

MISE EN ÉVIDENCE DE LA VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE SUR LA PLAINE DU MAYO-KEBBI, SUD-OUEST DU TCHAD

Romain GOUATAINE SEINGUE^{1*} et Laohoté BAOHOUTOU²

¹*Département de Géographie, Ecole Normale Supérieure de Bongor
BP 15 Bongor, Tchad*

²*Université de N'Djamena, Faculté des Lettres et Sciences Humaines,
Département de Géographie, BP 1117 N'Djamena, Tchad*

* Correspondance, e-mail : heritier1986@hotmail.fr

RÉSUMÉ

Le climat est un élément important dans la vie de l'homme. Dans la plaine du Mayo-Kebbi, située en plein domaine soudano-sahélien, le facteur eau est très instable. Cette instabilité pluviométrique est marquée par de fréquentes fluctuations interannuelles et spatiales. La présente étude a pour but principal de mettre en évidence la variabilité pluviométrique pour comprendre son niveau de variation tant interannuelle que spatiale. La méthodologie utilisée repose d'abord sur l'identification des lois statistiques auxquelles obéissent les pluies annuelles, le calcul de la variabilité interannuelle à l'aide de l'indice de Nicholson et la variabilité spatiale des précipitations. Il ressort de cette analyse que la variabilité pluviométrique tant interannuelle que spatiale est réelle sur la plaine du Mayo-Kebbi. Il est utile pour les agriculteurs et les décideurs d'intégrer les mesures adaptatives à ces variabilités pluviométriques pour une amélioration de l'économie globale de la plaine du Mayo-Kebbi.

Mots-clés : *Variabilité pluviométrique, loi statistique, variation interannuelle, variation spatiale, plaine du Mayo-Kebbi.*

ABSTRACT

Description of the variability of rainfall on the plain of mayo-kebbi (south-west of chad)

The climate is a significant element in the life of the man. In the plain of Mayo-Kebbi, located in full Sudano-sahalian field, the factor water is so unstable. This variability of rainfall is marked by frequent interannual and space fluctuations.

Romain GOUATAINE SEINGUE et Laohoté BAOHOUTOU

The purpose of the present study is principal to highlight variability of rainfall to understand its level of variation as well interannual as space. Methodology used rests initially on the identification of the statistical laws which obey the annual rains, the calculation of interannual variability using the index of Nicholson and the space variability of precipitations. It comes out from this analysis which variability of rainfall it as well interannual as space is real on the plain of Mayo-Kebbi. It is useful for the farmers and the decisions to integrate adaptive measurements into these variabilities of rainfall for an improvement of the total economy of the plain of Mayo-Kebbi.

Keywords : *variability of rainfall, statistical law, interannual variation, space variation, plain of Mayo-Kebbi.*

I - INTRODUCTION

Plusieurs études ont montré la forte variabilité et la baisse pluviométrique qui affectent la zone sahéenne et soudanienne depuis la fin des années 60 [1-4]. Cependant, même si les recherches qui tentent de comprendre les mécanismes à l'origine de ce phénomène climatique sont nombreuses et les avancées significatives, le déficit pluviométrique survenu dans un contexte de démographie galopante au Sahel a des répercussions considérables sur la vie de la population. La plaine du Mayo-Kebbi, au sud-ouest du Tchad, n'échappe pas à ce problème. Au Tchad, l'agriculture constitue le fondement de l'économie nationale dans la mesure où elle occupe près de 60% de la population, contribue à l'amélioration de la sécurité alimentaire, assure la fourniture de matières premières à l'agro-industrie (arachide, coton...), absorbe une partie de la production du secteur industriel et semi industriel et de l'artisanat (engrais, pesticides, matériel agricole...), etc. Il devient donc impérieux, pour une planification judicieuse au vu de prises de décisions et mesures adéquates, de mettre en évidence la variabilité pluviométrique. Cette mise en évidence permettra d'adopter des stratégies efficaces pour une meilleure planification.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Présentation de la plaine du Mayo-Kebbi

La plaine du Mayo Kebbi est située au sud-ouest du Tchad, en plein milieu sahélo-soudanien. Elle est comprise entre les 10° et 11° degrés de latitude nord et 15° et 16° de longitude est. Le cours du Logone limite une partie de la zone d'étude à l'ouest et forme la frontière avec la République du Cameroun.

Administrativement, elle appartient à la région du Mayo Kebbi Est et couvre trois départements : le Mayo Lemié, le Mayo Boneye et le Mont Illi. Elle couvre une superficie de 15160 km². La **Figure 1** présente la zone d'étude.

