

## Variabilité des séries pluviométriques du bassin versant de la Seybouse du Nord Est-Algérien.

### Variability of rainfall series of Seybouse watershed of North-East of Algeria

Belkacem Balah\* & Hocine Amarchi

Département d'hydraulique, Université Badji Mokhtar, B.P 12, 23000, Annaba, Algérie.

Soumis le :19/04/2015

Révisé le :06/01/2016

Accepté le :12/01/2016

#### المخلص

إن الحوض الهيدرولوجي لسببوس عرف تغير مناخي بالأخص في طبيعة الأمطار المتساقطة خلال الفترة الممتدة ما بين 1946 إلى غاية 2009 ويتجلى هذا الأخير بوضوح من خلال اختبارات كشف الانقطاعات التي تم تطبيقها على السلاسل الزمنية للأمطار لسنوات متعددة. تمت دراسة و تحليل 24 محطة قياس الأمطار تابعة للوكالة الوطنية للموارد المائية و الديوان الوطني للأرصاد الجوية للجزائر. النتائج المتحصل عليها من خلال هذه الدراسة تبين عدم ثبات السلاسل الزمنية للأمطار المدروسة و تضع في الواجهة فرضية توسع المنطقة الشمالية للتقارب بين الأقاليم المدارية و هذا من منطلق عدم استقرار تساقط كميات الأمطار المدروسة. إن اختبارات Pettit, Von Neumann, Buishand (1982-1984) و اختبار معامل kendall تظهر الانقطاعات في جميع السلاسل الزمنية للأمطار بالأخص في المنطقة الشمالية الشرقية للحوض. على العكس بالنسبة للجهة الجنوبية التي تبين أن الانقطاعات فيها متوسطة. إن اختبار معامل Kendall يبين أن 56% من مجمل محطات قياس الأمطار لها ميول إلى الزيادة في ظل فرضية العدم للعتبة 2, 5, و 10%. الفارق بين القيمة المتوسطة (7.28) القصوى و القيمة المتوسطة الدنيا (0.71) لكمية الأمطار المتساقطة الشهرية مسجلة في شهر جويلية قدر ب 88.05%.

الكلمات المفتاحية: التغير - الأمطار - الاختبار - الاستقرار - الميل

#### Résumé

Le bassin versant de la Seybouse a connu une variabilité climatique notamment pluviométrique de 1946 à 2009 qui été mise en évidence par des tests de détection de rupture appliqués aux séries des pluies pluri annuelles. Vingt quatre (24) postes pluviométriques de l'agence nationale des ressources hydriques et de l'office national de la météorologie d'Alger ont été analysés. Les résultats obtenus indiquent le non stationnarité des séries des pluies étudiées et mettent en relief l'hypothèse de l'expansion de la partie Nord de la zone de convergence intertropicale traduite par l'instabilité des pluies étudiées. Les tests de Pettitt, de Von Neumann, de Buishand (1982-1984) et les test des rangs de kendall marquent des ruptures sur toutes les séries des pluies, majoritairement sur le Nord- Est du bassin. Contrairement à la partie Sud qui est moyenne, le test de rang de kendall indique que 56% d'ensemble des stations ont une tendance à la hausse sous l'hypothèse nulle pour des seuils de 2, 5 et 10%. L'écart entre la plus forte valeur moyenne maximale (7.28) et la moyenne minimale (0.71) des pluies mensuelles est enregistré pour le mois de Juillet avec 88.05%.

**Mots clé :** variabilité- pluviométrie- test- stationnarité- tendance.

#### Abstract

Seybouse Watershed is subject to climate changes especially rainfalls from 1946 to 2009 which was highlighted by breakage detection tests applied to the annual multi-rain series. Twenty four rainfall stations of the National Agency of Water Resources and Meteorological administration in Algeria were analyzed. The purpose of the present paper is to study the rainfall variability. The results indicate the non-stationary rainfall series studied and to face the hypothesis of the expansion of the northern part of the inter-tropical convergence zone resulting in instability of the studied rainfall. Pettitt, Von Neumann, Buishand, and Kendall tests observe the rupture on all series of rains, mainly on the North East basin. In contrast, in the southern part Kendall test indicates that 56% of all stations have a tendency to increase under the null hypothesis for threshold of 2,5 and 10%. The gap between the highest maximum average value (7,28) and the minimal average value (0,71) of monthly rainfall is recorded on July with 88,05%.

**Keywords :** variability- rainfall- test- stationnarity- trend.

\* auteur correspondant : balahbelkacem@hotmail.fr

## 1. INTRODUCTION

Le climat de notre planète répond bien aux variations saisonnières de l'insolation dues aux petites modifications de l'orbite que la terre décrit autour du soleil [1]. Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé [2]. Il est sous l'influence des circulations atmosphériques. Les circulations atmosphériques les plus importantes sont la dépression d'Islande et les dépressions méditerranéennes [3]. L'Algérie fait partie des pays semi-arides les plus exposés au phénomène de changement climatique [4,5]. Le pays a subi des période de sécheresses très sévères avec des augmentations de la température moyenne annuelle variant de 0.65 à 1.45°C entre 1970 et 2004, une moyenne comparable à la hausse moyenne planétaire observée sur la période 1906–2005 [4, 6, 7].

Ainsi, l'Algérie est passée depuis les 30 dernières années à un déficit hydrique sévère et persistant sur plusieurs années, issu d'un déficit pluviométrique évalué à 30% (FAO 2008). Cette sécheresse météorologique serait la principale source de tous les problèmes socioéconomiques dans la région, ayant évolué depuis le siècle dernier d'une fréquence tous les dix ans à des fréquences très rapprochées depuis 1975 de l'ordre de six années durant dix ans (FAO 2008) [4]. Dans la littérature scientifique, les changements climatiques sont généralement définis comme les perturbations à long terme, des paramètres climatiques habituels tels les températures, les précipitations, les vents etc. caractérisent une région de la terre [8]. Diverses études climatiques particulièrement sur des pluies en Afrique, en région Méditerranéenne (Franquin 1969 et al) [3] et en Algérie [9, 10, 11] se sont intéressées à l'évolution des pluies aux échelles de temps mensuelles et annuelles en vue d'une modélisation hydrométéorologique de cette variable. Cette modélisation a pour but majeur la détection de changement climatique précisément pluviométrique.

