

Water availability in agro-ecological zones in Cameroon

Disponibilité de l'eau dans les zones agroécologiques du Cameroun

Nestor Eone⁽¹⁾, Ibrahima Saïdou Hayatou*⁽²⁾, Joseph Armathé Amougou⁽²⁾,
Samuel Aimé Abossolo, Joseph Martin Bell⁽²⁾, Armand Soleil Batha⁽²⁾,
Chebou Carelle⁽²⁾

⁽¹⁾*Ecole Nationale Supérieure polytechnique de Yaoundé / Institut Supérieure des Sciences Agricoles de Boumnyebel*

⁽²⁾*Université de Yaoundé I / Centre National d'Etudes et d'Expérimentation du Machinisme Agricole (CENEEMA), Yaoundé-Cameroun.*

**Corresponding author*

Abstract: About 70% of Cameroon's population depends on agriculture and this agriculture is mostly rainfed. Climatic changes which are characterized by irregular precipitation, prolonged dry season in certain agro-ecological zones, and changes in national agricultural policies requires a new strategy for managing water resources. This new water management strategy will not only make farming more profitable but also reduce poverty, hunger and malnutrition. The methodology of this work consist of preparing a climatic water balance sheet consisting of different inputs (rainfall data) and outputs (evapotranspiration data), and evaluating the available water stocked in the dams of Mbakaou, Mape and Bamendjin.

The results of this study shows that the Sudano-Sahelian zone has a negative climatic water balance sheet (NCWBS), while the other agroecological zones have a positive climatic water balance sheet (PCWBS).It also shows that in areas with positive CWBS, water shortage periods appear mostly in the dry season. During this period, the behavior of the water reserves in the impoundment dams also changes in line with precipitation.Dams are heavily supplied during the rainy season and are poorly supplied during the dry season.The capacity to manage and conserve water resources in Cameroon's various agro-ecological zones depends on development choices and our ability to cope with climate change.

Keywords: Availability, water, soil, distribution. Agricultural production

Résumé: Le Cameroun est un pays à vocation agricole dont 70 % de sa population vit de l'agriculture. Cette agriculture est majoritairement pluviale. Les perturbations climatiques traduites par l'irrégularité des précipitations, le prolongement des saisons sèches dans certaines zones agro-écologiques et le changement des politiques agricoles nationales nécessitent une nouvelle stratégie de gestion des ressources en eau. Cette nouvelle gestion de l'eau a pour but non seulement de rentabiliser les exploitations agricoles, mais de réduire la pauvreté, la famine et la malnutrition. La méthodologie de ce travail consiste à élaborer les bilans hydriques climatiques constitués des différentes entrées (précipitations), les sorties (évapotranspirations) et d'évaluer les stocks d'eau disponibles dans les barrages de Mbakaou, Mape et Bamendjin.

Les résultats de cette étude révèlent que la zone soudano-sahélienne présente un bilan hydrique climatique (BHC) négatif, tandis que les autres zones agro-écologiques présentent un bilan hydrique climatique positif. Il en ressort également que dans les zones à BHC positif, les périodes de pénuries apparaissent le plus en saison sèche. Pendant cette période, le comportement des réserves dans les barrages de retenues évolue aussi au rythme des précipitations : Les barrages sont très approvisionnés pendant la saison des pluies et sont faiblement approvisionnés en saison sèche. La capacité de gestion et de conservation des ressources en eau dans les différentes zones agro-écologiques du Cameroun dépend des choix de développement et de nos aptitudes à faire face aux changements climatiques.

Mots clés: disponibilité, eau, terroir, répartition. Production agricole

1. Introduction

Dans l'ensemble de l'Afrique subsaharienne, plus de la moitié de la population (environ 300 millions de personnes soit près de 51% de la population) n'avait pas accès à l'eau potable au début des années 2000 (Dieng, 2011). Il est également noté que même dans les pays disposant d'un potentiel hydrique important, l'accès des populations à l'eau reste limité. Selon une étude de la FAO en 2014, sur 3931 Km³ de ressources en eau renouvelable, la région du Centre de l'Afrique est la mieux dotée avec 48% des ressources du continent. Tout le monde a besoin d'eau et il n'existe guère d'activités économiques qui n'en dépendent d'une manière ou d'une autre. «Sans elle rien ne pousse, sans elle la vie n'est pas possible» (Dupriez et al., 1990).

Les incertitudes climatiques tels que les sécheresses, l'augmentation des températures moyennes, l'apparition des fortes pluies entraînent des baisses de productivité agricole ou des pertes importantes de récoltes ou de cheptels (Kelly, 2000). L'adaptation des activités agricoles aux fluctuations climatiques dans les différentes zones agroécologiques doit tenir compte des spécificités territoriales selon la vulnérabilité de la zone, en fonction des facteurs biogéographiques, des infrastructures et selon les vulnérabilités propres aux acteurs locaux (Schneider, al., 2007).

Les méthodes de conservation des ressources en eau, la modification des techniques de rotation des cultures et des dates de semis, l'utilisation et la sélection de cultivars plus résistants à la sécheresse apparaissent importants dans certaines zones sèches où des prélèvements sont affectés par les effets du réchauffement climatique. Cette situation conduit à des régimes des précipitations et des températures inhabituelles, à des événements météorologiques extrêmes et de plus en plus fréquents comme les sécheresses qui ont un impact croissant sur l'agriculture et sur les ressources en eau.

L'insuffisance des ressources en eau affecte plus de 40 pour cent de la population mondiale. Cette proportion devrait atteindre les deux tiers d'ici à 2050 (FAO, 2017). Si l'évaporation des surfaces continentales apporte les 2/3 de l'eau qui se précipite sur les continents ; le tiers restant provient de l'advection (transport de l'eau évaporée des océans). Ces eaux de surfaces continentales pourront jouer un rôle essentiel pour le climat et la disponibilité de l'eau (Laval, 2001).

Le Cameroun disposerait d'importantes ressources en eau constituées en moyenne de 267,88 km³ d'eau de surface et de 55,98 km³ d'eau souterraine (PAM, 2011). Ces ressources en eau sont globalement sous exploitées. Les besoins en eau pour les différents usages au Cameroun ne représentent que 4,14% du volume des eaux de surface (GWP- caf, 2010). La diversité physique et climatique du Cameroun entraîne le développement de plusieurs variétés d'écosystèmes dont certains sont fragiles et soumises à la désertification. Les activités liées à l'eau et à l'assainissement ne sont pas développées au Cameroun: l'eau pour l'agriculture, l'élevage, la pêche, le transport, l'environnement. L'urbanisation accélérée de certaines agglomérations, une démographie galopante, l'extension de certaines cultures dans les zones sèches du Cameroun font apparaître d'autres problèmes de gestion des ressources en eau dans les différentes zones agroécologiques du Cameroun.

2. Méthodologie

La méthodologie de cette étude consistera à faire une description de la zone de l'étude, à analyser l'évolution des températures et des précipitations, à élaborer le bilan hydrique climatique dans les différentes zones agroécologiques, constitués des entrées (précipitations) et les sorties (l'évapotranspiration potentielle), en évaluant l'évapotranspiration potentielle, l'humidité de l'air, et les stocks d'eau disponibles dans les barrages de Mbakaou, Bamendjin et de la Mape.