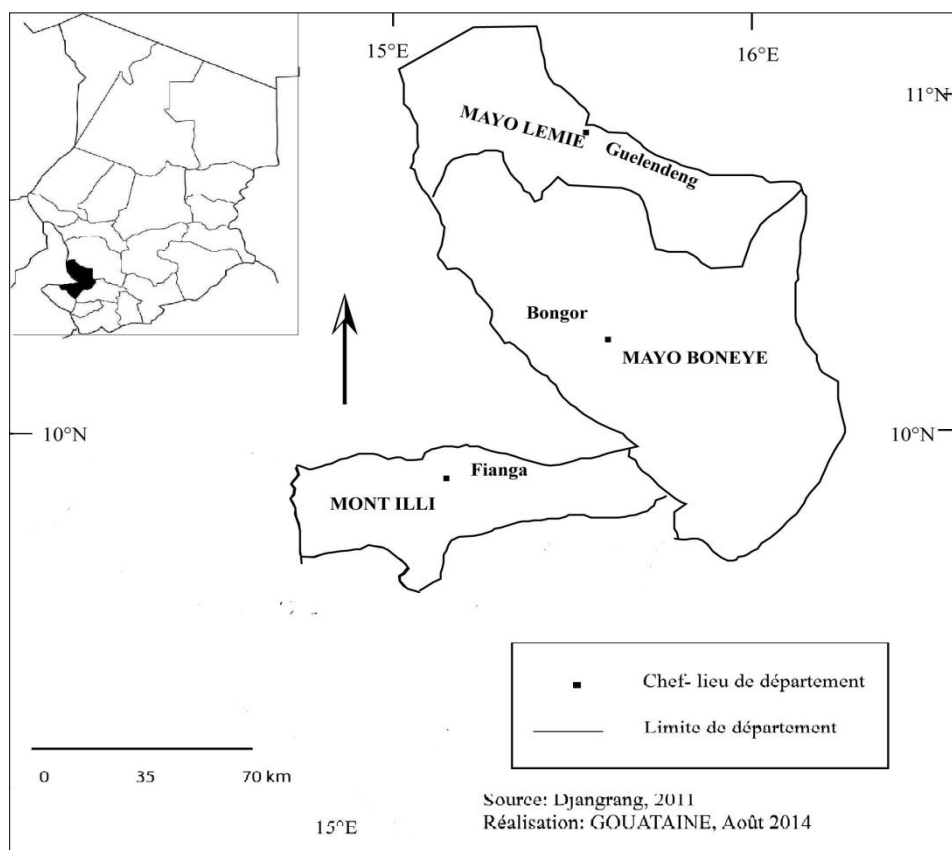


Figure 1 : *Plaine du Mayo-Kebbi*

II-2. Données et matériel

Les données pluviométriques utilisées pour cette étude proviennent de la Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie (DREM). Elles concernent cinq stations à savoir Bongor, Billiam-oursi, Fianga, Guelendeng et Moulkou. Elles concernent les données annuelles sur la période 1980-2009, sauf pour Moulkou dont les données ne datent que de 10 ans. Aussi ont été exploitées les données recueillies par Beauvilain A. (1995) présentant les données mensuelles de la création des stations à 1994 [5]. On trouvera sur le **Tableau 1** la liste des stations retenues pour l'étude. Compte tenu des difficultés d'acquisition des données, les données journalières ne datent que d'une décennie.

Tableau 1 : Liste des stations retenues

Stations	Coordonnées géographiques			Disponibilité des données (période)		
	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Annuelle	Mensuelle	Journalière
Billiam-oursi	15°14'E	10°34'N	318	1980-2009	1980-2009	2000-2013
Moulkou				1980-2009	1980-2009	2000-2013
Bongor	15°22'E	10°17'N	328	1980-2009	1980-2009	2000-2013
Fianga	15°11'E	9°56'N	327	1980-2009	1980-2009	2000-2013
Guelendeng	15°33'E	10°55'N	316	1980-2009	1980-2009	2000-2013

Les analyses pluviométriques ont été faites à partir des logiciels Hydrolab, Instat et Excel pour mieux mettre en exergue la variabilité pluviométrique. La cartographie de la plaine est plutôt faite avec Adobe Illustrator.

II-3. Méthodes

II-3-1. Critique et reconstitution des données manquantes

Différentes techniques existent de nos jours pour vérifier la qualité des données climatologiques recueillies pour une bonne analyse. Pour notre part, nous nous sommes servi d'une macro nommé « HYDROLAB » associé au logiciel EXCEL [6-7]. Le test de fiabilité a commencé par la détection des anomalies contenues dans les relevés pluviométriques mensuels et les cumuls annuels. La technique consiste à prendre deux à deux les postes pluviométriques à appliquer à leur série de mesures la fonction « Anomalie » de cette macro. Pour obtenir des résultats raisonnables, la logique exige que les deux postes aient un rapprochement géographique (même situation latitudinale par exemple) et que l'un devant servir de référence ait des données fiables. Aux résultats, on obtient un graphique présentant dans l'ordre chronologique le cumul des résidus de régression (écarts entre les valeurs observées) dans une ellipse délimitant une aire de probabilité de leur apparition à 98%.

Par ailleurs, le coefficient de corrélation entre les deux postes est donné. L'interprétation de la structure du graphique et les données du tableau qui l'accompagne permettent de juger de la qualité des données en présence. Si les observations sont bonnes, le graphique présente une oscillation régulière des résidus autour de la position centrale 0 (*Figure 3*). Par contre, un grand décalage de pas dans la structure (*Figure 2*) atteste la présence d'une anomalie comme le montre le graphique pour la trentième valeur.

Ces valeurs supposées erronées sont éventuellement signalées par « à vérifier » dans le **Tableau** récapitulatif qui donne les autres renseignements comme le coefficient de corrélation, l'équation de régression.

II-3-2. Choix d'une loi statistique de distribution des précipitations

Après plusieurs essais avec diverses lois statistiques, nous sommes amenés à constater que les séries pluviométriques annuelles dans les régions soudanienne et guinéenne s'ajustent mieux à la loi racine-normale. Cette loi de distribution très apparentée à la loi normale ou loi de Gauss a pour **Expression** :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\mu} e^{-\frac{u^2}{2}} \quad (1)$$

u variable réduite de Gauss est égale à :

$$u = \frac{\sqrt{x} - \overline{\sqrt{x}}}{\sigma \cdot \sqrt{x}} \quad (2)$$

avec: $\overline{\sqrt{x}}$ = la moyenne des racines carrées de la série; $\sigma \cdot \sqrt{x}$ = écart type des racines carrées de la série

La différence entre cette loi et celle de Gauss se situe au niveau des paramètres (moyenne et écart-type) : pour la loi de Gauss, ces paramètres sont ceux des variables tandis que pour la loi racine normale, ces paramètres sont ceux des racines des variables.