Nous présentons dans ce travail les différents modes de variabilité des pluies interannuelles sur le bassin versant de la Seybouse, la modélisation, la stationnarité et la régionalisation des tendances.

## 2. CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

Le secteur d'étude est le bassin versant de la Seybouse de l'Est Algérien, couvrent au total environ de 0.288 % de la superficie de l'Algérie, Il s'étend entre les longitudes 6°48'W et 7°59'E, et les latitudes 35°53' Sud et 36°57' Nord. Ce secteur englobe 68 communes dont 30 sont entièrement incluses (Fig. 3).

Le bassin versant prend sa source dans les hautes plaines des Sellaoua et Haracta, et finit dans la plaine littorale d'Annaba trouvant dans la direction Nord pour se jeter à 0.00m NGA d'altitude dans le point Sidi Salem.

Les séries pluviométriques de l'ensemble des stations du bassin versant présentent des lacunes à l'échelle mensuelle et annuelle. Nous reconstituons par extrapolation les données manquantes dans les stations pourvues de lacunes aux niveaux des valeurs mensuelles des séries puis annuelles [3]. Pour admettre un coefficient de corrélation à l'extension des séries de pluie mensuelles des stations discontinues, des matrices présentant des coefficients de corrélations de toutes les stations pluviométriques et hydrométriques prise deux à deux à l'échelle mensuelle sont définies. A partir des stations de base (homogènes et continues) déjà choisies nous avons comblé toutes les lacunes à l'échelle mensuelle et annuelle [12, 13]. Pour combler sans erreurs majeures les lacunes des séries, la valeur manquante sont remplacées par une moyenne pondérée [12].

Le tableau 1 affiche quelques spécificités du couple mois par mois à savoir, les valeurs minimales et maximales des coefficients de corrélations et ainsi le pourcentage des couples qui présentent une très bonne corrélation ( $r > 0.80$ ); l'absence de corrélation n'implique pas une absence de dépendance [14]. En ce qui concerne les pluies mensuelles de l'ensemble des stations qui couvrent la période 1946 à 2009 de la zone mise en question, les périodes communes mensuelles sont représentées dans le tableau 1.

Tableau. 1 Caractérisation de dépendance mois par mois des stations de la zone d'étude

mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Maï	Juin	Juil	Aou
Période commune	80/9 8	80/9 8	83/9 8	80/9 8	80/9 8	80/9 8	80/9 7	85/9 7	80/9 8	80/9 8	80/9 8	79/9 8
Nombre de couple de station	108	143	143	117	108	144	143	95	48	130	140	66
r (min)	0.01	0.02	0.00 6	0.02	0.03	0.05	0.02	0.06	0.06	0.04	0.02	0.02
r (max)	0.81	0.92	0.94 0	0.96	0.94	0.96	0.92	0.96	0.92	0.90	0.94	0.80
% des valeurs de r > 0,80	0.92	7.00	20.2 8	29.0 5	6.48	18.7 5	25.1 7	24.2 1	25.0	7.69	6.42	1.51

La quantité d'information retenue varie beaucoup d'un poste pluviométrique à un autre, et est assez homogène. Sur ces stations, nous disposons d'enregistrements et observations dont la taille variant de 18 à 57 ans. La densité de ces stations n'est pas uniforme en allant du Nord au Sud. La dépendance des pluies pluriannuelle avec l'altitude des stations pluviométriques ou météorologiques est assez forte ( $r = 0.546$ ) mais dans le sens négatif. Plus la cote des postes pluviométriques est importante, plus l'intensité des pluies est faible. Cette remarque est opposée à la première approche concernant la répartition spatiale des pluies en Algérie [15].

Les diagrammes quantiles- quantiles des pluies pluriannuelles de l'ensemble des stations présentent dans une grande partie une adéquation avec la loi normale qui représente une confirmation avec d'autres travaux réalisés au niveau de divers instituts (IHFR, ANRH...) [15]. Ces études ont montré que la loi normale ajuste bien les séries pluviométriques du Nord de l'Algérie. Il y a lieu de noter que d'après Laborde *et al.* [16], la distribution des pluies annuelles en Algérie présente une dissymétrie positive et la loi racine normale a donnée les meilleurs ajustements pour la détermination des quantiles [16]. Sur les 24 stations pluviométriques, six stations s'adaptent mieux à la loi log normale telles que les stations de Bordj Sabath, El Karma, Machroha, Kef Mourad, Bouhadjar et Berrahal qui représentent au total 25%. Par ailleurs, 75% s'adapte mieux à la loi normale. Sur l'ensemble des diagrammes quantiles- quantiles quelques points sont éloignés de la bissectrice et

©UBMA - 2016

n'envisagent pas un rejet de la loi d'ajustement.

### 3. METHODES ET RESULTATS D'ANALYSE DES STATIONS PLUVIOMETRIQUE ET METEOROLOGIQUE

Les chroniques pluviométriques et hydrométriques sont issues respectivement de l'agence nationale des ressources hydrauliques de Constantine et d'Alger du Ministère des ressources en eau et de l'office national de la météorologie d'Alger, du Ministère des transports au pas de temps mensuel. Aucun choix particulier n'a été envisagé sur les stations qui ont été sélectionnées, la seule particularité est la taille des enregistrements pluviométriques disponibles et de leurs positions géographiques sur le territoire du bassin versant de la Seybouse.

