

## Caractérisation de la variabilité pluviométrique sur les bassins versants des barrages collinaires des Monts Mandara, extrême-nord Cameroun

Germaine AMINA WASSILE<sup>1\*</sup>, Ali MADI<sup>2</sup> et Elisabeth FITA DASSOU<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département d'Hydraulique et Maîtrise des Eaux, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Université de Maroua, BP 46 Maroua, Cameroun

<sup>2</sup> Département d'Agriculture, Elevage et Produits Dérivés, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Université de Maroua, BP 46 Maroua, Cameroun

<sup>3</sup> Département de Météorologie, Climatologie, Hydrologie et Pédologie, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Université de Maroua, BP 46 Maroua, Cameroun

---

\* Correspondance, courriel : [aminawass@yahoo.fr](mailto:aminawass@yahoo.fr)

### Résumé

Le fonctionnement hydrologique des barrages collinaires se heurte au déficit pluviométrique constaté depuis le début des années 1970. Cette situation a réduit considérablement les apports en eau aux retenues. La présente étude se propose de caractériser les fluctuations des précipitations sur les bassins versants de Rhumsiki, de Mazam, de Djingliya et d'Oumbéda afin d'apprécier son évolution sur le remplissage des retenues. Pour ce faire, une analyse du régime pluviométrique sur la période de 1950 à 2013 a été établie. Ces données ont été préalablement examinées avant leur homogénéisation. Cela a permis de mettre en évidence le caractère aléatoire et la détection des ruptures par l'application des tests statistiques de stationnarité à l'aide du logiciel KhronoStat. L'évolution temporelle des séries pluviométriques s'est effectuée par les indices de Nicholson et le Filtre Passe-bas de Hanning d'ordre 2. Celle-ci a été complétée par l'analyse fréquentielle de ces séries en l'ajustant par la Loi Normale à partir du Logiciel Hyfran. Pour l'ensemble de ces tests, il ressort que des ruptures ont été identifiées en 1977 à Rhumsiki, en 1958 à Mazam, en 1987 à Djingliya et en 1955 à Oumbéda. De part et d'autre de ces ruptures, les indices indiquent des excédents compris entre 9-20 %, à l'exception du bassin versant de Oumbéda qui signale un déficit de 17 %. Les courbes d'évolution interannuelles des précipitations oscillent en alternance des périodes humides et de sécheresse, sans toutefois marquer une très longue période déficitaire. Ces périodes humides et sèches ne coïncident pas pour l'ensemble des stations, mais un déficit est imposant en 1984 sur l'ensemble des chroniques. Les hauteurs moyennes annuelles sont comprises entre 900 - 1100 mm sur une étendue d'évènements pluvieux de 44 - 70 jours. De tout ce qui précède, il se dégage que les fluctuations des précipitations confirment une tendance à la hausse, or le caractère est globalement déficitaire avec un nombre de jours pluvieux très réduit. Ceci met en évidence une faiblesse de remplissage des retenues. Bien que ces résultats montrent que les précipitations sont globalement stationnaires, des modifications brutales à la baisse peuvent survenir, ce qui révèle l'importance de prévoir l'évolution du climat en vue d'assurer la pérennité des barrages.

**Mots-clés :** *barrages collinaires, précipitations, analyses statistiques, Monts Mandara, Cameroun.*

## Abstract

### Characterization of the rainfall variability in the watersheds of the collinaires of the Monts Mandara, extreme northern Cameroon

The hydrological functioning of the hill dams faces the rainfall deficit observed since the beginning of the 1970s. This has considerably reduced the inflow of water to the reservoirs. The present study proposes to characterize the fluctuations of the precipitations on the watersheds of Rhumsiki, Mazam, Djingliya and Oumbéda in order to appreciate its evolution on the filling of the reservoirs. To achieve this goal, an analysis of the rainfall regime over the time 1950 to 2013 was established. The data used in this study were previously examined before their homogenization. This made it possible to highlight the randomness and the detection of breaks by the application of stationarity statistical tests using the KhroneStat software. The temporal evolution of the rainfall series was carried out by the Nicholson indices and the 2nd order Hanning Low Pass Filter. This was completed by the frequency analysis of rainfalls series by adjusting them by the law. The result shows that ruptures were identified in 1977 in Rhumsiki, in 1958 in Mazam, in 1987 in Djingliya and in 1955 in Oumbéda. On both sides of these breaks, the indices indicate an increase of rainfall range between 9 to 20 %, while Oumbéda watershed shows a decrease of 17 %. The inter-annual precipitation curves oscillate alternately between wet and dry periods, without, however, marking a very long deficit period. These wet and dry periods do not coincide for all the stations, but a deficit is observed in 1984 on all the chronicles. Mean annual heights range between 900 to 1100 mm while rainy day range 44 - 70 day. From all the foregoing, it emerges that the fluctuations of precipitation confirm an upward trend, but the character is overall deficient with a very low number of rainy days. This highlights a weak filling of the reservoirs. Although these results show a global stationary of precipitation, abrupt downward changes may occur, revealing the importance of predicting climate change to ensure the sustainability of dams.

**Keywords :** *hill dams, precipitation, statistical analysis, Mandara Mountains, Cameroon.*

## 1. Introduction

Le Cameroun dispose d'un important potentiel de barrages hydrauliques dont ceux des Monts Mandara. Agressés par une longue saison sèche qui dure sept mois, les Monts Mandara souffrent d'un important déficit d'eau. Ceci est dû au fait que leur relief très accidenté et leur sol dénudé, peu perméable, créent un écoulement très rapide des eaux de surface, qui ne facilite pas leur infiltration, d'où la recharge difficile de la nappe. Alors, pour résoudre ce problème, en essayant d'améliorer l'accès à l'eau aux citoyens de cette zone, l'Etat camerounais a, à partir des années 1970, initié un projet de construction de 15 barrages qualifiés de collinaires. L'aménagement de ces barrages devait jouer un rôle primordial dans la desserte en eau des montagnards. Malheureusement, l'eau des retenues n'est pas exploitée parce qu'aucun système de desserte n'est mis en place et son volume diminue considérablement en saison sèche. Quatre d'entre les barrages collinaires sont choisis pour aborder l'étude. Les fortes conditions climatiques qui influencent la disponibilité en eau dans ces barrages sont l'intensité de l'ensoleillement et la variation spatio-temporelle de la pluviométrie. Les précipitations jouent un rôle capital dans le fonctionnement hydrologique des retenues, puisqu'elles constituent l'essentiel de leurs apports. De ce fait, la plupart des problèmes hydro-sédimentaires que connaissent les barrages collinaires (baisse du niveau d'eau, sédimentation, dégradation du couvert végétal, etc.) sont d'ordre climatique. La Région des Monts Mandara, est cependant marquée par un climat particulier. De par son relief, le régime climatique est de type tropical sec, caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche qui dure sept mois et d'une courte saison humide de cinq mois. La saison sèche qui s'étend de novembre à avril, se démarque par une rude sécheresse aux températures très élevées accusant des

fortes chaleurs. En saison humide pourtant, les températures s'abaissent ; les précipitations, les brumes et les rosées deviennent plus abondantes [1]. Toutefois, les pluies peuvent parfois être irrégulières, mais les cumuls pluviométriques moyens élevés varient entre 500 et 1300 mm (atteignent rarement 1500 mm), qualifiant la zone des Monts Mandara de plus arrosée de la Région de l'Extrême-Nord. Malgré cette importante pluviométrie, la zone subit sans cesse l'agressivité climatique qui impacte à travers l'évaporation sur les plans d'eau, d'où un abaissement considérable du niveau d'eau dans les retenues qui sont d'ores et déjà envahies par les sédiments. D'autre part, la variation extrême des niveaux d'eau peut être due à l'irrégularité des précipitations ou à leur mauvaise distribution dans l'espace. La répartition de la pluviométrie dépend de l'altitude, de la latitude et de l'exposition aux masses d'air humide. C'est pourquoi, l'altitude et l'effet de montagne jouent un rôle important dans le volume des pluies dont une part est due aux ascendances orogéniques : il pleut davantage en altitude qu'en plaine [2]. Les auteurs [3], en comparant les relevés de 1931 à 1966, ont obtenu une pluviométrie de 804 mm et un coefficient de variance de 0,121, à Maroua situé à une altitude de 423 m. Contrairement à Guétalé, dont l'altitude proche de celle de Maroua (490 m), ils ont trouvé une pluviométrie de 820 mm et un coefficient de variance de 0,143. Cependant à Mokolo, situé à une altitude plus élevée (795 m), ils ont estimé une pluviométrie de 961 mm et un coefficient de variance de 0,180. En 1974, les relevés de Mokolo donnent en revanche, une pluviométrie moyenne annuelle de 986 à 1036 mm [4].