2.1. Analyse des données

Les données qu'on va utiliser dans le cadre de cette étude sont constituées des précipitations et des températures collectées dans les stations météorologiques de Garoua, N'Gaoundéré, Dschang, Douala et Yaoundé situées respectivement dans Zone Soudano-Sahélienne, de Hautes Savanes Guinéennes, des Hauts Plateaux de l'Ouest, dans la zone Humide de Forêt Monomodale et dans la Zone de Forêt Humide Bimodale. Ces données mensuelles couvrent la période de trente-sept ans c'est-à-dire entre 1971 et 2008.

L'humidité atmosphérique de l'air, l'évapotranspiration potentielle (ETP) ainsi que le bilan hydrique climatique (BHC) sont calculés à partir des données de précipitations et des températures des différentes stations concernées. Les données de l'activité solaire ont été obtenues à l'Université d'Hydro-météorologie de Saint-Pétersbourg.

Les quantités d'eau contenues dans les barrages de retenues de Mbakaou, de la Mape et de Bamendjin ont été évaluées au fil du temps par la direction de l'IRGM. Ces données représentent les volumes d'eau contenues

dans les barrages aussi bien en saison pluvieuse qu'en saison sèche nécessaires à la régularisation des débits ou à l'irrigation.

2.2. Traitement des données

Pour caractériser les années qui ont fait l'objet des prélèvements de la pluviométrie et de la température enregistrées au cours de cette période de l'étude, les relevés incomplets ou inexistant par endroits observés ont été substitués par la moyenne arithmétique des stations les plus proches qui l'entourent afin d'avoir une idée plus précise du phénomène.

L'évapotranspiration sera calculée en deux temps : d'une part à partir de la formule de

$$ETP(mm) = 16 \left[\frac{10T}{I} \right]^\alpha \times F(\lambda). \text{ Cette formule établit la corrélation entre la moyenne mensuelle et l'ETP.}$$

Pour cela, on définit d'abord l'indice mensuel I de température tel que $I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$. T = température moyenne du mois considéré en °C.

I = somme des indices mensuels de l'année (indice annuel de température)

$$\alpha = 0,49239 + 1,792 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} I^3$$

F(λ) = facteur de corrélation qui varie avec les latitudes (G. de Marsily)

ETP = évapotranspiration potentielle mensuelle

L'humidité relative de l'air (a) est la vapeur d'eau contenue dans l'air suite à l'évaporation des eaux de surface et à la transpiration des plantes. Elle sera calculée à partir de la formule. $a (\%) = \frac{P-ETP}{ETP}$.

P en mm, ETP en mm et a en %.

Le bilan hydrique climatique (BHC) exprime la conservation entre deux dates quelconques, de la quantité d'eau présente ou accumulée dans le système sol - plante - atmosphérique. Cette eau est répartie entre l'eau stockée dans le sol et la plante d'une part, et les flux entrant et sortant de cette réserve d'autre part BHC (mm) = P - ETP.

P en mm,

ETP en mm et BHC en mm

3. Résultats

3.1. Zones agroécologiques du Cameroun

Le Cameroun est situé au-dessus de l'équateur entre 1°40' et 13° latitude N et entre le 8° et 16° longitude Est. Sa superficie est de 475 442 km² et une population estimée à 23 millions d'habitants dont plus de la moitié sont constituées des ruraux. Il est divisé en cinq zones agroécologiques : La zone I ou Zone Soudano-Sahélienne, les précipitations varient d'une localité à une autre. Entre la cuvette de la Bénoué et 11° N, les précipitations diminuent et tournent autour de 815 mm à Maroua, 973 mm à Mokolo. Du 11 au 13° N, le total pluviométrique se situe entre 700 et 400 mm/an.

La Zone II ou la Zone de Hautes Savanes Guinéennes couvre la zone de N'Gaoundéré de 7°20', à la ligne de Tibati- Garoua-Boulaï à 6° de latitude Nord (Groupe J.A., 1979). Le volume des précipitations augmente par rapport aux Monts Mandara. Les précipitations varient de 1 500 à 1 700 mm/an entre 1971-2008.

Dans la zone III ou zone des Hauts Plateaux de l'Ouest, la pluviométrie annuelle devient importante avec moyenne annuelle de 2000 mm/an entre 1971-2008 à la station météorologique de Dschang. Cette zone de hautes montagnes enregistre de fortes précipitations en fonction des localités et surtout en fonction de l'exposition par rapport aux vents pluvieux.

La zone IV ou Zone Humide de Forêt Monomodale est une zone à forte pluviométrie au Cameroun. L'influence de la proximité de la mer accroît les précipitations grâce à la mousson venant de l'anticyclone de Sainte Hélène. Les précipitations moyennes annuelles tournent autour de 4 010 mm/an.

La zone V ou Zone de Forêt Humide Bimodale est située dans les régions du centre, Sud et littorale. La densité de la végétation forestière alimente l'atmosphère en vapeur d'eau. Cette phase de transformation de l'eau favorise la formation et l'évolution des nuages qui contribue à la dynamique des précipitations dont la pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1 500 à 2 000 mm/an entre 1971 et 2008.

Ces zones comprennent quatre bassins hydrographiques : le bassin de l'Atlantique, le bassin du Congo, le bassin du Niger et le bassin du Tchad. Les deux derniers bassins sont moins importants et situés dans une zone tropicale. Ils subissent de fortes variations saisonnières. La courte saison pluvieuse est secondée par une longue période sèche. L'agriculture subit des contrecoups du climat. C'est pour pallier au déficit hydrique causé par ce climat aride que des barrages construits sur la Bénoué et le Logone afin de favoriser l'irrigation dans les localités de Garoua et de Yagoua.

3.2. Evolution des précipitations, des températures, du bilan hydrique climatique et de l'évapotranspiration potentiel dans les zones agroécologiques.

L'amélioration des rendements agricoles sont la préoccupation des populations paysannes camerounaises. Elle répond à un double objectif : assurer l'autosuffisance des populations locales et répondre aux problèmes économiques de ces populations afin de lutter efficacement contre la pauvreté, la faim et la malnutrition. L'agriculture pluviale est donc développée partout dans les zones agroécologiques du Cameroun. La maîtrise des processus de productions de l'agriculture pluviale face aux fluctuations climatiques nécessite une parfaite connaissance de l'évolution du climat de la région. Dans la zone soudano-sahélienne, les précipitations sont faibles et irrégulières. Le volume d'eau maximal est de 1344,2 mm enregistré au cours des années 1960 (Figure 1).

