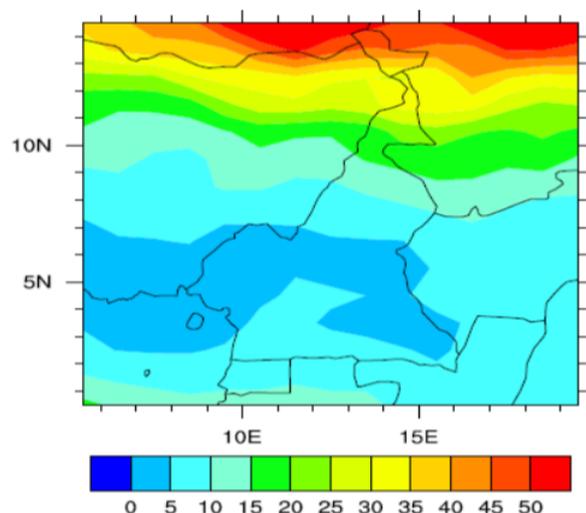


FIGURE 3.9 – variabilité spatiale de la moyenne pour la saison AMJ du JCS dans les données GPCP de 1998 à 2013

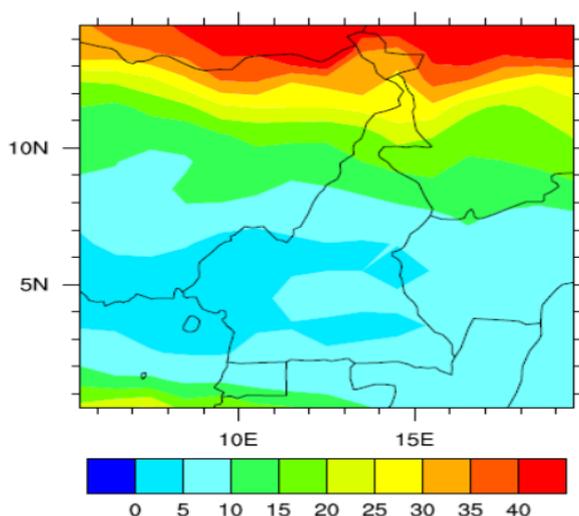


FIGURE 3.10 – variabilité spatiale de la moyenne pour la saison AMJ du JCS dans les données TRMM de 1998 à 2013

La figure 3.9 montre que le JCS varie de 0 à 35. Alors que pour la figure 3.10, ce JCS varie entre 0 et 30. Par contre les deux figures nous montrent que le JCS varie dans le sens contraire des précipitations. En effet, on observe que cet indice augmente du sud vers le nord et de la mer vers l'intérieur. Dans les régions de l'Adamaoua, du nord et de l'extrême nord, le JCS varie de 5 à 35 pour la figure 3.9 et de 5 à 30 pour la figure 3.10. Dans le reste du pays, cet indice varie de 0 à 5. Nous continuons à analyser l'indice JCS par la variabilité

interannuelle.

variabilité interannuelle

Les figures 3.11 et 3.12 montrent la variabilité interannuelle du JCS pendant la saison AMJ de 1998 à 2013 au Cameroun pour les données GPCP et TRMM respectivement.

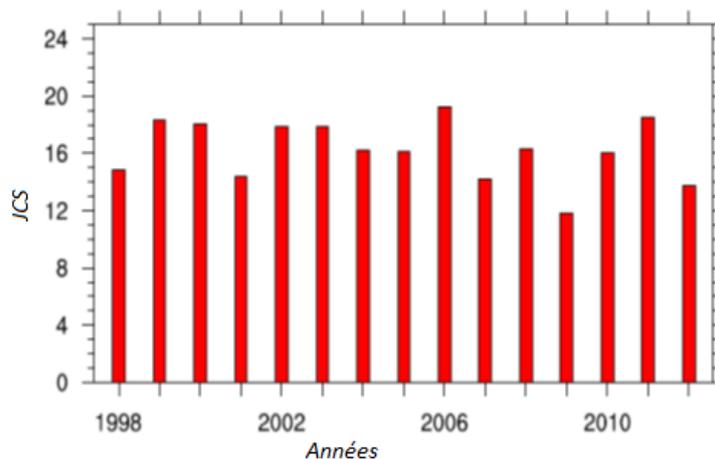


FIGURE 3.11 – Variabilité interannuelle du JCS pendant la saison AMJ dans les données GPCP de 1998 à 2013