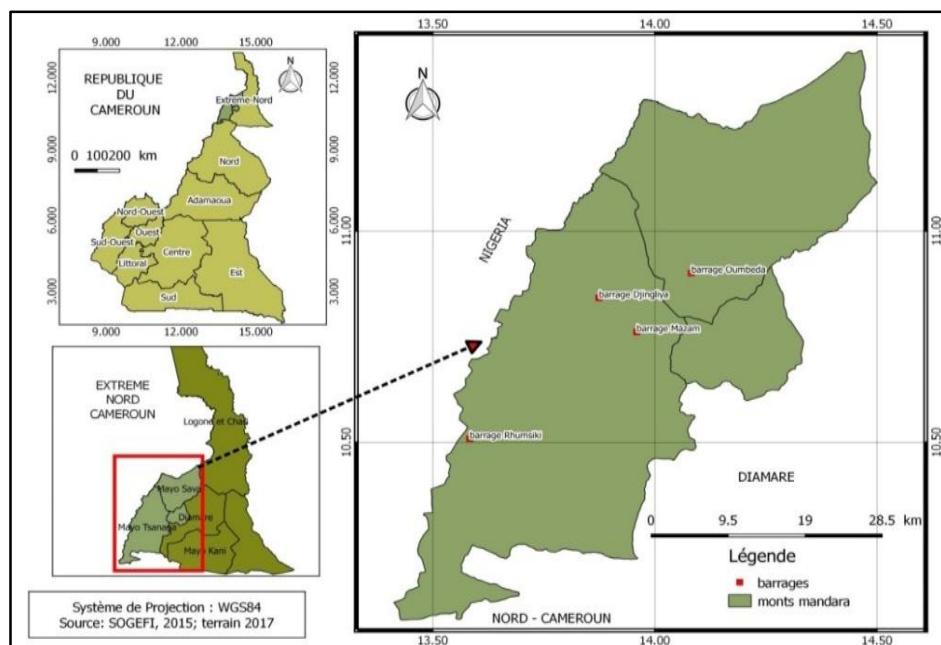
Quant à [5], il obtient une pluviométrie moyenne annuelle de 805 mm et un coefficient de variance de 0,176, pour la station de Maroua-Agro (1931 - 1970). La répartition saisonnière des précipitations s'étale de mai à septembre, avec un flux important en août qui engendre un écoulement plus généralisé et le remplissage des retenues. Les pluies sont concentrées sur les mois de juillet à septembre, et contribuent à plus de 20 % à la pluviométrie annuelle. Les mois d'avril et d'octobre par contre, marquent les mois les moins pluvieux, les précipitations sont par ailleurs inégalement réparties. Durant les mêmes mois, les précipitations peuvent être élevées dans une zone et moindre dans une autre plus proche. Les averses qui prennent leur origine sur les sommets des montagnes, circulent entre les blocs rocheux avant de rejoindre les bassins de stockage. Sur leur parcours, une grande partie des eaux s'emprisonne dans les zones de dépressions des blocs de rochers. C'est pourquoi un faible débit est restitué aux mayos avant de s'acheminer dans les retenues. Ainsi, se remplissent les barrages non en fonction de la hauteur des précipitations, mais suivant leur fréquence et leur intensité. L'apport des écoulements doit également être pris en compte. Dans un contexte de péjoration climatique, cette note a pour objectif d'analyser la variabilité interannuelle des précipitations dans les bassins versants de Rhumsiki, de Mazam, de Djingliya et d'Oumbéda afin de mesurer son influence sur la variation des retenues. Elle a été possible par l'analyse du régime pluviométrique et fréquentielle des données.

## 2. Matériel et méthodes

### 2-1. Présentation de la zone d'étude

Le barrage de Rhumsiki, situé à 15 km de Mogodé, à 55 km de Mokolo et à 3 km de la frontière avec le Nigeria, est logé suivant la latitude  $10^{\circ}50'86''$ Nord, la longitude  $013^{\circ}58'35''$ Est sur une altitude de 1029 m. La population du plateau, occupée en majorité par les Kapsiki (80 %), est estimée à 5388 habitants [6], pour une densité de 60 habitants au km<sup>2</sup> [2], valeur parmi les plus faible des Monts Mandara. Le barrage de Mazam est situé à 5,84 km de Soulédé-Roua, à 105 km de Maroua et à environ 38 Km de Mokolo. Il est positionné entre la latitude  $10^{\circ}76'13''$ Nord, la longitude  $013^{\circ}95'11''$ Est et l'altitude 702 m. Pour une ethnique dominante qui est le Mafa [7], la population est estimée à 2044 habitants [6] pour une densité de 100 habitants au km<sup>2</sup> [2]. Le barrage de Djingliya, situé à 3,98 km de Koza et à 15 km de Mokolo, est implanté suivant la latitude  $10^{\circ}84'18''$ Nord, la longitude  $013^{\circ}87'39''$ Est et l'altitude 609 m.

Le massif de Djingliya compte 2182 personnes [6] pour une densité de 90 à 130 habitants au km<sup>2</sup> [8]. Le barrage d'Oumbéda, situé à 3,3 km de Tala Zoulgo et à environ 25 km de Mora, est positionné suivant la latitude 10°90'05" Nord, la longitude 014°08'21" Est et l'altitude 759 m. La population Ouldémé vivant autour du barrage est estimée à 973 personnes [6] pour une densité de 191 hab./km<sup>2</sup> [9]. Les Monts Mandara sont constitués d'un ensemble de massifs montagneux très accidentés, des plateaux à pentes douces, des plaines et des inselbergs. [10] décrit les Monts Mandara comme un ensemble granitique constitué par un plateau interne dont l'altitude est voisine de 800 m, troué de pointements volcaniques, cerné de toutes parts par des massifs ou rebords montagneux qui atteignent parfois 1500 m. En effet, le socle granitique se compose des granites dans les plateaux, de granites d'anatexie et d'anatexies dans les massifs et des gneiss. En outre sur ses reliefs à pente abrupte, se développe une végétation contrastée, de la savane, avec ses steppes à épineux, à la montagne où l'on peut retrouver les mêmes types d'arbres mais plus rabougris [7]. Cette végétation est extrêmement menacée par la saison sèche qui la rend brunâtre et la dénude sur les sols rocheux. En saison pluvieuse en revanche, la végétation reverdit donnant au paysage un aspect verdoyant. Les sols minces sont argileux (Rhumsiki), sablo-argileux (Djingliya et Oumbéda) et sablo-latéritique (Mazam), mais tous caillouteux et rocaillieux, constitués des arènes granitiques faiblement évoluées et à tendance hydromorphe. Quant à l'hydrographie, elle est dominée par les mayos, cours d'eaux saisonniers et temporaires caractérisés par des écoulements non permanents [11], en dépit de l'abondance des précipitations. Ces mayos tarissent dès l'arrêt des pluies, en raison de la rapide circulation des eaux observée après une averse, ce qui ne permet pas la recharge des nappes souterraines. Cette rude période de sécheresse est marquée par les vents chauds de l'harmattan soufflant dans la direction Nord-Est et les hautes températures qui engendrent l'évaporation sur les plans d'eau, d'où la baisse du niveau d'eau des retenues. Cette température qui s'élève en saison sèche (février à juin), se manifeste par une montée de chaleur (35°C) accablante. Elle s'abaisse toutefois en période humide (18°C), avec des journées fraîches et moins ensoleillées qui, peut parfois atteindre 8°C pendant les nuits glaciales agréables par la sensation de la fraîcheur et les matinées brumeuses de décembre et janvier. Le maxima mensuel s'observe en mars-avril (26,40 °C) et le minima en août (20,90 °C). En effet, l'humidité relative moyenne annuelle a été estimée à environ 55 %, puisque les valeurs extrêmes seraient atteintes en mars (19,80 %) et en août (98,40 %).



**Figure 1 : Localisation géographique des quatre barrages collinaires**

## 2-2. Données et méthode

### 2-2-1. Acquisition des données pluviométriques

Les données climatiques concernant les bassins étudiés ont été difficiles à collecter à cause du manque de documentation. Les climats et les paléoclimats de l'Afrique centrale sont encore insuffisamment connus, dus au manque de données de stations locales, à la faible densité des réseaux de mesures passées et actuelles, et à la rareté des travaux scientifiques portant sur le climat en Afrique Centrale [12] et très peu de travaux ont été mis en place ces vingt-cinq dernières années sur le mayo-Tsanaga [13]. Il faut savoir que ces sites n'ont pas de poste pluviométrique, à l'exception de celui de Djingliya qui n'est d'ailleurs plus fonctionnel. La méthode a consisté à récolter des séries pluviométriques sur les postes voisins, ainsi que celles provenant d'autres sources qui ont parfois des petites différences de valeurs. Bien que la majorité de ces postes ne soient plus opérationnels, ceux retenus (Mokolo, Mogodé, Guétalé et Mayo-Ouldémé) possèdent des séries chronologiques relativement longues avec moins de lacunes. Alors, les sources de données sont de l'ORSTOM, complétées avec celles récoltées au SNAR Mokolo, au MINADER lors des campagnes agricoles, prises sur le site du SIEREM, AGRI-STAT et SPPESA-EN. Les différentes stations utilisées, n'ont pas la même période d'observation. Pour une même station, les relevés de certaines années sont manquants ; d'autres séries sont entachées de lacunes, d'où des séries de données de tailles différentes. Néanmoins, à partir de ces séries disponibles, nous avons choisi celles qui sont presque complètes, puis regroupé dans la plus longue, pour en constituer une seule.