Le territoire de bassin compte 18 postes pluviométriques qui correspondent à un poste pour 286 km<sup>2</sup> et 06 postes sur le pourtour extérieur. Vue la faible densité des postes pluviométrique, nous retenons tous les postes disponibles à l'exception des deux stations de Tamlouka et de Ain Abid (Fig. 3).

#### 3.1. Variabilité pluviométrique

La première étape consiste à vérifier le caractère aléatoire (sous l'hypothèse nulle  $H_0$  au niveau de signification  $\alpha = 5\%$ ) des séries des pluies pluriannuelles. Pour cela, nous utilisons le test de Box- Pièce proposé par le logiciel Statgraphics.

Les résultats obtenus montrent que toutes les séries de la zone d'étude acceptent l'hypothèse de nullité  $H_0$  dans un intervalle de confiance de 95% à l'exception de la station de Bouchegouf qui est dépourvue de caractère aléatoire (accepte l'hypothèse alternative  $H_1$ ).

La notion de variabilité interne désigne en générale la variabilité des estimations de certains paramètres de la variable de distribution éventuellement évolués sur de longues périodes de temps [17]. L'étude de la variabilité pluviométrique est analysée par rapport aux valeurs centrales ou normales, qui sous-entendent l'idée de fixité du climat. La variabilité peut être due à des processus internes ou processus externe. La forte variabilité inter mensuelle, des précipitations, apparaît à travers les valeurs élevées des coefficients de variation mensuelle. Les plus fortes valeurs concernent la saison d'été là où les valeurs des coefficients de variations varient et dépassent l'unité (1.24 à 3.39) à l'échelle d'espace du bassin versant étudié. Signalons que le mois de Juillet présente le mois le plus intense en matière de variabilité pluviométrique, contrairement aux faibles valeurs concernant la saison d'hivers qui sont inférieures à l'unité 0.54. Les valeurs maximale et minimale de l'écart type sont situées respectivement au mois de Novembre et de Juillet avec 225.38mm et 2,45mm. Par ailleurs, le mois qui domine l'ensemble des valeurs minimales est le mois de Juillet avec (87.5%), contrairement au mois qui domine l'ensemble des valeurs maximales qui sont celles de Novembre avec (79.2%). Signalons que l'écart entre ces dernières quantités n'est pas significatif. Il représente un écart trimestriel au passage de la saison estivale à la saison d'automne.

### 3.2. Analyse géostatistique de la pluviométrie

La base de synthèse de la modélisation de ce travail dont le but est l'analyse de la variabilité spatiale des pluies est le contexte géostatistique en considérant, la pluviométrie comme un objet individuel de base de la modélisation. Le variogramme est couramment utilisé pour analyser la dépendance spatiale d'observations [18]. La cartographie constitue le moyen le plus adapté pour une bonne représentation spatiale des pluies. On étudie généralement le comportement du variogramme au voisinage de l'origine (effet de pépité), et à l'infini (portée, palier). Le comportement du variogramme, à l'origine, traduit le degré de continuité et de

régularité spatiale de la variable régionalisée à petite échelle. Pour les besoins de l'étude, le programme Hydrolab pour estimer la variogramme expérimental est utilisé.

### 3.3. Méthodologie de construction d'un variogramme

On peut classer les variogrammes habituels selon les types suivants : fonctions intrinsèques de comportement parabolique à l'origine ; fonction intrinsèque de comportement à une tangente oblique à l'origine ; cas des variables purement aléatoires [19]. La valeur d'un point du variogramme est la moyenne sur leur champ infini de l'accroissement quadratique.

$$2g(h) = \frac{1}{S} \int_{(s)} [f(x+h) - f(x)]^2 dx \quad (1)$$

Lorsque  $g(h)$  est petit, l'influence du point est fort sur ses voisins, par contre lorsqu'il est grand, les valeurs deviennent indépendantes.

A l'aide du programme Hydrolab, on a aboutit à un modèle admissible positif et le nombre de couple pour la construction du variogramme expérimental du bassin versant de la Seybouse pour des pluies interannuelles allant de 1946 à 2010 est de 276 couples (supérieure à 30 paires) avec une distance maximale absolue de 115.0042km et une distance maximale dans l'Azimute Nord de 57.25km avec un pas de 2.9km. Par ailleurs, la tolérance dans la même direction est de 90°.

Le variogramme montre qu'il y a isotopie dans les paramètres des séries des pluies interannuelles et qu'il y'a un seul palier dans sa grandeur de 16572(mm) qui suggère à la présence d'une seule structure de variabilité spatiale, ponctuelle et non pas régionale [20]. Le tableau 2 donne les résultats du variogramme avant et après le calage pour différents types de modèles.

Tableau 2 calage des paramètres de modèles d'un variogramme expérimental

Type de modèle	Pépite	Palier (mm)		Porté (km)	Erreur type	
		avant le calage	après le calage		Avant calage	Après calage
linéaire	0	29020.46	16897	58	9976.41	6420.77467
Sphérique	0	29020.46	14210	58	12647.10	6386.48007
Exponentiel	0	29020.46	13363	58	13729.72	6716.91016
gaussien	0	29020.46	16572	58	10183.84	6368.67394

Pour le calage du modèle, on cherche à déterminer les paramètres par tâtonnement des différents paramètres de modèle de variogramme qui nous donne une erreur type minimale entre les données calculées et observées. Après le calage, il convient de tester les trois paramètres de modèle tel que la pépite, le palier et la portée à savoir le modèle linéaire, sphérique, exponentiel et Gaussien. L'examen du tableau 2 montre clairement que le modèle Gaussien est le mieux adapté pour caractériser les pluies interannuelles du bassin versant à cause de la faible erreur type dans sa grandeur qui est de 6368.67394, soit sensiblement inférieure juste devant le modèle sphérique qui est de 6386,48007. Le variogramme peut être représenté par la fonction suivante :

$$\gamma(h) = 16572(1 - e^{-\frac{1.732h}{58}}) \text{ (mm).} \quad (2)$$

Après le calage du variogramme, nous aboutissons au traçage du diagramme de la figure 1.