L'évapotranspiration est très élevée et atteint 4659,46 mm en 2005. Au cours de cette même période (1971-2008), on note alors un accroissement des températures dont le maximal est de 29,3°C en 1987 et le minimum est de 27,1°C enregistré en 1948. Le coefficient de progression des températures est de 0,01. Dans les mêmes circonstances, on observe une augmentation de l'évapotranspiration avec un coefficient de progression de 5,67. Par contre, l'humidité de l'air diminue considérablement avec un coefficient de régression de -4,68. Le bilan hydrique climatique est largement déficitaire. On note un déficit supérieur ou égale à 2500 mm malgré une légère reprise des précipitations dont le coefficient de progression est de 0,98 à la station météorologique de Garoua.

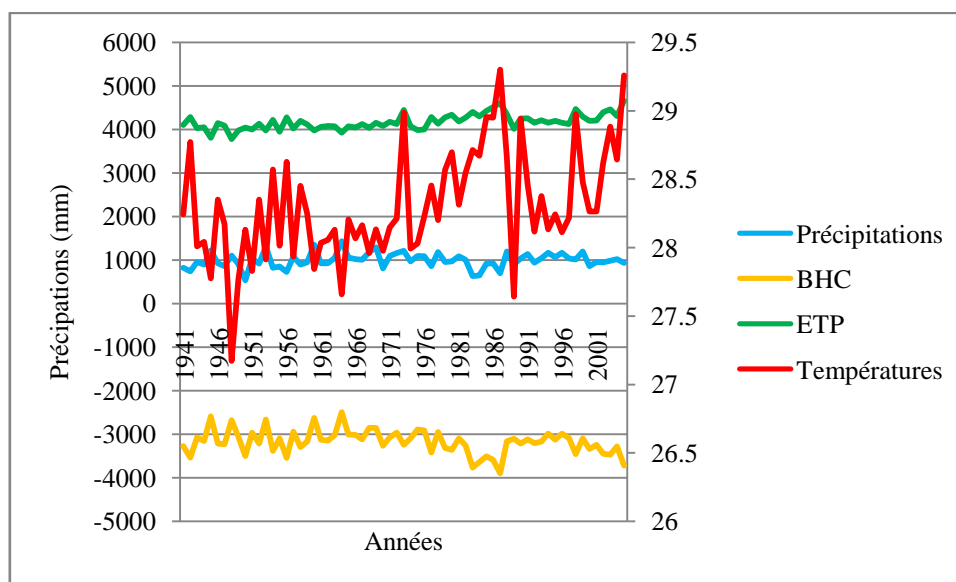


Figure 1. Bilan hydrique climatique annuel à la station de Garoua sur la zone soudano-sahélienne

La zone de haute savane guinéenne est une zone où l'on cultive les céréales, les tubercules et surtout des plantes fourragères pour l'alimentation du bétail ; ces cultures sont majoritairement pluviales. La pluviométrie favorable et les meilleurs rendements ont poussé l'implantation de la société de développement et d'exploitation de produit animal (SODEPA). Cette région est une zone de transition climatique entre la partie septentrionale et méridionale du Cameroun. Dans cette zone, les précipitations sont moyennes par rapport à l'ensemble du pays. A la station météorologique de N'Gaoundéré, on observe une baisse importante du volume des précipitations.

Le coefficient de régression est de $-4,30$. La précipitation maximale est de 1862,9 mm enregistré en 1956 alors que le minimal est de 1179 mm relevé en 1979. Dans cette région, Les températures au cours des cinq dernières années se sont maintenues à la hausse. La température maximale est de 23,2°C relevée en 1998 alors que le minimale est de 20,5°C enregistrée en 1974 (Figure 2). Le coefficient de progression est de 0,006. On note à la station météorologique de N’Gaoundéré, quatre phase sèches. Le bilan hydrique climatique est resté positif au cours de la période de l’étude. Il a atteint son niveau le plus élevé entre 1972 et 1980. L’évapotranspiration potentielle au niveau de la station est en forte progression. Le coefficient de progression est de 1,06. Cette ETP oscille entre 800 et 1200 mm entre 1988 et 2004. L’humidité de l’air est en forte diminution. On observe un coefficient de régression de $-5,36$. Ces conditions climatiques ont permis le développement de certaines agro-industries dans la localité de N’Gaoundéré.

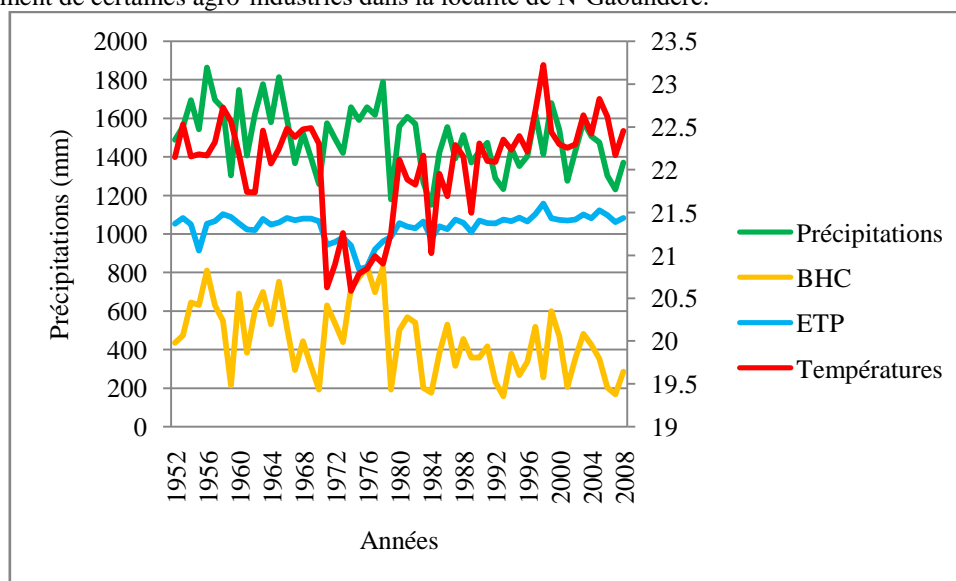


Figure 2. Bilan hydrique climatique annuel à N’Gaoundéré sur la zone de hautes savanes guinéennes

Les hauts plateaux de l’Ouest se trouvent dans une zone où le volcanisme était intense. Les terres sont riches et favorable à l’agriculture. Les précipitations sont influencées par les effets de l’altitude. Ces précipitations sont en évolution. Entre 1974 et 1989 on a observé une augmentation significative du volume des pluies dont le pic atteint 7312,08 en 1987. Le coefficient de progression de 13,25 sur l’ensemble de la période étudiée. L’humidité moyenne à la station de Dschang est de 63,35%. On note un brouillard matinal sur une longue période de l’année. Les nuages convectifs couvrent omniprésentes. La couverture nuageuse varie entre 5 et 8 Octas.

Les températures sont en constante évolution de 1975 à 2008 et fluctuaient entre 19,1 en 1971 et 21 °C en 2000. Le coefficient de progression est de 0,06. Le bilan hydrique climatique est positif durant toute la période de l’étude dont la moyenne 1644,89 mm. On peut évaluer un coefficient de progression à 9,45. La précipitation moyenne de la période est de 2550,53 mm alors que la précipitation maximale est de 3679,8 mm et la minimale est de 1928,2 mm en 1973 (figure 3).