**Tableau 1 : Position géographique des postes pluviométriques**

Barrages	Station/poste	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Période	Taille de la série (ans)
Rhumsiki	Mogodé	10° 60'83"	013° 56'81"	1000	1974 - 2013	40
Mazam	Mokolo	10° 44'00"	013° 49'00"	795	1934 - 2010	77
Djingliya	Guétalé	10° 88'89"	013° 89'72"	490	1948 - 2010	63
Oumbéda	Mayo-Ouldémé I	10° 94'31"	014° 13'36"	485	1954 - 2010	56

### 2-2-2. Critique et homogénéisation des données pluviométriques

Avant de soumettre les chroniques au traitement statistique, elles ont été homogénéisées. La méthode est celle de la moyenne mobile pour mettre en évidence l'existence des tendances, puis du double cumul dans le but de détecter et de corriger les irrégularités dans les séries. Par ailleurs, pour des séries sur une période d'observation courte, provenant des stations différentes, nous avons procédé à une reconstitution. La méthode a alors consisté à procéder à l'extension de courtes périodes par régression avec d'autres relevés pluviométriques des stations voisines, comme proposée par Chow (1964). D'autre part, les données mensuelles manquantes ont été également comblées par régression linéaire simple établie entre deux stations voisines [14] selon la **Formule de l'Équation (1)**:

$$y_i = \bar{y} + r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x_i - \bar{x}) \quad (1)$$

$\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont les moyennes interannuelles sur une longue période,  $\sigma_x$  et  $\sigma_y$  les écarts-types et  $r$  le coefficient de corrélation.

### 2-2-3. Détection des ruptures au sein des séries chronologiques

Les séries chronologiques homogénéisées, avec les années lacunaires reconstituées, ont été analysées à l'aide du logiciel KhronoStat [15], en vue de mettre en évidence leur caractère aléatoire et détecter

éventuellement les ruptures liées à une ou non-stationnarité. À cet effet, l'analyse statistique s'est effectuée par les tests de tendance les plus utilisés: corrélation sur le rang, autocorrélogramme et la détection de ruptures : statistique U de Buishand, l'ellipse de contrôle, le test de Mann-Whitney, la procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques et la procédure Bayésienne de Lee et Heghinian. Une rupture peut être définie par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné [16]. Pour l'ensemble de ces tests, l'hypothèse nulle  $H_0$  correspond à l'absence de rupture au seuil de 1 %. Ces tests sont particulièrement sensibles à un changement de moyenne et, si l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série est rejetée, ils proposent une estimation de la date de rupture [17, 18]. Pour les stations ayant subi une rupture, les taux de variation de part et d'autre de cette rupture ont été déterminés selon la **Formule** suivante [19, 20] :

$$Ecart = \frac{\bar{X}_j - \bar{X}_i}{\bar{X}_i} - 1 \quad (2)$$

$\bar{X}_j$  est la moyenne des précipitations après rupture,  $\bar{X}_i$  la moyenne des précipitations avant rupture.

#### 2-2-4. Analyse de l'évolution interannuelle des précipitations

L'évolution temporelle des précipitations a été évaluée par les méthodes de Nicholson et du filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2. Ces indices permettent d'identifier les années humides ou périodes d'excédents, des années sèches ou périodes de déficits au sein d'une série chronologique.

##### 2-2-4-1. Indice de Nicholson

L'indice de Nicholson définie comme une variable centrée réduite est souvent utilisé pour mieux voir la tendance et le sens de l'évolution de la pluviométrie. Cet indice pluviométrique obtenu, sur la base des précipitations annuelles, a été calculé selon la formule de **l'Équation (3)**:

$$I_p = \frac{(X_i - \bar{X})}{S} \quad (3)$$

$X_i$  est la pluviométrie de l'année  $i$ ,  $\bar{X}$  la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période d'observation et  $S$  l'écart-type de la pluviométrie sur la période d'observation.

##### 2-2-4-2. Le Filtre Passe-bas de Hanning d'ordre 2

Cette méthode permet d'éliminer les variations saisonnières dans une série chronologique, en pondérant les cumuls pluviométriques annuels. Le filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 se présente sous forme d'**Équations (4)** comme suit [14] :

$$X_{(t)} = 0,06X_{(t-2)} + 0,25X_{(t-1)} + 0,38X_{(t)} + 0,25X_{(t+1)} + 0,06X_{(t+2)} \quad \text{pour } 3 \leq t \leq (n-2) \quad (4)$$

$X_{(t)}$  est le cumul pluviométrique annuel pondéré du terme  $t$ ,  $X_{(t-2)}$  et  $X_{(t-1)}$  sont les cumuls pluviométriques annuels observés de deux termes qui précèdent immédiatement le terme  $t$ ,  $X_{(t+2)}$  et  $X_{(t+1)}$  sont celles qui suivent immédiatement le terme  $t$ .

Les cumuls pluviométriques pondérés des deux premiers [ $x_{(1)}$ ,  $x_{(2)}$ ] et des deux derniers [ $x_{(n-1)}$ ,  $x_{(n)}$ ] termes de la série, sont calculés au moyen des expressions suivantes ( $n$  étant la taille de la série) :

$$X_{(1)} = 0,54X_{(1)} + 0,46X_{(2)} \quad (5)$$

$$X_{(2)} = 0,25X_{(1)} + 0,50X_{(2)} + 0,25X_{(3)} \quad (6)$$

$$X_{(n-1)} = 0,25X_{(n-2)} + 0,50X_{(n-1)} + 0,25X_{(n)} \quad (7)$$

$$X_{(n)} = 0,54X_{(n)} + 0,46X_{(n-1)} \quad (8)$$

Pour mieux visualiser les périodes de déficits et d'excédents pluviométriques, les moyennes mobiles sont centrées et réduites au moyen de la **Formule (9)**:

$$Y'_t = \frac{(X_t - m)}{S} \quad (9)$$

*Xt* étant la moyenne de la série des moyennes pondérées et *S* l'écart-type de la même série.

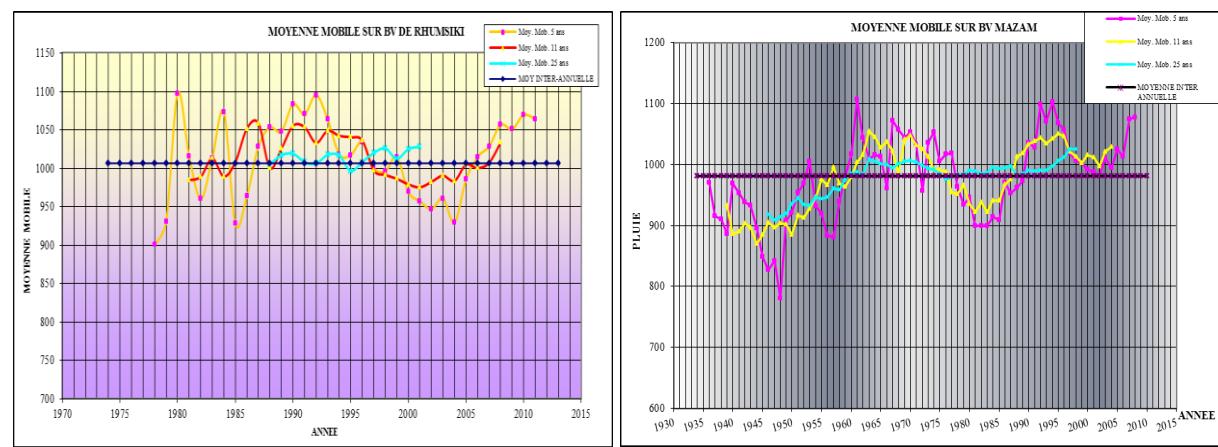
### 2-2-5. Analyse fréquentielle des données

Les hauteurs pluviométriques moyennes annuelles ont été soumises à la loi Normale, puis ajustées au moyen du logiciel Hyfran.

## 3. Résultats

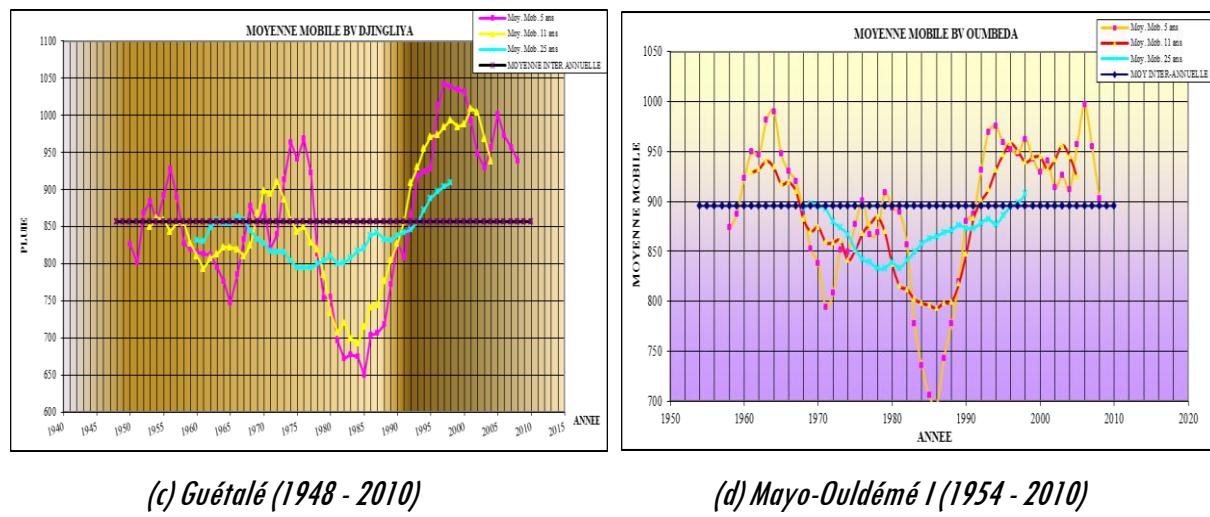
### 3-1. Moyenne mobile de la série pluviométrique annuelle

Le contrôle de la série pluviométrique concernant les bassins versants de Rhumsiki (Mogodé : 1974-2013), de Mazam (Mokolo : 1934-2010) et d'Oumbéda (Mayo-Ouldémé I : 1954-2010) par la méthode des moyennes mobiles, confirme une bonne homogénéité. Ces couples de données pluviométriques s'ajustent en une seule droite, donc pas de cassure (lacunes). En revanche, le contrôle de la série pluviométrique du bassin versant de Djingliya (Guétalé : 1948-2010), illustrée sur la **Figure 2c**, déduit une série entachée d'erreurs qu'il a fallu corriger au niveau de la rupture détectée de 1986 à 1994. L'application de la méthode des doubles cumuls aux couples de stations, a généré un coefficient de correction de 1,207, ce qui a permis d'homogénéiser la série.



