

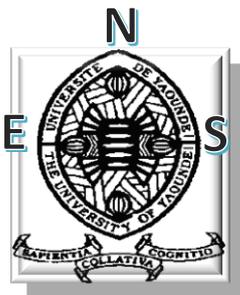
RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN

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

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES INDICES HYDROLOGIQUES LIÉS A LA FORET EN AFRIQUE CENTRALE

*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 :

NDOMO MEKANDA Michel Barbara

Licencié ès Physiques

Matricule : 12W0314

Sous la direction de :

Dr. POKAM MBA Wilfried

Chargé de Cours

(Université de Yaoundé I)

Année académique 2018-2019

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES INDICES HYDROLOGIQUES LIÉS A LA FORET EN AFRIQUE CENTRALE

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

Par :

NDOMO MEKANDA Michel Barbara

Licencié ès Physiques

Matricule : **12W0314**

Sous la direction de :

Dr. POKAM MBA Wilfried

Chargé de Cours

(Université de Yaoundé I)

Année académique 2018-2019

Dédicace

Je dédie ce travail à :

Ma mère BEKONO CHARLOTTE BLANDINE qui a inculqué en nous l'esprit de travail, de persévérance et qui ne cesse de multiplier les efforts au quotidien pour nous voir réussir.

Mes petites soeurs NGA MEKANDA Christelle, EMBOLO Chimène, et à mon petit frère MEKANDA Yvan pour leurs prières durant toutes ces années

Touvez ici l'expression de la gratitude et de toute mon affection pour votre amour, votre abnégation et pour tous vos sacrifices.

Remerciements

Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la contribution directe ou indirecte de nombreuses personnes envers lesquelles, je profite de l'opportunité qui m'est présentée pour leur exprimer toute ma reconnaissance.

Je rends grâce à Dieu Tout Puissant pour m'avoir donné des dispositions physiques, mentales, intellectuelles et morales qui m'ont permises de réaliser ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à :

Mon encadreur Dr POKAM MBA Wilfried pour avoir accepté de diriger ce travail et pour sa bonne compréhension à mon égard.

Toutes les enseignantes et tous les enseignants de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé et particulièrement du département de physique et de chimie ayant contribué à ma formation. Vous avez fait de moi la femme que je suis.

Au membre du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Ma grand-mère Anaba Antoinette pour son soutien, les prières et les encouragements qu'elle n'a jamais cessé d'adresser à ma faveur.

À ma tante Odette pour le soutien, les prières et les encouragements qu'elle n'a jamais cessé d'adresser à ma faveur.

À mon compagnon Hermann Tékam pour son soutien, les prières et les encouragements qu'il n'a jamais cessé d'adresser à ma faveur. Mon vocabulaire n'est pas assez riche pour exprimer toute ma reconnaissance une fois de plus merci.

Ma soeur de coeur Nzogang carol Vanessa pour le soutien, les prières et les encouragements qu'elle n'a jamais cessé d'adresser en ma faveur.

Mes amis kuété Giresse, Njitack Dimitri, Mfomo Otou, Essogo Roger pour le soutien, les prières et les encouragements qu'ils n'ont jamais cessé d'adresser en ma faveur.

Tous mes camarades de promotion particulièrement Ondoua Abesolo, Ngapout Adirou, Woguem Yen, Tsendé Joel avec qui j'ai eu des discussions constructives et enrichissantes tout au long de ces deux années.

M. Mbega Albert Yannick pour ses efforts, sa disponibilité et son soutien. Mon ami et frère trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Tous Les membres de ma famille et mes amies que je ne peux remercier nommément ainsi à ceux que ma mémoire a pu ingratement oublier, trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude pour les sacrifices que vous ne cessez de consentir à mon égard.

Toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribuées à la réalisation de ce mémoire.

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 GÉNÉRALITÉ SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE	3
1.1.1 Changement climatique dans le monde	3
1.2 CONTEXTE CLIMATIQUE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE EN Afrique Centrale	6
1.2.1 Contexte climatique en Afrique Centrale	6
1.2.2 Changement climatique en Afrique Centrale	7
2 DOMAINE D'ÉTUDE ET MATÉRIELS UTILISÉS	10
2.1 DESCRIPTION ET LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE	10
2.2 DONNÉES D'ÉTUDE	11
2.2.1 Tropical Rainful Measuring Mission (TRMM)	11
2.2.2 Global Precipitation Climatologie Project (GPCP)	12
2.3 Logiciel utilisé	12

2.4	METHODOLOGIE	12
2.4.1	Indice Standardisé des Précipitations	13
2.4.2	Le déficit climatologique maximum en eau de surface (en Anglais maximum climatological water deficit) (MCDW)	14
3	RESULTATS ET DISCUSSIONS	16
3.1	DISTRIBUTION MOYENNE SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS	16
3.2	CYCLE MOYEN ANNUEL	18
3.3	VARIABILITE INTERANNUELLE	19
3.4	Analyse de ISP	21
3.4.1	Analyse du MCWD	25
4	IMPLICATIONS PEDAGOGIQUES	29
4.1	INTÉRÊT DIDACTIQUE	29
4.2	INTÉRÊT GÉNÉRAL DU SUJET	30
4.2.1	Apports chez les enseignants	30
4.2.2	Apport chez les élèves	30
	CONCLUSION GÉNÉRALE	1
	Bibliographie	2

Liste des figures

1.1	Évolution de la température moyenne à la surface du globe, sur Terre, sur la mer et les deux combinées d’après les données du centre national de données climatologique (NCDC) de la NOAA	4
1.2	Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur la Terre, par hémisphères depuis 1880 d’après les données de l’Institut Goddard.	5
1.3	Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur la Terre depuis 1850 d’après les données de l’unité de recherches sur le climat de l’université d’East Anglia	5
1.4	Carte du changement des surfaces de forêt tropicale humide extraite de l’article de Zelazowski et al.(2011)	8
2.1	CARTE PRESENTANT LES PAYS DE L’AFRIQUE CENTRALE (https://fr.wikipedia.org) 11	
3.1	Distribution spatiale de la moyenne saisonnière Avril-Mai-Juin des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le GPCP pour la période allant de 1998 à 2013	16
3.2	Distribution spatiale de la moyenne saisonnière Avril-Mai-Juin des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le TRMM pour la période allant de 1998 à 2013.	17
3.3	Cycle annuel des précipitations en mm/jour pour la période allant de 1998 à 2013 en Afrique centrale suivant la donnée GPCP.	18
3.4	Cycle annuel des précipitations en mm /jour pour la période allant de 1998 à 2013 en AC suivant la donnée TRMM.	19
3.5	Variabilités interannuelles de la moyenne saisonnière AMJ des précipitations d’AMJ en Afrique centrale ; données GPCP calculées sous forme d’anomalies pour la période 1998-2013.	20
3.6	Variabilités interannuelles de la moyenne saisonnière AMJ des précipitations d’AMJ en Afrique centrale données TRMM, calculées sous forme d’anomalies pour la période 1998-2013.	21

3.7	Variabilité interannuelle des ISP dans la région de l'AC sur la période 1998 à 2013 pendant la saison AMJ suivant la donnée GPCP.	22
3.8	Variabilité interannuelle des ISP dans la région de l'AC sur la période 1998 à 2013 pendant la saison AMJ suivant la donnée TRMM.	23
3.9	Distribution des anomalies pluviométriques de la moyenne saisonnière AMJ dans la région de l'AC donnée GPCP (1998 à 2013).	24
3.10	Distribution des anomalies pluviométriques de la moyenne saisonnière AMJ dans la région de la AC donnée TRMM (1998 à 2013).	25
3.11	Distribution spatiale de MCDW de la moyenne saisonnière (Avril-Mai-Juin) des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le GPCP pour la période allant de 2012 à 2013	26
3.12	Distribution spatiale de MCDW de la moyenne saisonnière (Avril-Mai-Juin) des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le GPCP pour la période allant de 1979 à 1980	27
3.13	Présente la différence de MCDW entre les années 2012-2013 (figure 3.11) et 1979-1980 (Figure 3.12).	28

Liste des tableaux

2.1	Classification des séquences de sécheresse selon le ISP (GE.SORO et al, 2014)	14
-----	-------------------------------------------------------------------------------	----

Liste des Abréviations

AC	:	Afrique Centrale
AMJ	:	Avril-Mai-Juin
CDW	:	Climatological Water Deficit
GPCP	:	Global Precipitation Climatology Project
MCDW	:	Maximum Climatological Water Deficit
ET	:	Evapotranspiration
GIEC	:	Groupe d'experts Intergouvernemental sur Evolution du Climat
NASA	:	National Aeronautics and Space Administration
NCDC	:	National Climatic Data Center
NCL	:	Near Command Language
NOAA	:	National Oceanic and Atmospheric
P	:	Précipitations
ISP	:	Indice standardisé de précipitations
TRMM	:	Tropical Rainfall Measuring Mission
J, F, M, A, M, J, J, A, S, O, N, D	:	(mois)
OMM	:	Organisation météorologique mondiale

Résumé

Les changements climatiques se sont imposés dans l’agenda international comme un défi majeur et une contrainte sérieuse aux efforts de développement des pays. Ses conséquences pourraient même compromettre la survie de plusieurs espèces sur notre planète et de l’Humanité tout entière. L’objectif de notre étude est d’évaluer le stress hydrique qu’auraient subi les forêts du bassin du Congo suite aux fluctuations climatiques enregistrées ces dernières années dans la sous-région de l’Afrique centrale. Pour cela, nous avons utilisé les données GPCP et TRMM pour la période allant de 1979-2013 afin d’examiner la variabilité interannuelle et saisonnière des précipitations. Les analyses effectuées sur ces données révèlent de manière générale la baisse des précipitations notamment dans la saison (Avril-Mai-Juin), traduisant ainsi des conditions de sécheresse. Toutefois, le renforcement des conditions sèches en Afrique Centrale peut expliquer la baisse continue de la capacité photosynthétique des forêts dans la région qui entraîne la modification de leurs compositions et structures. Ce qui pourrait impacter sur les ressources associées.

Mots clés : changement climatique, impact, Afrique centrale, données, précipitations, indice.

Abstract

Climate change has become a major challenge and constraint to national development efforts in the international agenda. Its consequences has could even jeopardize the survival of many species on our planet and humanity as a whole. Our study is to assess the water stress that the Congo Bassin forests would have suffered from a result of climatic fructuations in the Central African sub-region in recent years. For this, we used the GPCP and TRMM data for the periode 1979-2013 to examine the interannual and seasonal variation of rainfall. The analyzes carried out on this reveal a generally downward trend in precipitation, particularly in April-May-June. This downward trend is manifested by the decline in annual rainfall heights, thus reflecting the drought conditions. However, the strengthening of dry conditions in Central Africa may explain the continued decline in photosynthetic capacity of the forests in the region that is causing the drought, the modification of their composition and structure. moisture content resulting from a persistent drying trend could alter the composition and structure of tropical forests and thus impact these resources.