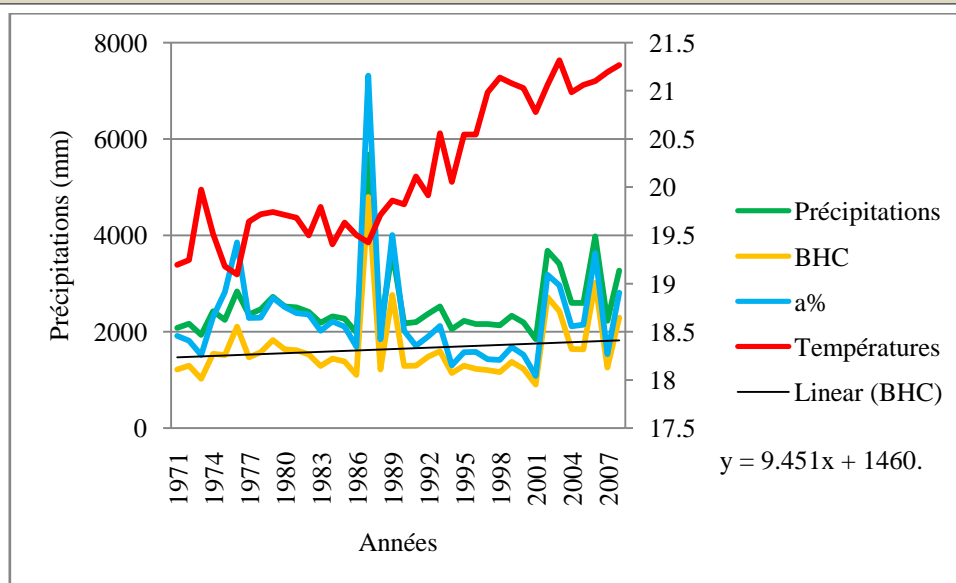


Figure 3. Bilan hydrique annuel à Dschang sur les hauts plateaux de l'Ouest

3.3. Dynamique des quantités de précipitations et variation des volumes d'eau dans certains barrages de retenues

La dynamique des précipitations au Sud-Est des hauts plateaux de l'Ouest et au Sud de la zone de hautes savanes guinéennes justifie les volumes d'eau observés dans les différents barrages de retenue situés dans la zone. Ces barrages se trouvent dans une zone de transition climatique où les quantités de pluies en saison pluvieuse sont moyennes et un prolongement de la saison sèche affecte les volumes d'eau contenue dans ces barrages de retenues. Les écoulements de surface qui alimentent ces barrages de retenues varient en fonction de la couverture végétale, de la nature des sols, des évapotranspirations réelles, de la nature du lit des cours d'eau et enfin des apports de ses affluents. La couverture végétale réduit l'évapotranspiration, l'assèchement des sols et le ruissèlement ; alors que la nature des sols peut contribuer à l'augmentation de l'infiltration ou du ruissèlement.

Les différents barrages de retenues qu'on a étudié (Mbakaou, Mape et Bamendjin) constituent d'importants ouvrages de régulation et de rétention des eaux de la Sanaga. Ils régulent le débit de la Sanaga en période d'étiage en comblant le déficit d'eau dans les barrages situés en aval. Des analyses menées montrent que les précipitations sont importantes dans la zone. Les résultats des écoulements attestent que le volume des retenues dans le barrage de Mbakaou est régulier et estimé à 400000 m³ en période critique et 525000 m³ en période excédentaire avec un coefficient de progression de 10066. Le barrage de la Mape a des réserves allant 250000 m³ et 800000 m³ et subit d'importantes variations inter annuelles. Cependant, on note une augmentation significative du volume d'eau de ce barrage entre les années 2000 et 2002. Le coefficient de progression d'eau dans ce barrage est de 1857,1. Cette progression a été évaluée à 536488,83 m³ (Figure 4).

Au niveau du barrage de Bamendjin entre 2001 et 2002, on constate de faibles variations des volumes d'eau. Cette situation hydrologique au sein de ce barrage nécessite un bon suivi de l'évolution des quantités d'eau retenues car une accumulation incontrôlée des quantités d'eau pourra avoir des conséquences non seulement sur l'ouvrage mais aussi sur l'environnement de ce barrage. Les volumes d'eau retenue dans ce barrage oscillent entre 200000 et 400000 m³ d'eau. Le coefficient de progression est de 524,6. Le coefficient de remplissage est très élevé dans le barrage de Mbakaou et faible dans le barrage de Bamendjin. Ceci peut se justifier par le fait que le ruissèlement augmente aussi dans ce bassin versant dû à la diminution du couvert végétal causé par les travaux agricoles.

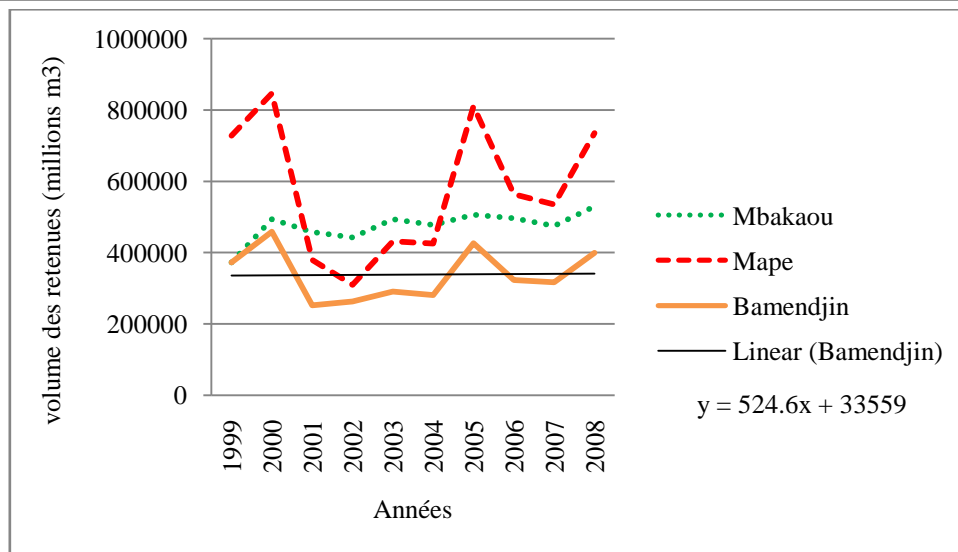


Figure 4. Volumes annuel des retenues des barrages

L'étude de l'évolution du rythme des précipitations annuel au Sud-Est des Hauts plateaux de l'Ouest et au Sud de la zone de hautes savanes guinéennes constitue un enjeu majeur dans le suivi des volumes d'eau stockés nécessaires à la régularisation des débits et au comblement des déficits des barrages situés en aval en période d'étiage. Le rythme annuel des précipitations dans cette zone affecte différemment la variation des stocks d'eau. Celle-ci est liée aux effets des fronts atmosphériques ainsi qu'aux pluies localisées qui font varier les volumes d'eau dans lesdits barrages de retenue.