(a) Mogodé (1974-2013)

(b) Mokolo (1934 - 2010)



(c) Guétalé (1948 - 2010)

(d) Mayo-Ouldémé I (1954 - 2010)

**Figure 2 : Moyennes mobiles des séries pluviométriques sur les bassins versants**

Les séries des bassins versants de Rhumsiki et d'Oumbéda montrent une tendance des cumuls pluviométriques déficitaires, puisque 44,19 % (Mogodé) et 48,33 % (Mayo-Ouldémé I) des valeurs sont au-dessus de la moyenne. Ce qui atteste que les cumuls de pluies déficitaires sont supérieurs à ceux des pluies excédentaires. Cette distribution présente en revanche, 50,0 % des hauteurs pluviométriques au-dessus de la moyenne annuelle pour les bassins versants de Djingliya et de Mazam. Ce qui nous permet de constater qu'il y a équilibre entre les deux périodes, du fait que, les années les plus sèches sont valables que les années les plus humides.

### 3-2. Détection des ruptures au sein des séries chronologiques

#### 3-2-1. Bassin versant de Rhumsiki

Le test de corrélation sur le rang de la chronique des précipitations confirme une tendance d'excédents et témoigne d'un caractère non aléatoire au seuil de confiance de 90 %. La méthode Bayésienne et l'Ellipse du bois détectent une rupture en 1977 avec une densité de probabilité de 0,1035 et un seuil de confiance de 95 % (**Figure 3a**). De la période avant rupture à la période après rupture, l'augmentation des précipitations est de 9,81 %.

#### 3-2-2. Bassin versant de Mazam

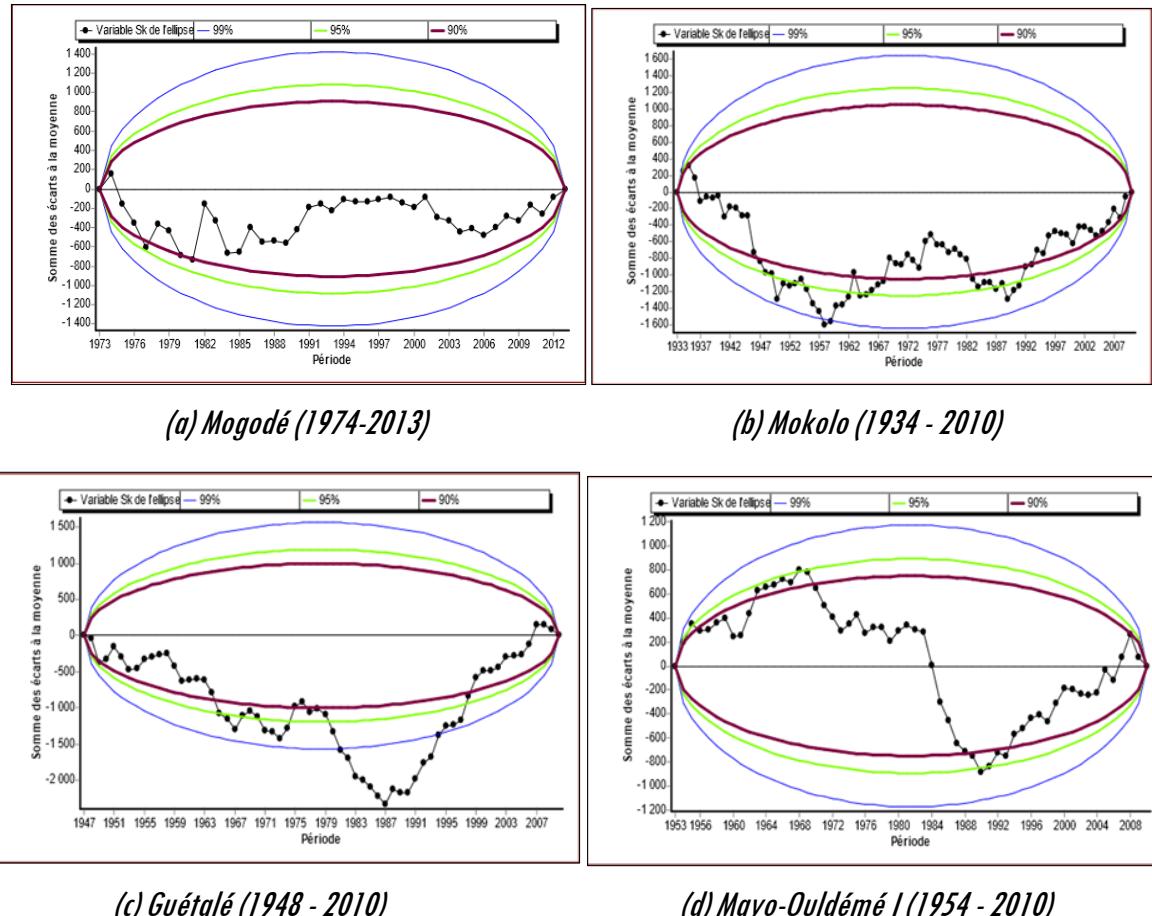
Le test de corrélation sur le rang de Kendall montre une augmentation de la pluviométrie et illustre un caractère non aléatoire au seuil de confiance de 90 %. Des ruptures sont identifiées en 1958 par la méthode Bayésienne et la segmentation de Hubert (**Figure 3b**). Le test montre que les précipitations sont stationnaires. L'augmentation des précipitations de 10,33 %, se situe entre les deux périodes de rupture.

#### 3-2-3. Bassin versant de Djingliya

L'hypothèse nulle d'absence de rupture sur le test de Pettitt a été rejetée aux seuils de confiance de 99 %, de 95 % et de 90 %. L'évolution interannuelle des précipitations indique une tendance à la hausse avec un pourcentage très élevé de 19 % au seuil de confiance de 95 %. C'est ainsi que des ruptures avec une densité de probabilité de 0,3524 sont soulignées en 1987 par la méthode Bayésienne, la segmentation de Hubert et le test de Pettitt (**Figure 3c**).

### 3-2-4. Bassin versant d'Oumbéda

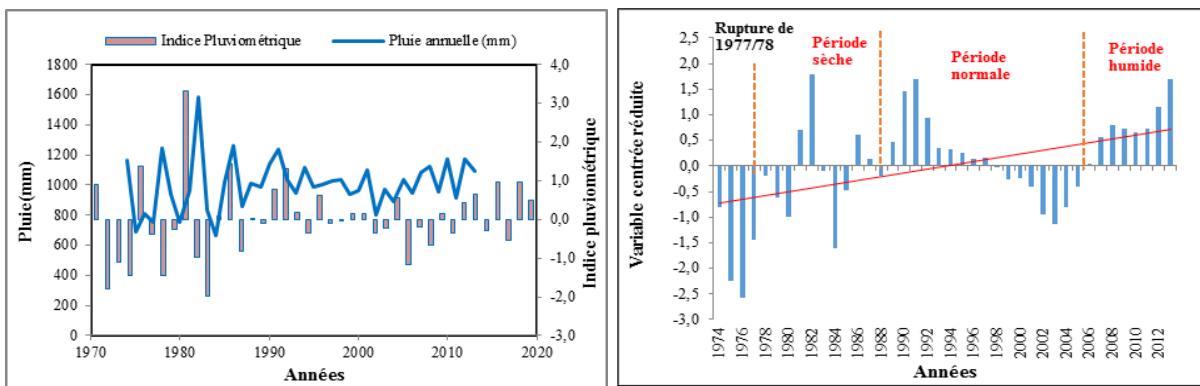
L'évolution interannuelle des précipitations met en évidence une tendance de déficit avec un taux de 17 % au seuil de confiance de 95 %. La méthode Bayésienne mentionne une rupture en 1955 avec une densité de probabilité de 0,1178 et au seuil de confiance de 95 % (*Figure 3d*).