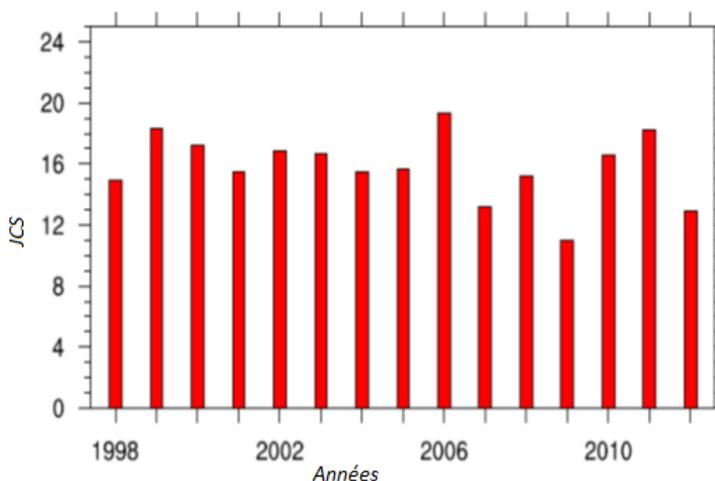


FIGURE 3.12 – Variabilité interannuelle du JCS pendant la saison AMJ dans les données TRMM de 1998 à 2013

Les figures 3.11 et 3.12 montrent de fortes similitudes et indiquent que le nombre de jours secs consécutif pendant la saison Avril-Mai-Juin a varié de façon aléatoire de 1998 à 2013. On remarque ce pendant que l'année 2009 a enregistré la plus petite valeur du JCS (environ 11 jours), l'année 2006 a enregistré la plus grande valeur (19 jours environ). On remarque également que le JCS de la période allant de 1998 à 2006 n'a pas beaucoup varié mais avec une tendance à la baisse, avec une diminution considérable en 2007. Nous analysons par la suite les tendances du JCS.

Tendances

Les figures 3.13 et 3.14 montrent les tendances du JCS pour la saison Avril-Mai-Juin pendant la période 1998-2013 dans les données GPCP et TRMM respectivement.

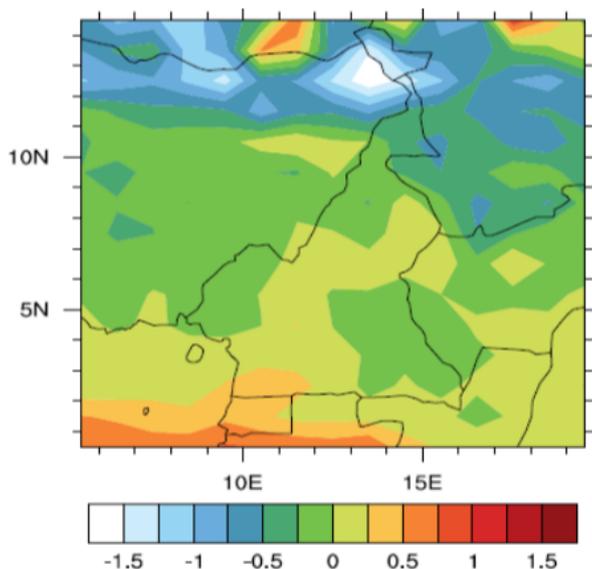


FIGURE 3.13 – Distribution spatiale des tendances du JCS pour la saison AMJ pendant la période 1998-2013 de l'indice JCS dans les données GPCP.

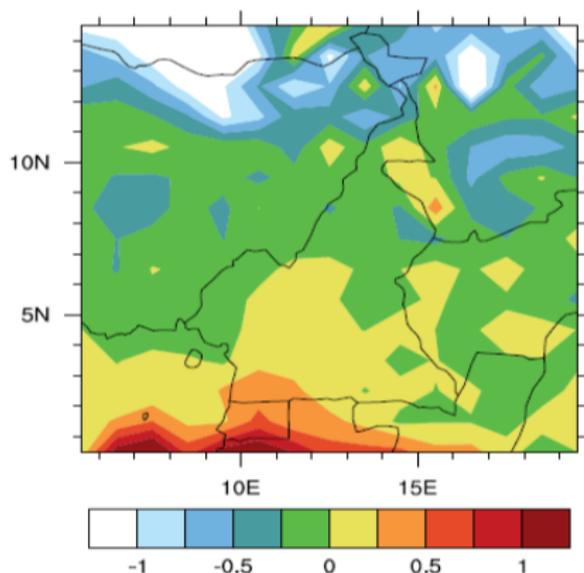


FIGURE 3.14 – Distribution spatiale des tendances du JCS pour la saison AMJ pendant la période 1998-2013 de l'indice JCS dans les données TRMM.