II-3-3. Estimation fréquentielle des pluies annuelles et période de retour

L'ajustement à la loi racine normale nous permet d'estimer les fréquences des pluies annuelles de même que les périodes de retour pour certains cas extrêmes. Il s'agit de calculer les lames d'eau quinquennale (de fréquence au non-dépassement 0,20 et 0,80) ; décennale (0,10 et 0,90) ; centennale (0,01 et 0,99) respectivement pour les périodes sèches et humides et la médiane (0,50) afin de mieux expliquer les répartitions annuelles des pluies dans le temps. Cette estimation numérique des pluies fréquentielles peut se faire en appliquant l'équation de la variable réduite de Gauss mais en transformant les séries d'observations en racines carrées suivant la **Formule** ci-après :

$$UF = \frac{\sqrt{Pf} - \overline{\sqrt{P}}}{\sigma \cdot \sqrt{P}} \quad (3)$$

D'où $\sqrt{Pf} = \overline{\sqrt{P}} + UF \times \sigma \cdot \sqrt{P}$ avec

UF = variable réduite de Gauss de fréquence F ;

\sqrt{Pf} = racine carrée des pluies fréquentielles ;

\sqrt{P} = moyenne des racines carrées des pluies annuelles

$\sigma \cdot \sqrt{P}$ = écart-type de racines carrées des pluies annuelles

Les valeurs des variables réduites de Gauss correspondants aux fréquences ci-dessus sont présentées dans le **Tableau** suivant :

Tableau 2 : Fréquences d'estimation des pluies annuelles

Fréquence	Périodes sèches		Périodes humides	
	F	U	F	U
Quinquennale	0.2	-0.84	0.8	0.84
Décennale	0.1	-1.28	0.9	1.28
Médiane (cinquantennale)	0.5	0.00	0.5	0.00
Centennale	0.01	-2.33	0.99	2.33

Il est possible d'évaluer l'intervalle de confiance à $\alpha\%$ sur le quantile PF estimé, c'est-à-dire une zone de valeurs à l'intérieur de laquelle la valeur PF à une certaine probabilité d'apparition. Les bornes de l'intervalle de confiance sont données par la **Relation** approchée :

$$PF = \pm \frac{\frac{t\alpha}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{tF^2}{2}} \pm \frac{tF \times t\alpha^2}{2n}}{1 - \frac{t\alpha^2}{2n}} \times \sigma\rho \quad (4)$$

2 fois plus la borne supérieure et 2 fois moins la borne inférieure avec

$t\alpha$: variable réduite de Gauss ayant la fréquence au dépassement $1 - \frac{1-\alpha}{2}$;
 tF : variable réduite de Gauss au non-dépassement F correspondant au quantile étendue ;
 n : taille de l'échantillon ;
 α : intervalle de confiance (ici de 80%).

II-3-4. Les anomalies centrées-réduites (indice de Nicholson)

A partir de l'écart type, ont été calculées les anomalies centrées réduites [8] pluviométriques interannuelles, en standardisant les données. Les anomalies sur chaque station se calculent par la **Formule** suivante :

$$X'_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma(X)} \quad (5)$$

Où : X'_i = anomalie centrée réduite pour l'année i ; X_i = la valeur de la variable ; \bar{X} = la moyenne de la série ; $\sigma(X)$ = l'écart-type de la série

Le calcul de l'indice pluviométrique standardisé en anglais Standardized Précipitation Index (SPI) permet de déterminer la sévérité de la sécheresse selon différentes classes.

Tableau 3 : Classification du SPI

Classes du SPI	Degré de la sécheresse
SPI >2	Humidité extrême
1 < SPI < 2	Humidité forte
0 < SPI < 1	Humidité modérée
-1 < SPI < 0	Sécheresse modérée
-2 < SPI < -1	Sécheresse forte
SPI < -2	Sécheresse extrême

II-3-5. Détermination de la variabilité spatiale des quantités d'eau recueillies

Pour étudier la répartition spatiale des pluies, nous avons calculé les corrélations entre les stations. La corrélation repose sur des liaisons non rigides entre deux variables ; ces liaisons sont basées sur une dépendance « stochastique » [9]. Les variables concernées ici sont les quantités annuelles d'eau recueillies durant la période d'étude sur l'ensemble de la plaine du Mayo Kebbi. Les corrélations sont établies entre les stations indépendamment de leur localisation spatiale.

II-3-6. Détermination de la droite de régression des éléments du climat à la station

La droite de régression de l'évolution des éléments climatiques est définie d'après l'*Equation* suivante :

$$Y = Ax + b \quad (6)$$

Avec : $A = \text{cov}(x,y)/X^2$, $B = m(y) - am(x)$

A est la pente de la droite de régression par rapport à l'axe des x, ou encore le taux moyen de croissance des précipitations par unité de temps ; B est la coordonnée verticale de l'intersection entre la droite de régression et l'axe des ordonnées y.

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Reconstitution des données

Les *Figures* suivantes présentent le comblement des lacunes entre quelques stations et la reconstitution des données manquantes.