Les courbes des barrages de retenue de la Mappé et de Bamendjin présente une forme en cuvette entre le mois de Janvier et Novembre. Les volumes d'eau baissent entre janvier et Mai. On note une augmentation des retenues à partir du mois de juin et atteint sa limite de croissance au mois de novembre au barrage de la Mappé don le coefficient de progression mensuel est de 45226. On note une décroissance au niveau du barrage de Bamendjin cette croissance des volumes d'eau s'arrête au mois de décembre. On note un coefficient de progression mensuel de 16898. Au niveau du barrage de Mbakaou, on observe de faibles fluctuations des réserves d'eau donc le coefficient de progression moyenne mensuel est de 2992,5 (Figure 5). Le rythme de l'évolution du volume d'eau dans les barrages est fonction du rythme saisonnier des précipitations et de l'évapotranspiration dans la zone concernée.

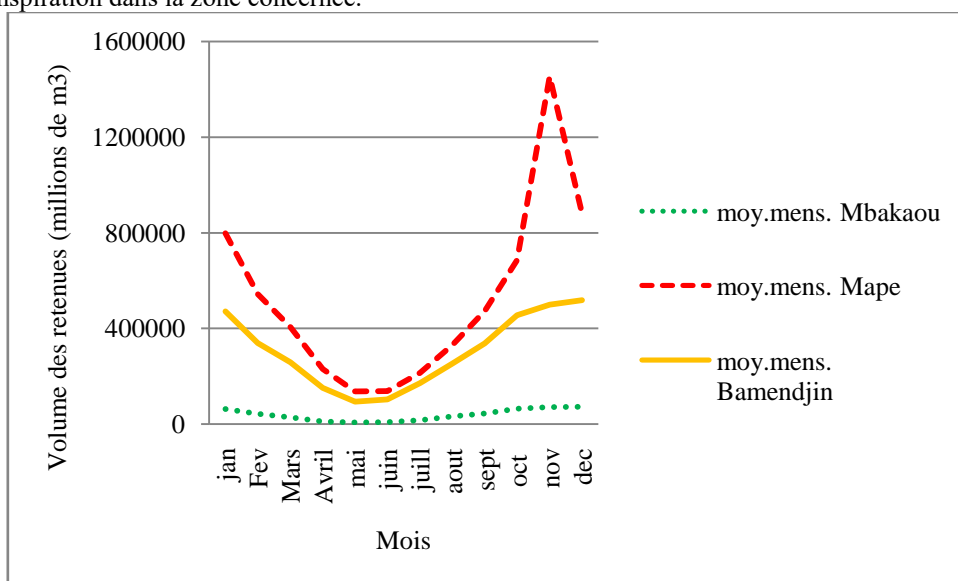


Figure 5. volume moyenne mensuelle des retenues des barrages

3.4. Notion de saisonnalité dans les différentes zones agroécologiques du Cameroun

La saisonnalité est la variation du rythme des précipitations au cours de l'année. Elle traduit la qualité de la saison. Dans la localité de Garoua, la saison sèche est plus sévère. Le total des précipitations de Novembre à Février est de 99,1 mm soit une moyenne de 2,67 mm d'eau par an. La saison humide par contre couvre la période de Mars à Octobre. Au cours de cette période, on a relevé un volume pluviométrique de 34930,1 mm, soit une moyenne annuelle de 944,05 mm. Globalement, les précipitations sont en diminution.

On observe un coefficient de régression de -1,008 mm. En saison sèche, la courbe des précipitations est restée en dessous de celle de l'activité solaire. Le volume des précipitations est en régression. Ce coefficient de régression est de -0,04 mm. Cette situation décrit l'importance des précipitations par rapport à la quantité d'énergie émise par le soleil. Elle montre humidité de la zone. Dans le graphique ci-dessous, on observe que la sécheresse a été sévère au cours de ces quatre dernières décennies c'est-à-dire de 2004 à 2008. Par contre, les précipitations se sont améliorées pendant la période humide. En 1983, les précipitations en saison humide sont restées à son niveau le plus bas. Le volume des précipitations enregistré en cette période était de 631,4 mm (Figure 6).

On observe deux courtes périodes où les précipitations ont été non importantes par rapport à la moyenne de la période. Au cours de cette période, les températures ont augmenté. Le coefficient de progression est de 0,009°C. Le rythme des précipitations est important dans la partie Sud du Cameroun en toute saison. Par contre, dans la partie septentrionale, certaines saisons enregistrent un volume de précipitation nul surtout entre Décembre et Février. Le retour des précipitations dans la zone soudano-sahélienne du Cameroun se caractérise par de fortes précipitations qui entraînent très souvent des inondations comme celles de 2012.

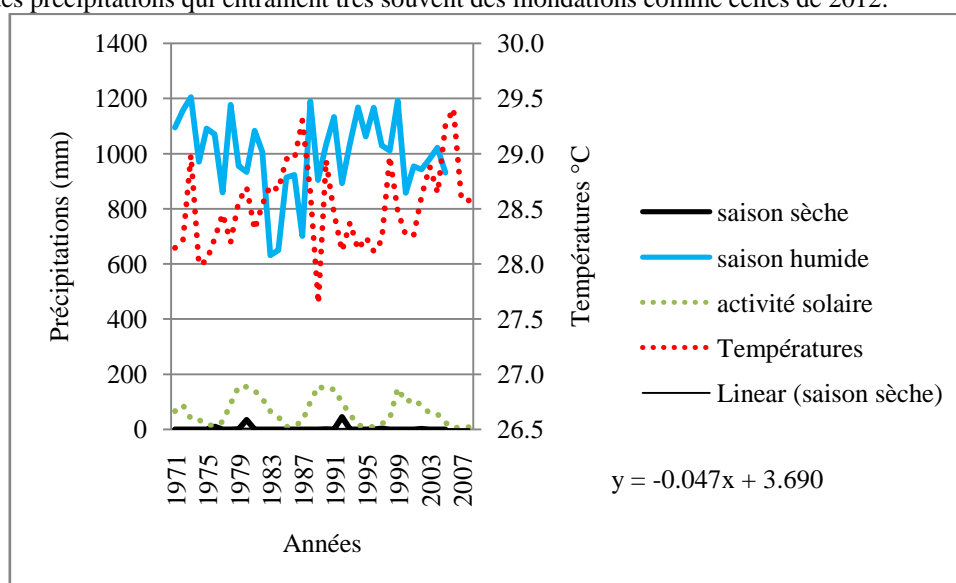


Figure 6. Evolution saisonnière des précipitations, des températures et de l'activité solaire à la station de Garoua

La zone de haute savane guinéenne est une zone de transition climatique entre les climats chauds et humide du Cameroun. Elle se caractérise par des précipitations moyennes et des températures assez basses par rapport à la zone soudano-sahélienne. A la station météorologique de N'Gaoundéré, on observe un climat moins perturbé par les fluctuations pluviométriques tant en saison sèche qu'en saison humide. On a relevé en saison sèche un volume pluviométrique de 386,6 mm, soit une moyenne annuelle de 10,44 mm. Par contre en saison humide, ce volume de précipitations est en diminution avec un coefficient de régression de -4,30 mm. Il est de 55039,2 mm soit une moyenne annuelle de 1487,54 mm (Figure 7). Cette situation pluviométrique montre une augmentation des précipitations par rapport aux stations météorologiques précédemment décrites.