On peut noter que ce variogramme ne présente pas un effet de pépite et qu'il présente une portée élevée avec une montée très lente et arrondie. Le variogramme atteint 50% de son palier pour une distance d'environ de 16km. Ce résultat semble intéressant car il témoigne de la forte variabilité spatiale des champs de pluie. Le modèle théorique passe loin des nuages des points du modèle expérimental ce qui justifie les erreurs importantes constatées.

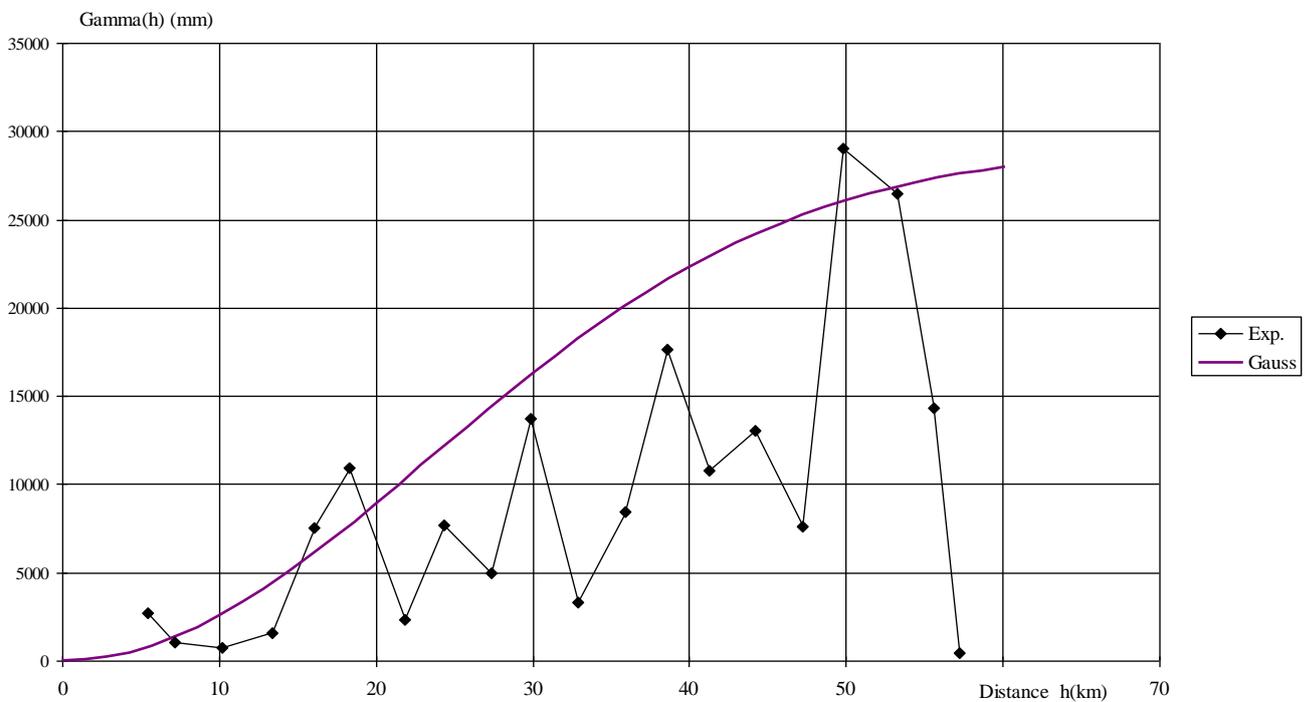


Figure. 1 Variogramme de type gaussien des pluies inter annuelles dans la direction Nord-Sud

### 3.4 Cartographie d'analyses pluviométriques temporelles

En vue d'apprécier l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années, la méthode de l'indice pluviométrique de Nocchiolson a été appliquée. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires bien adaptées au suivi des variations de la pluviométrie. Nous avons utilisé des données qui s'étendent sur une période connue de chaque station pluviométrique [21, 22].

$$I = \frac{P_i - P_m}{\sigma} \quad (3)$$

$P_i$  est la valeur de la pluviométrie annuelle de l'année  $i$ .

$P_m$  et  $\sigma$  représentent respectivement les valeurs moyennes interannuelles de la pluviométrie et l'écart-type sur la période étudiée. Le calcul de cet indice permet de déterminer le degré d'humidité ou de sécheresse du milieu [23]. La représentation cartographique des indices pluviométriques interannuels, calculés par an sur la période de traitement, traduit l'évolution dans l'espace de la variable centrée réduite étudiée, tout en soulignant les zones tantôt déficitaires. L'orientation vers le Nord est prise en considération comme paramètre essentiel de l'ensemble des postes pluviométriques c'est-à-dire en rangeant les stations par latitude croissante (du Sud vers le Nord) en tenant compte des coordonnées de chaque poste particulièrement de l'ordonnée ( $Y$ ) pour voir et justifier l'effet de la Mer méditerranéenne. L'échelle de représentation étant non linéaire, l'ensemble des résultats sont schématisés sur la figure 2 (a-b-c-d-e-f). L'analyse de l'indice centré réduite de la pluviométrie d'ensemble des stations pluviométriques alliées avec le site web [24] avec des classifications en étage climatique sur des différentes périodes ont permis de déduire les résultats suivantes :

a) avant la période 1972, la majorité des stations pluviométriques découvrent l'existence d'un déficit pluviométrique intense notable, nettement touché toute une grande partie du bassin versant, particulièrement, focalisée surtout sur la zone de Berriche et de

Bouchagouf sur une vaste période déficitaire allant de 1962 à 1971. Ceci s'expliquerait par une forte sécheresse ( $-2 < I < -1$ ). La pluviosité de la zone de Berriche sur la période de 1965 à 1969 est inférieure à 100mm. Cette zone est classée dans un étage saharien en plus de la zone de Ain Barda sur la période 54/62 qui est touchée par une extrême sécheresse ( $I < -2$ ) située dans un étage bioclimatique semi aride, et en fin la zone de Ain Makhlouf sur l'année 65 qui est touchée par une sécheresse modérée ( $-1 < I < 0$ ).