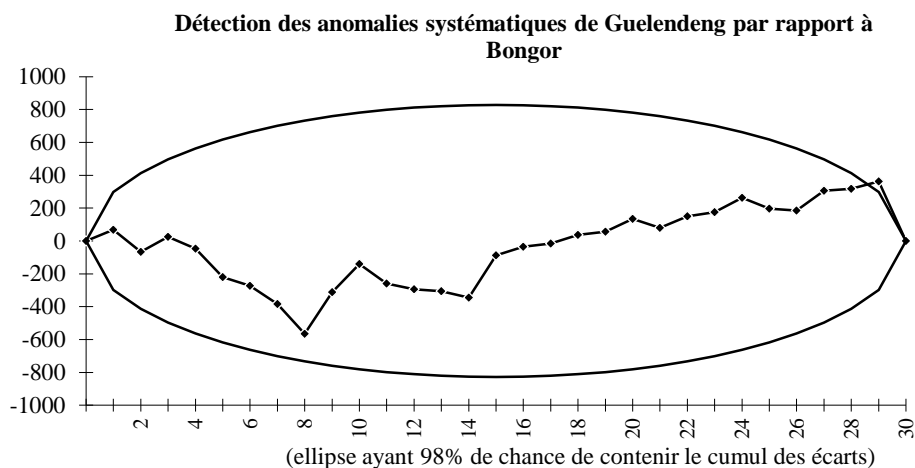


Figure 2 : *Résidus de régression entre Bongor et Guelendeng*

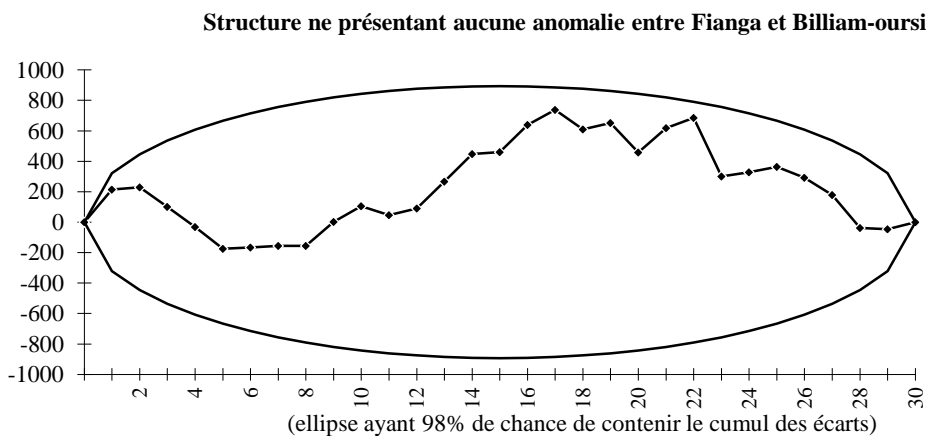


Figure 3 : *Résidus de régression entre Fianga et Billiam-oursi*

Pour reconstituer les données manquantes, nous avons utilisé la méthode de régression linéaire simple car les corrélations entre les stations attestent d'un bon rapprochement des données.

