

## **IMPACT DE LA VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET DE LA SÉCHERESSE AU SUD DU TCHAD : EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

**Abdoulaye BEDOUM<sup>1,2</sup>, Clobite BOUKA BIONA<sup>3</sup>, Mbanghoguinan ALLADOUM<sup>2</sup>, Issak ADOUM<sup>2</sup> et Laohoté BAOHOUTOU<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Université de Douala, Faculté des Sciences, Centre de Physique Atomique Moléculaire et Optique Quantique (CEPAMOQ), BP 8580, Cameroun*

<sup>2</sup>*Université de N'Djaména, Faculté des Sciences Département de Physique, BP 1027, Tchad*

<sup>3</sup>*Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Département de Physique, Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et Centre de Recherche sur les Tropiques Humides (CRTH) BP 69, Congo*

<sup>4</sup>*Université de N'Djaména, Faculté des Sciences Humaines et Sociale. Département de Géographie, Tchad*

---

\* Correspondance, e-mail : [bedabdoulaye@yahoo.fr](mailto:bedabdoulaye@yahoo.fr)

### **RÉSUMÉ**

L'analyse des séries chronologiques des précipitations journalières, mensuelles et annuelles, enregistrées au Sud de la République du Tchad, fait apparaître l'existence des périodes sèches et humides. Elle permet de constater une forte tendance à la baisse des précipitations et d'importantes relations de dépendances. L'étude effectuée est généralement basée sur les valeurs de l'indice standardisé des précipitations calculé sur la période d'étude (1960-2008) soit 48 ans d'observations. Les résultats obtenus montrent une grande variabilité des valeurs du SPI. Cependant les tests Statistiques de Buishand, segmentation d'Hubert, la régression linéaire et la pente de Mann-Kendall utilisés confirment cette variabilité pluviométrique. Les périodes de sécheresses les plus remarquables par leur intensité de (1965-1967) et (2002-2005) est modérée et celle de 1980-1987 est extrêmement sévère pendant lesquelles elles sont ressenties sur l'ensemble des stations du Sud du Tchad. En outre, les années sèches, la fin de 1970 et 1980 à 1987 reconnues par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) comme année de sécheresse ont été mises en évidences dans la zone Sud du Tchad.

**Mots-clés :** *variabilité, précipitations, sécheresse, tests statistiques, Tchad.*

**ABSTRACT****Impact of rainfall fluctuations and drought in the Southern Chad: effects of climatic change**

The analysis of the chronological series of monthly and annual precipitations recorded in the south of the Republic of Chad indicates the presence of dry and rainy periods. It allows us to observe a high tendency towards a drop in precipitation with some important dependency relations. The study is generally based on the Standardized Precipitation Index (SPI) values, calculated within the period 1960-2008, which is an observatory period of 48 years. The results show a great variability in SPI values. However statistical tests of Buishand, segmentation procedure of Hubert, linear regression and slope of Mann-Kendall confirm this variability in rainfall. The historical evolution of the SPI made it possible to define with more precision the periods of rainfall deficits corresponding to periods of drought of moderate intensity (1965-1967; 2002-2005) and extreme severity (1980-1987) during which drought are felt on all stations across South Chad. Moreover, dry years, the end of 1970 and 1980 to 1987 recognized by the World Organization of Meteorology (OMM) as year of dryness were highlighted in the Southern zone of Chad.

**Keywords :** *variability, precipitation, drought, statistics tests, Chad.*

**I - INTRODUCTION**

Le Tchad, est l'un des pays du Sahel qui souffre de la pénurie d'eau d'une saison à une autre, et d'une année à une autre. Pour tenter d'élucider ce problème de manque d'eau, il est indispensable d'analyser les séries pluviométriques et d'évaluer l'effet de leur variabilité, en fonction du changement climatique. L'extension spatiale de la sécheresse est généralement plus importante que celle des autres risques naturels et ses impacts sont non structureaux et difficiles à quantifier. Comparé aux autres phénomènes hydrologiques, telles que les inondations, le développement des sécheresses est lent. De plus il est très difficile d'identifier son début et sa fin. D'un point de vue météorologique, la sécheresse peut se définir comme un comportement anormal mais récurrent du climat lié essentiellement à l'absence de précipitations que reçoit une région dans un laps de temps déterminé. L'analyse de la récurrence et de la persistance de ce phénomène par des méthodes scientifiques cherche à établir une estimation des durées et des probabilités qui pourront contribuer à la planification de stratégies de mobilisation et de gestion des ressources en eau.

D'intenses efforts ont été déployés pour le développement de nouvelles méthodologies de quantification des aspects liés à la sécheresse, tels que les différences spatiales de la sécheresse [1], la prédiction des sécheresses par les indices de la circulation atmosphérique [2], et l'atténuation des effets de la sécheresse [3]. Mais, plus d'efforts ont été surtout développés pour estimer des indices de la sécheresse permettant une identification précoce de son intensité et son ampleur. Pendant le vingtième siècle, plusieurs indices de sécheresse ont été développés, basés sur différents variables et paramètres. Ces indices permettent l'analyse et la planification continue des sécheresses dans le temps et dans l'espace [4]. [5] ont indiqué que le temps mis par les eaux de pluie jusqu'au moment de leur utilisation est fonction de plusieurs facteurs.

