

Caractérisation de la variabilité climatique : cas du bassin versant de La Medjerda (Nord-Est algérien)

Characterization of climate variability: case of watershed Medjerda (North East of Algeria)

Wacila Khoualdia^{1*}, Yassine Djebbar² & Yahia Hammar³

Faculté des Sciences de l'ingénieur, Département d'Hydraulique
¹⁻³Université Badji Mokhtar Annaba, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

¹⁻²Laboratoire de Gestion, Maintenance et Réhabilitation des Équipements et des Infrastructures Urbaines
 Université Mohamed Chérif Messaadia Souk-Ahras.

Soumis le : 09.12.2012

Révisé le : 06.04.2014

Accepté le : 09.04.2014

ملخص

تبين هذه الدراسة أهمية بعض الطرق الإحصائية لتفسير التباين المكاني و الزماني لهطول الأمطار، بحوض واد مجردة شمال شرق الجزائر، والمتمثلة في 16 محطة ممتدة على فترات زمنية من 19 إلى 38 سنة. أظهرت نتائج تحليل هذه السلاسل أنها تحوي انقطاعات معظمها متواجدة بين فترتي الثمانينات والتسعينات، ثم بينت نتائج خرائط مؤشرات هطول الأمطار لكل عشرية للفترة الممتدة بين 1971-2007 تغيير مكاني و زماني، وقد بدا جليا أن سنوات الثمانينات والتسعينات تميزت بنقصان في الأمطار على كامل الحوض، مع استئناف عودة هطول الأمطار للفترة الممتدة بين 2001-2007. على السلم الشهري، سجل ارتفاعا ملحوظا لهطول الأمطار بعد سنوات الإنقطاعات في فصلي الشتاء والربيع عدا شهر مارس، مع تركيز استثنائي للأمطار في شهر أوت. أما على المستوى اليومي، فإن تحليل تجزئة هطول الأمطار يوضح اتجاهها في زيادة الأمطار الغزيرة الأكبر من 20 ملم بعد سنوات الإنقطاعات. لوحظ كذلك في حوض مجردة انخفاض في مجموع هطول الأمطار و زيادة في درجات الحرارة خلال الفترة الممتدة من (1913-1938) إلى (1969-2007).

الكلمات المفتاحية: جفاف - تغير المناخ - تجزئة هطول الأمطار - حوض مجردة - شرق الجزائر

Résumé

Cette étude présente l'intérêt de certaines méthodes statistiques, pour interpréter la variabilité spatiotemporelle des précipitations des seize stations pluviométriques situées dans le bassin versant de Medjerda (Nord- Est Algérien) sur des périodes allant de 19 à 38 ans. Les séries analysées présentent toutes des ruptures dont la majorité se trouve dans les décennies 80 et 90. La cartographie des indices pluviométriques interannuels calculés par décennie sur la période 1971-2007 montre que les décennies 80 et 90 apparaissent comme déficitaires sur tout le territoire du bassin. Ainsi, une tendance à un retour des précipitations est remarquée pour la période (2001-2007). À l'échelle mensuelle, les précipitations ont augmenté significativement après les années de rupture pour les mois d'hivers et du printemps, à l'exception du mois de mars. On observe aussi, une concentration exceptionnelle de pluie dans le mois d'Août. À l'échelle journalière, l'analyse des fractions pluviométriques journalières met en évidence une tendance à l'augmentation des pluies fortes supérieures à 20 mm après les années de ruptures. Le bassin de la Medjerda connaît aussi une réduction de la pluviométrie et une augmentation de la température sur une période allant de (1913-1938) à (1969-2007).

Mots-clés : Sécheresse - Variabilité climatique - Fraction pluviométrique - Bassin versant Medjerda - Est de l'Algérie.