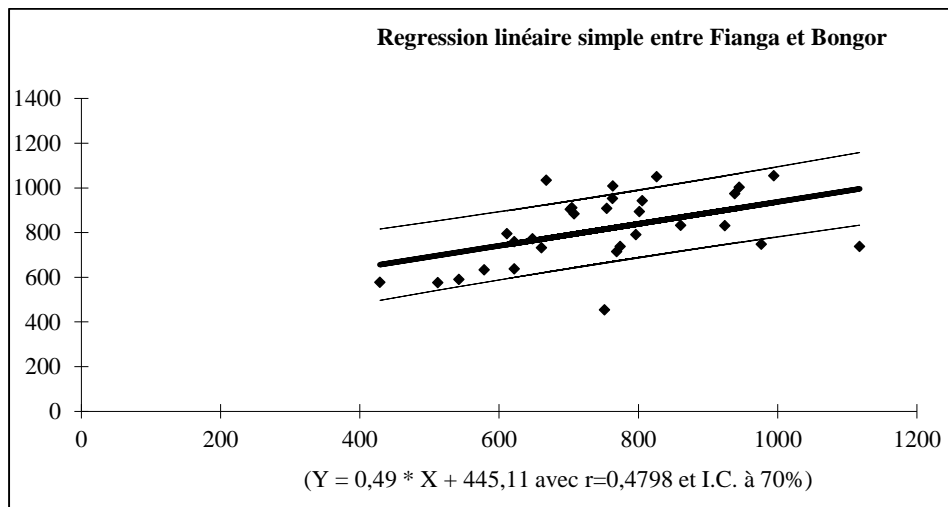


Figure 4 : *Résidus de régression linéaire entre Fianga et Bongor*

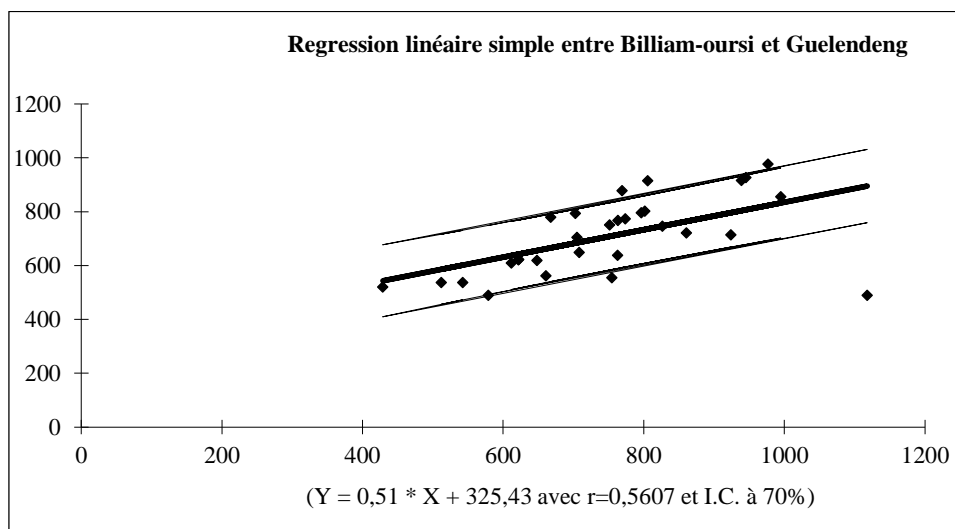
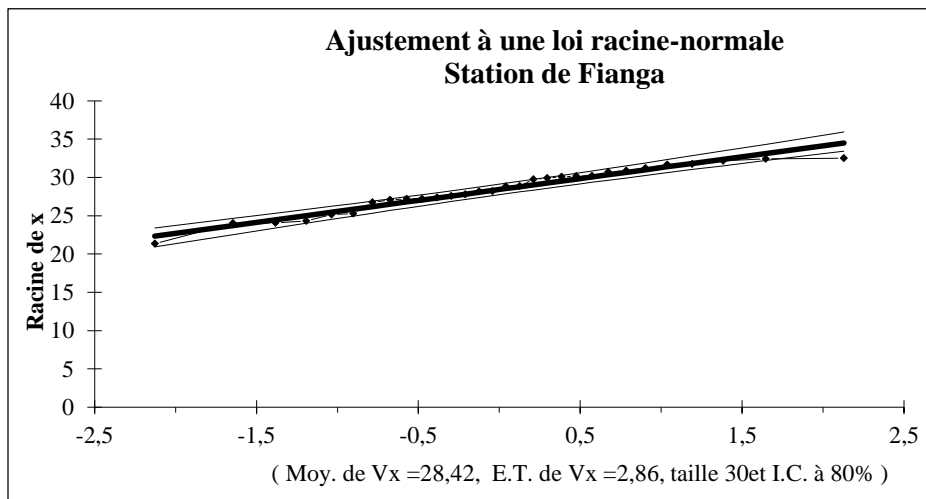
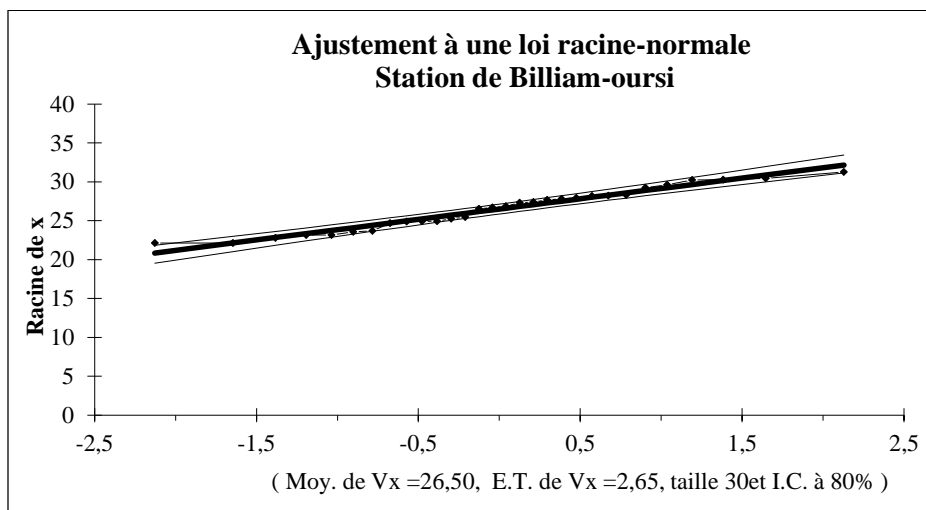
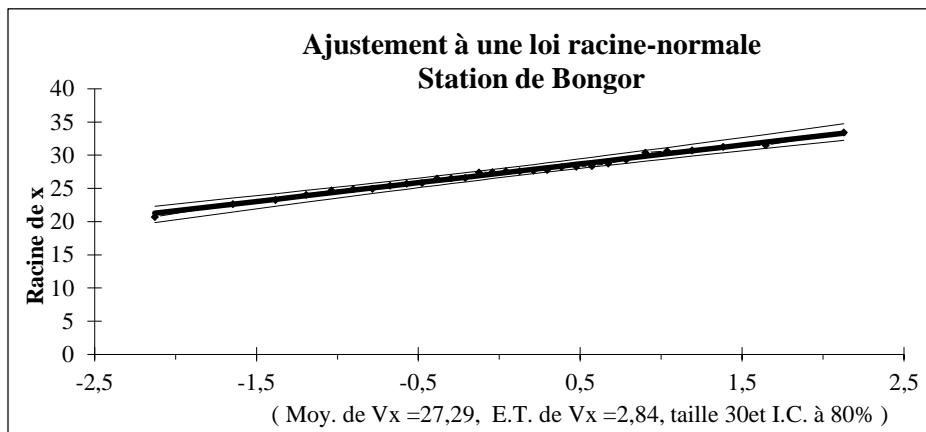


Figure 5 : *Régression linéaire simple entre Billiam-oursi et Guelendeng*

III-2 Loi statistique de distribution

L’ajustement des pluies annuelles à la loi racine-normale donne des résultats satisfaisants. Les *Figures* suivantes présentent pour chaque station, l’ajustement des pluies à cette loi.