Keywords : central Africa, trend, precipitations, data, climate change, index.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Afrique centrale, qui est bordée à l'Ouest par l'océan Atlantique et s'étend à l'Est jusqu'à la vallée du Rift, est influencée tout au long de l'année par la migration nord-sud d'une bande latitudinale de fortes précipitations. En conséquence, la région enregistre des précipitations intenses et abondantes (Nicholson et Grist 2003). Cette région est l'une des régions les plus vulnérables au changement climatique. Cette situation est également exacerbée par son faible développement économique et sa faible capacité d'adaptation. Le climat de cette région reste l'un des systèmes climatiques les moins compris dans le monde. Il est donc intéressant de noter l'importance des précipitations en Afrique centrale.

Cependant on relève un manque d'étude portant sur la variabilité des précipitations en Afrique centrale. Pourtant au cours des dernières décennies la caractéristique globale des précipitations a changé de manière significative suite à la hausse continue des températures globales (Huang et Wen 2013). Ce réchauffement mondial n'est pas le seul indice du changement climatique en cours. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dans son 5^{ème} rapport publié en 2014, le niveau moyen de la mer s'est élevé de 19 centimètres entre 1901 et 2010, à un rythme supérieur à celui enregistré depuis le 19^{ème} siècle. Ces changements sont associés à des modifications durables des paramètres statistiques du climat global de la Terre ou de ses divers climats régionaux.

Pour suivre l'évolution de ce phénomène, on fait appel à un ou plusieurs indices hydrologiques qui sont les représentations numériques de l'intensité des conditions sèches ou humides et qui varient selon les régions et les saisons. Ainsi pour évaluer le dérèglement climatique, plusieurs indices à l'instar de l'indice standardisé de précipitation (ISP) et du maximum climatology water déficit ont été conçu et proposé par les chercheurs pour caractériser les sécheresses et le déficit du sol en eau. Notre travail consistera donc à évaluer l'impact potentiel des modifications subies par le climat en Afrique Centrale sur le couvert forestier. Ceci se fera à travers l'analyse des indices hydrologiques qui ont montré une pertinence dans le suivi de l'influence du climat sur la forêt (Maldhi et al 2004). L'interaction climat-forêt est d'une importance certaine car les forêts jouent un rôle important dans la régulation du changement climatique (Lewis 2006).

Cette étude s'articule autour de quatre chapitres :

- le chapitre 1 est consacré à la revue de littérature.

- Le chapitre 2 présente le domaine d'étude, les matériels utilisés et fait un bref résumé sur la méthodologie utilisée.
- Le chapitre 3 présente les résultats obtenus 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 les perspectives à envisager.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Nous abordons dans ce chapitre les notions clés et utiles à la compréhension de notre thème. Il sera alors question dans cette partie de présenter les généralités sur le changement climatique. Une description du climat en Afrique Centrale est fournie par la suite. A la fin de ce chapitre nous montrerons l'impact du changement climatique dans les forêts d'Afrique centrale.

1.1 GÉNÉRALITÉ SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique ou dérèglement climatique correspond à une modification durable des paramètres statistiques du climat global de la Terre (précipitations, température, humidité, vents) ou des divers climats régionaux. Ce dérèglement climatique peut être causé par des processus intrinsèques du système Océan-Terre-Atmosphère, des influences extérieures ou, par des activités humaines qui l'ont amplifié ces dernières décennies. En effet, l'atmosphère est un fluide compressible qui se déplace en permanence et subit des conséquences dues à la rotation de la Terre. L'océan s'échauffe dans sa partie supérieure et il est très peu compressible. Les différences de températures, de densité (air, eau) dans le système océan-Terre-Atmosphère contribuent aux mouvements observés dans l'atmosphère et régulent également le climat. A cette évolution naturelle du climat s'ajoute les émissions des gaz à effet de serre engendrées par les activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère.

1.1.1 Changement climatique dans le monde

Au niveau mondial des différences importantes existent dans les changements régionaux des paramètres climatiques influant sur le cycle de l'eau. D'après le 4^e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution (GIEC) "le réchauffement du climat ne fait aucun doute et est désormais attesté par l'augmentation observée des températures moyennes dans le système Océan-Terre-Atmosphère, la fonte généralisée des glaciers et l'augmentation moyenne du niveau de la mer". Cette hausse de température moyenne à la surface de la Terre est la première conséquence attendue et constatée de l'augmentation des émissions des gaz à effet de serre. Or, les relevés météorologiques enregistrent des anomalies positives de température globale qui se confirment d'année en année par rapport aux températures enregistrées depuis le 19^e siècle (entre 4° C et 7° C). A cet effet, les climatologues soulignent que les 30 dernières

années ont connu des températures les plus élevées de l'hémisphère Nord depuis plus de 1400 ans (notre-planète.info).

L'évolution des températures sur Terre et sur Mer est relevée et synthétisée par plusieurs centres climatiques dans le monde à l'exemple de la NOAA (figure 1.1), l'institut Goddard (figure 1.2) et l'université d'East Anglia (figure 1.3). Leurs analyses montrent une augmentation progressive de la température.

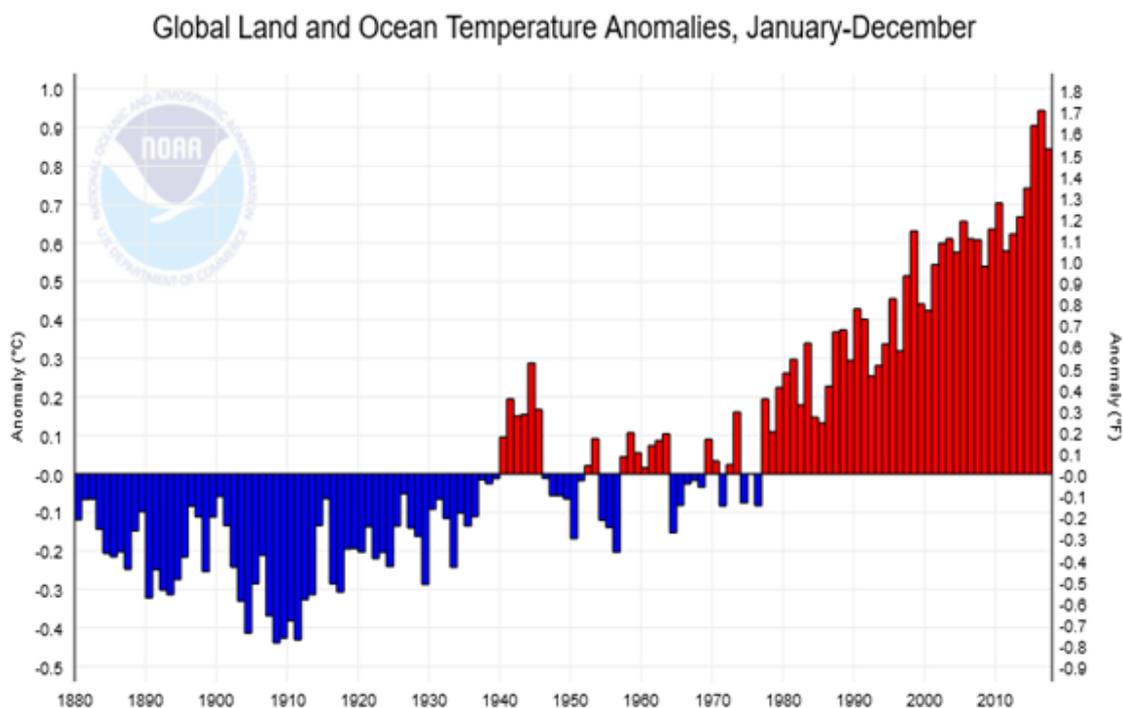


FIGURE 1.1 – Évolution de la température moyenne à la surface du globe, sur Terre, sur la mer et les deux combinées d'après les données du centre national de données climatologique (NCDC) de la NOAA

La figure 1.1 indique que la température moyenne de la surface terrestre et de mer a augmenté au cours du 20^{ème} siècle. Le réchauffement c'est notamment produit durant les deux périodes de 1910 à 1940 et depuis 1977.

L'Institut Goddard, donc les analyses s'appuient sur les enregistrements de 6300 stations météorologiques réparties à travers le monde, en ordonnée (figure 1.2) se trouvent les écarts de température par rapport aux normales calculées pour la période 1951 à 1980 en rouge (avec et sans lissage) les anomalies de la température pour les terres émergées en bleu (avec et sans lissage) et les anomalies de températures de surfaces des océans. Ces analyses montrent les élévations de températures depuis le début des années 1980. Cette hausse de température est notable tout comme les records des premières années du 20^{ème} à partir des années 2000 voir figure 1.2.

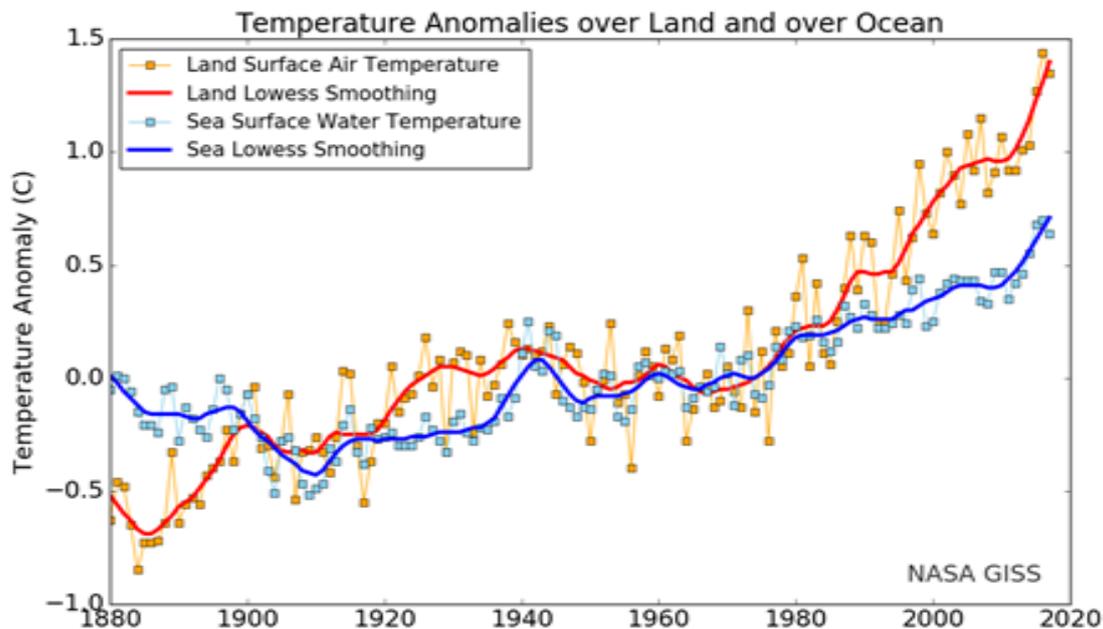


FIGURE 1.2 – Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur la Terre, par hémisphères depuis 1880 d’après les données de l’Institut Goddard.