La figure 3.13 nous montre que dans la grande partie du Sud Cameroun (zones de la figure en jaune et orange), le JCS est à la hausse car le coefficient de la détermination des tendances est positif et varie entre 0 et 0,5 ; dans le reste du pays (zones en verte), le JCS est à la baisse car le coefficient des tendances est négatif et varie entre -0,5 et 0.

La figure 3.14 montre également deux zones : la première (zones en jaune et orange) concerne également une grande partie du Sud Cameroun, le JCS est ici à la hausse car le coefficient des tendances est positif et varie entre 0 et 0,5 ; la deuxième (zones vertes et blues) concerne le reste du pays, le JCS est à la baisse car le coefficient des tendances est négatif et varie entre -0,75 et 0.

Ces résultats suggèrent un renforcement des événements de sécheresse entre 1998 et 2013 dans le Sud et l'inverse observé dans le Nord du Cameroun. Ces résultats indiquent également une sécheresse à long terme dans le Sud avec des conséquences telles que la dégradation des plantes et la baisse de la production agricole. Zhou et al (2014) a montré que ce renforcement des conditions sèches dans la zone forestière du bassin du Congo est associé à une baisse de la verdure et de l'activité photosynthétique du massif forestier.

Ces résultats ont été confirmés par l'étude de Hua et al. (2016, 2017) qui associe ce renforcement des conditions sèches à une modification de la circulation atmosphérique, et de la structure verticale de la convection en Afrique Centrale (Raghayendra et al 2018). L'occurrence d'une séquence de jours consécutifs secs (JCS) au sein de la saison des pluies peuvent aussi avoir un impact fort sur la production agricole. Les séquences sèches créent un manque d'eau au niveau de la plante. Quand elles interviennent au début ou en pleine saison de croissance, elles peuvent être à l'origine d'un faux démarrage de saison ou encore hypothéquer toute une campagne agricole (René Balliet et al. , 2016) .

Conclusion

En résumé, l'analyse des précipitations nous montre que le Sud du Cameroun est plus arrosé que la partie septentrionale du pays. De l'analyse du SPI, on a une tendance du SPI à la baisse ce qui prévoirait un renforcement des conditions sèches au Cameroun. De l'analyse de l'indice JCS, on a une tendance du JCS à la hausse au Sud et l'inverse dans le Nord. Les conditions sèches auraient donc tendance à se renforcer dans le Sud et l'inverse dans le Nord.

IMPLICATIONS PEDAGOGIQUES

Introduction

Ce chapitre vise à montrer l'apport de notre analyse sur le système éducatif. De voir dans quelle mesure les différents maillons de la chaîne du système éducatif camerounais pourront l'utiliser pour rendre les enseignements plus efficaces et efficients. De ce fait, le canevas adopté dans ce chapitre est le suivant : intérêt didactique, apport chez l'enseignant, apport chez les élèves.

4.1 Intérêt didactique

La didactique est une science ayant pour objet l'optimisation des apprentissages dans une situation d'enseignement ou de formation. La didactique d'une discipline est celle qui étudie les principaux concepts propre à la discipline, à l'évolution de ces concepts, à leur vulgarisation, à leur mode d'acquisition. C'est donc la didactique d'une discipline qui est centrée sur le choix des contenus de la discipline par niveau. Dans les chapitres précédents, nous avons fait l'analyse de la pluviométrie au Cameroun. L'apport didactique de notre travail dans les programmes officiels de physique, chimie et technologique se situe dans les classes de cinquième, quatrième et troisième de l'enseignement secondaire général et dans les classes de première, deuxième, troisième et quatrième année industrielle de l'enseignement secondaire technique.

Ceci parce que notre travail est :

– En classe de cinquième de l'enseignement secondaire général et première année industrielle de l'enseignement secondaire technique, un outil d'illustra-

tion des transformations physiques de l'eau vu dans le module 2 et intitulé : La matière : Ses propriétés et ses transformations. En effet, lorsqu'on parle de précipitations on voit le cycle de l'eau qui commence par l'eau liquide qui sous l'effet de la chaleur du soleil s'évapore et se transforme en gaz puis lors de son ascendance elle se condense et donne lieu à des précipitations liquides ; ou à une certaine température au dessus du sol elle peut se solidifier et donner lieu à des précipitations solides.