Dans la même station météorologique de N'Gaoundéré, La courbe de l'activité solaire est au-dessus de celle des précipitations en saison sèche. Ceci explique la sévérité de la saison sèche dans cette localité. Dans ce même graphique, constate que l'activité solaire a entraîné une augmentation des températures et une réduction des précipitations en saison sèche au cours de la période 1971-2008. La saison humide reste moins perturbée. On note de faibles écarts pluviométriques qui traduisent une certaine constance du volume des précipitations.

Cependant, les quinze dernières années montrent une réduction des quantités de précipitations en saison humide et une augmentation des températures qui restent en dessous de $23,3^{\circ}\text{C}$. On note un coefficient de progression de $0,05^{\circ}\text{C}$.

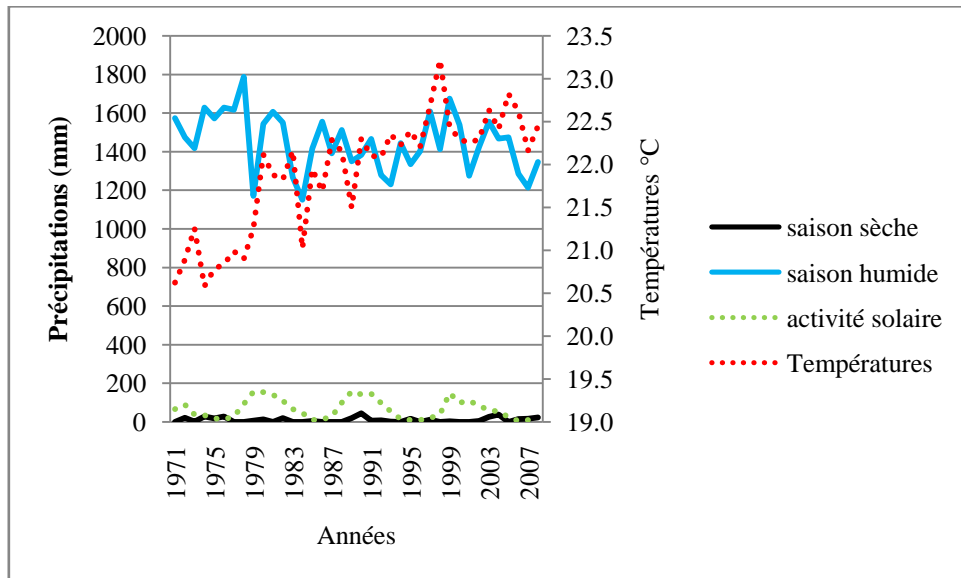


Figure 7. Evolution saisonnière des précipitations, des températures et de l'activité solaire à la station de N'Gaoundéré

Les hauts plateaux de l'ouest se trouvent dans une zone où l'activité volcanique était intense. Les conditions climatiques sont influencées par les effets de l'altitude. La station météorologique située sur les Hauts Plateaux de l'Ouest subit l'influence de l'altitude. Les vents venant de l'Océan atlantique subissent des mouvements ascendants et entraînent une condensation rapide de l'air qui génère des précipitations. A la station de Bamenda, on note une augmentation croissante des températures de 1971-2008. En 1971, la température enregistrée à Bamenda était de $19,1^{\circ}\text{C}$. En 2008, elle est de $21,1^{\circ}\text{C}$. On note un coefficient de progression de $0,06^{\circ}\text{C}$. Au cours de cette même période, on a relevé une certaine stabilité des précipitations en saison humides au cours des trente premières années à l'exception des années 1986, 1987 et 1989 (Figure 8). Au cours de ces années précédemment citées, les précipitations se sont accrues atteignant leur niveau maximal qui correspond à $5618,8\text{ mm}$. Le volume des précipitations reçues en saison humide est important et en hausse. Il est équivalent à $92944,8\text{ mm}$, soit une moyenne annuelle de $2512,02\text{ mm}$. Le coefficient de progression est de $12,95\text{ mm}$.

En saison sèche, on constate que la courbe de précipitations se confond avec celle de l'activité solaire. Cette situation justifie le comportement des précipitations pendant cette période. Cette situation observée traduit un équilibre climatique car la quantité d'énergie reçue par la terre venant du soleil ne peut entraîner ni réchauffement de la terre, ni son refroidissement. On constate que le coefficient de régression de l'activité solaire à la station météorologique de Bamenda est de $-0,75$. Le volume pluviométrique en saison sèche augmente et est de $3975,7\text{ mm}$ soit une moyenne de $107,45\text{ mm}$. On a un coefficient de progression de $0,39\text{ mm}$. Le volume des précipitations en saison sèche est supérieur aux quantités de précipitations reçues dans certaines stations situées dans la zone I en saison humide.

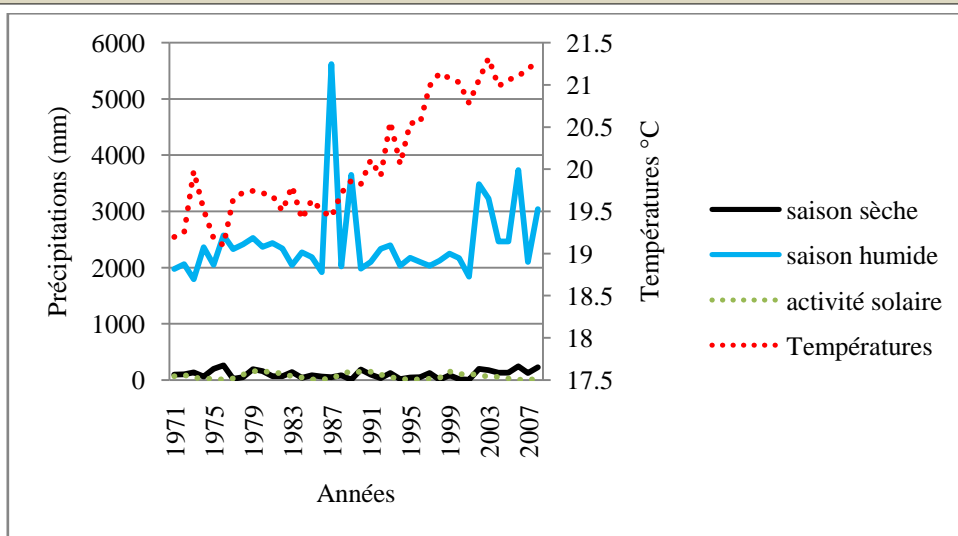


Figure 8. Evolution saisonnière des précipitations, des températures et de l'activité solaire à la station à Bamenda

La zone côtière est sous l'influence des effets de l'océan. Les températures et les précipitations sont rythmées par la circulation des courants marins et l'évolution des fronts atmosphériques. La variation saisonnière des précipitations dans la station météorologique de Douala montre que la zone reçoit d'importantes quantités de précipitation au cours de la saison pluvieuse. Ces précipitations sont en diminution. Le volume pluviométrique minimal de 2475,6 mm et un maxima de 4403,7 mm (Figure 9). Le coefficient de progression des précipitations est de -8,03 mm. Les températures augmentent et varient entre 26,2 et 28,2 °C. On note un coefficient de progression de 0,03°C.