Par conséquent, la connaissance du temps d'accumulation des déficits de précipitations est extrêmement importante car elle spécifie les divers types de sécheresse : hydrologique, environnementale, agricole, urbaine... La plupart des indices de sécheresse sont conçus pour des échelles de temps fixes tel que l'indice de sévérité de Palmer [6]. Ce dernier ne permet pas l'identification des séquences sèches pour une période inférieure à 9 mois et ne peut pas être utilisé comme indicateur pour comparer l'intensité des sécheresses entre deux régions [7]. Cependant, [8] pensent que l'indice de sévérité de Palmer est conçu pour l'agriculture bien qu'il ne représente pas exactement les effets hydrologiques résultant des sécheresses de longue période. Quant à L'indice standardisé de précipitation « *SPI* » (*Standardised Precipitation Index*), il a été développé en 1993 en vue de caractériser les déficits de précipitations pour une période donnée [9].

Il reflète l'impact de sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eau. Cet indice est calculé surtout lorsque la précipitation n'est pas normalement distribuée, notamment pour des périodes inférieures à 12 mois. De plus, le SPI est comparable dans le temps et l'espace [10]. Etant donné qu'il est robuste, le SPI a été largement utilisé pour étudier la sécheresse dans différentes régions : Italie [11], Grèce [12], Espagne [13] et Mexique [9]. Dans ce travail, le SPI, calculé sur une longue période, est utilisé pour analyser des séries des précipitations annuelles, mensuelles et journalières du Sud du Tchad afin de montrer leurs dépendances pour le climat et pouvoir caractériser la fréquence des séquences sèches.

## **II - MATÉRIEL ET MÉTHODES**

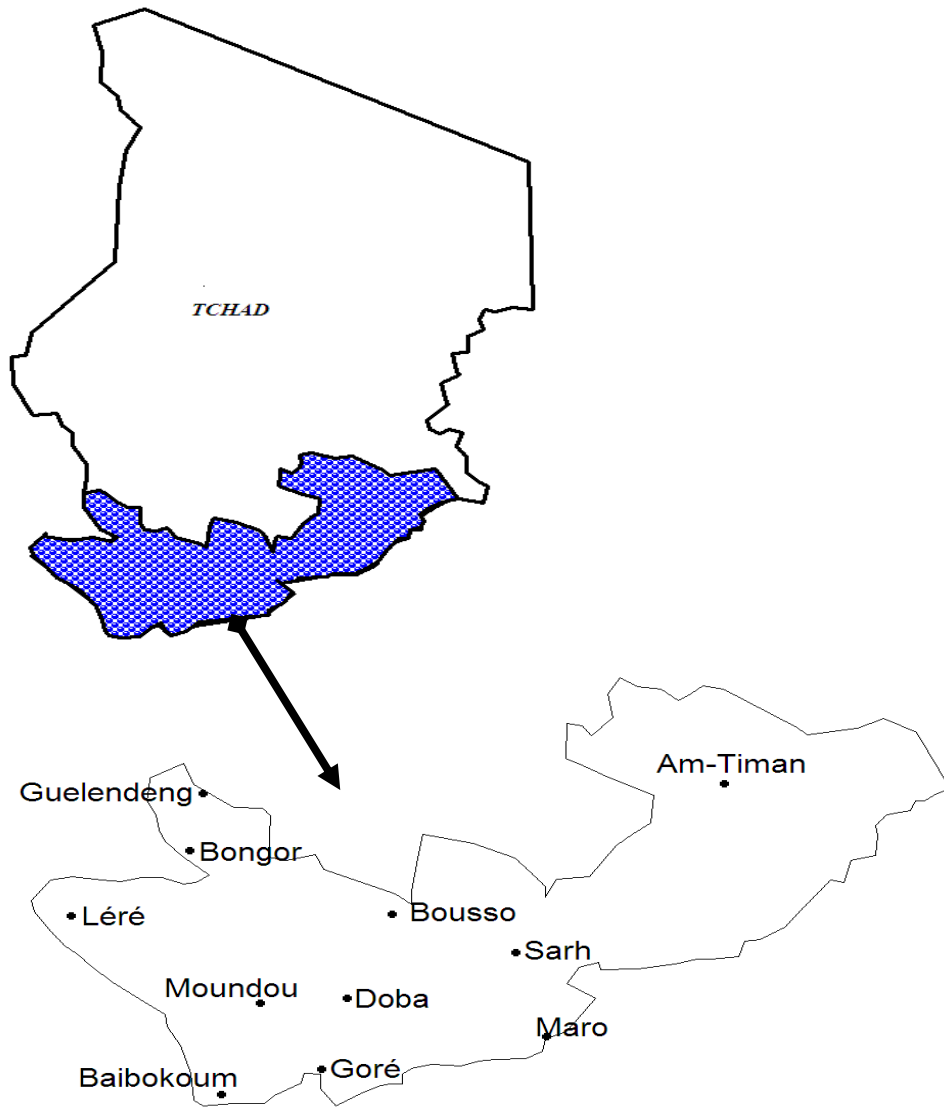
### **II-1. Description de la zone d'étude**

La région du Sud du Tchad est située entre les longitudes 14° et 22° Est et les latitudes 7° et 11° Nord (*Figure 1*). Dans cette zone, la disponibilité en eau est à la fois source de vie et base de toute activité économique et agricole. Cette région du pays reçoit en moyenne une pluviométrie d'environ 1000 mm par an et doit affronter de très sérieux problèmes liés au manque d'eau caractérisé par une distribution spatiale et temporelle très irrégulière des précipitations d'une station à l'autre. C'est dans ce contexte que nous proposons de faire l'étude des données pluviométriques observées au niveau du sud Tchadien afin de dégager les caractéristiques de la sécheresse météorologique.