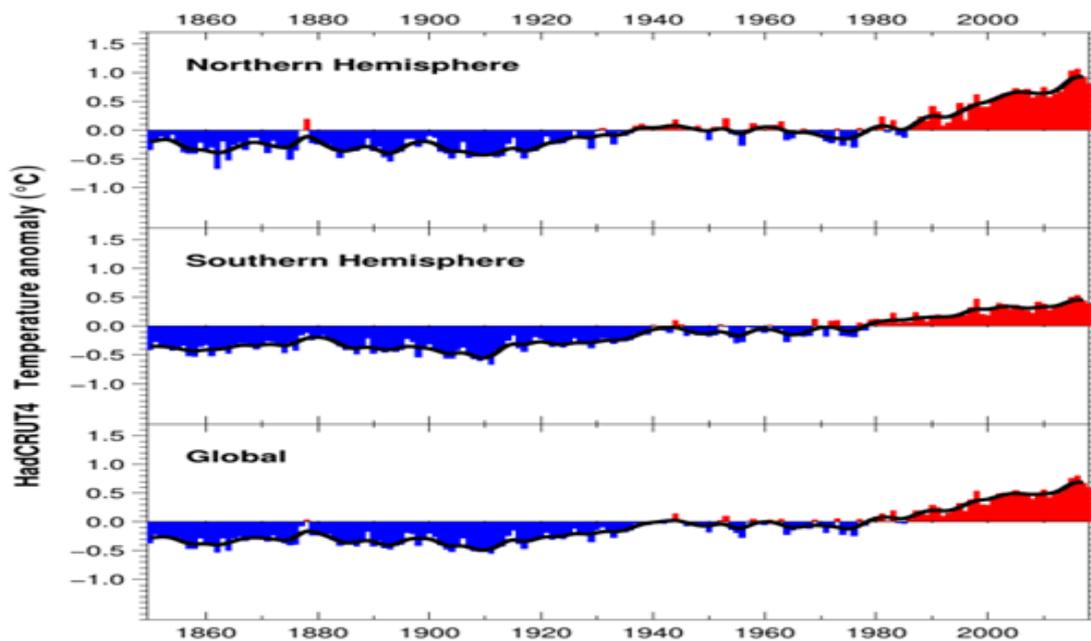


FIGURE 1.3 – Evolution des températures moyennes mondiales sur mer et sur la Terre depuis 1850 d’après les données de l’unité de recherches sur le climat de l’université d’East Anglia

L’analyse de la figure 1.3 montre que la hausse de température observée à l’échelle globale est observée autant dans l’hémisphère nord que dans l’hémisphère sud. Cependant le réchauf-

fement survenu dans l'hémisphère nord semble être le plus important.

Depuis le début du 20^{ème} siècle (1906), la température moyenne à la surface du globe a augmentée de 0,74° C pour la période 1906-2005. La période 1997-2006 est marquée par une anomalie moyenne de 0,53°C dans l'hémisphère nord et 0,27°C dans l'hémisphère sud (figure 1.3) ; toujours par rapport à la normale calculée sur la période 1961-1990 (OMM, 12/2006).

1.2 CONTEXTE CLIMATIQUE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE EN Afrique Centrale

1.2.1 Contexte climatique en Afrique Centrale

A cause de sa position géographique, l'Afrique centrale présente une diversité de climats qui peut être regroupée en deux types principaux : équatorial et tropical. Certaines régions d'altitude, d'étendue limitée, sont aussi soumises à des climats de montagne le long du rift (à l'est de la République démocratique du Congo) ou le long de la ligne volcanique du Cameroun.

Le climat équatorial à quatre saisons s'étend au sud du Cameroun et de la République Centrafricaine (RCA), au centre de la République démocratique du Congo (RDC), au Congo, au Gabon, en Guinée Équatoriale et à Sao Tomé et Príncipe (Mpounza et Samba Kimbata, 1990). La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1500 à 1800 mm, avec des maximas supérieurs à 10000 mm à Debundsha, au sud-ouest du mont Cameroun, et au sud de l'île de Bioko, en Guinée Équatoriale. Le climat y est chaud et humide avec des températures oscillantes entre 22°C et 30°C.

Le climat tropical à deux saisons présente quant à lui plusieurs variantes : soudaniennes, sahéliennes et sahariennes. Les types soudanien, soudano-sahélien et sahélien couvrent le nord du Cameroun, le sud du Tchad, le centre et le nord de la République Centrafricaine (RCA). Le sud de la RDC bénéficie d'un climat plus tempéré du fait d'une altitude moyenne supérieure aux autres zones. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 300 et 1500 mm. Les types sahélo-sahariens et sahariens comprennent uniquement le nord du Tchad où la pluviométrie annuelle moyenne est inférieure à 300 mm et où les températures maximales peuvent atteindre 50°C (Godard et Tabeaud, 2009).

Les climats équatoriaux et tropicaux de l'hémisphère Nord de l'Afrique centrale sont caractérisés par une saison très sèche et ensoleillée de Décembre à Février alors que ceux de l'hémisphère Sud en particulier vers la côte atlantique, bénéficient d'une saison sèche nuageuse préservant des taux d'humidité atmosphérique très élevés de Juin en Août. Ce climat tel que décrit a connu des changements inhabituels depuis plusieurs décennies. L'analyse de ce dérèglement se fera dans la section suivante.

1.2.2 Changement climatique en Afrique Centrale

Depuis les années 50, on a observé une tendance à la baisse de la moyenne des précipitations totales en Afrique centrale de 31 mm /décennies entre 1955 et 2006 (Aguilar et al, 2009). Cette baisse de précipitation est associée à une baisse de 0,67 jours par décennie du nombre d'événements extrêmes. Notons que cette diminution n'a pas la même intensité à travers toute la région. Dans le sud du Cameroun et au Congo par exemple la baisse des précipitations a persisté jusqu'en 1990. Par contre au Gabon et en Centrafrique, on a observé une hausse respectivement après 1980 et 1985 (Olivry et al, 1993).

Au vu des observations faite sur le climat en AC, on peut s'interroger sur les modifications qu'apporterait le changement climatique sur la forêt précisément en Afrique Centrale. Au cours des dernières décennies, les chercheurs ont tenté de déterminer l'impact du climat et plus encore des changements climatiques sur les forêts en Afrique Centrale. Ils suggèrent que pour se faire une idée, il est indispensable de s'intéresser de manière plus précise aux arbres.

De manière globale, on relève que de nombreuses données comme la taille des arbres, la densité des bois, la surface des feuilles ou encore la quantité de carbone, d'azote ou de phosphore que renferment les feuilles des arbres sont les caractéristiques fonctionnelles de la forêt. Ainsi, si ceux-ci étaient un peu mieux connues, cela devrait permettre d'évaluer la façon dont la forêt réagit face au changement climatique. Les modifications majeures des caractéristiques susceptibles d'affecter la productivité, la composition et même la répartition du couvert forestier seront donc mis en évidence dans cette étude.

Certaines études ont montré que le climat affecte plusieurs caractéristiques fonctionnelles de la forêt. La surface des feuilles, par exemple, subit particulièrement les influences de la pression de vapeur et de la température. La taille des arbres, quant à elle, est plus sensible aux variations de température. De manière générale, la variabilité des précipitations semble avoir un impact important sur le couvert forestier (Zelazowski et al. 2011 ; Rachel et al 2013).

A-Impact présent

Depuis la décennie 70, l'Afrique centrale a connu une hausse des températures probablement associée à l'élévation de la température globale de la terre. Cet accroissement des températures dans la région est aussi lié à une baisse des précipitations et un renforcement des saisons sèches. Ce qui causerait par conséquent une tendance à l'assèchement des forêts en Afrique Centrale (Maldhi et al, 2004). Les forêts du Bassin du Congo ont une bonne tolérance aux périodes sèches de courte durée (Asefi-Najafabady and Saatchi 2013).

Cependant le durcissement des conditions sèches en Afrique Centrale depuis la décennie 70 aurait un impact sur la dynamique des forêts dans la région. L'étude de Zhou et al (2014) a démontré l'évidence d'une diminution de la verdure des forêts dans le Bassin du Congo suite à l'affermissement des conditions sèches, notamment dans le nord de l'Afrique Centrale. Ce brunissement de la forêt causé par les conditions sèches entrainerait une modification de la

composition et la structure des forêts. Ainsi, cela engendrerait une diminution des capacités photosynthétiques des forêts et pourraient favoriser la propagation d'espèces tolérables à la sécheresse Zhou et al (2014).

B-Impact futur

Une étude déterminant les impacts prévisibles du changement climatique sur les forêts d'Afrique Centrale a été menée récemment par Zelazowski et al (2011) (Figure 1.4). Cette étude présente le résultat d'évaluation des changements dans la répartition spatiale des forêts tropicales humides en Afrique Centrale.

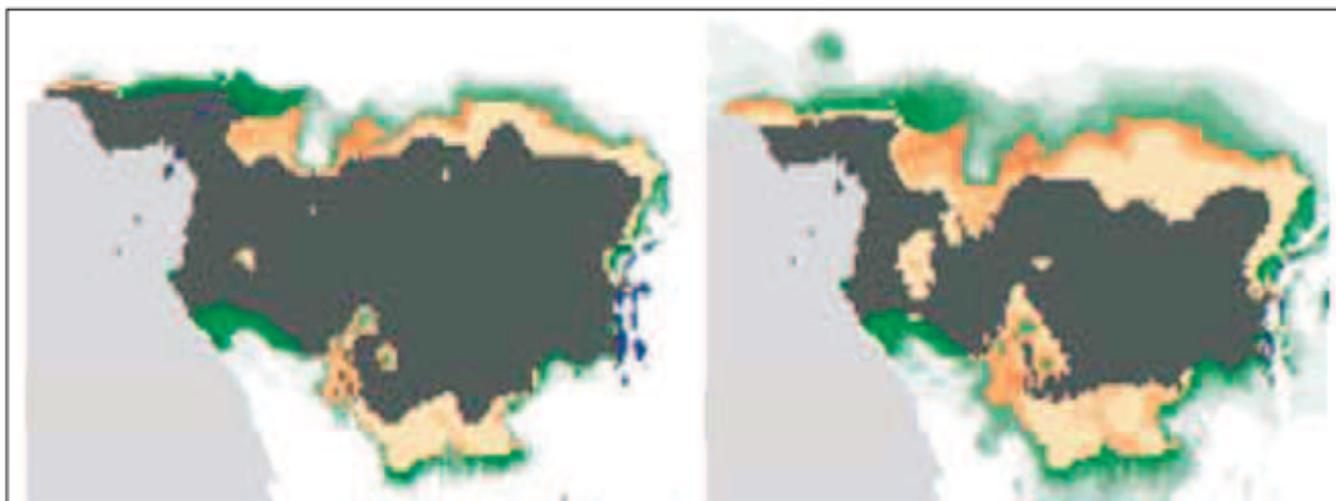


FIGURE 1.4 – Carte du changement des surfaces de forêt tropicale humide extraite de l'article de Zelazowski et al.(2011)

La figure 1.4 présente le changement des surfaces de forêt tropicales humides issu d'un ensemble de 17 modèles climatiques globaux. Sur la figure de gauche, la simulation tient compte d'une hausse de température de +2°C et à droite de +4°C. En gris sont matérialisées les forêts tropicales humides ne subissant potentiellement pas de dommage. Les dégradés oranges et verts marquent respectivement les contractions ou expansions potentielles de la forêt (plus la couleur est intense plus le nombre de modèles ayant donné cette estimation est élevé). La limite actuelle des forêts tropicales humides correspond à la ligne de démarcation entre les couleurs orange et verte.