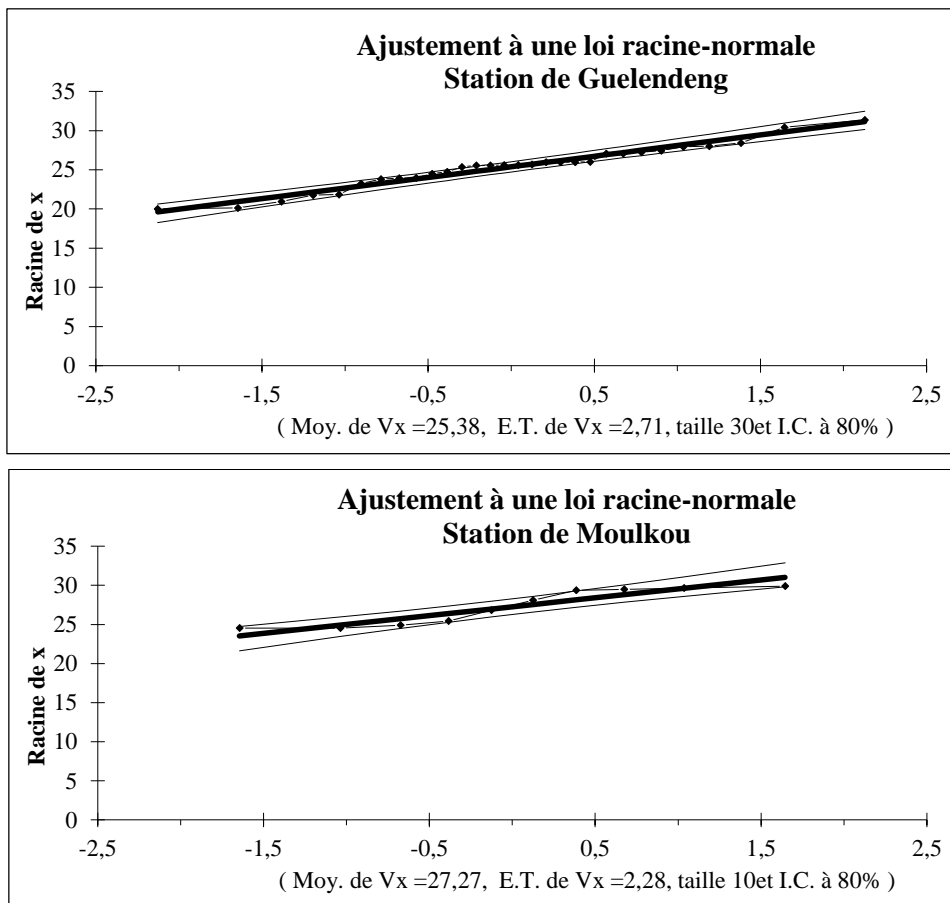


Figure 6 : Ajustement des pluies annuelles à la loi racine-normale

Ces graphiques d’ajustement des pluies annuelles à la loi racine-normale nous renseignent sur :

- la moyenne des racines : pour $u = 0 \Rightarrow x = \bar{x}$;
- l’écart type des racines de la série ; par exemple en prenant $u = 2$ on peut obtenir la variable x par la formule suivante : $x = \bar{x} + 2\sqrt{\bar{x}}$;
- la taille de l’échantillon (nombre d’observations ou de variables), dans notre cas ce nombre n est de 30 puisque nous travaillons sur une série de 30 ans ;
- enfin l’intervalle de confiance (pourcentage de chance pour que la variable soit observée) qui est de 80 %.

L’examen des graphiques laisse apparaître que les points sont approximativement alignés. La droite théorique de cette loi se raccorde aux points expérimentaux. L’intersection avec la fréquence 50%, soit $u = 0$ correspond à la valeur moyenne ou la médiane.

III-3. Estimation des pluies annuelles et période de retour

Les pluies annuelles aux fréquences 0.2 ; 0.1 et 0.01 pour les périodes humides et 0.8 ; 0.9 et 0.99 pour les périodes sèches ont été calculées. Les quantiles estimés, les fréquences et les périodes de retour sont présentés dans les *Tableaux* ci-après :

Tableau 4 : Estimation des pluies à différentes fréquences

Stations	Fréquence de périodes sèches			Médiane	Fréquence de périodes humides		
	0.2	0.1	0.01	0.5	0.8	0.9	0.99
Bongor	620.324	559.728	427.705	744.653	880.331	955.929	1148.914
Billiam-oursi	588.982	533.741	412.905	701.993	824.917	893.261	1067.345
Fianga	676.935	613.046	473.375	807.699	950.002	1029.147	1230.809
Moulkou	643.093	593.260	482.459	743.809	851.849	911.364	1061.507
Guelendeng	533.903	480.226	363.621	644.272	765.003	832.379	1004.649

Tableau 5 : Période de retour des pluies extrêmes

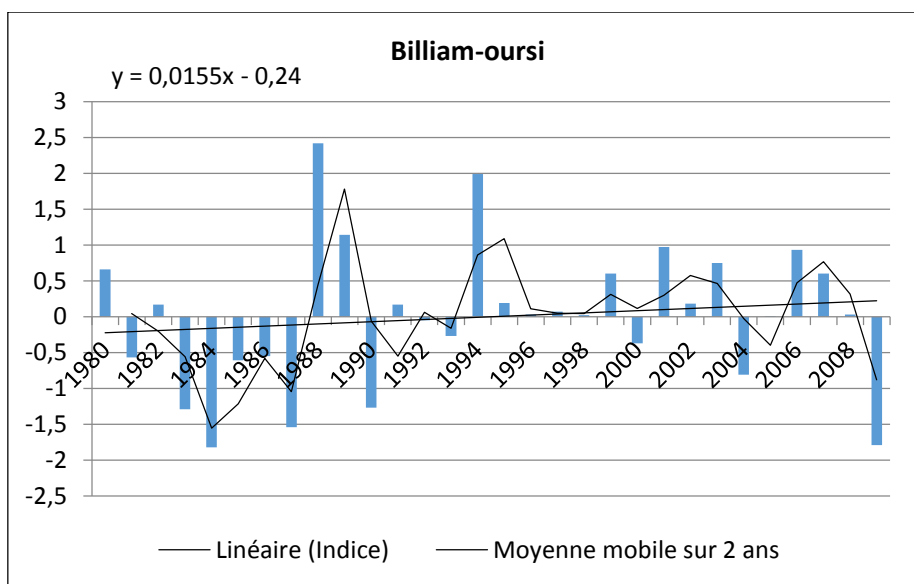
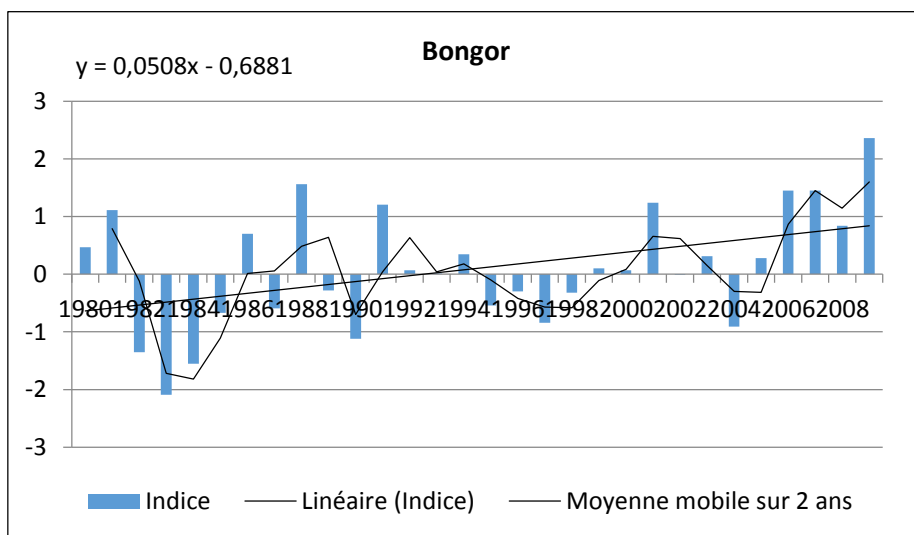
Stations	Pluies annuelles minimales			Pluies annuelles maximales		
	Hauteur (mm)	Année	P. retour	Hauteur (mm)	Année	P. retour
Billiam-oursi	488.9	1990	10	976.8	2007	10
Bongor	428.8	1983	100	1119.7	2009	100
Fianga	455.3	2002	100	1055.7	1988	10
Guelendeng	400.9	1988	10	983.4	1988	10
Moulkou	601.6	2008	5	892.7	2000	10