En effet, le Sud du Tchad forme une très vaste zone aux reliefs très variés, marqué par une saison sèche qui débute d'Octobre à Avril et une saison de pluie de Mai à Septembre. Cette zone est essentiellement dominée par les activités agro-pastorales qui occupent près de 90% de la population active. Ces activités sont centrées sur les cultures de rente que sont le coton, la canne à sucre, la gomme arabique, les arachides, le haricot etc. qui ont fait la gloire de la région bien qu'elle soit une zone pétrolière. Les céréales (mil, sorghos, maïs, riz,...), l'igname et autres tubercules constituent les principales cultures de subsistance. Bien que faiblement mécanisé, ce secteur présente une faiblesse essentielle due au fait que l'agriculture est fortement pluviale.

### **II-2. Données**

Les services de la Météorologie Centrale du Tchad de cette région du sud sont souvent de qualité due au rôle capital qu'ils doivent jouer pour participer à l'essor du secteur agro-pastorale de la région. Cette attention accordée à ces services a généré une certaine crédibilité qui peut aujourd'hui être accordée aux données des stations météorologiques situées dans cette zone. Les onze (11) stations pluviométriques implantées dans les principales villes sont homogènement réparties dans la zone d'étude retenue (*Figure 1*).



**Figure 1 :** Carte géographique du Tchad avec la zone d'étude

Elles concernent les précipitations journalières, décadaires, mensuelles et annuelles. Toutes ces données Elles couvrent une période de 48 ans allant de 1960 à 2008. Le **Tableau 1** présente les coordonnées géographiques des différentes stations, les altitudes de celles-ci, la taille T des séries, la pluie moyenne annuelle PRC, l'écart type des séries et le coefficient de variation. Seules les stations ayant des séries de données de taille supérieure ou égale à 48 ans sont considérées.

**Tableau 1** : Caractéristiques des stations pluviométriques du Sud du Tchad

Station	Latitude (degré)	Longitude (degré)	Altitude des stations (m)	Taille des séries (ans)	PRC Moy (mm)	Ecart- Type	CV (%)
Am-Timan	11,2	20,17	416	48	777	102	13
Baibokoum	7,44	15,41	526	48	1234	196	16
Bongor	10,17	15,22	316	48	744	194	26
Bouso	10,29	16,43	284	48	783	201	25
Doba	8,42	16,51	398	48	1045	199	19
Goré	7,56	16,38	375	48	1187	238	20
Guelendeng	10,55	15,33	295	48	663	120	18
Léré	9,38	14,9	304	48	1030	155	15
Maro	8,24	18,47	389	48	859	141	16
Moundou	8,37	16,3	415	48	1068	153	14
Sarh	9,9	18,23	342	48	981	161	16

### II-3. Méthodologie

Le traitement statistique proposé dans cette étude concerne d'une part la détection des changements brusques des caractéristiques des séries de données, et d'autre part l'analyse des tendances.

#### II-3-1. Détection des changements brusques dans les séries

La première partie s'intéresse à la détection des changements des moyennes annuelles des séries de précipitations. En effet, une rupture peut être définie par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu [14]. Ce changement brutal peut par exemple être la conséquence de la construction d'un barrage ou d'une modification dans les méthodes de collecte de données. Deux techniques statistiques de détection de rupture ont été utilisées dans cette étude avec :

- la statistique U de Buishand [15]. Dans celle-ci, la procédure de Buishand fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses

que l'approche de Lee et Heghinian (elle suppose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale de la série). L'absence de rupture dans la série constitue l'hypothèse nulle ;

- la procédure de segmentation d'Hubert et ses collègues [16]. La méthode consiste à découper la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout le segment soit significativement différente de la moyenne du segment voisin. Cette procédure est considérée comme un test de stationnarité. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, alors l'hypothèse nulle (série stationnaire) est acceptée.

Pour ces deux tests un niveau de signification de 1% a été considéré.

### ***II-3-2. Analyse des tendances***

Dans cette seconde phase, nous avons utilisé trois méthodes pour caractériser les tendances des séries. Une tendance est un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire. Elle peut résulter par exemple de l'aménagement progressif d'un bassin versant (urbanisation, réchauffement climatique,...). La première concerne l'indice standardisé des précipitations (SPI), la deuxième repose sur un test de régression linéaire et la troisième est la pente de Mann-Kendall [17]. La pente de Mann-Kendall nous a servi pour l'analyse de la tendance des séries chronologiques par décennie. Dans cette analyse la pente de Mann-Kendall est définie par:

$$\tau = \frac{4 \sum_{i=1}^N n_i}{N(N-1)} \quad (1)$$

Où  $n_i$  est la valeur du paramètres météorologique,  $N$  le nombre des valeurs  $n_i$  et  $i=1, 2, \dots, N$

Cette grandeur suit une loi normale de moyenne nulle et variance :

$$\sigma^2 = \frac{(4N+10)}{9N(N-1)} \quad (2)$$

Ainsi, si la pente  $\tau$  est inférieure à zéro alors la décroissance est significative et l'inverse confirme la croissance.

Le SPI est calculé à partir des séries mensuelles de précipitations pour deux pas de temps (1ans, 49 ans) et pour chaque station.

La moyenne mensuelle du SPI est ensuite calculée pour chaque échelle de temps.

$$\Delta X = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma_i} \quad (3)$$

Où  $x_i$  représente le total annuel pour la station  $i$ ,  $\bar{x}_i$  = la moyenne annuelle en pluviométrie pour la station  $i$ ,  $\sigma_i$  = écart type des totaux annuels pour la station  $i$ .