Avec l'augmentation de la température de surface océanique il est fort possible que les précipitations augmentent (+42 mm à +2°C et +80 mm à +4°C) (prospective 2040 des écosystèmes forestiers d'Afrique centrale. V. Gond et C. Doumenge 2012), avec toutefois de fortes disparités régionales, et surtout une possible accentuation de la saison sèche (en intensité et en longueur). Ceci nuirait évidemment au maintien de la forêt dans son état actuel. Toutefois, cet effet pourrait être atténué par le développement de l'effet protecteur des nuages en saison sèche qui, en

limitant l'évapotranspiration, protégerait la forêt. Ce mécanisme reste probable à +2°C mais ne fonctionne plus dans les estimations des modèles à +4°C. Dans cette dernière configuration le risque de contraction concerne 15 pourcent de la surface forestière actuelle.

A +2°C ce sont les marges nord et sud qui sont concernées alors qu'à +4°C ce sont les mêmes marges mais de façon plus profonde et avec surtout une intensification dans l'est du massif. On notera la probable réouverture du corridor de savane le long de la rivière Sangha. On se retrouverait alors dans une situation connue historiquement, bien que d'autres paramètres doivent être considérés, tels que les activités humaines et le besoin d'utilisation des ressources forestières (y compris en terre actuellement sous couvert forestier) qui pourraient amplifier le processus. Les changements climatiques se traduisent par des changements de températures et précipitations (Betts et al, 2014.)

DOMAINE D'ÉTUDE ET MATÉRIELS UTILISÉS

La connaissance de la zone d'étude ainsi que les techniques utilisées pour évaluer le stress hydrique facilitent l'interprétation et l'analyse des données. De ce fait, ce chapitre est reparti en quatre sections : la première présente et décrit la zone d'étude ; la deuxième présente les données utilisées ; la troisième, les logiciels et s'achève par la méthodologie utilisée.

2.1 DESCRIPTION ET LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le domaine d'étude s'étend de 15°S à 15°N de latitude et 10°E à 30°E de longitude, couvrant le Bassin du Congo et ses régions environnantes. L'Afrique Centrale tel que présenté par les Nations Unies comprend, le Tchad, le Cameroun, la République Centrafricaine, le Gabon, République du Congo, République Démocratique du Congo, la Guinée Equatoriale Sao-tomé et Principe. Le fleuve Congo est une caractéristique géographique remarquable de la région. De par sa position géographique stratégique, l'Afrique centrale regorge d'énormes ressources naturelles principalement pour ce qui est de la forêt, elle est considérée comme l'or vert de la région.

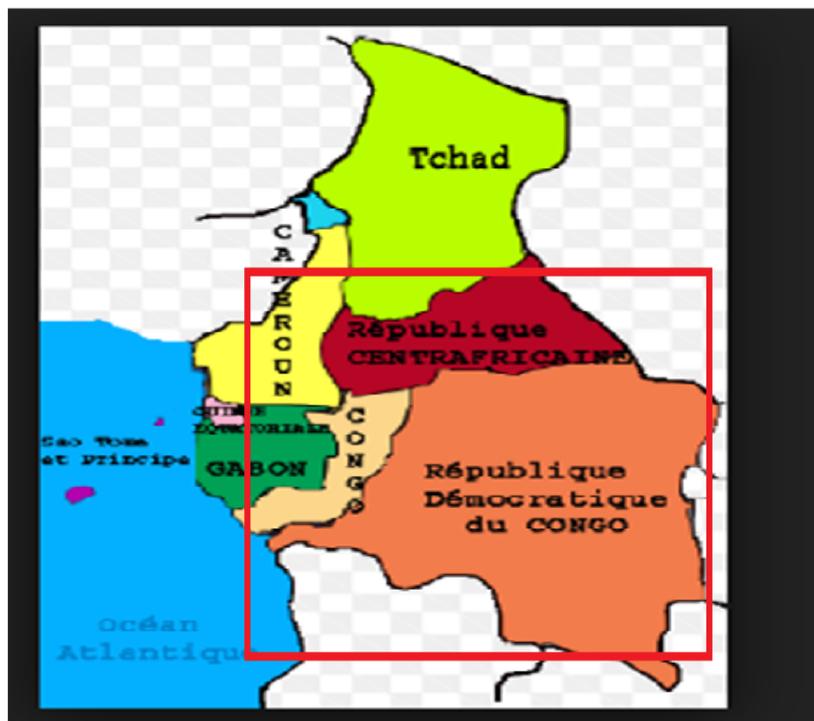


FIGURE 2.1 – CARTE PRESENTANT LES PAYS DE L’AFRIQUE CENTRALE (<https://fr.wikipedia.org>)

2.2 DONNÉES D’ÉTUDE

Les données utilisées doivent respecter deux critères importants : d’une part, la longueur des chroniques (couvrir la plus grande période de temps possible) et d’autre part la qualité des données. L’un des principaux problèmes à l’étude de la variabilité climatique en Afrique centrale est le manque de données d’observation de haute qualité et à une résolution spatiale et temporelle appropriée (Nikulin et al. 2012). Au cours des dernières décennies, les données satellitaires utilisées ont en partie amélioré la situation, et elles sont fréquemment utilisées dans les études climatiques sur la sous-région.

Les données analysées dans cette étude sont constituées des relevés pluviométriques journaliers avec chronique de 16 ans. Ces données proviennent de deux sources : Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)(1998-2013) et Global Precipitation Climatology Project (GPCP) qui est étudié dans une période plus longue (1979-2013).

2.2.1 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

Le Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) en français Mission de mesure des précipitations tropicales, est un satellite entièrement destiné à la mesure des précipitations et de paramètres thermiques dans l’atmosphère. Le but de TRMM est de constituer une banque de

données étendue sur la distribution de la pluie et les échanges de chaleur latente au-dessus d'un territoire compris entre les latitudes 35°N et 35°S. Les données TRMM sont essentielles pour la compréhension du climat tropical et son évolution. Les données TRMM utilisées sont des précipitations journalières de $0,5 \times 0,5$ de résolution spatiale sur la période 1998 à 2013.

2.2.2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP)

Global Precipitation Climatology Project en abrégé GPCP sont des données de précipitations relevées à partir des satellites géostationnaires de la NASA. Les GPCP offrent aussi le potentiel pour étudier les changements dans la répartition des précipitations (Adleret et al, 2003). Les données GPCP utilisées sont des précipitations journalières de $1^0 \times 1^0$ de résolution spatiale sur la période 1979-2013. Ces deux jeux de données sont très utiles pour étudier la climatologie.

2.3 Logiciel utilisé

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel NCL (Langage de Commande NCAR ou en anglais 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. C'est un langage librement interprété et conçu spécialement pour le traitement et la visualisation des données atmosphériques. L'utilité du langage NCL est évident 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 ici sous forme de fichier netCDF, écrire les programmes pour ressortir les figures.

2.4 METHODOLOGIE

Pour étudier le changement climatique dans notre zone de travail, nous avons étudié le comportement des précipitations ensuite nous avons procédé par le calcul des indices hydrométéorologiques.

En effet, Plusieurs indices ont été proposés par les chercheurs pour évaluer le dérèglement climatique. Dans le cadre de notre étude, nous allons utiliser deux de ces indices à savoir l'indice standardisé de précipitation (ISP) et le maximum climatological water deficit (MCDW).

2.4.1 Indice Standardisé des Précipitations

L'indice standardisé des précipitations (ISP) est le fruit des recherches et des travaux conduits en 1993 par T.B McKee et ses collaborateurs à l'Université d'État du Colorado (États-Unis). Il repose sur les rapports de la fréquence et de la durée des sécheresses avec les échelles temporelles. Il est calculé par la formule suivante :

$$ISP = \frac{P_i - P_m}{S_i} \quad (2.1)$$

Où P_i est le cumul de la Pluie pour une l'année i ; P_m et S_i sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée.

L'indice utilise les relevés historiques de précipitations à un emplacement donné pour calculer la probabilité de précipitations à n'importe quelle échelle temporelle comprise entre 1 et 48 mois, voire plus. Comme avec d'autres indicateurs climatiques, la série chronologique servant aux calculs peut être plus ou moins longue. Guttman (1998,1999) fait valoir que, si l'on dispose d'une longue série chronologique renfermant des données additionnelles, la distribution de probabilité sera plus fiable car davantage d'épisodes de sécheresse extrême et d'humidité extrême seront inclus. Il est possible de calculer l'indice ISP à partir de données sur 20 ans seulement, mais il est préférable d'avoir une série d'au moins 30 ans, même en tenant compte des valeurs manquantes.

L'indice comporte une échelle d'intensité pour calculer les valeurs positives et négatives, qui sont en corrélation directe avec les épisodes humides et sèches. Dans le cas d'une sécheresse, l'intérêt porte avant tout sur les extrémités de la distribution de précipitations, en particulier les épisodes extrêmement sèches, qui sont des phénomènes rares compte tenu du climat de la région à l'étude.

Quelle que soit la période visée, une sécheresse sévit quand l'indice ISP présente de façon continue une valeur négative et atteint -1. On considère qu'elle se poursuit jusqu'à ce que l'indice remonte à 0. Selon McKee et al (1993), la sécheresse commence à une valeur de -1 ou moins, mais il n'existe pas de norme en la matière ; certains chercheurs fixent le seuil à moins de 0 mais sans descendre jusqu'à -1, alors que d'autres considèrent qu'une sécheresse débute quand l'indice est inférieur à -1.

L'indice est généralement établi pour des périodes allant jusqu'à 24 mois et sa souplesse permet de multiples applications visant les conditions qui touchent les ressources forestières, les ressources en eau et d'autres secteurs. Comme paramètres d'entrée nous avons des Précipitations. La méthode reste la même qu'il s'agisse de données quotidiennes, hebdomadaires ou mensuelles.

Du fait qu'il peut être calculé à diverses échelles temporelles, cet indice a de nombreuses applications. Selon l'impact étudié, les valeurs ISP sur 3 mois ou moins sont utiles pour le suivi ordinaire des sécheresses, les valeurs sur 6 mois ou moins pour la surveillance des impacts agricoles et les valeurs sur 12 mois ou plus pour la détection des impacts hydrologiques. Cet

indice définit la sévérité de la sécheresse en différente classe (Tableau 2.1) (M. BERGAOUI et al, 2003 ; T. LEBEL et ALI, 2009). Les valeurs annuelles négatives indiquent une sècheresse par rapport à la période de référence choisie et les positives une situation humide.

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

TABLE 2.1 – Classification des séquences de sécheresse selon le ISP (GE.SORO et al, 2014)

2.4.2 Le déficit climatologique maximum en eau de surface (en Anglais maximum climatological water deficit) (MCDW)

Le MCDW est un indice qui renseigne sur le durcissement des conditions sèches et apparaît comme un bon indicateur de la distribution spatiale des forêts (James et al 2013). Il est calculé à partir des précipitations moyennes mensuelles (P) et de l'évapotranspiration (ET).

Le déficit climatologique en eau (CDW) quant à lui est calculé pour chaque mois de la manière suivante : le mois avec les précipitations moyennes les plus élevées est identifié et le CDW pour ce mois est définie égale à 0.