Abstract

This study has the advantage of some statistical methods to interpret the spatiotemporal variability of precipitation sixteen rainfall stations located in the watershed of Medjerda (North East of Algeria) on a period ranging from 19 to 38 years. Whilst analyzing such series, there was an observed break in the period 1980 and 1990. Thus, the results of the mapping of interannual rainfall indices calculated per decade over the period 1971-2007 shows the decades 80 and 90 appear as deficit throughout the territory of the basin. Thus, a trend to a return of precipitation is noted for the period (2001-2007). At the monthly scale, precipitation increased significantly after years of failure for the winter months and spring, with the exception of March. An exceptional concentration of rainfall in the month of August is observed. At the daily scale, the analysis of daily rainfall fractions shows a trend of increase in the average annual rains total of more than 20 mm after years of failure. The Medjerda basin has also known a reduced rainfall and an increase in temperature over a period ranging from (1913-1938) to (1969-2007).

Keywords: Drought - Climate variability - Rainfall fraction - Watershed Medjerda – East of Algeria.

*Auteur correspondant : mwacila@yahoo.fr

1. INTRODUCTION

Depuis ces dernières décennies, les différents États accordent un intérêt croissant au changement climatique qui demeure une notion très vaste (réduction de la pluviométrie, augmentation de la température, effet de serre, ...etc.

Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs impacts sur les ressources en eau. Parmi elles, on peut citer la sécheresse qui a affecté les pays du Maghreb, l'Algérie en particulier, depuis les années 1970 [1-10]. L'Algérie a connu durant son histoire de nombreuses périodes de sécheresses d'ampleur variable. Certaines ont eu des répercussions parfois dramatiques sur les conditions de vie de la population, notamment rurale (1943-1948) ; les sécheresses les plus sévères et les plus persistantes sont celles relevées durant les années 1980 à 90 où le déficit pluviométrique a été estimé à 50% pour les régions du centre et de l'Ouest de l'Algérie et à 30% à l'est.

L'année 1988/1989 a été classée comme année sèche pour l'Algérie [11]. Cette sécheresse a eu un impact négatif sur le régime d'écoulement des oueds, sur l'alimentation de la nappe phréatique et sur le niveau de remplissage des barrages. Elle a été suivie par de nombreuses inondations qui ont été marquées sur tout le territoire algérien [12]. Parallèlement à cette sécheresse on note une évolution à la hausse des températures dans pratiquement toutes les stations. Cette nouvelle tendance s'exprime par une hausse plus affirmée des minimales et une recrudescence des vagues de chaleur [9,12].

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat. Toutes les ressources sont conditionnées par les précipitations très irrégulières dans l'espace et dans le temps. La caractérisation de la tendance de la variabilité annuelle des précipitations est importante pour la prévision, la gestion des ressources hydriques, et l'étude des changements climatiques. Afin de mieux la caractériser, il est intéressant, de chercher à situer le changement temporel de la pluviométrie constatée depuis 38

ans dans la chronologie pluviométrique de ce siècle, époque pour laquelle on dispose d'enregistrements dans le bassin versant de Medjerda Nord-Est de l'Algérie. Pour déceler d'éventuels changements dans le régime pluviométrique, nous avons utilisé un certain nombre de tests statistiques sur seize stations pluviométriques possédant des séries de mesures pour une période allant de 1969 à 2007. La spatialisation des irrégularités des précipitations a été approchée par la représentation de la cartographie de l'indice pluviométrique. Des analyses statistiques et graphiques ont permis de caractériser les variations de la température de l'air de la zone d'étude. Une comparaison a été faite sur l'historique des pluies et des températures du bassin d'étude, afin d'analyser la tendance de l'évolution de ces variables climatiques de la période (1913-1938) à celle de la période (1969-2007).

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de Medjerda qui s'étale entre l'Algérie et la Tunisie occupe une superficie de 23700 km² dont 7600 km² en territoire algérien. Ce dernier est bordé au Nord par le bassin des Côtiers Constantinois, à l'Ouest par les bassins d'oued Seybouse et des hauts plateaux Constantinois, au Sud par le bassin de Chott Melghrir, et à l'Est par la Tunisie. Ce bassin est aussi traversé par un des principaux oueds maghrébins, l'oued Medjerda au Nord et l'oued Mellegue au Sud (Fig. 1).