Le SPI, mis au point à l'université du Colorado, permet de déterminer le déficit de précipitations pour une région donnée pendant un laps de temps déterminé. Le calcul du SPI nécessite l'ajustement de séries longues de données de précipitations à la distribution Gamma qui, selon [18] et [19] est la distribution qui représente le mieux l'évolution des séries de pluies. L'estimation du SPI se fait par ajustement de la distribution des fréquences des précipitations dans chaque station à la distribution Gamma de la probabilité de la densité. Les valeurs des paramètres de la fonction Gamma sont estimées pour chaque station et pour chaque échelle de temps (1 ans, 48 ans) et pour chaque mois de l'année. Les valeurs négatives du SPI correspondent à une année sèche alors qu'à l'opposé les valeurs positives indiquent des années humides. Le **Tableau 2** présente la classification de l'indice standardisé des précipitations [8]. Ainsi, on est en face d'un phénomène de sécheresse dès lors que les valeurs du SPI deviennent inférieures à 0,99, **Tableau 2**.

**Tableau 2 : Classification du SPI [8]**

Valeur du SPI	Intensité de la sécheresse
0 à -0,99	Proche de la normale
-1 à -1,49	Modérée
-1,5 à -1,99	Sévère
$\leq -2$	Extrêmement sévère

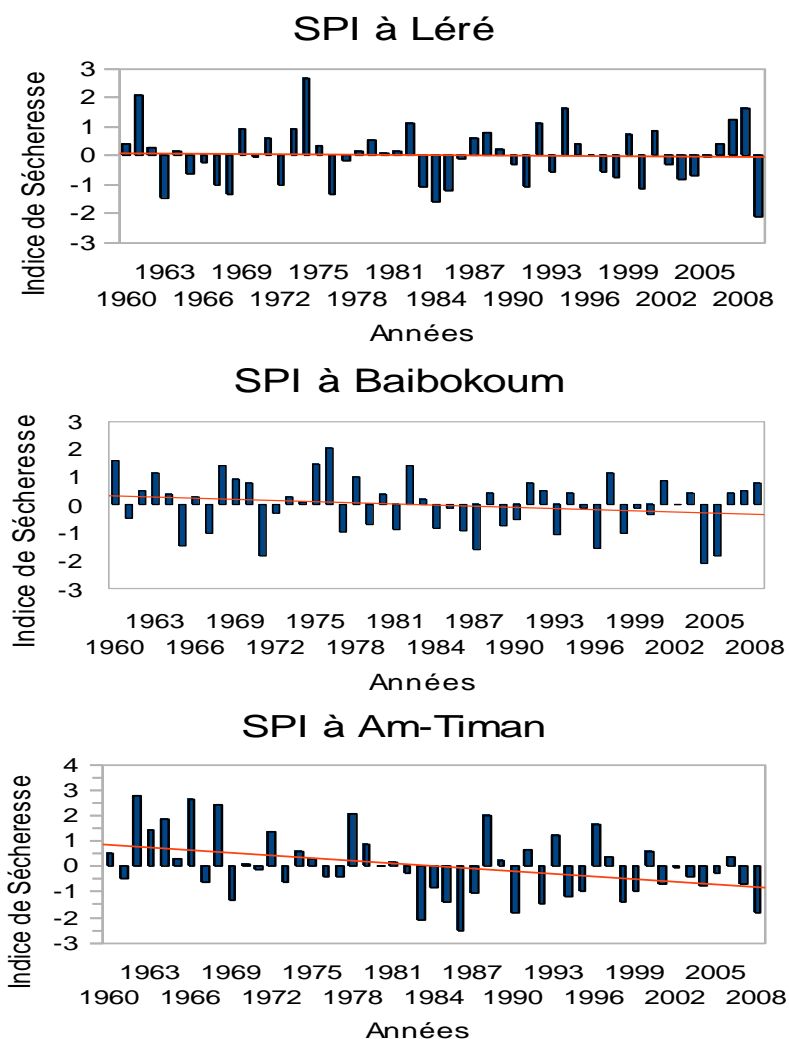
Le test statistique s'appuyant sur la régression linéaire permet d'examiner l'évolution naturelle des séries pluviométriques. Celui-ci teste l'hypothèse de stationnarité contre celle d'une tendance linéaire. Il s'appuie sur un modèle de régression simple entre la série et le temps [20].

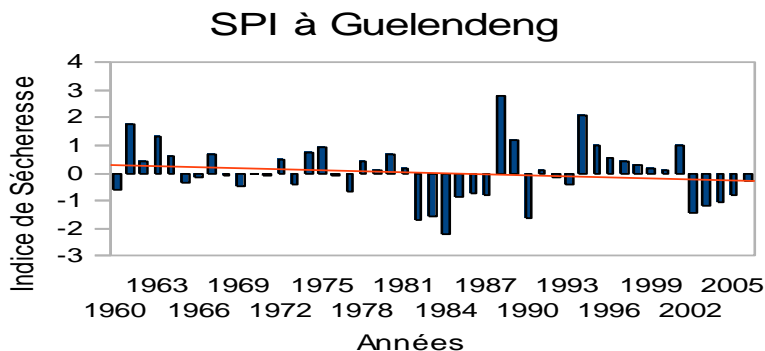


### III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### III-1. Variabilité des précipitations

Le calcul de l'indice pluviométrique moyen a permis d'analyser la variabilité temporelle des précipitations de Léré, Ouest de la zone d'étude, de Baibokoum (Sud), de Am-Timan (Est) et de Guelendeng (Nord) de la zone d'étude. L'étude menée dans les stations Ouest (Léré) et sud (Baibokoum) respectivement (**Figure 2**) ont permis d'observer une période normale entre 1960 et 2008, caractérisée par les moyennes interannuelles de  $(1030 \pm 155)$  mm/an et de  $(1234 \pm 196)$  mm/an respectivement et des coefficients de variation de 15% et 16% voir **Tableau 1**.