L'observation du *Tableau 5* nous donne des informations intéressantes. Les stations telles que Bongor et Fianga atteignent au moins une fois les pluies de fréquence centennale, alors que Billiam-oursi et Guelendeng ont atteint les pluies de fréquence décennale en 1990 et 1988. Moulkou est la seule station qui a atteint les pluies de fréquence quinquennale en 2008. Quant aux pluies maximales, la station de Bongor est la seule à atteindre les pluies de fréquence centennale en 2009 avec 1119.7. Les autres stations ont toutes atteint les pluies de fréquence décennale. Ces résultats montrent, d'une manière générale, que les précipitations centennales de période humide sont moins que celles des périodes sèches, telles que souligné par 2 (2007) qui a obtenu des résultats analogues.

III-4 Variabilité interannuelle des précipitations

Les indices pluviométriques (indice de Nicholson) indiquent les anomalies annuelles des précipitations qui peuvent être positives ou négatives. Ils s'expriment sur la base de la moyenne et de l'écart type en suivant la loi normale centré-réduite.

Les stations de la plaine du Mayo Kebbi ont une humidité modérée dans leur ensemble. Toutefois, il existe quelques individualités. A Bongor par exemple, de 1982 à 1985, c’est la période de sécheresse, l’année 1983 s’est démarquée car la sécheresse a été extrême avec un indice de -2,09. Par contre, l’année 2009 s’est révélée plus humide avec un indice de 2,36. La situation n’est pas différente de Billiam-oursi, Moulkou et Guelendeng. Fianga par contre donne un profil un peu différent de l’ensemble. Mise à part les années de sécheresse communes à toutes les stations, l’année 2002 s’est révélée particulièrement sèche avec un indice de -2,27. Les **Figures** suivantes présentent l’indice de Nicholson pour chaque station de la plaine du Mayo Kebbi.