—En classe de première et deuxième année industrielle de l'enseignement secondaire technique un outil d'illustration des différentes leçons du module intitulé : l'énergie : ses sources et sa gestion, en classe de quatrième et troisième de l'enseignement secondaire général et dans les classes de troisième et quatrième année industrielle de l'enseignement secondaire technique, un outil d'illustration des différentes leçons du module intitulé : Chimie et protection de l'environnement. Du fait que, dans ces modules on voit comment utiliser les produits tels que les sources d'énergie fossiles, les engrais, les matières plastiques et simultanément comment protéger l'environnement de tous déchets produits par ces derniers, on peut utiliser les sécheresses pour montrer l'impact de la mauvaise gestion de ces produits sur l'environnement et les dégâts qu'elles peuvent engendrer. Ceci par ce que dans notre travail nous avons dit que les sécheresses observées sur le terrain étaient aussi causées par les activités d'origine anthropiques.

Somme toute, notre étude faite sur les précipitations et sur les sécheresses apporte beaucoup d'illustrations pour montrer le but de l'enseignement de la discipline de physique, chimie et technologique au secondaire.

Ce sujet de mémoire touche aussi d'autres disciplines du secondaire comme par exemple la géographie. En effet dans notre travail nous avons analysé la répartition de la pluviométrie au Cameroun et on a vu aussi les caractéristiques des précipitations. Ainsi un élève professeur ou un professeur de lycées et collèges trouvera dans ce travail tous les éléments nécessaires pour expliquer la variabilité du climat et de leur impact sur l'environnement, aux élèves des classes

de 6e et de 2nde de l'enseignement secondaire général, car l'étude climatique du Cameroun fait parti de leur programme officiel. Ce travail est basé sur des méthodes purement statistiques. De ce fait elle permettra aux didacticiens de mathématiques de choisir des méthodes d'enseignement plus pratiques et plus concrètes.

4.2 Apports chez les enseignants

Ce sujet de mémoire permettra à l'enseignant de physique, chimie et technologie ou de géographie de faire un lien entre ses enseignements et les phénomènes quotidiens de l'environnement de l'élève. L'enseignant l'utilisera pour captiver l'attention des élèves et de les rendre compétent et aptes à la résolution, l'explication des phénomènes naturels qui les entourent. Par exemple les précipitations et les sécheresses.

4.3 Apports chez les élèves.

L'analyse faite dans les chapitres précédents permettra aux élèves de consolider les acquis reçus en classe, de le motiver à améliorer sa relation, sa connaissance, et son ouverture à l'environnement. De leur donner des outils nécessaires à la conduite des activités intégratrices concernant la pollution et les transformations physiques de l'eau, les analyses statistiques et les variabilités climatiques du Cameroun. En résumé au vu de nos analyses et résultats obtenus, notre étude portée sur l'analyse de la pluviométrie au Cameroun, est une véritable richesse et un outil de travail pour mettre en place les nouvelles approches d'enseignement centrées sur l'approche par les compétences avec entrée par les situations de vie(APC-ESV). Ceci par ce qu'elle touche à la fois plusieurs disciplines ou domaines d'étude du programme officiel des enseignements des lycées et collèges d'enseignement général et technique.

4.4 Fiche d'activités

4.4.1 Activités

Activité 1 : Le changement climatique

A- Texte lacunaire : Qu'est-ce que l'effet de serre naturel ?

L'effet de serre est un mécanisme.....qui se produit en plusieurs étapes. Le soleil envoie de.....sous forme de..... à la terre. Une fois réchauffée, la Terre rejette la chaleur vers..... La chaleur est retenue par des gaz présents dans l'atmosphère, les.....On les appelle ainsi, car comme dans une serre de jardin, ils.....l'énergie et la renvoient vers la Terre. Sans cela, la température sur Terre serait de..... au lieu de

Mots à replacer dans le texte : -18°C / gaz à effet de serre / l'espace / rayonnements / naturel / 15°C / emprisonnent / l'énergie.