**Figure 2 :** *Variation interannuelle des tendances pluviométriques (régression linéaire)*

La période normale est définie comme étant une période où la moyenne des précipitations annuelles tend vers la moyenne de la pluviométrie totale avec une fluctuation inégalement répartie de part et d'autre de zéro (0). Par contre pour les stations de l'Est (Am-Timan) et du Nord (Guelendeng), on observe une période d'excédent pluviométrique qui va de 1960 à 1980 puis alternée par des périodes sèches et humides. On note par ailleurs une décroissance des précipitations à partir des années 1999 jusqu'à nos jours. Cette observation est en accord avec les études faites sur les précipitations en Afrique de l'Ouest [21]. La répercussion directe de la baisse des précipitations est visible sur la végétation naturelle et sur les cultures, ainsi que sur les autres activités humaines telles que l'élevage. La dégradation du tapis végétal est généralisée dans cette zone [22]. Dans la partie cultivée (plaine du Chari-logone, par exemple), la réduction des débordements dans les plaines inondables a entraîné une baisse des surfaces cultivables [22].

### III-2. Sécheresses et leur sévérité

A l'échelle mensuelle, les résultats montrent l'existence de nombreuses séquences sèches tout au long de la période analysée (**Tableau 3**). L'indice SPI a permis de caractériser leur sévérité (**Tableau 2**) Mais il est important de souligner l'existence de trois séquences dont la durée dépasse 24 mois (**Tableau 3**); la plus longue se situe entre les années 1980-1987. Actuellement la région se trouve dans une phase qui compte déjà plus 4 ans à compter de 2002. Les valeurs de SPI caractérisant l'intensité des sécheresses (**Tableau 3**) montrent que les sécheresses de 1965-1967 et 2002-2005 sont de type modérées et celle historique de 1980-1987 est de type extrêmement sévère. Cette dernière correspond effectivement à un déficit pluviométrique important (supérieur à 55% de l'écart-type et atteignant jusqu'à 88%) par rapport à la moyenne à long terme mentionnée par [23] et [24] pour la décennie 1980-1989.

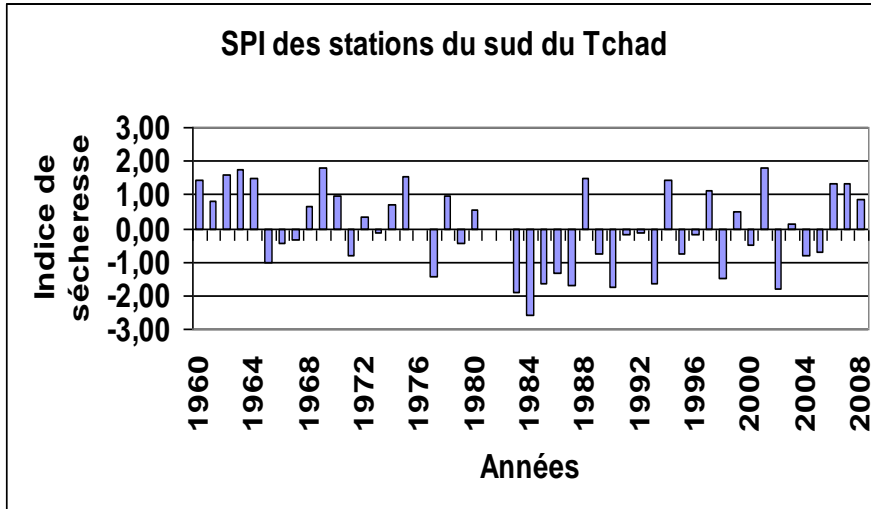


Figure 3 : Variation interannuelle du SPI des stations du Sud du Tchad

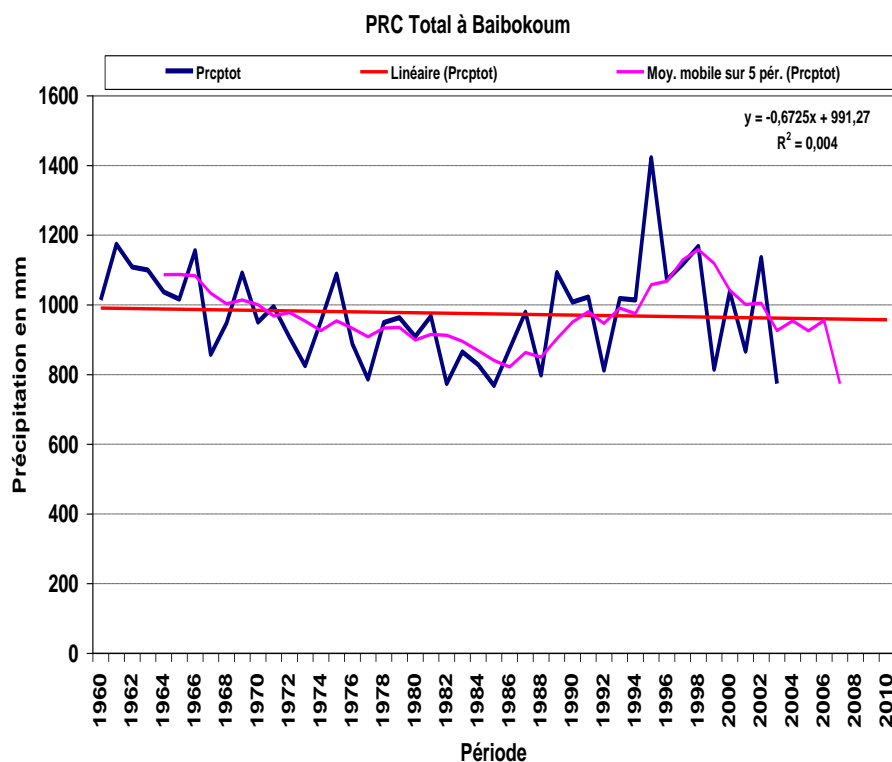
Tableau 3 : Séquences sèches dépassant l'année dans le Sud du Tchad