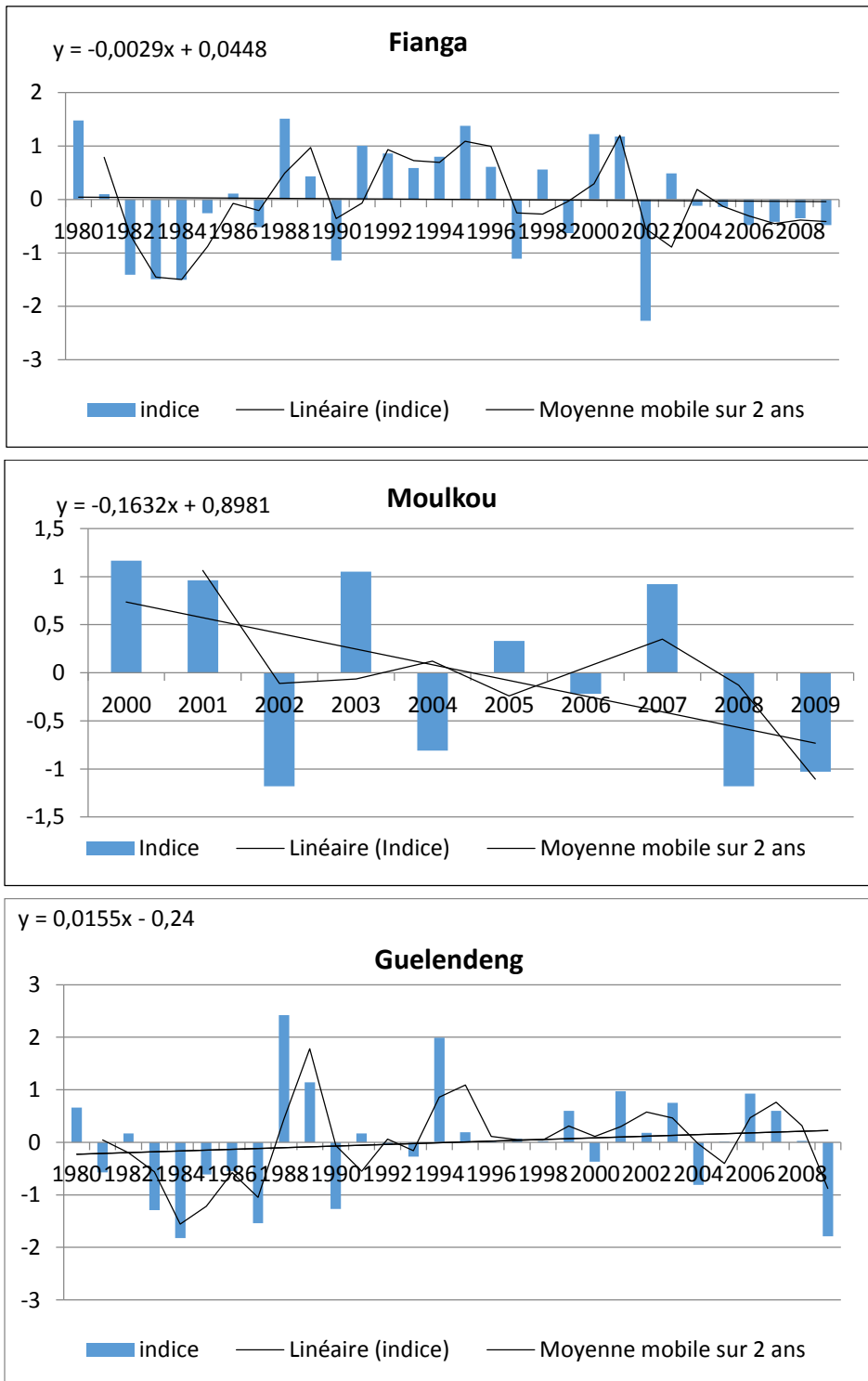


Figure 7 : *Indice pluviométrique standardisé des différentes stations*

L'analyse des tendances donne une image globale de la situation dans la plaine. A Bongor par exemple, la tendance est à l'humidité. La décennie 1980-1989 est sèche comme l'atteste les données en présence et les valeurs de l'indice de Nicholson. La décennie 1990-1999 est stable c'est-à-dire que la variation pluviométrique n'est pas trop marquée ; par contre, la décennie 2000-2009 est humide. L'allure générale de la courbe de tendance atteste de l'humidité de Bongor. La situation de Billiam-oursi et Guelendeng se rapproche davantage de celle de Bongor sauf que la tendance n'est pas très marquée. Moulkou par contre présente une situation différente de celle des autres, les données analysées montrent une tendance à la baisse des quantités pluviométriques. Enfin, la station de Fianga présente une situation presque stable dans le comportement pluviométrique interannuel. Cette **Figure** illustre aussi l'évolution de la pluviométrie dans le temps (1980-2009). On note ici une importante variabilité interannuelle au niveau d'un même site, avec un total pluviométrique annuel qui peut varier par exemple de 400 à 900mm selon les années et une importante variabilité dans l'espace, c'est-à-dire d'un site à l'autre, passant plus de 1117mm à 428.2mm à Bongor.

III-5. Variabilité spatiale des quantités d'eau recueillies

L'étude de la répartition spatiale nous amène à étudier les corrélations entre les stations. La corrélation repose sur des liaisons non rigides entre deux variables ; ces liaisons sont basées sur une dépendance « stochastique ». Les variables concernées ici sont les quantités annuelles d'eau recueillies sur 5 stations (**Tableau 6**). Les corrélations sont établies entre les stations indépendamment de leur localisation spatiale. L'appréciation des liaisons repose sur des valeurs variant entre 0.25 et 0.72.

Tableau 6 : Corrélation entre les stations

	Bongor	Billiam-oursi	Guelendeng	Fianga	Moulkou
Bongor	1				
Billiam-oursi	0.56	1			
Guelendeng	0.36	0.72	1		
Fianga	0.47	0.49	0.48	1	
Moulkou	0.25	0.76	0.50	0.72	1

Les corrélations sont faibles entre certaines stations : c'est le cas des liaisons Bongor-Moulkou (0.25). Elles sont par contre fortes entre les stations suivantes : Billiam-oursi-Guelendeng (0.72), Fianga-Moulkou (0.72). Cette corrélation obéit à la logique de ressemblance dans le comportement pluvieux. Ceci est précisé par [9].

IV - CONCLUSION

Il ressort de notre analyse que la variabilité interannuelle et spatiale de la pluie est un fait réel sur la plaine du Mayo-Kebbi. La recherche d'une loi statistique à laquelle obéissent les données pluviométriques annuelles permet ainsi d'avoir les éléments essentiels pour les autres manipulations statistiques. L'indice pluviométrique standardisé, calculé sur une période de 30 ans a permis de mieux apprécier cette variabilité. Il ressort que la décennie 1980-1989 est globalement sèche par rapport aux deux (2) autres décennies. La variabilité prise à l'échelle annuelle montre une forte fluctuation interannuelle, entraînant à des années de sécheresse tout comme des années humides. Le calcul de la variabilité spatiale des quantités d'eau recueillies atteste que cette variabilité est non seulement interannuelle, mais aussi spatiale, puisqu'elle change d'une station à une autre. Cette variabilité entraîne des conséquences non seulement sur les ressources en eau mais aussi sur la production agricole. Il est important que les décideurs prennent en compte ces fortes fluctuations afin de proposer des stratégies adaptés.

REFERENCES

- [1] - L. BAOHOUTOU, Les précipitations en zone soudanienne tchadienne durant les 4 dernières décennies, variabilité et impact, Thèse de doctorat, Université de Nice, (2007), 231p.
- [2] - E. W. VISSIN, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne (2007), 310 p.
- [3] - B. ABDOULAYE, B. B. CLOBITE, A. MBANGHOGUINAN, A. ISSAK, L. BAOHOUTOU, Variabilités climatiques et ruptures dans les séries de précipitations en République du Tchad, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 21 (2013), 187-208.
- [4] - B. ABDOULAYE, B. B. CLOBITE, A. MBANGHOGUINAN, A. ISSAK, L. BAOHOUTOU, Impact de la variabilité pluviométrique et de la sécheresse au sud du Tchad : effets du changement climatique, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 23 (2014), 13-30.
- [5] - A. BEAUVILAIN, Tableau de la pluviométrie dans les bassins du Tchad et de la Bénoué (de la création des stations à décembre 1994), CNAR (1995), République du Tchad.

- [6] - J-P. LABORDE, Eléments d'hydrologie de surface, support de cours, Université de Nice-Sophia-Antipolis, (1998), 202 pages.
- [7] - J-P. LABORDE, N. MOUHOUS, Notice d'utilisation du logiciel Hydrolab, Université de Nice-Sophia-Antipolis (1998), 43 pages
- [8] - R. GOUATAINE SEINGUE, Le rendement de la culture du riz pluvial à Bongor : analyse des contraintes et stratégies d'adaptation, Mémoire de Master, Université de N'Gaoundéré (2010), 140 pages.
- [9] - BRING, Evaluation des ressources en eau atmosphérique au Nord Cameroun à l'aide des méthodes conventionnelles et satellitaires, Thèse de doctorat, Université de Ngaoundéré (2005), 358 p.