Le bassin d'étude constitue une zone charnière entre deux domaines structuraux distincts à savoir: l'Atlas Tellien au Nord et Saharien au Sud. C'est une zone à structure généralement simple au Sud et complexe au Nord. Au Nord, le bassin d'étude présente un relief accidenté et entouré d'une série de montagnes dont l'altitude varie entre 1400 m et 700 m. Il se caractérise par une végétation très développée et dense. Au Sud, il est considéré comme le prolongement naturel des hautes plaines constantinoises sans pour autant en avoir les mêmes caractéristiques naturelles et physiques. Il présente une structure plissée d'une orientation dominante Sud-Ouest, Nord-Est.

Cette structure est composée d'une série de plis synclinaux larges et d'anticlinaux plus étroits datant du Phase Atlasique Eocène. Leur couverture est généralement mince. Cette zone se caractérise par un climat continental à influence méditerranéenne et désertique avec

une pluviométrie variant entre 200 et 950 mm/an. Le maximum des jours de fortes pluies hivernales et du vent violent rencontré en décembre- janvier, est provoqué par le passage successif des dépressions d'Ouest, de quelques dépressions méditerranéennes.

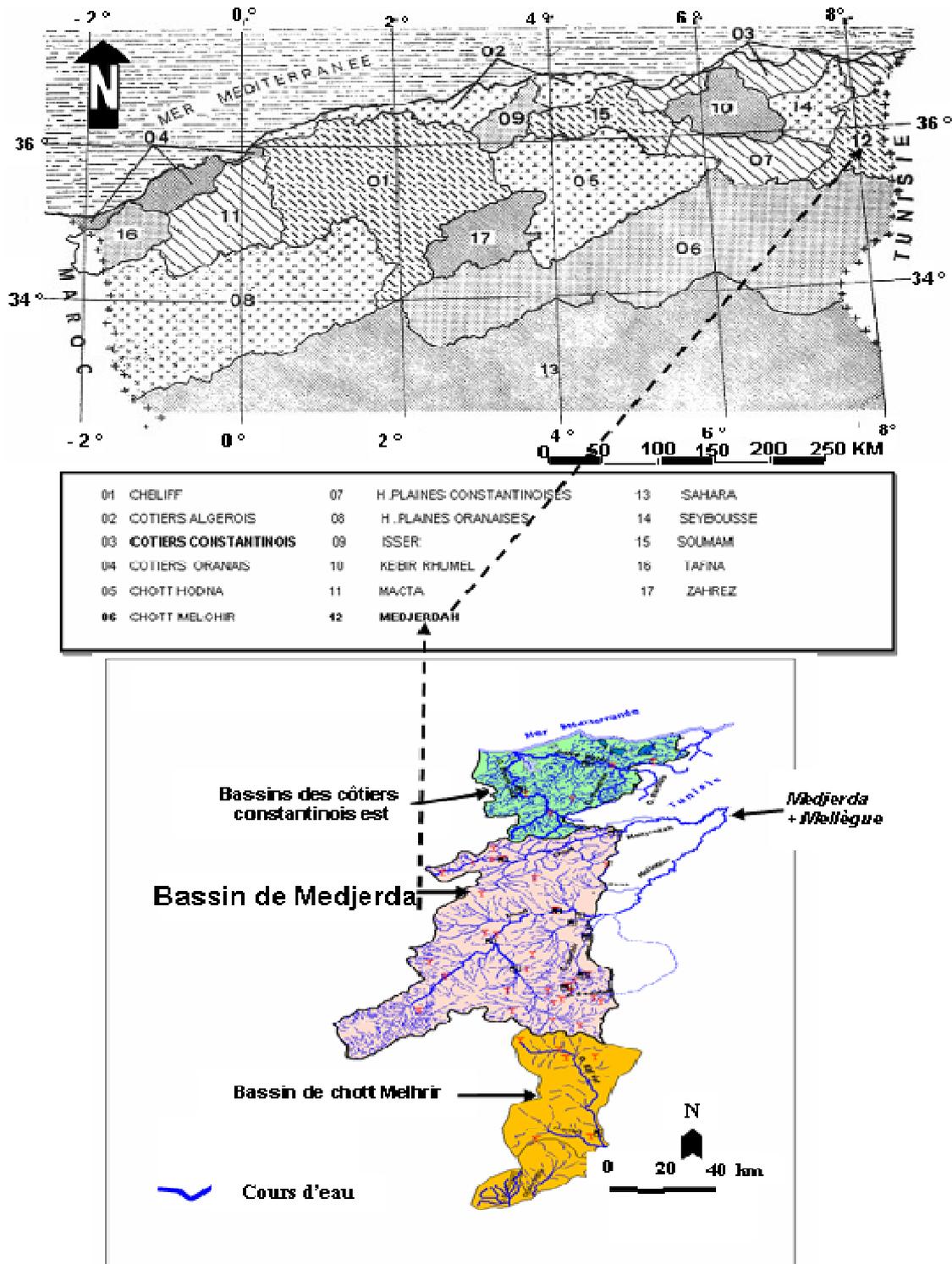


Figure 1 : Situation du bassin versant de Medjerda Nord-Est Algérie. (Source ANRH 2008)

3. DONNEES ET METHODES

3.1 Données disponibles

Les données pluviométriques proviennent des deux établissements responsables du réseau pluviométrique en Algérie, à savoir l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et l'Office Nationale de Météorologie (ONM).

Dans ces séries de données climatiques ; il a été tenté d'identifier un maximum de postes de mesures répondant aux conditions suivantes:

- la taille de l'échantillon (information couvrant les quatre dernières décennies);
- la position géographique;
- la qualité des données (pas de lacunes de plus de trois années consécutives).