En saison sèche, la pluviométrie s'est accrue légèrement et est comprise entre 146,5 et 468,7 mm. On note un coefficient de progression de 0,06 mm. L'activité solaire est en régression. On observe un coefficient de régression de -0,75. L'activité solaire n'a pas des effets importants sur le rythme des précipitations car la courbe de l'activité solaire est en dessous de celle des précipitations en saison sèche. La zone côtière est la zone la plus pluvieuse du Cameroun dont certaine station comme Debundscha enregistre un volume pluviométrique inférieur ou égale à 10 000 mm d'eau par an. Et cette localité apparait comme la deuxième zone la plus pluvieuse du monde.

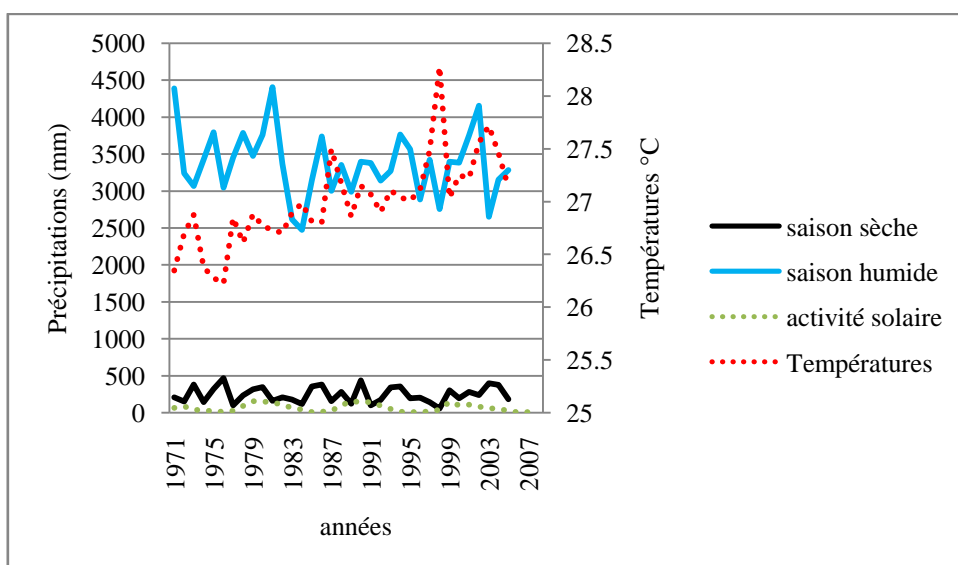


Figure 9. Evolution saisonnière des précipitations, des températures et de l'activité solaire à la station à Douala

La zone de forêt humide à pluviométrie bimodale est sous l'influence de la continentalité et le ma migration de deux fronts atmosphériques : le front intertropical et le front équatorial africain. La saisonnalité à la station météorologique de Yaoundé est marquée par un rythme de précipitations important. Les précipitations au cours de la saison humide se sont élevées. Elles varient entre 1160 mm et 1883,9 mm (Figure 10). Le coefficient de progression est de 2,65 mm. On note une diminution du volume des précipitations en saison sèche avec un coefficient de régression de -1,58 mm. Les précipitations varient entre 71,2 et 388,2 mm. Pendant cette période, les températures sont restées élevées. On note un coefficient de progression de 0,03°C.

La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations en saison humide sur de courtes périodes. La courbe de l'activité solaire est en dessous de celle des précipitations en saison sèche sur toute la période de l'étude. Ceci traduit une réduction de l'influence de l'énergie solaire sur le rythme des précipitations. Les températures ne cessent de croître malgré des fléchissements de la courbe des précipitations entre 1991 et 2001. On note une diminution de l'activité solaire dont le coefficient de régression est de -0,75. La pluviométrie dans la zone de forêt humide à pluviométrie bimodale est alimentée par la migration des fronts atmosphériques et la forêt par l'effet de l'évapotranspiration qui alimente l'atmosphère en vapeur d'eau qui contribue au développement des pluies localisées.

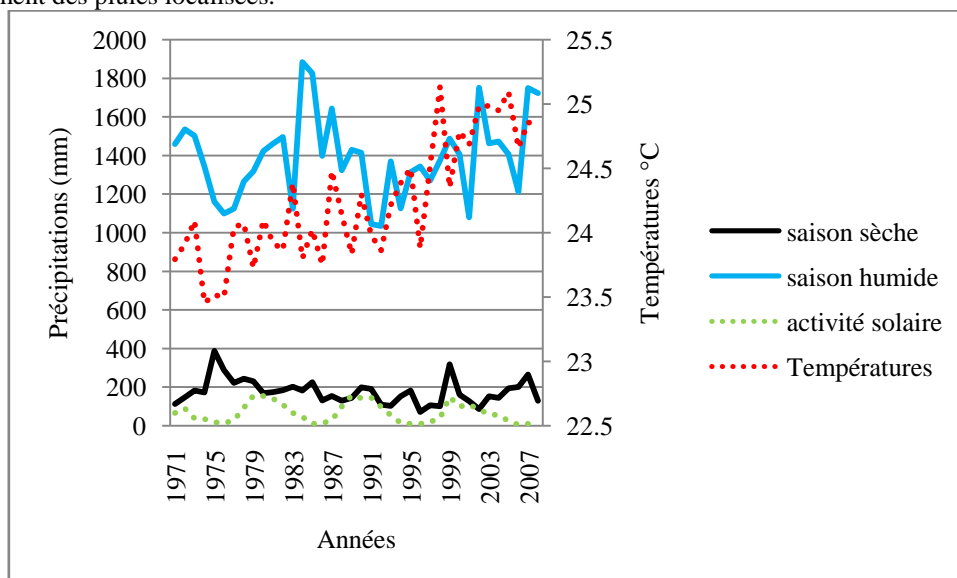


Figure 10. . Evolution saisonnière des précipitations, des températures et de l'activité solaire à la station à Yaoundé

4. Discussion

Le Cameroun reçoit en moyenne 842 Km³ de précipitations par an, soit un peu moins de 1.8 millions de m³ au Km² (PAM, 2011). Le volume total des écoulements superficiels moyens est évalué à 265 Km³ pour l'ensemble du territoire, soit environ 30 % des apports météoriques (Sighomnou, 2004). Cette eau est inégalement répartie sur le territoire national. La zone soudano-sahélienne demeure la zone à pluviométrie déficitaire. On note une diminution des ressources en eau qui menace les moyens d'existences de la population paysanne et leur sécurité alimentaire.