En supposant que le sol est saturé pour chaque mois (n) suivant, le CDW est calculé à partir de la différence entre précipitation et évapotranspiration et le CDW du mois suivant :

$$CDW_n = CDW_{n-1} + P_n - ET_n \quad (2.2)$$

où ET est l'évapotranspiration et P la précipitation.

Si $CDW_n > 0$, alors CDW_n est mis à 0. Le MCDW est la valeur la plus négative du CDW

$$MCDW = Min(CDW_1, CDW_2, \dots, CDW_{12}) \quad (2.3)$$

Pour des périodes pluriannuelles, le calcul est appliqué aux moyennes mensuelles sur la période d'étude. Dans notre étude, ET est fixé à 100 mm. Des études antérieures ont utilisé cette approximation de ET pour calculer le MCDW et ont démontré leur capacité à reproduire la distribution historique de la végétation tropicale en Afrique. Ainsi, les changements dans MCDW représentent des modifications dans le déficit en eau de la saison sèche en raison du seul changement des précipitations, en supposant une évapotranspiration constante.

D'une manière générale, par sa méthode de calcul, le MCDW est un élément toujours négatif car dans son mécanisme de calcul, on ne relève que les mois où la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration est inférieure à zéro.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre sera consacré à appliquer les méthodes présentées au chapitre 2 sur les données de précipitations journalières des deux jeux de données. Il sera alors question de présenter d'abord les analyses de la variabilité des précipitations annuelles, du cycle annuel et de la représentation spatiale des précipitations ; ensuite, l'interprétation de la variabilité interannuelle et distribution spatiale de l'indice standardisé des précipitations. Nous terminerons par l'analyse des précipitations de la distribution spatiale du MCDW.

3.1 DISTRIBUTION MOYENNE SPATIALE DES PRÉCIPITATIONS

La distribution moyenne spatiale des précipitations est un procédé permettant d'apprécier les indices des dérèglements climatiques pour une période donnée. Son évolution en Afrique Centrale est marqué ces dernières décennies par de fortes variations. Au cours de la saison d'AMJ elle a été évaluée sur la base du jeu de donnée GPCP (figure 3.1) suivie des données TRMM (figure 3.2).

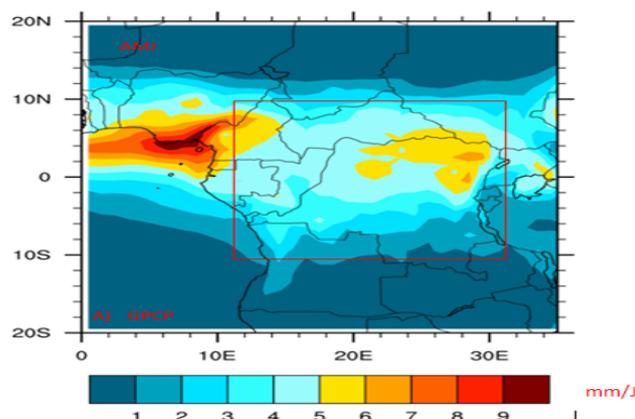


FIGURE 3.1 – Distribution spatiale de la moyenne saisonnière Avril-Mai-Juin des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le GPCP pour la période allant de 1998 à 2013

La figure 3.1 présente la distribution des précipitations moyennes de la saison d'AMJ des années 1998-2013 en Afrique centrale dans les données GPCP.

Dans cette région, pendant la saison AMJ nous avons deux zones de forte précipitation : la région côtière au nord de l'équateur (région située entre 5°N à 8°N), le littoral du golfe de guinée (1°N à 2,5°N et de 8°E à 14°E) et la partie nord de la République Démocratique du Congo (RDC) (4°S à 5°N et de 20°E à 30°E). Dans ces zones, nous remarquons que les valeurs des précipitations sont comprises entre 5 mm/J et 7 mm/J. Les précipitations sont d'une manière générale faible à cette période de l'année. Ces faibles précipitations influencent la végétation du milieu. On observe une zone à faible précipitation particulièrement au nord de l'Afrique Centrale où les précipitations sont inférieures à 1 mm/J.

Pour expliquer la persistance des pluies au cours de la saison AMJ pour certaines zones (littoral Cameroun, golfe de guinée), on peut évoquer l'influence de l'océan atlantique. Et pour la zone qui couvre le nord de la RDC, nous pouvons évoquer le rôle de l'évaporation de l'humidité du sol profond et de la transpiration, donc de la végétation (bassin du Congo). Nous allons poursuivre l'analyse avec les données TRMM (figure 3.2).

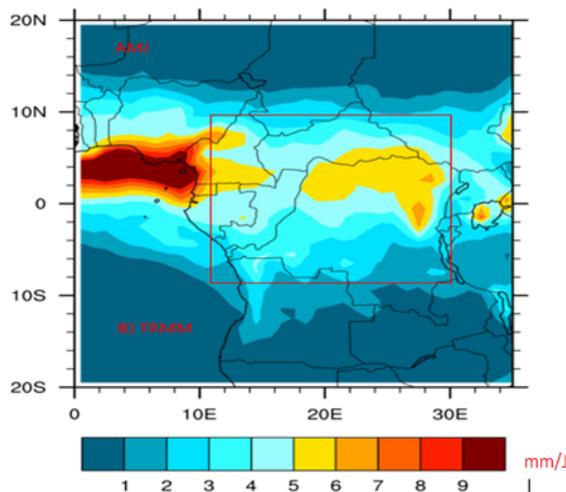


FIGURE 3.2 – Distribution spatiale de la moyenne saisonnière Avril-Mai-Juin des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le TRMM pour la période allant de 1998 à 2013.

L'analyse de la distribution spatiale des précipitations pour les mois AMJ à l'aide des données TRMM (figure 3.2) présente des zones donc les précipitations sont assez élevées, la zone carrée indique la région d'étude. Ces zones sont situées entre 0°N et 8°N et entre 8°E à 16°E, entre 15°S et 5°N et entre 18° E et 28°E. Le cumul des précipitations de ces zones varie de 5 à 7 mm. Tandis qu'au Congo, en RCA et au sud du Gabon les précipitations sont comprises entre 2mm et 5mm. On remarque d'une manière globale qu'au cours de la saison AMJ, les résultats observés des données TRMM sont analogues à ceux des données GPCP dans la région de l'AC malgré leurs distributions spatiales. On observe néanmoins dans la zone du golfe de guinée et en Afrique centrale atlantique une valeur élevée des précipitations. Elles vont jusqu'à 9 mm/J. Cette forte pluviosité est due à l'influence océanique qui se combine au relief et à la végétation. Ainsi, la forte pluviosité sur le littoral du Cameroun est associée à la présence de relief tel que le mont Cameroun ou les petites montagnes qui bordent cette zone atlantique.

Les similitudes observées sur les figures 3.1 et 3.2 sont dues à la concordance des données GPCP et TRMM.

3.2 CYCLE MOYEN ANNUEL

Le cycle annuel s'exprime en mm/jour et se définit comme le débit d'eau effectivement contenue dans une saison au cours d'une année.

Le cycle moyen annuel des précipitations (1998-2013) à l'aide des données GPCP (figure 3.3) permet d'observer un régime bimodal dans la région d'étude.

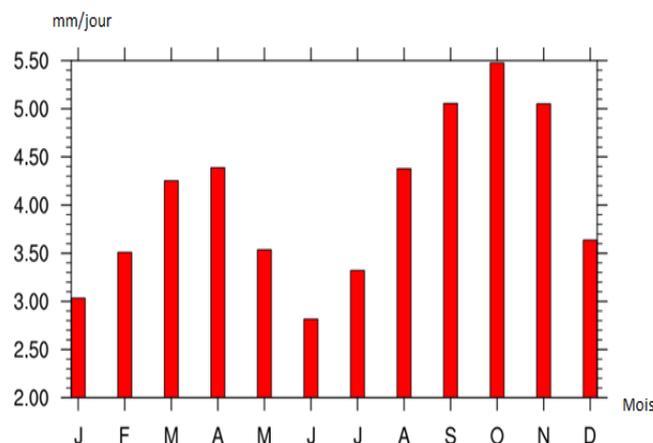


FIGURE 3.3 – Cycle annuel des précipitations en mm/jour pour la période allant de 1998 à 2013 en Afrique centrale suivant la donnée GPCP.

Ce régime est caractérisé par deux saisons de pluies Mars-Avril-Mai (MAM) et Septembre-Octobre-Novembre (SON). A partir du mois de janvier, les précipitations varient de 3,00 à 4,4

mm/jour au mois de mars. Puis atteignent 4,5 mm au mois d'avril et chutent jusqu'à atteindre 2,9 mm/jour au mois de juin. De plus un minimum de précipitations est observé au mois de juin (2.9 mm/jour) durant tout le cycle annuel. On observe alors une décroissance des hauteurs des précipitations au cours de la période AMJ. Le cycle annuel de précipitations a été aussi analysé avec les données TRMM (figure 3.4)

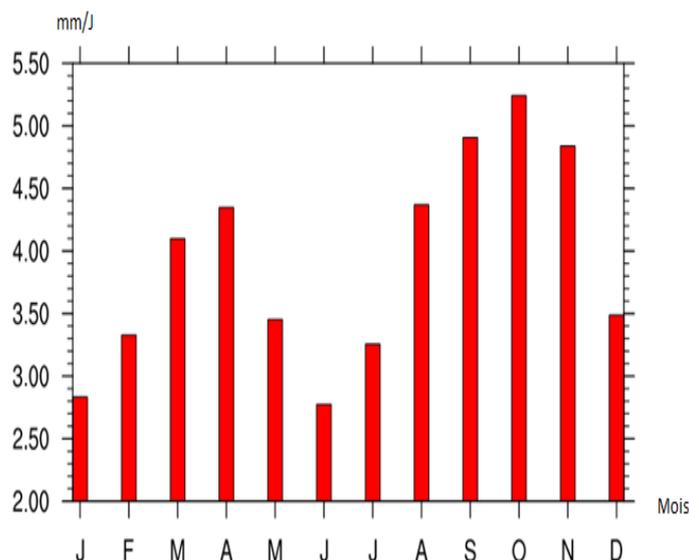


FIGURE 3.4 – Cycle annuel des précipitations en mm /jour pour la période allant de 1998 à 2013 en AC suivant la donnée TRMM.

L'analyse de l'évolution du cycle annuel avec les données TRMM (figure 3.4) nous présente également un régime bimodal. Ici, la hauteur des précipitations a légèrement diminué avec les données TRMM. Par exemple en Janvier, elles sont à 2.8 mm/jour. Nous observons néanmoins des résultats analogues à ceux présentés par les données GPCP à savoir la décroissance des hauteurs des précipitations.

3.3 VARIABILITE INTERANNUELLE

Dans cette partie, nous examinons les variabilités interannuelles de la moyenne spatiale des précipitations. Cette variabilité interannuelle a été calculé en utilisant les données de précipitations GPCP et TRMM. Toutes ces ensembles de données ont été examinés sur la même période AMJ des années 1998 à 2013. L'approche consiste ici à utiliser plusieurs bases de données et à dégager un accord entre elles. Notre visée dans cette analyse de la variation interannuelle des précipitations devrait être capable de montrer l'agrément de ces différentes sources de données.