B- VRAI ou FAUX. Entoure V pour VRAI et F pour FAUX

- a. Il y a toujours eu des changements climatiques dans l'histoire du climat. V / F
- b. La fonte des icebergs est une des causes principales du changement climatique actuel. V / F
- c. A chaque fois que l'on change de saison, il y a un changement climatique. V / F
- d. L'homme est victime du changement climatique actuel. V / F
- e. L'homme n'est pas responsable du changement climatique actuel. V / F
- f. Depuis le début de ce siècle la température sur Terre a augmenté de 5,4°C en moyenne. V / F
- g. L'effet de serre est un mécanisme qui se produit une fois par an. V / F
- h. Les gaz à effet de serre sont présents naturellement dans l'atmosphère. V / F
- i. Il existe un lien entre la température moyenne qu'il fait sur Terre et la quantité de gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. V / F
- j. L'homme produit des gaz à effet de serre qui s'additionnent à la quantité de gaz à effet de serre déjà présents naturellement dans l'atmosphère. V / F

Activité 2 : La sécheresse

A- Complétez en utilisant les mots ou expressions suivants : gaz à effet de serre, l'insuffisance des pluies, activités humaines, naturel, changement climatique.

La sécheresse est un phénomènesa cause principale est.....
Elle est accentuée par le.....du aux.....qui augmentent les.....

B- Donnez les conséquences de la sécheresse sur votre milieu et sur vous.

- Comment lutter contre la sécheresse ?

4.4.2 Réponses

Activité 1

A- naturel - l'énergie - rayonnements - l'espace - gaz à effet de serre - emprisonnent -

-18°C - 15°C

B- a.V - b.F - c.F - d.V - e.F - f.F - g.F - h.V - i.V - j.V

Activité 2

A- naturel - l'insuffisance des pluies - changement climatique - activités humaines - gaz à effet de serre.

B- Conséquences de la sécheresse :

Sur le milieu : dégradation de la végétation et des sols ayant pour conséquence une baisse de la biodiversité animale et végétale ; baisse de la production agricole et baisse des produits de l'élevage.

Sur nous : pénurie des denrées alimentaires pouvant aller à des famines ; épidémies.

- pour lutter contre la sécheresse nous devons limiter la production des gaz à effet de serre ; lutter contre la déforestation ; limiter l'utilisation des produits chimiques pour l'agriculture ; planter les arbres.

Conclusion

En résumé, notre thème présente un intérêt didactique dans les programmes officiels de physique, chimie et technologie dans certaines classes de l'enseignement secondaire général et de l'enseignement secondaire technique. Chez l'enseignant et chez l'élève, ce thème permet de faire un lien entre les enseignements et les phénomènes de l'environnement.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Arrivé au terme de notre travail dont l'objectif était de caractériser l'évolution des indices des extrêmes associée aux sécheresses, en relation avec la variabilité climatique observée ces dernières années au Cameroun, nous avons obtenus les résultats suivants :

A partir de l'analyse des précipitations, nous constatons que le sud-Cameroun est plus arrosé que la partie septentrionale du pays. Les précipitations sont plus faibles pendant les mois de Décembre, Janvier et Février. Les moyennes saisonnières AMJ des précipitations pendant la période 1998-2013 au Cameroun ont baissé sur certaines périodes. Ces résultats nous ont permis d'expliquer le fait que le nord-Cameroun soit le plus frappé par les événements de sécheresse que le reste du pays. Les événements de sécheresse se seraient produits au Cameroun pendant la période 1998-2013 à cause des baisses des précipitations de la saison AMJ.

A partir de l'analyse du SPI on a une tendance générale du SPI à la baisse sur la période d'étude ce qui prévoirait un renforcement des conditions sèches au Cameroun pendant la période d'étude.

De l'analyse de l'indice JCS, une observation majeure est le dipôle nord-sud, avec une augmentation de JCS dans le sud et une diminution dans le nord. Les conditions sèches auraient donc tendance à se renforcer dans le sud du Cameroun et l'inverse observé dans le nord. Ce qui expliquerait la dégradation des plantes et la baisse de la production agricole déjà observées dans cette zone.

Ce travail ouvre des perspectives dans le cadre des politiques d'urbanisation et de protection de l'environnement. Nous avons pour perspectives pour consolider nos recherches, de confronter nos résultats avec ceux obtenus à partir des

données obtenues sur le terrain ; faire ces études en Afrique centrale ; faire une étude préventive des sécheresses au Cameroun afin de limiter les dégâts qu'elles occasionnent ou de proposer aux populations des mesures d'adaptation au cas échéant.