Les trois mois que dure la saison pluvieuse ne sont pas suffisants pour alimenter certaines cours d'eau et aussi pour constituer des réserves suffisantes pour la croissance des plantes (Wey et Ibrahima, 2007 ; Wey et al, 2006). Cependant, on note d'importantes variances sur la disponibilité de l'eau. Il est nécessaire d'engager des politiques de prélèvement des eaux souterraines pour palier au déficit des eaux de surface en saison sèche. Ces différences sont liées aux différences climatiques au sein d'une même zone agroécologique. Ce résultat confirme celui obtenu par Suchel en 1988 qui affirmait que le climat du Cameroun variait sur de courtes distances. La situation hydrique devient de plus en plus préoccupante.

La rareté de l'eau qui affecte plus de 40 pour cent de la population mondiale, une proportion qui devrait atteindre les deux tiers d'ici à 2050 (FAO, 2017). On note des situations climatiques extrêmes dans certaines zones rendant difficile la maîtrise de l'eau car les Sécheresses, les inondations sont les conséquences les plus

extrêmes du réchauffement climatique qui affectent certaines zones du Cameroun et qui sont attendues au XXI^e siècle selon les experts du « Intergovernmental Panel on Climate Change » IPCC (Bele Y. et al., 2010). Il y a donc lieu de s'interroger sur de nouvelles politiques de gestion de l'eau.

Le volume d'eau nécessaire à nos besoins dépendra des types de cultures, des types d'industries mises en place des usages domestiques et de nos comportements de gestion des ressources en eau (Blinda, 2009). Les différents barrages étudiés qui étaient censés stocker d'importantes quantités d'eau pour nos usages, ne parviennent plus à répondre à nos attentes à cause des effets dus aux fluctuations climatiques. Il apparaît donc impératif de mettre en place des politiques d'exploitation des eaux superficielles et souterraines pour faire face à une demande en eau de plus en plus croissante.

5. Conclusion

Ce travail consistait à évaluer les quantités d'eau issues des précipitations et les réserves des barrages de retenues disponibles face à la variabilité des éléments climatiques. L'eau constitue un des enjeux pour le développement des activités économiques dans les différentes zones agroécologiques du Cameroun. L'agriculture pluviale est la plus représentée dans ces zones. Les populations paysannes qui pratiquent une agriculture traditionnelle font recours aux précipitations. L'irrégularité des précipitations ainsi que la présence des saisons sèches parfois plus longues entraîne un dysfonctionnement dans la gestion et la conservation des ressources en eau.

Dans la partie septentrionale du Cameroun, l'arrivée tardive des précipitations perturbe le calendrier agricole et certaines agro-industries intensifient des prélèvements des eaux dans les cours d'eau. Plusieurs techniques d'exploitation d'eau sont utilisées mais les plus courantes sont : l'exploitation de l'eau de pluies et des réserves des barrages. Les précipitations fournissent un apport important des eaux utilisées dans ces zones. La disponibilité de l'eau dépend des conditions climatiques et des modes de gestion des quantités d'eau disponibles dans les zones agroécologiques du Cameroun. Avec le réchauffement de la planète, on observe l'apparition de certains phénomènes inhabituels : des sécheresses prolongées, inondations qui imposent de nouveaux comportements dans la gestion des ressources en eau car l'eau est moins abondante dans la zone soudano-sahélienne.

Les précipitations varient entre 1344,2 mm et 4659,46 mm avec un bilan hydrique climatique négatif. Ce bilan est positif dans les autres zones à savoir la zone de haute savane guinéenne avec un maximum de 1862,9 mm de précipitation et un minimum de 1179 mm ; les hauts plateaux de l'ouest, la Zone Humide de Forêt Monomodale et la Zone Humide de Forêt bimodale enregistrent aussi d'importants volumes de précipitations avec un bilan hydrique climatique positif. Les quantités d'eau en réserve dans les différents barrages présentent une certaine disparité. On observe de faible volume d'eau dans la réserve de Bamendjin dont la moyenne d'eau est de 338477,05 m³, le volume des retenues est moyen à Mbakaou avec une moyenne de 474390,18 m³ et enfin un volume de retenue élevé à la Mape avec une moyenne de 566190,70 m³.

6. References

- [1]. Anonyme, 2014. Atlas national de développement physique du Cameroun. INC., Yaoundé. 71 p.
- [2]. Bele Y., Mulotwa E., Bokoto de Semboli B., Sonwa et Tiani A-M., 2010. Effets des changements climatiques dans le bassin du Congo : la nécessité de soutenir les capacités d'adaptation locale. Department for international development 4 p.
- [3]. Blinda M., 2009. Stratégie méditerranéenne pour le développement durable. Rapport de synthèse. Centre d'Activités Régionales Sophia Antipolis. 58p.
- [4]. Dieng M. 2011. L'eau en Afrique, les paradoxes d'une ressource très convoitée. Programme ICT4D, ENDA Lead Africa. 3p. WWW. LeadinAfrica.org/sigp.
- [5]. FAO, 2017. De meilleures politiques et plus d'investissements sont nécessaires, notamment l'adaptation de l'agriculture au changement climatique. Rapport. Rome/Daegu. 4p.
- [6]. Groupe jeune Afrique, 1979. Les Atlas de la République unie du Cameroun, sédiments budgets 2 (Arthur Horowitz et des E. Walling). Edition J.A. 71p.
- [7]. GWP - CAF, 2010. Développement d'une stratégie de financement du secteur de l'eau en Afrique centrale : étude nationale sur le financement du secteur de l'eau. Rapport. Yaoundé. 137p.
- [8]. Hugues Dupriez, Philippe De Leener (1990) « Les chemins de l'eau, ruissellement, irrigation, drainage : manuel tropical » Collection Terres et Vie, CTA, L'Harmattan, Enda, 380 pages.

- [9]. Kelly, P.M., W.N. Adger, 2000, Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation, *climatic change journal*. 47 pp. 325–352.
- [10]. Laval, K., 2001 (février), *Le Cycle de l'eau, Cause ou Conséquence du Climat ?*, l'eau de tous les enjeux, CNRS info supplément, no390 URL :
- [11]. PAM, 2011. *Analyse Globale de la Sécurité Alimentaire et de la Vulnérabilité au Cameroun*. Rome, Italie, 59 p.
- [12]. Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez and F. Yamin. 2007. Executive summary. Chap.19: Assessing key vulnerabilities and risk from climate change. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds.); (ISBN 9780521880107).
- [13]. Sighomnou D., 2004. *Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspective d'évolution des ressources en eau*. 291p.
- [14]. Suchel J. B., 1988. *Les climats du Cameroun*, *The*, Univ. Saint-Etienne, 4 tomes.
- [15]. Wey J., Dongmo A. L., Abakar M. D., Ibrahima S., 2006. Simulation des effets du passage aux "systèmes de culture sur couverture végétale" sur les transferts de biomasse à l'échelle des terroirs agropastoraux de Kilwo (Extrême nord) et Laine massa (Nord) au – Cameroun.
- [16]. Wey J., Ibrahima S., 2007. *Culture de diversification : Étude de faisabilité du soja et du tournesol dans la zone cotonnière du Nord Cameroun*. CIRAD. 19p.