b) sur la période 72/2007 nous remarquons que toutes les courbes ont les mêmes formes, ma même harmonie et concordent entre elles avec de faibles différences dans le sens, soit déficitaire soit excédentaire. Cette alternance de période sèche et humide est causée par l'altitude des postes pluviométriques par rapport au niveau de la mer qui est l'une des spécificités des pluies en Algérie. D'autres remarques, à la même période, montrent que 17% du nombre de stations pluviométriques indiquent un étage bioclimatique saharien, telle que les stations de Berriche, Ain Settara, Cheikh Rabah et Djbal Reghis, 96% un étage bioclimatique semi aride, 88% un étage aride, 75% un étage bioclimatique sub humide, 46% un étage bioclimatique humide et 12% de nombre de postes pluviométriques un étage bioclimatique hyper humide qui se localise des les zones couvertes par les stations de Bouatti Mahmoud, Machroha et El Karma.

c) l'année 2001 est marquée par une sécheresse extrême qui touche toute la superficie du bassin versant sans exception avec sa périphérie dans son caractère très marqué dans le Nord (station de Berriche) avec un indice descendant jusqu'à -2,39 (station de Bouatti Mahmoud). Il apparaît que 41% des stations pluviométriques sont classées dans l'étage semi aride et le reste des stations dans l'étage aride.

d) l'année 2003 est marquée par un caractère excédentaire de la pluviométrie qui touche l'ensemble de la zone étudiée. La station de Machroha est située sur l'étage hyper humidité. Ainsi 43% des stations pluviométriques du bassin étudié sont sur l'étage humide, 24% des stations sur l'étage sub humide et le reste des stations sur l'étage semi aride. Nous remarquons des alternances entre les périodes déficitaires et excédentaires, c'est-à-dire alternance entre humidité/sécheresse modérée ( $-1 < I < 1$ ). Cette variabilité temporelle des

pluies sur le bassin confirme l'hypothèse de l'expansion de la partie Nord de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) qui se traduit par l'instabilité des pluies pluri annuelles du bassin. Cette instabilité des pluies confirme l'adéquation avec la pluie Africaine [25]. D'une manière générale, toute variabilité

pluviométrique au niveau du bassin versant de la Seybouse s'explique par l'instabilité atmosphérique et l'influence des facteurs planétaires ajoutant les facteurs régionaux et locaux en dépendance avec l'extension et la modification de la cellule de Hadley [26, 27].

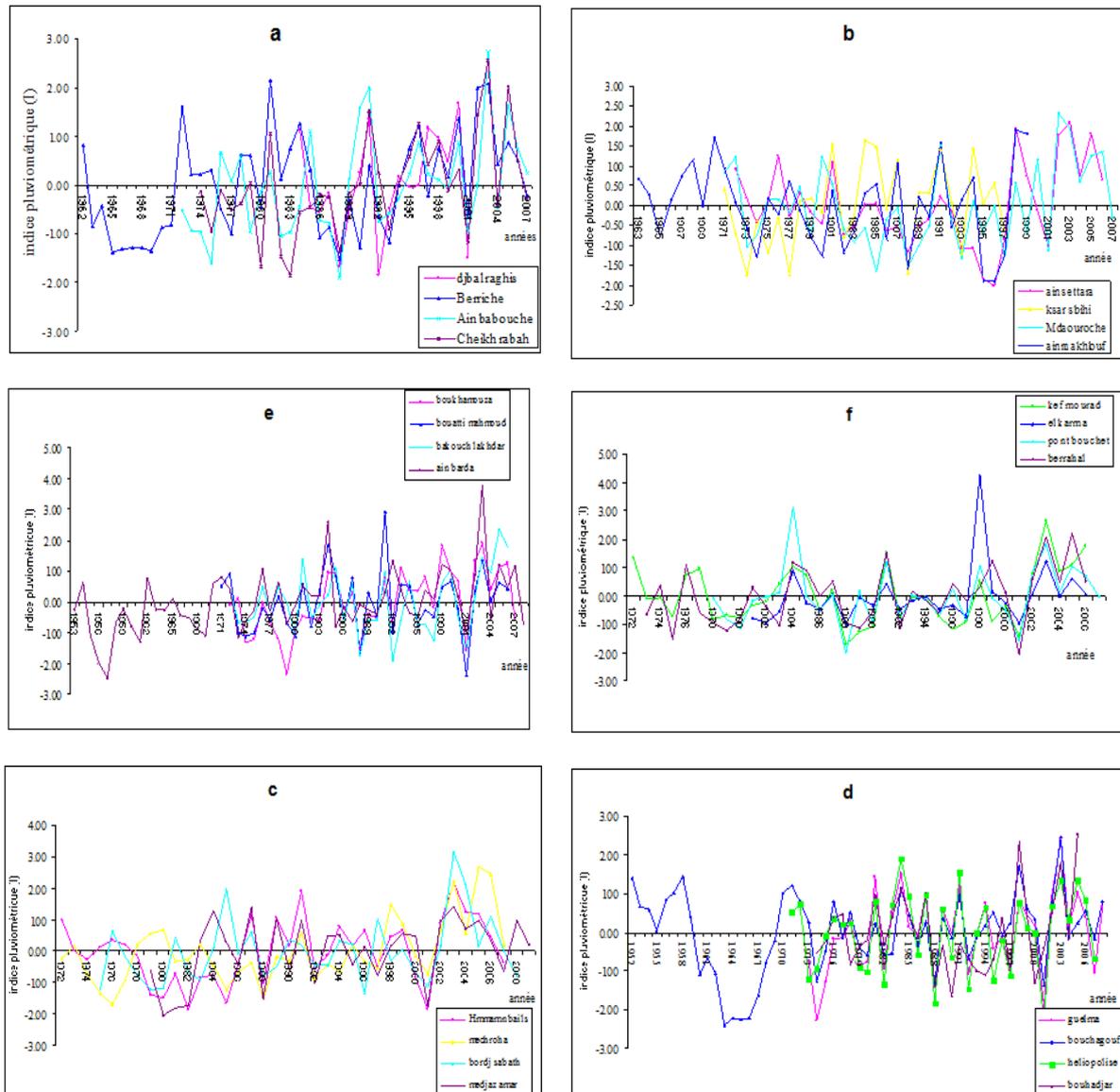


Figure. 2 (a, b, c, d, e, et f) : Indices pluviométriques de l'ensemble des stations étudiés échelonnés dans la direction Nord pour des périodes non communes (1952-2009).