La figure 3.5 représente la variabilité interannuelle de la moyenne saisonnière AMJ des précipitations en Afrique centrale.

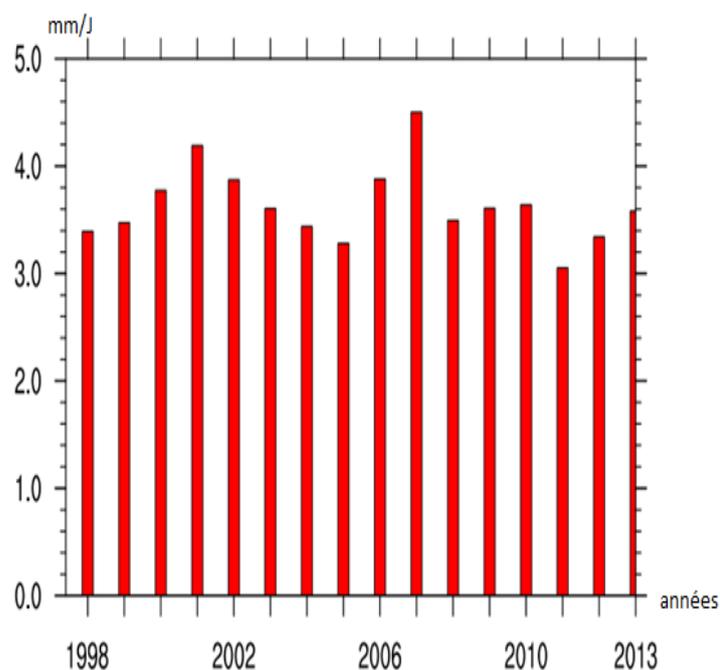


FIGURE 3.5 – Variabilités interannuelles de la moyenne saisonnière AMJ des précipitations d’AMJ en Afrique centrale ; données GPCP calculées sous forme d’anomalies pour la période 1998-2013.

Les observations et les analyses de la figure 3.5 montrent clairement la variabilité interannuelle de la moyenne saisonnière AMJ des précipitations en Afrique centrale pour les données GPCP. Cette figure met bien en évidence l’extrême variabilité des pluies d’une année à une autre. 2001, 2006, 2007 sont des années très humides au cours de la période AMJ, tandis que 2005 et 2011 sont particulièrement sèches sur la même période. Sur un calcul des cumuls des précipitation de quinze ans, la répartition des précipitations est pratiquement la même (les pluies varient entre 3 mm et 3,6 mm) à l’exception de quelques années 2001,2006,2007 où elles varient de 4 mm à 4,6 mm. Une tendance décroissante des précipitations est alors évidente dans la série temporelle moyenne sur l’ensemble de la région.

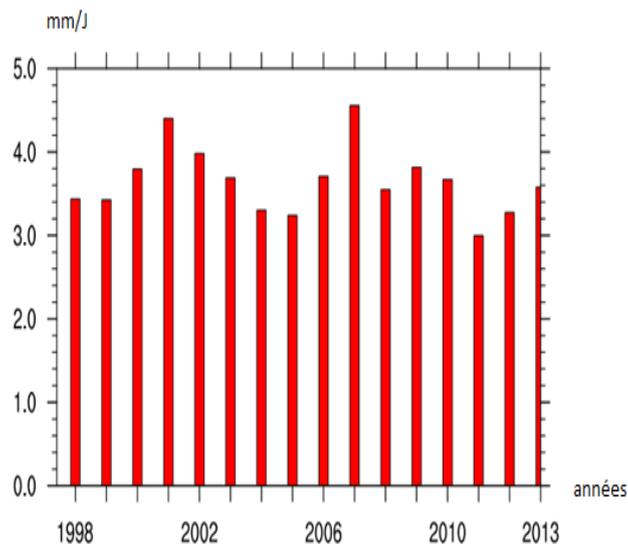


FIGURE 3.6 – Variabilités interannuelles de la moyenne saisonnière AMJ des précipitations d’AMJ en Afrique centrale données TRMM, calculées sous forme d’anomalies pour la période 1998-2013.

L’analyse de la variabilité interannuelle avec les données TRMM (figure 3.6) montre que sur la période d’étude allant de 1998 à 2013, l’Afrique centrale a enregistré une variabilité importante des quantités de précipitations marquées par un pic en 2001 (4.20 mm) et en 2007 (4.60 mm). Les maximas se trouvent presque systématiquement au cours des memes années 2001, 2006, 2007 que ceux de l’analyse de la moyenne saisonnière des précipitations (figure 3.5). Les valeurs du cumul des précipitations sont comprises entre 3,2 mm et 3,8 mm pour la plupart des années et de 4 mm à 4,6 mm pour 2001 et 2007. Les résultats fournis donc par les données GPCP sont similaires à ceux de TRMM dans la zone d’étude de l’Afrique Centrale. Les deux jeux de données montrent une tendance à la baisse du cumul de précipitations au cours de la saison AMJ. Pour terminer cette partie, nous pouvons dire que les données satellitaires utilisées présentent bien de manière générale une tendance à la baisse des précipitations pendant la saison AMJ en Afrique Centrale.

3.4 Analyse de ISP

Le calcul de l’indice standardisé de précipitations (ISP) appliqué aux moyennes saisonnières AMJ et des précipitations journalières nous a permis d’obtenir les courbes des anomalies pluviométriques en AC aux cours des années 1998 à 2013.

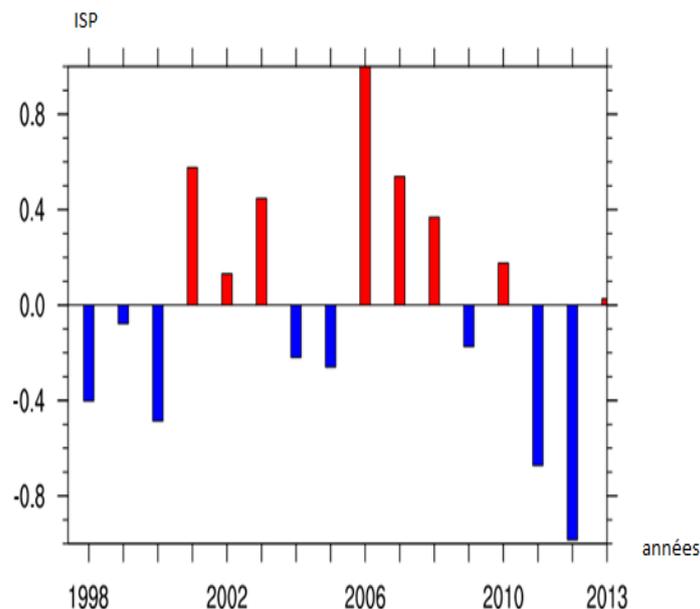


FIGURE 3.7 – Variabilité interannuelle des ISP dans la région de l’AC sur la période 1998 à 2013 pendant la saison AMJ suivant la donnée GPCP.

Il ressort de la figure 3.7 sur la période d’étude allant de 1998 à 2013, l’Afrique Centrale a enregistré plus d’année sèche ($ISP < 0$) que d’années humides ($ISP > 0$) soit 7 années humides contre 8 sèches. La courbe des anomalies présente quatre périodes distinctes avec deux périodes sèches et deux périodes humides. Les périodes sèches vont de 1998 à 2000 où on enregistre une baisse de précipitations dominés par des ISP de -0,4 et de 2011 à 2012 où on observe les valeurs du ISP décroissent jusqu’à atteindre la valeur -1. Les périodes humides quant à elles s’étendent de 2001 à 2003 avec des ISP d’environ 0,4 et de 2006 à 2008 où les ISP vont jusqu’à 1. Une analyse bien approfondie montre que l’année 2006 est marquée par un renforcement des conditions humides avec un pic de ISP de 1, de même la période de 2012 est marquée par une sécheresse donc le ISP est égal à -1. La période d’AMJ sera alors caractérisée comme une saison sèche à caractère modérée ($-1 < ISP < 0$) soit alors une baisse de précipitations. Une analyse similaire est faite avec les données TRMM.

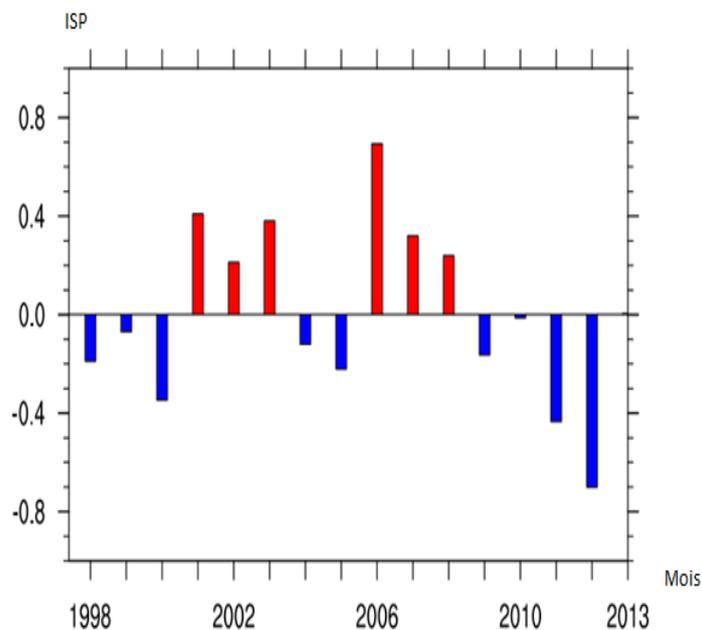


FIGURE 3.8 – Variabilité interannuelle des ISP dans la région de l’AC sur la période 1998 à 2013 pendant la saison AMJ suivant la donnée TRMM.

Les variations interannuelles des ISP dans la zone d’Afrique centrale pendant la saison AMJ suivant la donnée TRMM (figure 3.8) nous a permis d’observer 8 années sèches avec le ISP compris entre -0,1 et -0,7 traduisant des années présentant des situations de sécheresses modérées. Le pic de sécheresse est observé en 2012. Pour ce qui est des années pluvieuses, elles sont au nombre de 6 avec des ISP allant de 0,2 à 0,8 ; ce qui indique des conditions d’humidité modérées.

Les figures 3.7 et 3.8 montrent bien un renforcement des conditions sèches en Afrique Centrale pendant la saison AMJ, repérées par une tendance au renforcement des valeurs négatives des ISP.

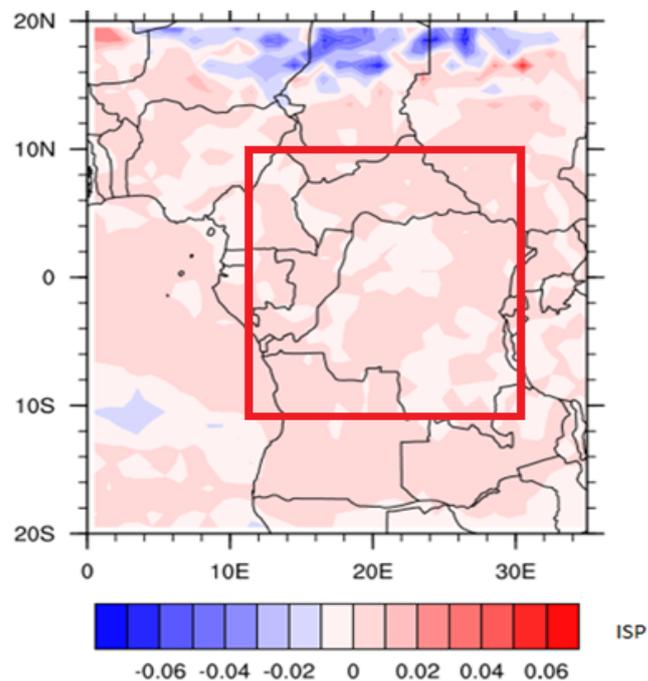


FIGURE 3.9 – Distribution des anomalies pluviométriques de la moyenne saisonnière AMJ dans la région de l’AC donnée GPCP (1998 à 2013).