Seize stations dont les longueurs pluviométriques des enregistrements varient entre 19 et 38 ans ont été retenues (Tab. 1). L'homogénéité des séries pluviométriques des stations a été vérifiée par la méthode des doubles masses [13] ; ces séries ont donné des résultats satisfaisants.

Les années présentant des mois lacunaires ont été comblées si le déficit n'a pas été trop important, c'est-à-dire si le nombre de mois manquants ne dépasse pas 3 et si ceux-ci ne sont pas habituellement les plus pluvieux. Pour les pluies journalières, trois stations ont été retenues Souk-Ahras, Tébessa et Ouenza dont les chroniques sont disponibles et couvrent la période 1969-2007. Il a été également utilisé des séries climatiques (température et pluie) les plus longues et disponibles dans les stations de Souk-Ahras et Tébessa à une période de 25 ans (1913-1938) série de Seltzer [14].

En ce qui concerne les températures de l'air dans ces mêmes stations, elles couvrent respectivement les périodes (1978-2007) et (1969- 2007). Les périodes des données de température sont liées à la disponibilité de ces données au niveau du service de météorologie nationale. Les données utilisées ont servi à l'étude de la variabilité climatique dans le temps ainsi qu'à son impact sur les régimes climatiques saisonniers dans le bassin versant du Medjerda. Ces données sont assez homogènes, de bonne qualité et représentatives du bassin d'étude qui se situe entre 35° 11' et 36° 27' de latitude Nord et entre 7°11' et 8° 24' de longitude Est (Fig.2).

3.2 Méthodologie

L'approche adoptée comporte les opérations suivantes:

1. détection de rupture au sein des séries pluviométriques annuelles,
2. représentation spatiale des précipitations,
3. variation de la température de l'air,
4. caractérisation de la variabilité des précipitations mensuelles et journalières par rapport aux dates de rupture.

3.2.1 Détection des ruptures au sein des séries pluviométriques annuelles

« Rupture » doit être comprise comme un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu [15].