### 3.5 Analyse statistique

En complément, à ce qui précède le test de Pettitt (1979) permet d'identifier une rupture dans les séries chronologiques étudiées et aussi d'identifier le temps auquel se produit un

changement (point de rupture) [6]. Ce test, non paramétrique est dérivé du test de Mann-Whitney [1, 28]. Le test de Pettitt s'applique à des séries non auto corrélées [15]. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t variant de 1 à N, les séries  $(X_i)$ ,  $i = 1, t$  et  $(x_i)$ ,  $i$

= t+1, N appartiennent à la même population, soit :  $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$

Avec :

$\text{sgn}(x) = 1$  si  $x > 0$ ,  $0$  si  $x = 0$ ,  $-1$  si  $x < 0$ .

La série est divisée en deux sous- échantillons respectivement de taille  $m, n$ . Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillons dans l'échantillon total. L'hypothèse nulle du test est l'absence de rupture dans la série. On considère la variable  $U_{t,N}$  telle que :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \tag{4}$$

Soit  $K_N$  la variable définie par le maximum en valeur absolue de  $U_{t,N}$  pour  $t$  variant de 1 à  $N-1$ . Si  $k$  désigne la valeur de  $K_N$  prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur  $K$  est donnée approximativement par :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp(-6k^2 / (N^2 + N^3)) \tag{5}$$

Pour un risque  $\alpha$  de première espèce donné, si la  $\text{Prob}(K_N > k) < \alpha$ , l'hypothèse nulle est rejetée.

### 3.5.1 Test de Buishand (1982-1984) [29, 6].

La statistique de Buishand est dérivée d'une formulation générale donnée par Gardner (1969). Elle repose sur l'hypothèse de normalité de la série [6]. La statistique de Gardner utilisée pour un test bilatéral de rupture en moyenne à un instant inconnu s'écrit :

$$G = \sum_{k=1}^{N-1} P_k \left( \frac{S_K}{\sigma_x} \right)^2 \tag{6}$$

Avec :  $s_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})$

$P_k$  désigne la probabilité a priori que la rupture survienne juste après la  $k^{\text{ième}}$  observation.

Cette formulation suppose que la variance  $\sigma_x^2$  est connue. Si elle est inconnue, elle peut être remplacée par la variance de l'échantillon  $D_x^2$  et si  $P_k$  est choisie uniforme, on obtient finalement la statistique U définie par :

$$U = \frac{\sum_{k=1}^{N-1} \left( \frac{s_k}{D_x} \right)^2}{N(N+1)} \tag{7}$$

Avec :  $D_x^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N}$

Des valeurs critiques de la statistique U ont été d'abord données par Buishand (1982) à partir d'une procédure de Monté Carlo. Les constatations d'existence d'une rupture ou non sur les séries des pluies pluri annuelles avec le test de Pettitt des stations pluviométriques ont été effectués par le logiciel XLSTAT-PRO pour un niveau de signification de 2 et 5%, N L'absence d'une rupture dans la série chronologique X constitue l'hypothèse nulle  $H_0$ . Les deux tests de ruptures de Pettitt et Buishand ont la même capacité de détecter des tendances. Le test de Buishand est parfois plus puissant que certains tests de détection de tendance [27].

### 3.5.2 Aspect théorique de test de Von Neumann (von Neumann Ratio Test) [29].

A partir d'une série ordonnée (chronologique ou analogue) de n observations d'une variable continue  $X_i$ , on définit le coefficient de Von Neumann  $\eta$ . Ce test est décrit par Kendall et al. (1983). Pour son application, on considère la variable " appelée rapport de Von Neumann ( $\eta$ ) qui caractérise le rapport de la moyenne des carrés des différences successives à la variance de l'échantillon. On peut encore écrire :

$$\eta = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\sum_{t=1}^{n-1} (x_{t+1} - x_t)^2}{\sum (x_t - \bar{x})^2} \tag{8}$$

Avec  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t$

Le test de Von Neumann appliqué aux séries des pluies pluriannuelles marque des ruptures aux niveaux des stations pluviométriques de Bouchegouf, Berriche, Ain Settara, Machroha aux seuils de 2 et 5% des stations de Boukhamouza, Hammam N'bails et Kef Mourad pour un niveau de signification de 5%. Nous remarquons ici que la rupture est accentuée sur la partie Nord Est contrairement à la partie Sud qui est moyenne.

Le test de Pettitt marque une rupture dans la série des pluies pour les stations pluviométriques d'Ain Barda en 1969 et 1970 avec une augmentation de 22.5%, de

Boukhamouza de 1992 à 1993 avec une augmentation de 28%, de Berriche de 1971 à 1972 avec une augmentation de 66.7%, de Hammam N'bails de 1986 à 1987 avec une augmentation de 28.5%, de Cheikh Rabah de 1989 à 1990 avec une augmentation de 31.5%, de Machroha de 1997 à 1998 avec une augmentation de 43.4% au seuil de signification de 2 et 5% et de la station de Ain Settara de 1997 à 1998 avec une augmentation de 35.7% au seuil de 5%. L'ensemble des ruptures sur les séries concentrent sur la période de 1990 à 2000 et montrent une non-stationnarité dans ces séries pluviométriques. Cette rupture survient de manière visible du sud comme le Nord et dans la partie Est du bassin.