Séquences sèches	Durée (mois)	Valeurs de SPI Intensité maximale
1965 - 1967	24	-1,47
1980 - 1987	84	-2,5
2002 - 2005	36	-1,47

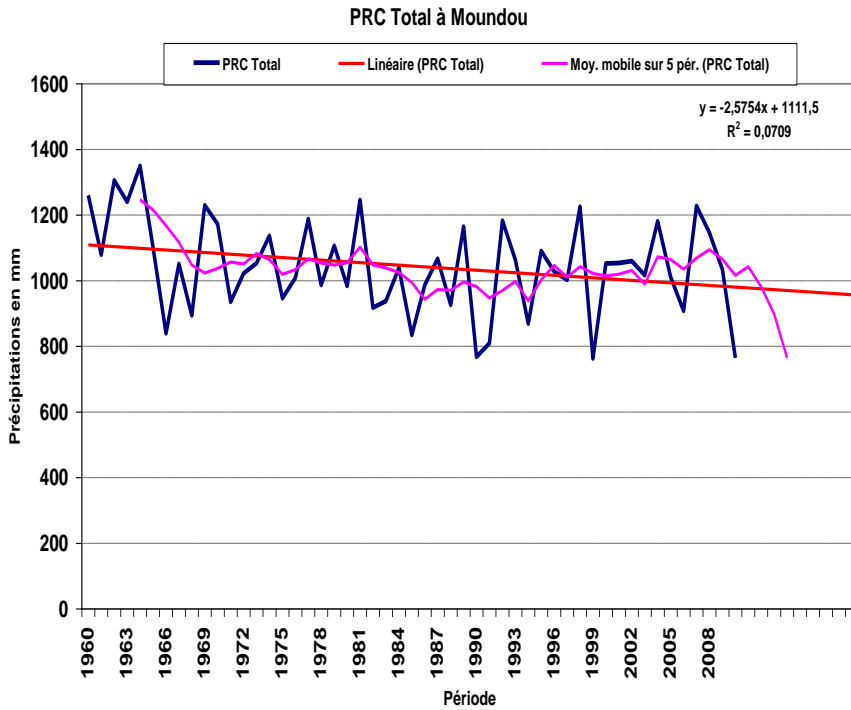
### III-3. Tendances et effets du changement climatique

Pour l'étude de tendance, nous avons utilisé la régression linéaire. Cette dernière semble mieux adaptée à l'étude des phénomènes progressifs comme les effets du réchauffement climatique. L'analyse des courbes de tendance confirme la baisse des précipitations au Sud du Tchad (*Figure 2*) pour l'ensemble des stations sauf pour celle de Léré qui présente toujours une période normale. Ceci peut être due au fait que c'est une station de petits cours d'eau et de petites montagnes situées à environ 304 m d'altitude comme on peut le voir sur le *Tableau 1*. Ce qui doit limiter le déficit.

L'analyse de la pente de régression linéaire estimée à  $-0,6725$  et  $-2,5754$  (**Figures 4 et 5**) montre que les précipitations totales annuelles des stations de Baïbokoum et de Moundou respectivement présentent l'allure décroissante. Il est intéressant de préciser qu'il n'y a jamais eu de croissance dans la quantité annuelle de précipitations pendant les 40 dernières années. Ceux-ci a un effet direct sur la diminution des débits d'eau (Logone et Chari), la sécheresse, la dégradation des forêts, la disparition de la faune, les problèmes agricoles etc. [22].



**Figure 4 :** Evolution des précipitations totales annuelles des jours humides par rapport à la moyenne mobile obtenue à la station de Baïbokoum



**Figure 5 :** Evolution des précipitations totales annuelles des jours humides par rapport à la moyenne mobile obtenue à la station de Moundou

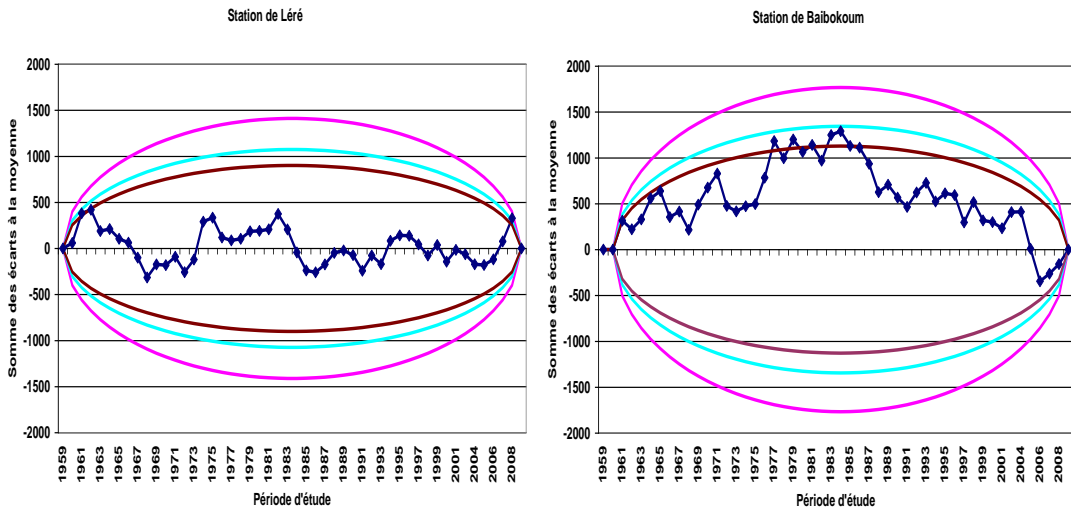
### III-4. Années ou période de rupture/changement climatique