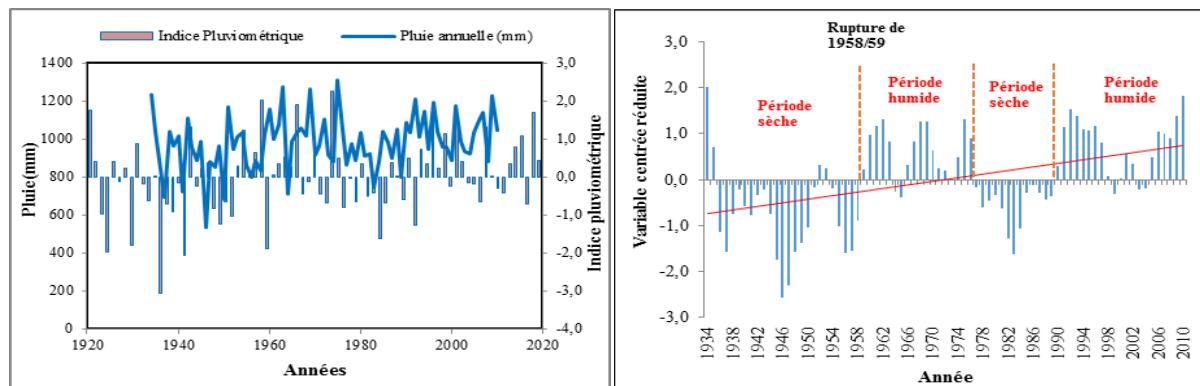
**Figure 3 : Mise en évidence de la présence des ruptures par le test d'Ellipse du Bois**

### 3-3. Indices pluviométriques et filtre passe-bas

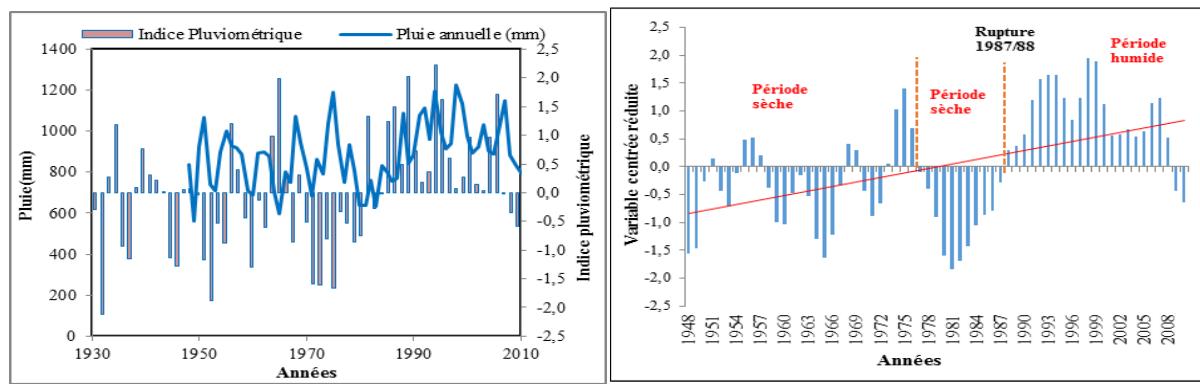
Les stations représentatives des bassins versants ont manifesté des fluctuations interannuelles avec une succession des périodes humides et des périodes sèches. Ce qui exprime que les périodes de déficits ou d'excédents se succèdent plusieurs années avant de changer de régime. Cela témoigne l'extrémité des périodes. Cette variabilité interannuelle des précipitations a marqué un caractère excédentaire à Rhumsiki, à Mazam et à Djingliya, cependant déficitaire à Oumbéda. La *Figure 4* illustre le caractère de ces indices. Les cycles de longue période de pluies déficitaires ont été enregistrés de 1974 - 1988 et de 1998 - 2005 avec un léger excédent de 1981 - 1982 à Rhumsiki ; de 1936 - 1958 et de 1977 - 1989 avec quelques excédents de 1952 - 1953, qui sont remarquables à Mazam ; de 1948 - 1987 avec un léger excédent de 1955 - 1957, de 1968 - 1969 et de 1973 - 1975 à Djingliya ; de 1969 - 1990 avec un léger excédent de 1980 - 1981 à Oumbéda. La séquence de 1983 - 1984 atteste la période la plus déficitaire dans toutes les stations. Les périodes à pluviométrie excédentaire ont été observées sur les séquences des années de 1989 - 1997 et de 2006 - 2013 à Rhumsiki ; de 1959 - 1976 avec une année sèche de 1964 - 1965, de 1990 - 2010 avec deux intervalles d'années sèches de 1999 et de 2003 - 2004 à Mazam ; de 1988 - 2008, qui a duré au moins 18 ans à Djingliya ; de 1954 - 1968 et de 1991 - 2008 avec des légers déficits de 1959 - 1960 et 2002 à Oumbéda.



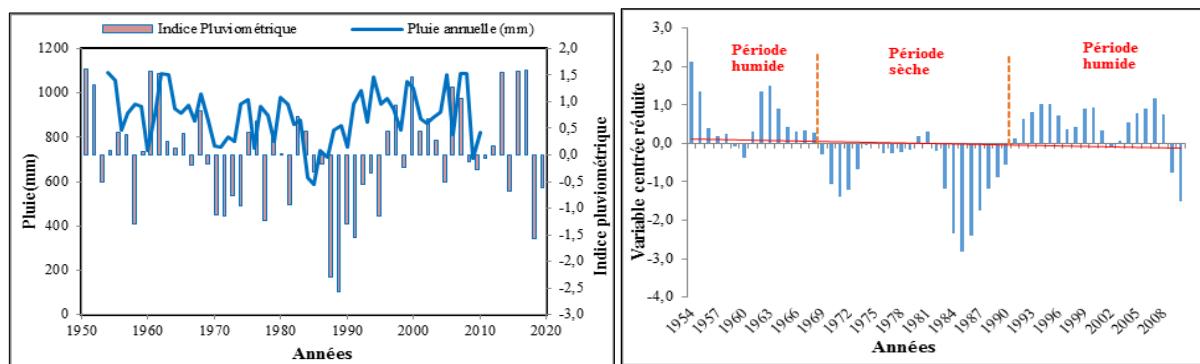
(a) Bassins versant de Rhumsiki (Mogodé : 1974 - 2013)



(b) Bassins versant de Mazam (Mokolo : 1934 - 2010)



(c) Bassin versant Djingliya (Guétalé : 1948 - 2010)



(d) Bassin versant Oumbéda (Mayo-Ouldémé I : 1954 - 2010)

Figure 4 : Indice pluviométrique et filtre passe-bas sur les séries pluviométriques

### 3-4. Variabilité interannuelle des précipitations

La pluviométrie moyenne annuelle observée au poste de Mogodé (1974 - 2013) donne une valeur de 1006,62 mm sur 68 jours pluvieux ; à Mokolo (1934 - 2010), elle vaut 981,6 mm sur 67 jours pluvieux ; à Guétalé (1948 - 2010), elle est estimée à 885 mm sur 64 jours pluvieux tandis qu'à Mayo-Ouldémé I (1954 - 2010), elle donne 895,6 mm sur 64 jours pluvieux. C'est alors que les années 1975 (Mokolo) et 1982 (Mogodé) marquent des périodes très excédentaires, avec une hauteur pluviométrique respectivement de 1311 mm et de 1587 mm, hauteur maximale jamais atteinte jusqu'en 2017 dans la Région de l'Extrême-Nord. Cependant, les années 1946 (534 mm), 1949 (560 mm) et 1984 (586 mm, 619 mm) ont été les plus déficitaires et les plus rudes sur l'ensemble des bassins.

**Tableau 2 : Caractéristiques pluviométriques des bassins versants**

Précipitations	Moyenne (mm)	Écart-type (mm)	Variation (%)	Pluie mini (mm)	Pluie maxi (mm)	Coefficient de variation
BV Rhumsiki (Mogodé : 1974-2013)	1006,62	174,11	17,3%	663,0	1587,0	0,65
BV Mazam (Mokolo : 1934 - 2010)	981,59	145,68	14,8%	534,0	1311,0	0,22
BV Djingliya (Guétalé : 1948 - 2010)	885,01	153,34	17,3%	560,0	1227,0	0,15
BV Oumbéda (Mayo-Ouldémé I : 1954 - 2010)	895,60	120,77	13,5%	586,0	1091,0	0,29

Les courbes de fluctuations des précipitations oscillent entre les périodes d'excédents et des déficits. Elles progressent à la légère hausse avec un écart interannuel entre les pluviosités variant de 174,11 mm en moyenne à Rhumsiki, de 145,68 mm en moyenne à Mazam, de 153,34 mm en moyenne à Djingliya tandis qu'à Oumbéda, elle s'abaisse avec un écart interannuel entre les pluviosités variant de 120,77 mm en moyenne.