Les résultats du test de Buishand montre une rupture dans les séries des pluies pluriannuelles des stations pluviométriques d'Ain Barda de 1969 à 1970 et de 1975 à 1976 avec une augmentation de 19.6%, de Cheikh Rabah de 1989 à 1990 avec 31,5%, de Boukhamouza de 1990 à 1991 avec 28.2%, de Ain Settara de 1997 à 1998 avec 35.7%, de Mechroha de 1997 à 1998 avec 43.3% au seuil de 2 et 5%, et des stations de Berriche de 1971 à 1971 avec une augmentation de 66.7%, de Hammam N'bails de 1986 à 1987 avec 28.5%, de M'daourouche de 1997 à 1998 avec 31.9% et de Kef Mourad de 2001 à 2002 avec une augmentation de 36% au seuil de 5%. Cette rupture est concentrée majoritairement entre 1990 et 2000. Cependant dans le reste des stations, la rupture n'est pas détectée.

Le test de Von Neumann appliqué aux séries des pluies pluriannuelles marque des ruptures aux niveaux des séries des pluies pour les stations pluviométriques de Bouchagouf, de Berriche, de Ain Settara, de Machroha au niveau de signification 2 et 5% et aux stations de Bokhamouza, de Hammam N'bails et de Kef Mourad à 5%.

### 3.5.3 Aspect théorique des Test des rangs de kendall [29, 30]

Le calcul de test de corrélation sur le rang est basé sur le calcul du nombre  $Q$  de paires  $(x_j, x_i)$  pour lequel  $x_j < x_i$  ( $j < i, i=1, \dots, N-1$ ) sous l'hypothèse nulle  $H_0$  de stationnarité de la série. Ce test est décrit par Kendall et al. (1983).

Pour son application, on considère la variable  $\tau$  donnée par:

$$\tau = 1 - \frac{4Q}{N(N-1)} \tag{9}$$

$$Q(p) = N.(N+2) \sum_{k=1}^q \frac{\rho^2(k)}{N-K} \tag{10}$$

où:  $Q$  est le nombre de valeurs pour lesquelles  $x_{j'} < x_j$  lorsque  $j' < j$

Pour  $N$  supérieur ou égale à 30, sous l'hypothèse nulle d'indépendance,  $\tau$  suit approximativement une distribution normale de moyenne.

Sur le territoire de bassin, les séries des pluies pluri annuelles des stations de Machroha, de Cheikh Rabah, de Berriche, de Boukhamouza et de Ain Barda disposent une tendance à la hausse pour des seuils de 2, 5 et 10% qui représentent 21% de la totalité des séries des pluies observées c'est-à-dire acceptation de l'hypothèse alternative  $H_a$ . Par ailleurs, les stations de Guelma, de Héliopolis, de Bouchagouf, de Bordj Sabath, de Ain Settara, de Ain Makhoulouf, de Bakouche Lakhdar, de Pont Bouchet, de Kef Mourad, de Bouatti Mahmoud et de Bouhadjar dans leur totalité présentent 44% des stations retenues et n'indiquent aucune tendance ni à la hausse ni à la baisse. Enfin, le reste des stations pluviométriques telles qu'Ain Babouche, Ksar Sbihi, Mdjaz Amar, El Karma, M'daourouch et Djbal Reghis présentent une tendance à la baisse seulement au seuil de 10% et les dernières stations présentent des tendances à la hausse au seuil  $\alpha= 5$  et 10%.

La cartographie d'ensemble des séries de pluies pluriannuelles possédant des ruptures avec test de Pettitt et de Buishand sont représentées sur la figure 3.

A l'échelle annuelle, les zones couvertes par les stations pluviométriques de Ain Babouche, de Berriche, de Ain Settara, de Cheikh Rabah et de Bouhadjar ont de forte variabilité sur le mois de Juillet et la faible variabilité se concentre majoritairement sur les mois de Mars et de Janvier avec 0.54 dans la station de Ain Barda. L'écart entre la plus forte valeur moyenne maximale (7.28) et moyenne minimale (0.71) des pluies mensuelles sur le territoire de la Seybouse est enregistré au mois de Juillet avec 88.05%.

Le test du type portemanteau de Ljung-Box est un test d'autocorrélation. A un décalage  $k$  donné, la statistique du  $Q$  de Box-Ljung (1983) est un processus de bruit blanc. Elle est définie pour  $i = 1$  à  $k$

l'estimation de la fonction d'autocorrélation est donnée par l'équation (11) suivante :



#### 4. CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'analyser la variabilité spatiale et temporelle de la pluie à des échelles spatio-temporelles. L'étude est l'analyse de variogramme de pluie a permis en effet de modéliser la structure spatiale de la variable régionale. La variabilité climatique affecte les séries chronologiques liée aux variables climatiques dans les pays en voie de développement [1], particulièrement à l'Est Algérien.

La corrélation entre les séries des pluies pluriannuelles avec altitude des postes pluviométriques est bonne mais dans le sens négatif qui oppose la première approche de P. Seltzer (1946) concernant les pluies en Algérie. Enfin, il est important de noter que cette étude nous a permis de comprendre la variabilité climatique particulièrement des pluies pluri annuelles. La carte d'isohyète, constitue un élément d'appui indispensable pour les décideurs techniciens quant aux choix des zones de mise en valeurs des zones qui risquent d'être inondables. La forte variabilité se localise dans les zones qui couvrent les stations pluviométriques de Ain Babouche, de Berriche, de Ain Settara, de Cheikh Rabah et de Bouhadjar. Parallèlement à l'échelle annuelle, la forte variabilité est apparue au mois de Juillet et la faible variabilité se concentre majoritairement sur les mois de Janvier et de Mars avec 54% dans la station de Ain Barda. L'écart entre la plus forte valeur moyenne maximale (7.28) et la moyenne minimale (0.71) des pluies mensuelles sur le territoire de la Seybouse est enregistré au mois de Juillet avec 88.05%.