La procédure de segmentation des séries pluviométriques donne le résultat consigné dans le **Tableau 4**. Pour les pluies annuelles, ce test montre qu'il y a eu plusieurs années de rupture de stationnarité pour la plupart des stations du Sud du Tchad. L'absence de rupture dans une série pluviométrique ne signifie pas qu'il n'y a pas eu de variations du niveau des précipitations dans le temps, mais que cette variation, si elle existe n'est pas significative. On note par ailleurs que pour le test de Pierre Hubert (**Tableau 4**), les années 1980 et 1970 ont été pour la plupart des stations du Sud une année de rupture; celle de 1980 nous rappelle l'année de démarrage de la sécheresse que connaît le pays ainsi que tous les pays du Sahel et même de l'Afrique Centrale. L'année 1970 est pour la majorité des stations du Sud du Tchad une année exceptionnelle de rupture en accord avec les travaux antérieurs et l'année retenue par l'OMM comme année du début de sécheresse [25].

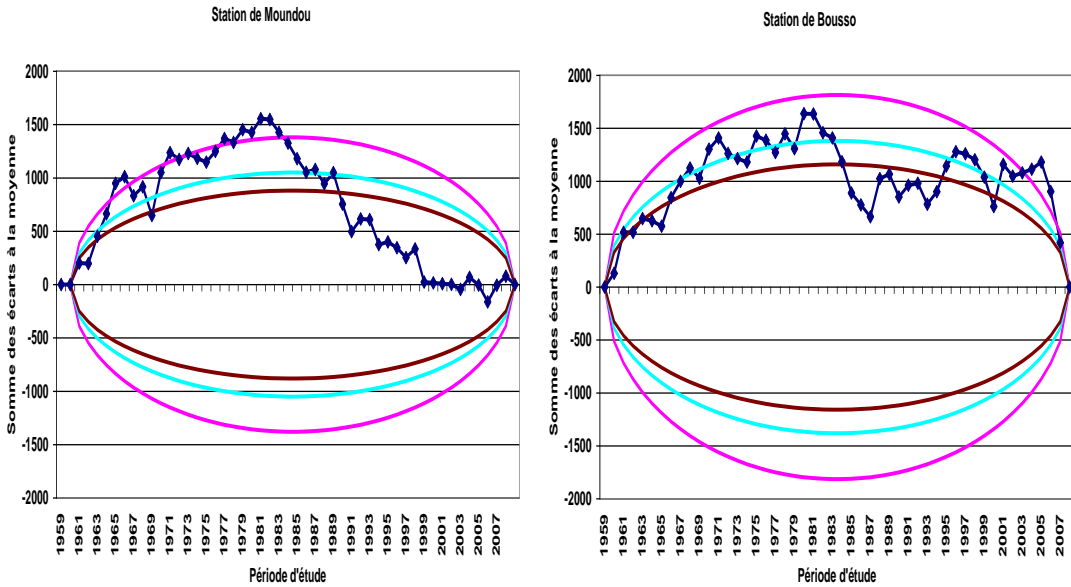
**Tableau 4** : *Années de rupture des séries des données déterminées par la procédure de segmentation de Pierre Hubert*

<b>Station</b>	<b>Années de rupture</b>
<b>Am-Timan</b>	(1960-1968); (1969-2008)
<b>Baibokoum</b>	(1960-1970); (1971-2002)
<b>Bongor</b>	(1960-1977); (1978-2006)
<b>Boussou</b>	(1960-2005); (2006-2008)
<b>Doba</b>	(1960-1970); (1971-2008)
<b>Goré</b>	Pas de rupture
<b>Guelendeng</b>	(1960-1981) ;(1982-2008)
<b>Léré</b>	Pas de rupture
<b>Maro</b>	Pas de rupture
<b>Moundou</b>	(1960-1980); (1981-2008)
<b>Sarh</b>	Pas de rupture

Le test de Buishand appliqué aux séries pluviométriques de Léré, Baibokoum, confirment bien la période normale (**Figure 6**). Pour les stations supposées au Centre de la zone d'étude (Moundou et Boussou), les ruptures ont été détectées aux seuils de confiance de 95% et 90% par le test de Buishand; ce qui est visible sur les ellipses de contrôle (**Figure 7**), on note une rupture très significative au seuil de 95% soit l'année 1980 pour ces deux stations.