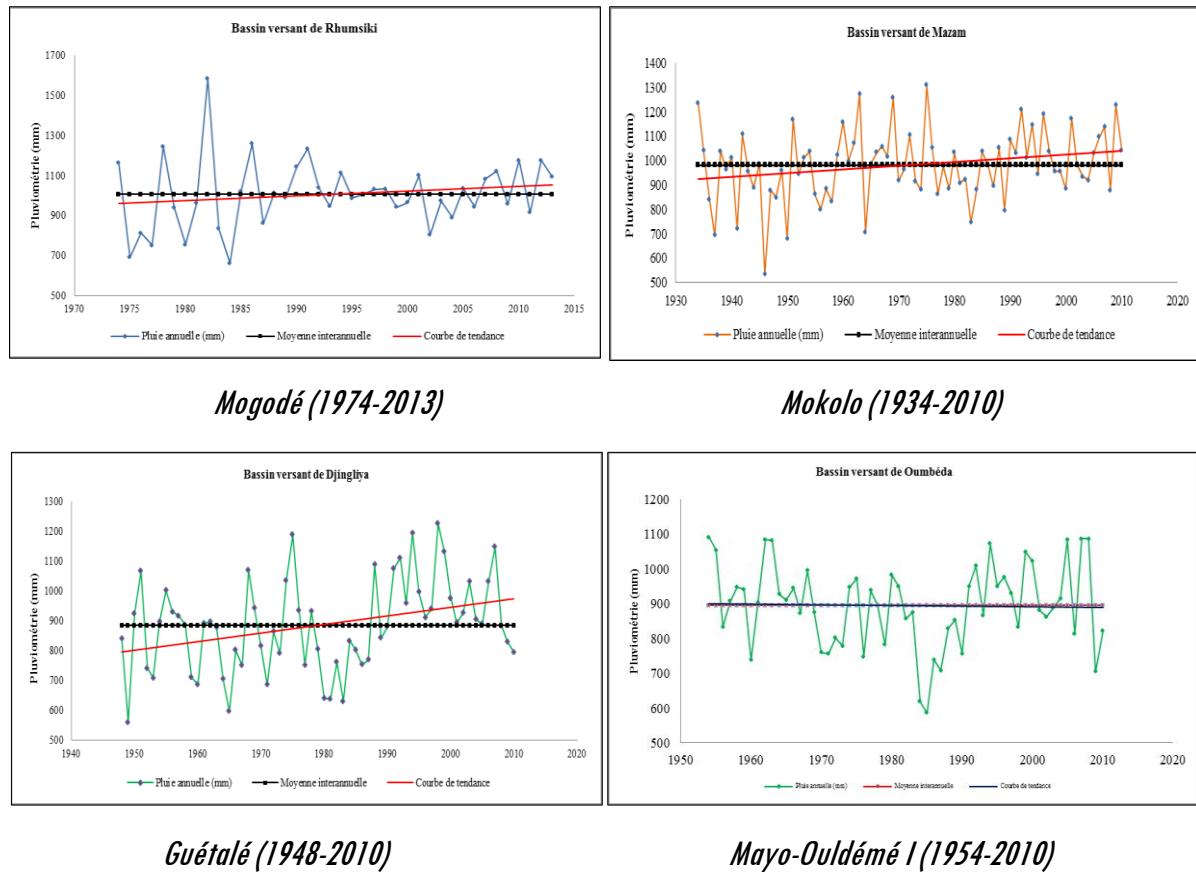
**Tableau 3 : Évolution de la pluviométrie interannuelle par décennie**

Décennie	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1990-1999	2000-2010
Mogodé	942,1	865,8	1033,4	1029,9	1000,3
Mokolo	1033,4	999,4	931,3	1038,4	1043,7
Guétalé	825,7	863,5	772,7	1053,1	933,5
Ouldémé	935,6	860,3	777,5	966,1	914,2

**Tableau 4 : Caractéristiques des périodes humides et sèches**

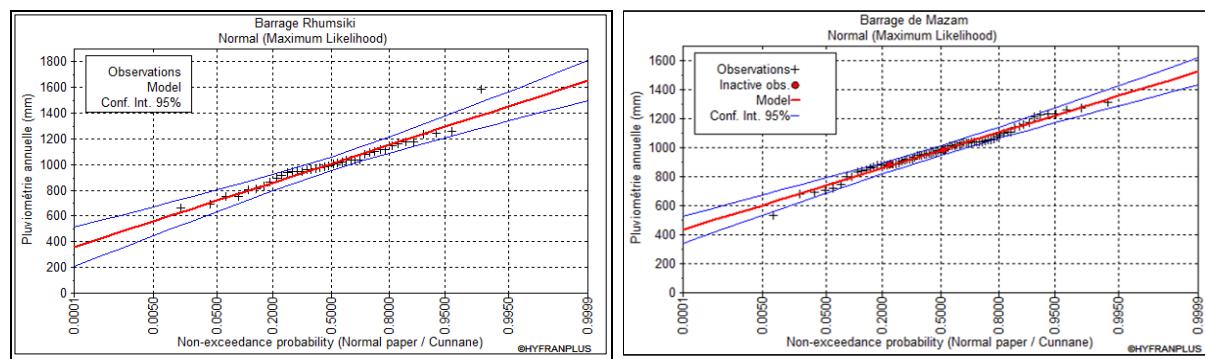
Poste pluviométrique	Mogodé	Mokolo		Guétalé	Ouldémé	
Période humide	1990-2000	1960-1970	1991-2000	1991-2000	1960-1969	1991-2000
Moyenne (mm)	1040,33	1044,91	1038,35	1053,13	933,40	966,01
Ecart-type	90,48	158,17	111,57	111,16	103,03	76,49
Période sèche	1974-1989	1971-1990		1960-1990	1970-1991	
Moyenne (mm)	971,75	965,35		819,58	822,19	
Ecart-type	245,53	125,38		146,05	110,98	

De même, ces courbes d'évolution présentent des déficits pluviométriques entre les décennies 1970 et 1990. Une reprise de la période humide s'est manifestée après cette date jusqu'en 2000. Au-delà de cette date, on note une baisse sensible des précipitations. Alors, ces courbes se coupent sur les années montrant la sortie des périodes déficitaires vers les périodes humides.



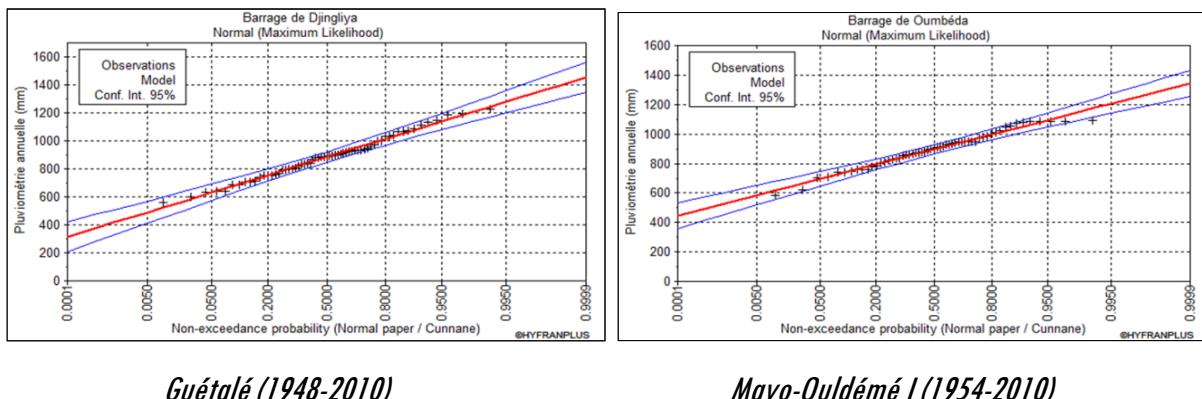
**Figure 5 : Évolution des précipitations moyennes annuelles sur les bassins versants**

En ajustant les pluies moyennes annuelles à la Loi Normale, nous obtenons sur l'intervalle de confiance à 95 %, une pluie moyenne décennale de  $1006,6 \text{ mm} \pm 54,0$  (I.C 95 %) à Rhumsiki, de  $981,6 \text{ mm} \pm 32,5$  (I.C 95 %) à Mazam, de  $885,0 \text{ mm} \pm 37,9$  (I.C 95 %) à Djingliya et de  $895,6 \text{ mm} \pm 31,4$  (I.C 95 %) à Oumbéda. Ces ajustements s'illustrent au travers de la **Figure 6**.



**Mogodé (1974-2013)**

**Mokolo (1934-2010)**

**Figure 6 : Ajustement des variables à la Loi Normale**

En évaluant les pluies exceptionnelles aux postes d'observation, nous obtenons les valeurs du **Tableau 3** suivants :

**Tableau 5 : Pluies exceptionnelles aux postes d'observation**

Poste pluviométrique	Barrages	Pluie moyenne (mm)	Pluie quinquennale (mm)		Pluie décennale (mm)	
			Humide	Sèche	Humide	Sèche
Mogodé (1974-2013)	Rhumsiki	1006,62	1153,2	860,1	1229,8	783,5
Mokolo (1934-2010)	Mazam	981,59	1104,2	859,0	1168,3	794,9
Guétalé (1948-2010)	Djingliya	885,01	1014,1	756,0	1081,5	688,5
Mayo-Ouldémé I (1954-2010)	Oumbéda	895,60	997,2	794,0	1050,4	740,8