La figure 3.9 présente une distribution hétérogène des zones humides et sèches. L’analyse de cette distribution permettra d’identifier les zones à tendance humide ou sèche à travers la région. Nous pouvons observer sur cette représentation spatiale, les valeurs négatives du ISP ($-0,02 < \text{ISP} < 0$) au centre de l’AC (1°N au 5°N et du 9°E au 11°N) et dans la zone ouest de la RDC (4°S au 6°N et entre le 13°E et le 24°E). A l’extrême nord Cameroun, le ISP devient de plus en plus négatif ($-0,04 < \text{ISP} < -0,02$). Ces zones dans la période d’AMJ sont marquées par un renforcement des conditions sèches au nord de la RCA et du Congo et les ISP ont des valeurs positives ($0 < \text{ISP} < 0,02$). Ces parties d’AC enregistrent des conditions humides pendant cette période.

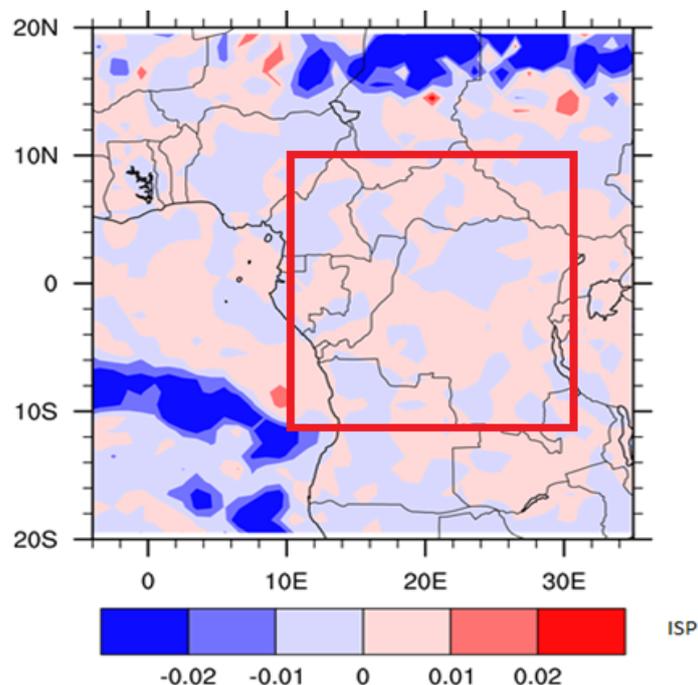


FIGURE 3.10 – Distribution des anomalies pluviométriques de la moyenne saisonnière AMJ dans la région de la AC donnée TRMM (1998 à 2013).

La figure 3.10 est la représentation spatiale du ISP en AC au cours de la saison d’AMJ dans les données TRMM. Tout comme les GPCP, les données TRMM nous ont permis de constater une distribution hétérogène des anomalies pluviométriques de la zone d’étude. Cette répartition des valeurs moyennes de l’indice sur différentes périodes fait ressortir la sécheresse modérée des années 1998 à 2013 dans la saison AMJ et seuls quelques secteurs limités présentent une humidité relative.

3.4.1 Analyse du MCWD

En Afrique centrale, on a observé une baisse du cumul des précipitations entre Avril et Juin et cette baisse est devenue assez prononcée à partir du début des années 1980 (Hua et al. 2016). Ceci est aussi observé sur la figure 3.7 et la figure 3.8 avec un renforcement des conditions sèches à partir de 2007. Suite à cette baisse nous avons étudié un indice afin d’évaluer l’impact de cette baisse de la pluviométrie sur le massif forestier de la sous-région. Dans la suite, l’analyse portera donc sur le MCWD qui est un indice qui a montré une bonne capacité à capter la réponse des massifs forestiers aux variations climatiques (Zelazowski et al 2011, James et al 2013).

Le déficit en eau joue un rôle primordial, il peut influencer la végétation du milieu considéré. Ces observations nous ont conduit à utiliser le MCDW qui nous permettra d’estimer l’impact du déficit hydrique sur le couvert forestier pendant les mois d’AMJ.

Le MCDW est un paramètre toujours négatif car dans le processus de calcul on ne prend pas

en compte le mois où la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration est positive. On considère uniquement les cas où cette différence est négative ce qui correspond au cas où l'évapotranspiration est plus élevée que les précipitations. Ce paramètre renseigne sur les pertes d'eau à la surface. Par conséquent, plus les valeurs sont négatives plus la surface est asséchée.

Plus la surface aura perdu de l'eau, l'indice va alors nous renseigner sur le déficit hydrique qui peut potentiellement impacter le fonctionnement du couvert forestier de l'Afrique centrale.

Le MCDW est estimé en début et fin de la période d'étude 2012-2013 et 1979-1980. La différence des valeurs de ce paramètre entre ces deux périodes permet d'évaluer l'impact que la tendance à la baisse des précipitations a eu sur les forêts d'AC.

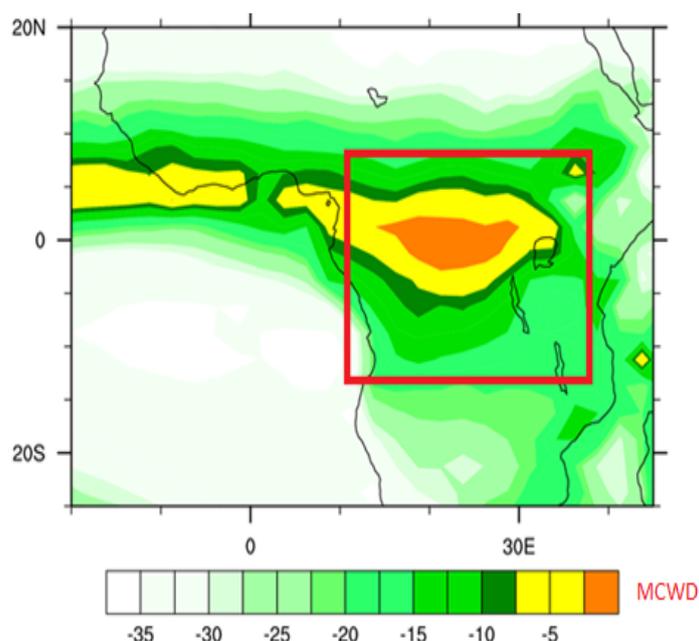


FIGURE 3.11 – Distribution spatiale de MCDW de la moyenne saisonnière (Avril-Mai-Juin) des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le GPCP pour la période allant de 2012 à 2013

L'analyse de la figure 3.11 montre la distribution de MCDW pour la moyenne saisonnière d'Avril-Mai-Juin de l'Afrique Centrale. La donnée utilisée est le GPCP pour la période allant de 2012 à 2013. Cette figure nous montre qu'au cours de la période considérée, la sécheresse est moins prononcée autour de l'équateur ($MCDW > -5$) et au fur et à mesure qu'on s'éloigne du Sud ou du Nord de la région, les valeurs deviennent de plus en plus négatives par conséquent le déficit hydrique devient important. Les parties de la forêt qui se trouvent vers le sud du bassin et celles qui se trouvent au nord de la région présentent un impact négatif plus important par ce déficit. Pareillement les forêts localisées sur la côte auraient un déficit beaucoup plus important que celles situées à l'intérieur du continent en Afrique centrale.

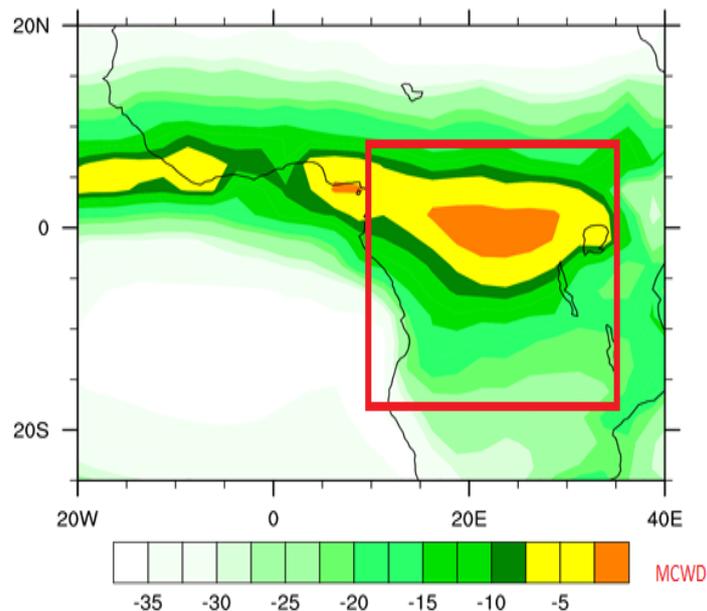


FIGURE 3.12 – Distribution spatiale de MCDW de la moyenne saisonnière (Avril-Mai-Juin) des précipitations en Afrique centrale. La donnée utilisée est le GPCP pour la période allant de 1979 à 1980

La figure 3.12 représente la distribution moyenne saisonnière d’AMJ des précipitations en Afrique centrale analysée à travers les valeurs du MCDW pour la période de 1979 à 1980. On observe les variations similaires à celles de la figure 3.11. Notons néanmoins une légère différence du comportement de l’indice au niveau de la côte camerounaise. Dans cette partie de l’AC l’indice est moins prononcé par conséquent dans cette région le déficit hydrique pourrait moins impacter les forêts de cette localité. Nous constatons d’une manière générale suite au déficit hydrique causé par la baisse des précipitations dans la période d’AMJ la couverture forestière de l’Afrique centrale connaîtra des modifications.

Afin d’évaluer l’impact potentiel de la variation des pluies sur la forêt entre le début et la fin de notre période d’étude, nous allons analyser la figure 3.13 qui montre la différence de MCWD entre les années 2012-2013 (figure 3.11) et 1979-1980 (Figure 3.12).