**Figure 6 :** *Test de Buishand appliqué aux séries pluviométriques (pas de rupture, période normale) aux stations de Léré et Baïbokoum resp.*



**Figure 7 :** *Test de Buishand appliqué aux séries pluviométriques (rupture en 1980) à Moundou et à Bousso resp.*

#### **IV - CONCLUSION**

Notre étude corrobore avec le sentiment généralement ressenti localement d'une modification du climat relatif à la baisse du régime pluviométrique au Tchad en général et en particulier dans le Sud du Tchad, région de cette étude. Ce sentiment est donc parfaitement fondé. L'évolution historique du SPI a permis de définir avec plus de précision les époques de déficit des précipitations correspondant à des périodes de sécheresse d'intensité modérée (1965-1967 ; 2002-2005) et extrêmement sévère (1980-1987) pendant lesquelles elles sont ressenties sur l'ensemble des stations du Sud du Tchad. Les années exactes de démarrage de ces périodes sèches sont confirmées par la statistique U de Buishand et la segmentation d'Hubert qui détectent les ruptures dans les séries. La sécheresse observée à la fin des années 1970 et au début des années 1980 apparaît, cependant comme la plus significative du point de vue statistique. Si les causes premières d'apparition du phénomène sont, à l'heure actuelle, encore insuffisamment expliquées, et ce même si certaines activités humaines y ont, sans aucun doute, contribué, à cette baisse de la pluviométrie a, bien entendu, des conséquences importantes sur la disponibilité des ressources en eau dans cette région. Il serait important que les politiques en prennent conscience dès à présent pour prendre des mesures d'adaptation adéquates tant dans les textes réglementaires que dans des projets réels appliqués sur le terrain en concertation avec les communautés de base de la région.

#### **REMERCIEMENTS**

*Cet article a été réalisé avec le soutien financier particulier de Centre d'Abdus Salam du centre de Physique Théorique de Trieste (ICTP, Italie) au travers du projet OEA-AC-71.*

#### **RÉFÉRENCES**

- [1] - Beersma, J. J. et Buishand, T. A., 2004: Joint probability of precipitation and discharge deficits in the Netherlands, *Water Resour. Res.*, 40, W12508, doi: 10.1029/2004WR003265.
- [2] - Lloyd-Hughes, B. et Saunders, M. A. 2002: Seasonal prediction of European spring precipitation from El Niño-southern oscillation and local sea-surface temperatures, *International J. Climat.*, 22, 1–14.
- [3] - WMO., 2000: World Meteorological Organization: Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management, Lisboa.



- [4] - Svoboda, M., Le Compte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D., et Stephens, S., 2002: The drought monitor, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1181–1190.
- [5] - McKee TB, Doesken NJ, et Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA: 179-184.
- [6] - Palmer, W.C. 1965: Meteorological drought. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau. [NOAA Library and Information Services Division, Washington, D.C. 20852].
- [7] - Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 34, 113-121.
- [8] - McKee TB, Doesken NJ, et Kleist J., 1995: Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, 233-6.
- [9] - Daniel Lopez N. et al. 2006: Caractérisation à diverses échelles de temps, des séquences de sécheresse dans l'Etat de Chihuahua; sécheresse; 17(4) 467-74.
- [10] - Wu, H., Hayes, M. J., Wilhite, D. A., et Svoboda, M. D., 2005: The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, *International J. Climat.*, 25, 505–520.
- [11] - Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., et Sutera, A., 2003: Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily, *Water Resour. Management*, 17, 273–296.
- [12] - Tsakiris, G. et Vangelis, H., 2004: Towards a drought watch system based on spatial SPI, *Water Resour. Management*, 18, 1–12.
- [13] - Vicente-Serrano S. M. et Lopez-Moreno J. I., 2005: Hydrological response to different time scales of climatological drought: an evaluation of the Standardized Precipitation Index in a mountainous Mediterranean basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 523- 533.
- [14] - Lubès H., Masson J.M., Paturel J.E., et Servat E. 1998: Variabilité climatique et statistique. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci. Eau* 11(3), 383-408.
- [15] - Buishand T.A., 1984: Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *J. Hydrol.*, 73, 51-69.
- [16] - Hubert P., Carbonnel J.P., et Chaouche A., 1989: Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de Afrique de l'Ouest. *J. Hydrol.* 110.
- [17] - Vannitsen S. et Demarée G., 1991 : Détection et modélisation des sécheresses au Sahel. *Hydrol. Continent.*, vol. 6, n° 2, p 155-17.

- [18] - Thom HCS., 1966: Some methods of climatological analysis. WMO Technical Note, n° 81. Geneva : World Meteorological Organization.
- [19] - Young KC., 1992: A three-way model for interpolation for monthly precipitation values. *Mon Weather Rev* 1992; (120): 2561-2569.
- [20] - Daniel Sighomnou., 2004 : Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : Perspective d'évolution des ressources en eau. Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé I. P 150-169.
- [21] - Nicholson, S.E., Some, B., and Kone B., 2000: An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 El Niño and the 1998 la Niña years, *Journal of climate*, 13, 2628-2640.
- [22] - Abdoulaye B., Clobite B. B., Mbanghoguinan A., Issak A., et Laohoté B., 2013 : Variabilité climatiques et ruptures dans les séries de précipitations en République du Tchad, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 21&21, 187-208.
- [23] - Nicholson S.E., 1993. An overview of African rainfall fluctuations of the last decade, *Journal of Climate*, 6, 1463-1466.
- [24] - Sircoulon J., (1984-1985), «la sécheresse en Afrique de l'Ouest», *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, vol. XXI, n° 4, p.75-86.
- [25] - Laraque A., Mahé G., Orange D., Marieu B., 2001: Spatiotemporal variations in hydrological regimes within Central Africa during the XXth century, *J. Hydrol.* 245: 104–117.