#### 4. Discussion

De l'analyse de la tendance des indices pluviométriques et des courbes d'évolution, une hausse généralisée des volumes annuels des précipitations, se dégage sur les bassins étudiés, à l'exception de celui d'Oumbéda qui s'est révélée à la baisse. De nombreuses études sur certains bassins versants de l'Afrique de l'Ouest et Centrale ont révélé une tendance à la baisse des précipitations annuelles [19, 21 - 25], ce qui ne concorde pas les résultats obtenus dans la présente étude. Ces résultats s'appuient sur les ruptures décelées au seuil de confiance de 95 %. Car, la pluviométrie moyenne annuelle avant rupture de 1977 (Rhumsiki), de 1958 (Mazam), de 1987 (Djingliya) et de 1955 (Oumbéda) était respectivement de 1365,5 mm, de 917,58 mm, de 826,71 mm et de 1072,5 mm. Après ces dates, elle est passée à 1499,5 mm, à 1012,37 mm, à 986,39 mm et à 889,17 mm respectivement. Ces écarts correspondent à un excédent de 9,81 % à Rhumsiki, de 10,33 % à Mazam et de 19 % à Djingliya, et un déficit de 17 % à Oumbéda. Cette augmentation des précipitations peut se justifier par l'influence du relief accidenté qui favorise le maintien de la mousson. Pourtant, la station de Ngaoundéré, aux mêmes conditions géomorphologiques et climatiques, et par ailleurs plus humide, a connu une tendance à la diminution plus poussée de sa pluviométrie [26]. Ceci prouve que la zone des Monts Mandara a subi moins d'agressivité climatique qu'a connu l'Afrique de l'Ouest et Centrale depuis les années 1970. Néanmoins, certaines stations des Monts Mandara ont manifesté des déficits pluviométriques, sans toutefois exprimer une ampleur de la sécheresse. Ce qui peut être due à la mauvaise répartition des précipitations ou à ses irrégularités dans le temps et l'espace. Par ailleurs, la répartition des cumuls pluviométriques est globalement déficitaire, c'est-à-dire, présente plus de déficits que d'excédents. Ceci

montre qu'à l'échelle saisonnière, les précipitations sont intenses et les hauteurs élevées, mais moins fréquentes et dépendant des années. L'excédent pluviométrique sur les bassins étudiés, de l'ordre de 9-20 % est très faible. Ceci est en accord avec les valeurs obtenues dans d'autres stations des Monts Mandara [26]. Cela montre l'influence de la sécheresse qui a engendré une perturbation du régime pluviométrique dans les Monts Mandara. Les pourcentages obtenus attestent que les fluctuations sont stationnaires, c'est-à-dire que la pluviométrie dans les Monts Mandara n'est ni très humide, ni très sèche. Ce constat est prouvé par le fait qu'on ne note pas des années consécutives d'inondation, de récurrents événements pluvieux extrêmes ou de sécheresse extrême, mais quelques extrêmes pluviométriques ou des saisons sèches rudes. Ce caractère des fluctuations a été repéré au Nord du Bénin [21, 27]. Cependant, ces excédents pluviométriques, compris entre 9 % et 20 %, ne sont pas en accord avec les conclusions des travaux réalisés en Afrique centrale. De même, cette tendance à la hausse des précipitations est contraire aux études de l'évolution interannuelle de plusieurs stations situées au Nord-Cameroun [26]. Ils déduisent un taux de variation se situant globalement entre - 6 et 10 % sur l'ensemble des stations. Force de constater que la majorité des dates de rupture s'est produite vers la fin des décennies 1950 et 1970. Ces observations ne s'insèrent pas dans la période de rupture obtenue par plusieurs chercheurs [19, 20, 21, 28], et par le programme ICCARE de l'IRD [25, 29].

Ils situent la plupart des ruptures entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970 en Afrique de l'Ouest et Centrale. Ce décalage de période de rupture peut être lié au fait que la sécheresse a touché tardivement la Région des Monts Mandara à cause du séjour plus prononcé du flux de Mousson qui est bloqué par les massifs montagneux et n'a pas persisté longtemps. Or les zones montagneuses (Monts Poli et Monts Mandara) bloquent la circulation de la mousson et provoquent des pluies abondantes sur ces régions [12, 17]. De façon générale, pour l'ensemble des postes pluviométriques représentatifs des quatre bassins versants étudiés, la pluviométrie a été largement excédentaires entre la décennie 1960 et 1970, légèrement déficitaire depuis 1970, s'est prolongée jusqu'à la décennie 1980, puis une reprise de la période humide à la décennie 1990 (plus spécifiquement de 1992 jusqu'en 1998). Ces valeurs s'intègrent dans l'intervalle des périodes obtenues sur les stations du Nord-Cameroun [23, 26] et définies en occurrence par certains auteurs en Afrique de l'Ouest et Centrale [17 - 19, 21, 22, 30]. Après cette période, on observe une chute légère des précipitations durant la décennie 2000 jusqu'en 2010. La décennie 1960 a été très humide, caractéristique qu'on ne retrouve pas sur le poste de Guétalé, puisqu'on a une période déficitaire et un retour à la normale de courte période (1968-1976). Les décennies 70 et 80 montrent une sévérité de la sécheresse, avec des hausses des pluies ne dépassant pas deux années consécutives.

La décennie 80 apparaît comme étant la plus sèche du XX<sup>ème</sup> siècle [19, 24]. Pendant que nos résultats induisent une baisse de la pluviométrie dans les années 2000, certaines zones retrouvent les périodes humides et d'autres enregistrent une baisse continue et persistante des pluies. Cette situation a été observée sur la fenêtre "Afrique Centrale", et au Nord du Bénin où certaines zones semblent revenir à des précipitations plus abondantes [19, 21]. En Afrique de l'Ouest en revanche, la diminution persistante des pluies se fait remarquer davantage, et constatant ainsi, que la sécheresse n'était toujours pas terminée en 2002 [31], malgré quelques années de meilleures pluviométries depuis 1994 [24]. Les déficits pluviométriques observés depuis lors ont des conséquences sur les ressources en eau, donc le faible remplissage des retenues. Les hausses des pluies sont plus marquées en 1975, 1978 et 1981. Les années 1965, 1971 - 1973, 1983 - 1985 et 1987 marquent les déficits les plus importants, plus imposés en 1984. Ce qui corrobore avec celles identifiées par plusieurs auteurs sur les pays du Sahel [20, 23, 31, 32]. Sauf que dans d'autres pays, le fort déficit s'est remarqué en 1983 [27]. Pourtant, ces déficits sont plus faibles en direction de l'Afrique Centrale et Equatoriale [33]. En effet, la zone des Monts Mandara n'a pas connu une phase aiguë de la sécheresse, mais une modification de son régime pluviométrique. On note une décroissance des précipitations, qui converge des montagnes vers les plaines, et du Sud vers le Nord. Les zones des montagnes de Mogodé et de Mokolo reçoivent une

importante pluviométrie à cause de son exposition aux vents de la mousson qui lui est favorable. Le cumul des précipitations enregistrées à Rhumsiki donne une hauteur moyenne annuelle de 1006,6 mm. Cette valeur est comparable à la hauteur moyenne annuelle évaluée à Sir (1041 mm) et à Bourrha (1107 mm) entre 1955 et 1984 [34]. Les auteurs [35] ont qualifié cette zone montagneuse de climat soudanien d'altitude plus humide. Les plus faibles moyennes sont observées dans la plaine de Guétalé et le poste pluviométrique situé au Nord de la zone d'étude (Ouldémé). Le coefficient de variation est plus élevé à l'Ouest (Mogodé) et plus faible au Sud. Ce qui se justifie par la valeur faible à Guétalé, témoignant de l'irrégularité de la pluviométrie. La variation est importante à Mogodé et sa pluviométrie élevée. À Mokolo et à Ouldémé, cette pluviométrie est moyenne et varie peu. Ces valeurs du coefficient témoignent de l'influence de la hauteur des précipitations sur la variabilité spatiale, surtout dans les zones montagneuses comme celles de Mogodé et de Mokolo où l'altitude dépasse 1000 m. Des résultats analogues ont été recueillis sur les bassins de Mokolo zone de plateau (0,180), de Guétalé (0,143) zone de plaine et de Maroua zone de plaine (0,121) par les chercheurs [3], puis par [5] à Maroua-Agro (0,176). C'est à tort d'utiliser les séries chronologiques d'un poste de plaine (Guétalé et Ouldémé) pour évaluer un bassin versant en zone montagneuse (Djingliya et Oumbéda). Ces stations donnent des hauteurs pluviométriques trop faibles pour les massifs qui les entourent. Ne possédant pas des longues séries dans un poste voisin en montagne, nous avons été contraints d'utiliser ces données, ce qui sous-estime la moyenne pluviométrique de ces deux bassins versants. La pluviosité de 1587 mm (en 1986) a été la plus élevée de la Région de l'Extrême-Nord. Sur la période d'observation et jusqu'en 2017, cette hauteur maximale n'a jamais été atteinte dans la Région de l'Extrême-Nord.

## 5. Conclusion

Suite à l'analyse temporelle, la tendance des précipitations est à la hausse sauf à Oumbéda, cependant leur distribution est inégalement répartie et le nombre de jours pluvieux est réduit, surtout en plaine. Elle déduit deux décennies (1970 - 1990) de déficits pluviométriques. Malheureusement, les ruptures n'ont pas été décelées durant ces décennies pour confirmer la position de la sécheresse. Ces déficits n'ont pas été extrême dans les Monts Mandara, mais ont modifié le régime pluviométrique. Le retour à la période humide n'a duré qu'une seule décennie, ce qui n'a pas permis de combler les déficits hydriques contractés durant les deux dernières décennies. La baisse des précipitations durant la décennie 2000 - 2010 a aggravé ce stress hydrique. Ce qui justifie la lenteur avec laquelle les barrages se remplissent, bien qu'il ait été signalé un retour des précipitations plus abondantes depuis 2010. Les hauteurs enregistrées sont importantes, cependant les plaines et les zones situées au Nord des Monts Mandara sont un peu lésées. Ces aléas pluviométriques, combinés à un relief accidenté et des sols dénudés de sa couverture végétale et peu perméables influencent sur la recharge de la nappe, d'où la disponibilité des ressources en eau, lesquelles engendrent un faible volume mobilisé pour alimenter les retenues d'eau. De ce fait, elles ne permettront pas une gestion optimale en vue de la desserte pour la consommation et de faire de l'irrigation en saison sèche. L'utilisation des données des stations des plaines pour caractériser les zones de montagne, ont engendré des biais importants sur les résultats. Les résultats de cette étude contribuent à la connaissance du régime pluviométrique des Monts Mandara, vu que le climat est encore moins connu et les recherches peu effectuées. Pour une meilleure appréciation du climat, de son évolution et de son impact sur les retenues d'eau, il serait judicieux d'équiper les barrages des stations hydroclimatiques. De plus, ces constantes fluctuations des ressources souterraines sous l'influence de la pluviométrie devraient faire l'objet d'une étude, afin de mieux appréhender leur évolution et leur impact sur les écoulements.