Bibliographie

- [1] Itier B. et Seguin B. : *La sécheresse : Caractérisation et occurrence, en lien avec le climat et l'hydrologie*. Fourrages, 190, 147-162, 2007
- [2] Bring et FOUPOUAPOPOUO M. : *Les conditions et les stratégies de lutte contre la sécheresse au Cameroun.*,2016
- [3] Fanny Laurent : *Pluies extrêmes en BOLIVIE (1950-2000)*. Stage de M2 Février-Juin 2007. Université Paris7-Denis Diderot,2007
- [4] Soro G.E. et al. : *Caractérisation des séquences de sécheresse Météorologique à diverses Echelles de temps en climat de type soudanais : Cas de l'extrême nord-ouest de la cote d'ivoire*. Laryss Journal, 18, 107-124,2014
- [5] Hernandez Pauline : *Effet d'une sécheresse extrême sur le fonctionnement de l'écosystème prairial : évaluation du rôle tampon de la composition et de la diversité végétale par approche expérimentale*. Thèse doctorat science de la Terre université Blaise Pascal-Clermont Ferrand II, 2016
- [6] Hua W.,Zhou L.,Chen H., Nicholson S., Raghavendra A., and Jiang Y. : *Possible Causes of the Central Equatorial African Long-term Drought*. Environ. Res. Lett., 11, 124002,2016
- [7] Hua W., Zhou L.,Chen H., Nicholson S.E., Jiang Y., Raghavendra A. : *Understanding the Central Equatorial African long-term drought using AMIPtype simulations*. Climate Dyn., 50, 1115-1128,2018
- [8] Huffman G. J., Adler R.F., Morrissey M., Bolvin D., Curtis S.,JoyceR., McGavock B. and Susskind J. : *Global precipitation at onedegree daily resolution from multi-satellite observations*, J. Hydrometeorol, 2, 36-50, 2001 doi :10.1175/1525-7541(2001)002 < 0036 : GPAODD>2.0.CO ;2.

- [9] Huffman G. J. et al. : *The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA)* : Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales, *J. Hydrometeorol.*, 8, 38-55, doi :10.1175/JHM560.1,2007
- [10] Institut national de la statistique *Chapitre 3 : Climatologie.*, annuaire statistique du Cameroun, édition 2015.
- [11] Olivry J.C. : *Fleuves et Rivières du Cameroun*. Monographie hydrologique Orstom thèse sciences. Université de Montpellier(USTL),1986
- [12] Royer J.F. et al. : *Simulation des changements climatiques au cours du XXIe siècle incluant l’ozone stratosphérique*. *C.R.Géoscience*, 334, 147-154.,2002
- [13] SVOBODA M. et Fuchs B.A. : *Manuel des indicateurs et indices de sécheresse*. OMM-NO 1173,2016
- [14] SVOBODA M., Hayes M. et Wood D. : *Guide d’utilisation de l’indice de précipitation normalisé*. OMM-NO 1090, Genève,2012
- [15] BIED-CHARRETON Marc : *Sécheresse, Désertification et développement en AFRIQUE*. Cours de master 2-UVSQ et CERDI version 10/10/09,2007
- [16] MINEPDED : (*Ministère de l’environnement, de la protection de la nature et du développement durable*) : PNACC CAMEROUN,2015
- [17] Raghavendra A., Zhou L., Jiang Y. and Hua W. : *Increasing Extent and Intensity of Thunderstorms Observed Over the Congo from 1982-2016*. *Atmos. Res.*, 213, 17-26, 2018
- [18] Balliet René et al. : *Evolution des extrêmes pluviométriques dans la région du GÔH (centre-ouest de la cote d’ivoire)*. *European scientific journal*, 23(12), 74-87,2016
- [19] Victor Manuel Reyes-Gómez et al. : *Caractérisation de la sécheresse hydrologique dans le bassin versant du Río Conchos (Etat de Chihuahua, Mexique)*. *Sécheresse*, 17(4), 475-484,2006

- [20] Zhou L, Tian Y, Myneni RB, Ciais P, Saatchi S, Liu YY, Piao S, Chen H, Vermote EF, Song C, Hwang T *Widespread decline of Congo rainforest greenness in the past decade*. Nature 509 :86-90,2014