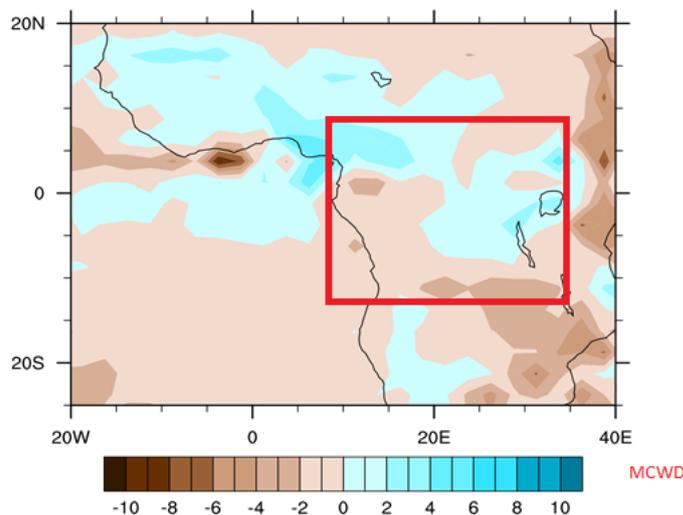


FIGURE 3.13 – Présente la différence de MCDW entre les années 2012-2013 (figure 3.11) et 1979-1980 (Figure 3.12).

Sur la figure 3.13, on observe des zones où le MCDW est marqué par des valeurs négatives (du nord au sud de la région) particulièrement de 10° S à 4° N et 10° E à 20° E. Dans ces régions, le stress hydrique est plus élevé par conséquent les forêts seront plus affectées. Par contre, celles situées au-dessus de l'équateur jusqu'au lac Tchad ont un MCDW positif donc le stress hydrique sera moins important.

Les changements de couverts forestiers peuvent être rapprochés aux variations climatiques sur le long terme (Sultan et Mahé, 2011). C'est ce qui a été observé depuis le début de notre étude à travers les figures 3.5 et 3.6 qui présentaient la décroissance de la quantité de précipitations au cours de la période 2012-2013. Le ISP nous a permis d'observer un renforcement des conditions de sècheresses principalement en 2012. Le MCDW par sa méthode de calcul, nous avons observé un déficit hydrique en Afrique centrale pouvant impacter ou alors bouleverser l'équilibre de la forêt.

IMPLICATIONS PEDAGOGIQUES

Introduction

L'humanité est confrontée à une grave crise climatique qui affecte le monde et l'Afrique centrale en particulier. Faire face à cette question dépendra fortement des jeunes qui sont aujourd'hui dans les écoles et pourraient devenir des acteurs efficaces. Ce chapitre vise donc 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 pourrons l'utiliser pour rendre les enseignants plus efficaces. De ce fait, le plan choisi dans ce chapitre est le suivant : intérêt didactique, l'apport de l'enseignant, l'apport chez les élèves et enfin une fiche pédagogique qui décrira le déroulement des activités pédagogique.

4.1 INTÉRÊT DIDACTIQUE

La didactique est l'étude des questions posées par l'enseignement et l'acquisition des connaissances dans les différentes disciplines scolaires.

Dans les chapitres précédents nous avons étudié l'impact du changement climatique sur les indices hydrologiques liés à la forêt en Afrique centrale. L'apport didactique de notre travail dans le système éducatif des sciences physiques et technologique dans notre étude se situe dans toutes les classes du secondaire. Car l'éducation, en particulier l'éducation scientifique, doit jouer un rôle essentiel dans la préparation des générations présentes et futures à comprendre le changement climatique et être préparée de manière adéquate à s'adapter et à atténuer ses impacts. L'éducation au changement climatique doit tenir compte de la nécessité de fournir aux enseignants, dans les pays développés comme dans les pays en développement, des informations actualisées, des processus de formation nouveaux et innovants, de nouvelles ressources pour la classe et de nouveaux outils pour leurs élèves en tant qu'acteurs. Notre thème sur le changement climatique appelle à soutenir les écoles et les enseignants par des initiatives spécifiques. L'éducation scientifique fondée sur la recherche a été démontré comme un moyen efficace d'enseigner la science aux niveaux primaire et secondaire et d'inspirer l'enseignement supérieur dans le monde entier. Il fournit une base solide pour développer de toute urgence un programme spécifique et interdisciplinaire d'éducation au changement climatique.

De plus notre travail trouve aussi un grand intérêt dans le domaine de la géophysique. Les notions abordées ici sont le climat en Afrique centrale, les types de saison et de changements climatiques. Toutes ces notions sont abordées dans les classes de 6ème et de première de l'Enseignement secondaire général. Ce travail apparaît comme une illustration de ces cours. Il permet de mettre en oeuvre une approche plus participative des élèves.

4.2 INTÉRÊT GÉNÉRAL DU SUJET

Ce travail pouvant s'introduire à plus d'un niveau du système éducatif à un apport dans l'enseignement tant pour l'acquisition des aptitudes que pour l'acquisition des compétences pour les différents acteurs de l'éducation.

4.2.1 Apports chez les enseignants

Les enseignants doivent être éduqués, formés et soutenus pour que la science soit enseignée de manière active et participative, ce qui inclut des expériences, des tests d'hypothèses, la pensée critique et l'utilisation d'un langage approprié. Une approche similaire en matière de changement climatique, qui nécessite la participation de chercheurs, peut prendre plusieurs formes : opportunités d'apprentissage professionnel axées sur les concepts de science du climat ; travail collectif utilisant l'apprentissage à distance ; et ressources pédagogiques pour la classe, adaptées au niveau enseigné (primaire, secondaire) et à l'expertise spécifique des enseignants et à l'environnement local. Une mobilisation adéquate des enseignants, l'éducation et le soutien d'une part, l'introduction de l'éducation au changement climatique dans les programmes scientifiques nationaux et d'autre part doivent être planifiés.

4.2.2 Apport chez les élèves

Les analyses faites dans les chapitres précédents permettront aux élèves de mieux consolider les acquis reçus en classe, de les motiver à améliorer leur connaissance sur l'environnement de leur donner les outils nécessaires pour la bonne conduite des activités intégratrices concernant le changement climatique et ses impacts sur la forêt.

En définitive au vu de nos analyses et résultats obtenus notre étude portée sur l'impact du changement climatique sur les indices hydrologiques liés à la forêt en AC, se présente comme outil indispensable pour la mise en place des nouvelles approches d'enseignement centré sur l'approche par compétence. Ceci parce que notre étude repose sur des thèmes qui sont en direct avec le quotidien de l'élève et aussi parce qu'elle touche à la fois plusieurs disciplines ou domaines du programme officiel des lycées et collèges. De plus, reconnaître que l'éducation au changement climatique, tant pour l'atténuation que pour l'adaptation, doit devenir une composante essentielle de l'éducation scientifique à tous les niveaux de l'éducation

Fiche pédagogique

La fiche pédagogique décrit le déroulement des activités pédagogiques, c'est une référence d'enseignement pour que le processus d'apprentissage atteigne le but décrit dans le syllabus. Elle comprend les éléments importants dans la pratique comme suit :

Le thème traité

Le niveau des apprenants : 5^{ème}

Les objectifs généraux, le but de processus d'apprentissage

Le média utilisé pour la pratique

La méthode de travail

La démarche pédagogique

Thème : Impact du changement climatique sur les indices hydrologiques liés à la forêt

Titre de la séance : changement climatique et environnement

Niveau des apprenants : première

Domaine : sciences

But : donner l'importance d'expliquer le phénomène changement climatique et ses impacts sur la forêt

Objectifs :

-Définir changement climatique

-Donner l'origine et les conséquences du changement climatique

-Proposer quelque solution

Pré-acquis : les notions sur le climat et les pluies

Matériel : craie, tableau, feuille, stylo à bille

Document : livre programme 5e, livre au programme (major, de classique africains)

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le climat de l’Afrique centrale présente un défi considérable pour la modélisation du climat en raison de la complexité topographique du milieu. Au terme de notre étude où il était question d’évaluer le stress hydrique sur les forêts du bassin du Congo sur la base des données satellitaires TRMM et GPCP. Nous avons effectué des études portant sur la distribution spatiale, le cycle annuel et la variabilité interannuelle de la moyenne saisonnière AMJ des précipitations. Il en ressort que la distribution spatiale des précipitations n’est pas uniformément répartie en Afrique Centrale en plus de cela les précipitations sont en faible quantité pendant la saison AMJ. Le cycle annuel de la pluviométrie pour les deux jeux de données montrait une distribution bimodale des précipitations. Les variabilités interannuelles quant à elles ont montré une tendance décroissante des précipitations. Toutes ces analyses nous ont permis à identifier et à mettre en évidence les modifications des paramètres climatiques (précipitations) qui sont assez significatifs pendant la saison d’AMJ. Les résultats qui en découlent montrent une baisse notable des précipitations qui pourrait impacter sur le couvert forestier de la sous-région. Le calcul de l’indice standardisé de précipitation ISP révèle une diminution progressive des précipitations tendant à un assèchement de la région. Le calcul et l’analyse du déficit climatologique maximum en eau de surface nous a éclairci sur le durcissement des conditions sèches, le déficit hydrique associé à cette baisse de précipitation et l’impact provoqué par ce déficit sur la forêt de la région. Sur la base des analyses réalisées ci-dessus, il a été constaté que plusieurs résultats obtenus dans le contexte de notre travail cadrent avec ceux présents dans la littérature.

Afin de consolider nos résultats, nous envisageons de réaliser la même étude avec les données plus récentes afin de voir si cette tendance à la baisse est continue dans le temps.

Bibliographie

- [1] Aguilar, J.Mbah, A.Mhanda, Tomou et Zhang, «*changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa.*», *Journal of Geophysical Research* 114 : doi : 10.1029/2008JD011010.issn : 0148-0227,2009
- [2] Adler et al, «*The version 2 Global climatology project(GPCP Monthly precipitation analysis)*», Article, John jonowiak, code 912 : 200302250, 2009.(doi 10.1175/1525-7541)
- [3] Asefi-Najafabady, S. Saatchi, «*Response of African humid tropical forests to recent rainfall anomalies*», *Phil. Trans. R Soc. B* 368, 2012/03/06, 2013
- [4] Godard et Tabeaud , «*Les climats, mécanisme, variabilité, repartition*»,pp 117,4^{ième} édition, 2009
- [5] Guttman et al «*Comparing the palmer Brought Index and the standardised precipitation index*»,*journal of the American water resources Association* :doi 10.1111/j.1752-1688.1995.tb05964.X
- [6] Huang et Wen «*Observes trends in light precipitation events over global 1961-2010 theoretical and Applied climatology*», PP 169-173,2016
- [7] James R, Washington R, Rowell DP«*Implications of global warming for the climate of African rainforests.*» Article,*Phil. Trans. R. Soc. B* 368, 20120298.(doi :10.1098/rstb.2012.0298), 2013
- [8] James et al «*Nature*», Article,2012.
- [9] Lewis, S. L «*Tropical forests and the changing earth system*», Article, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 361, 195-210, 2006.
- [10] Nikulin et al«*precipitation climatology in a ensemble of cordex-africa Regional climate Simulations*»,*Journal of climate*,pp 6057-6078.(doi 10.1175/JCLI-D11-00375.1),2012.
- [11] OMM : Organisation Mondiale Météorologique
- [12] Rachel et al«*Head of Geology*»,2011-2013.
- [13] T.B Mckee«*The relationship of drought frequency and duration of time scale.*»,Eight conference on climatology, American meteorological society,pp179-186, 1993.

- [14] T. Lebel et Ali«*Recent trends in the central and western sahel rainfall regime*»,*Journal of hydrology*,pp 52-64,1990-2007.
- [15] Zhou L et al« *Widespread decline of Congo rainforest greenness the past decade Nature 509 86-90*», Article