## Références

- [1] - A. HALLAIRE, "Problèmes de développement au nord des Monts Mandara, In : Approches concrètes du développement rural en Afrique et à Madagascar", *Cahiers ORSTOM*. Série Sciences Humaines, 13 (1) (1976) 3 - 22
- [2] - A. HALLAIRE, "Paysans montagnards du Nord Cameroun : les Monts Mandara", *Cahiers ORSTOM*, Paris, (1991) 253 p.
- [3] - J. CALLEDE et G. DELFIEU, "Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun : le bassin du mayo Tsanaga - Campagne 1966", Yaoundé, *ORSTOM*, (1967) 85 p.
- [4] - J. C. OLIVRY et R. HOORELBECKE, "Étude hydrologique du Haut-Bassin du mayo Tsanaga à Mokolo, Résultats de la campagne 1974", Yaoundé, *ORSTOM*, (1974) 51 p.
- [5] - J. F. NOUVELOT, "Hydrologie des mayos du Nord-Cameroun, Monographie de la Tsanaga". *Cahiers d'Hydrologie ORSTOM*, Yaoundé, ORSTOM, X (3) (1972) 118 p.
- [6] - RGPH, "Bureau Central des Recensements et des Etudes de Population (BUCREP)". Répertoire actualisé des villages du Cameroun, Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Cameroun de 2005, IV (07) (2005) 203 - 218
- [7] - N. S. TCHANDEU, "Cultures lithiques dans les monts Mandara au Cameroun", *Afrique Archéologie Art*, (2009) 65 - 80
- [8] - C. NJOMAHA, "Durabilité des systèmes de culture dans l'Extrême-Nord Cameroun. IRAD-CEDC Maroua, Cameroun. *Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad - Cirad, Montpellier, France, (2016)
- [9] - A. HALLAIRE, "Des montagnards en bordure de plaine Hodogway (Cameroun du Nord)", *Cahiers ORSTOM*, Paris, (1970) 20 p.
- [10] - G. REMY, "De la montagne à la plaine : aspects et problèmes d'un mouvement de colonisation au Nord-Cameroun", *Cahiers d'études africaines*, 47, XII (4) (1972) 500 - 511
- [11] - J. C. OLYVRY et É. NAAH, "Transports solides et qualité des eaux au Cameroun". Collection Colloques et Séminaires. Quatrièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier, Paris, (1989) 163 - 173
- [12] - M. TSALEFAC, F. HIOL HIOL, G. MAHÉ, A. LARAQUE, D. SONWA, P. SCHOLTE, W. POKAM, A. HAENSLER, T. BEYENE, F. LUDWIG, F. K. MKANKAM, V. M. DJOUFACK, M. NDJATSANA et C. DOUMENGE, "Climat de l'Afrique centrale : passé, présent et futur : in Les forêts du Bassin du Congo - Forêts et changements climatiques", Chapitre 2, (2015) 37 - 52
- [13] - L. LEROUX, J. OSZWALD, B. N. NGATCHA, S. DAVIDA, M. J. PENVEN et É. SERVAT, "Le bassin versant du Mayo-Tsanaga (Nord Cameroun) : un bassin versant expérimental pour une compréhension des relations Homme/Milieu" : in *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, (2013) 16 p.
- [14] - P. BOIS, CH. OBLED et I. ZIN, "Introduction au traitement de données en Hydrologie", ENSHMG Poly 7<sup>ème</sup> édition revue et complétée, (2007) 265 p.
- [15] - IRD, "KhronoStat version 1.0.", Logiciel, IRD, Montpellier (1998). URL : <http://www.hydrosciences.org/spip.php/article239>, (mars 2018)
- [16] - H. LUBÈS-NIEL, J. M. MASSON, É. SERVAT, J. E. PATUREL, B. KOUAMÉ et J. F. BOYER, "Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques - Étude bibliographique", *ORSTOM FREIND AOC*, Programme ICCARE, (3) (1994) 21 p.
- [17] - D. SIGHOMNOU, "Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau", Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun, (2004) 292 p.
- [18] - A. BODIAN, "Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest)", *Physio-Géo*, 8 (2014) 297 – 312

- [19] - S. ARDOIN-BARDIN, "Variabilité hydro-climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne", Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, (2004) 437 p.
- [20] - M. OUÉDRAOGO, "Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale", Thèse de l'Université de Montpellier II, (2001) 257 p.
- [21] - M. FAYE, A. FALL, G. FAYE et E. VAN HECKE, "La variabilité pluviométrique et ses incidences sur les rendements agricoles dans la région des Terres Neuves du Sénégal oriental". *Revue belge de géographie (Belgeo)*, (2018) 18 p.
- [22] - E. CHAUVIN, C. RANGE, J. LEMOALLE, G. MAGRIN, C. RAIMOND, S. A. DOUA, H. K. FOUGOU, A. M. MAHAMADOU, A. A. TAFIDA et A. L. TUKUR, "Le système régional : environnement, populations et ressources", (2018) 25 - 73
- [23] - G. LIÉNOU, "Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les transports de matières en suspension de quelques bassins versants représentatifs au Cameroun", Thèse Doctorat Université de Yaoundé I, (2007) 405 p.
- [24] - G. MAHÉ, "Variabilité pluie-débit en Afrique de l'Ouest et Centrale au 20<sup>ème</sup> siècle : changements hydro-climatiques, occupation du sol et modélisation hydrologique", Mémoire d'HDR, Université de Montpellier II, (2006) 160 p.
- [25] - É. SERVAT, J. E. PATUREL, H. LUBÈS-NIEL, B. KOUAMÉ, J. M. MASSON, M. TRAVAGLIO et B. MARIEU, "De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne « Regarding rainfall in non sahelian western and central Africa »". *Revue des Sciences de l'Eau*, 12 (2) (1999) 363 - 387
- [26] - E. FITA DASSOU, A. OMBOLO, G. EWODO MBOUDOU, S. CHOUTO, E. BINELI AMBOMO, J. M. ABATE ESSI, "Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans la zone soudano-sahélienne du Cameroun au cours des cinq dernières décennies". *Revue Afrique Science*, 11 (4) (2015) 331 - 348
- [27] - G. L. DJOHY, S. H. TOTIN VODOUNON, N. E. KINZO, M. A. SINWONGOU, C. N. N. AVAHOUI, K. N. AKPLOGAN et D. S. E. DOUMAHOUN, "Extrêmes climatiques dans le domaine soudanien au Bénin : étude comparée des perceptions populaires et des données climatologiques de l'ASCENA". XXX<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Actes du colloque de Sfax, Tunisie, (2017) 281 - 286
- [28] - P. N. KABORE, A. OUEDRAOGO, M. SANON, P. YAKA et L. SOME, "Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015", *Climatologie*, 14 (2017) 82 - 95
- [29] - R. MALOU "Impact du climat sur les ressources en eau en zone soudano-sahélienne (Sénégal)", Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, (2004) 147 p.
- [30] - Z. ARETOUYAP, P. NJANDJOCK NOUCK, D. BISSO, R. NOUAYOU, B. LENGUE and A. LEPATIO TCHIEG, "Climate variability and its possible interactions with water resources in Central Africa", *Journal of Applied Sciences*, 14 (2014) 2219 - 2233
- [31] - Y. L'HÔTE, G. MAHÉ, B. SOMÉ et J. P. TRIBOULET, "Analysis of a Sahelian annual rainfall index updated from 1896 to 2000; the drought still goes on", *Hydrological Sciences Journal*, 47 (4) (2002) 563 - 572
- [32] - C. SEIGNOBOS ET O. IYEBI-MANDJEK, "Atlas de la Province Extrême-Nord Cameroun", IRD Éditions, MINREST, Paris, (2000)
- [33] - G. MAHÉ et J. C. OLIVRY, "Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989". Mémoires ORSTOM. *Bulletin Sécheresse*, 6 (1) (1995) 109 - 117
- [34] - A. HILLAIRE, "Hodogway (Cameroun Nord) : un village de montagne en bordure de plaine", Collection Atlas des structures agraires au sud du Sahara, ORSTOM, Paris, (1971) 84 p.
- [35] - J. BOUTRAIS, J. BOULET, A. BEAUVILAIN, P. GUBRY, D. BARRETAU, M. DIEU, R. BRETON, C. SEIGNOBOS, G. PONTIE, Y. MARGUERAT, A. HILLAIRE et H. FRECHOU, "Le Nord du Cameroun : Des hommes, une région", Collection mémoires, ORSTOM, Paris, (102) (1984) 551 p.