#### REFERENCES

[1] DUPLESSY J.C., 2005. Les accidents climatiques brutaux et localisés et leurs conséquences, C. R. Geoscience 337, pp. 881–887.

[2] BOUANANI A., Transport solide et modélisation étude de quelques sous bassins de la Tafna NW – Algérie, Thèse de Doctorat d'état en Géologie appliqué Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie, 250p.

[3] MERZOUGUI A et SLIMANI M., 2012. Régionalisation des lois de distribution des pluies mensuelles en Tunisie, Journal des Sciences Hydrologiques, 57(4) 2012

[4] BAKRETI A., BRAUD I., LEBLOIS E et BENALI A., 2013. Analyse conjointe des régimes pluviométriques et hydrologiques dans le bassin de la Tafna Algérie Occidentale, Hydrological Sciences Journal 58 (1), pp. 133-151.

[5] KADI A ., 1997. La gestion de l'eau en Algérie, Journal des Sciences Hydrologiques 42(2), pp. 191-197.

[6] LUBES- NIEL.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, revue des sciences de l'eau 3, pp. 383-408.

[7] MEDDI. M., Octobre 2010. Impact des changements climatiques sur les débits dans le bassin du Chéllif (Algérie). FRIEND Conférence, Fez, Morocco. 340, 2010.

[8] SYLVAIN G., 2008, Etude pour l'intégration de la problématique des changements climatiques dans la stratégie d'intervention du programme LUCOP, volume 2, Assistant technique Changements Climatiques Coopération Nigéro- Allemande programme Lutte Contre la Pauvreté Tillabéri et Tahoua Nord (LUCOP).

[9] KHOUALDIA. W., DJABAR Y. et al., 2014. Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de La Medjerda (Nord- Est algérien), Revue Sciences Technologiques., Synthèse 29: 6-23 (2014).

[10] TOUAZI. M. et J. P. Laborde., 1998. Modélisation pluie-débit à l'échelle annuelle en Algérie du nord, érudit, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 17, n° 4, 2004, p. 503-51.

[11] CHACHI A., 1987. Le bassin de la Seybouse hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, Office des publications universitaires Alger, Algérie, 507p.

[12] RIAD S., 2003. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc, Thèse de Doctorat en hydrologie de surface Université IBNO Zohr D'Aghadir. Maroc. 154p.

[13] OMM-N°168., 1994. Guide des pratiques hydrologiques, Organisation météorologique mondiale, Cinquième édition ISBN 92-63-25168-1, 829p.

[14] KHALDI A., 2005. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida", Thèse de Doctorat en Hydrogéologie Université D'Oran. Algérie. 239p.

[15] TOUAÏBIA B., INEGLIZ S et OULD A. A., 1998. Couplage d'une analyse en composantes principales et d'une approche géostatistique pour l'élaboration de cartes pluviométriques du Centre de l'Algérie du Nord, Revue des Sciences de l'Eau 19(3) (2006), pp. 213-219.

[16] RIBES A., 2009, détection statistique des changements climatiques, thèse de Doctorat Univ de Toulouse, France. 154p.

[17] VAUCLIN M., CHOPART J L., 1991. Méthodologie d'analyse de la variabilité spatiale de dispositifs agronomiques, Ed AUPELF. JOHN Libbey Eurotext, pp. 307-315.

[18] HIZIR Ö. et BOCQUILLON C., 1980. Interpolation de variables régionales et cartographie automatique: modèle triangulaire hydrologique (MTH), Bulletin - des Sciences Hydrologiques 25., pp. 297-306.

[19] TRAN V. H et SONNET F., 1993. Analyse factorielle krigéante de données d'exploration

géochimique multi élémentaire pour l'Or en milieu latéritique au Mali, compte rendu des journées géostatistique fascicule n°3, pp. 139-150.

[20] AASANI A.A., BUFFAN-BULLENGER T et ROY A.T., 2002. Analyse d'impact d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin Québec, revue des sciences de l'eau, 15(2), pp. 557- 574.

[21] KANOHIN F., SALEY MB et SAVANE I., 2009. Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau et les activités humaines en zone tropical humide, cas de région de Daoukro en Côte d'Ivoire, European Journal of Scientific Research, Vol.26 No.2 (2009), pp. 209-222.

[22] KOUASSI A.M et KOUAMÉ K.F., 2012. Impacts conjugués des changements climatiques et des pressions anthropiques sur les modifications de la couverture végétale dans le bassin versant du N'ZI-Bandama Côte D'Ivoire, Rev. Ivoir. Sci. Technol., 20, pp. 124 –146.

[23]<http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/Counprof/Algeria/Algerie.htm>, dernière consultation le 20 janvier 2015.

[24] RAYMOND S., 2002. La climatologie, science ou littérature, La Météorologie - n°36, pp. 54-61.

[25] AMOUSSOU E., CAMBERLIN P., BOKO M et ET JOCELYNE P., 2009. Impact de la variabilité climatique sur les apports liquides dans la basse vallée du mono (Benin, Afrique de l'ouest), Geographia Technica, Numéro spécial, pp. 35-40.

[26] HERVE L.T., Guillaume G et Laurent L., 2008. Uncertainties attached to global or local climate changes, Géoscience 340, pp. 584–590.

[27] NICOLS P., NEPPEL L et SABATIER R., 2007. Approche régionale pour la détection de tendance dans des séries de précipitations de la région méditerranéenne française, Elsevier Mason SAS, (339), pp. 651–658.

[28] JEAN C.O, TAHA B.M.J. O et Bernard B., 1997. Revue bibliographique des tests d'homogénéité et d'indépendance, Rapport de recherche N° R-500, Institut national de la recherche scientifique, Québec. 85p.