L'acceptation générale, mais surtout celle des hydrologues, en ce qui concerne les totaux annuels des précipitations, est que, du point de vue stochastique, ceux-ci peuvent être considérés comme un processus stationnaire. La caractéristique d'indépendance suppose que le cumul de précipitations d'une année n'est pas dépendant du total de précipitations enregistrées de l'année précédente. La stationnarité suppose que les propriétés de base du processus (par exemple, son niveau moyen) ne changent pas avec le temps. Cependant, plusieurs travaux récents signalent une situation inverse. Il est supposé que dans le contexte du réchauffement global actuel, aussi bien l'espérance mathématique que la variance de ce processus stochastique à l'échelle interannuelle ne seraient plus indépendantes du temps au temps. Les erreurs systématiques qui affectent d'une façon uniforme certaines portions des séries de mesure sont dues généralement au:

- déplacement du pluviomètre ;
- changement d'environnement du pluviomètre pendant la période d'observation ;
- à la croissance d'un arbre qui fait obstacle ;
- un changement d'observateur ;
- à la lecture non adéquate du pluviomètre qui entraîne une forte hétérogénéité des séries pluviométriques [16].

C'est pourquoi l'objectif de ce travail est d'entreprendre une étude statistique sur les totaux annuels de précipitations, en utilisant le test statistique de Pettitt, la statistique de Buishand et ellipse de contrôle. Ces tests sont, avec d'autres, recommandés par l'organisation mondiale de la météorologie [17] pour détecter les ruptures au sein des séries temporelles. Cette démarche aidera à voir si ces ruptures dans la stationnarité sont liées seulement à des causes artificielles, ou si l'aléa climatique a un rôle prépondérant.

Le choix des méthodes retenues repose sur la robustesse de leur fondement et sur les conclusions d'une étude de simulation de séries aléatoires artificiellement perturbées. Elles permettent de détecter un changement dans la moyenne de la variable traitée dans la série. A l'exception de l'approche de Pettitt, «elles supposent un non changement de la variance de la série étudiée» [18]. Ces méthodes ne sont pas toutes adaptées à la recherche de plusieurs ruptures dans la même série.

Test de Pettitt

L'approche de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney [19]. L'absence d'une rupture dans la série (x_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle.

Pettitt définit la variable $U_{t, N}$:

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

$$D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j) \text{ avec } \text{sgn}(Z)=1 \text{ si } Z>0, 0 \text{ si } Z=0 \text{ et } -1 \text{ si } Z<0 \tag{2}$$

Il propose de tester l'hypothèse nulle en utilisant la statistique K_N définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t, N}$ pour t variant de 1 à $N-1$.

A partir de la théorie des rangs, Pettitt montre que 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:

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

Pour un risque α de première espèce donné, si $\text{Prob}(K_N > k)$ est inférieur à α , l'hypothèse nulle est rejetée. La série comporte alors une rupture localisée au moment τ où est observé K_N . Une rupture primaire se définit comme une hétérogénéité identifiée par un test de rupture à partir de la série initiale. Une rupture secondaire est une rupture obtenue à partir d'une sous série issue de la série de base

Tableau 1: Liste des stations retenues pour les tests d'homogénéité.

No	Stations	Période d'observation	Latitude (km)	Longitude (km)	Altitude (m)	Moyenne pluviométrique (mm)
1	Ain Senour	1969-2000	964.05	348.20	830	945.00
2	Souk-Ahras	1969-2007	967.25	342.25	590	530.00
3	Ain Dalia	1988-2007	963.95	341.65	717	712.00
4	Khemissa	1971-2007	945.50	332.50	900	416.00
5	M'Daourouche	1969-2000	960.85	320.65	870	330.00
6	Ouenza	1969-2007	989.00	313.00	520	266.00
7	El Aouinette	1971-2007	967.80	297.40	650	254.32
8	Messloul	1970-2007	963.60	298.20	700	220.00
9	Boukhadra	1969-2007	982.25	285.95	900	319.20
10	Ouled Hamza	1969-2007	988.90	265.00	840	261.60
11	Tébessa	1969-2007	991.90	247.20	890	351.00
12	Bekaria	1971-2007	1002.35	244.55	895	207.35
13	Ras Elaouine	1971-2007	1006.50	261.20	995	286.00
14	Messkianna	1969-2007	949.70	271.00	845	270.00
15	Ain Dahla	1969-2007	940.85	250.40	980	287.25
16	Elkouiff	1969-2007	1009.70	259.15	1100	259.84

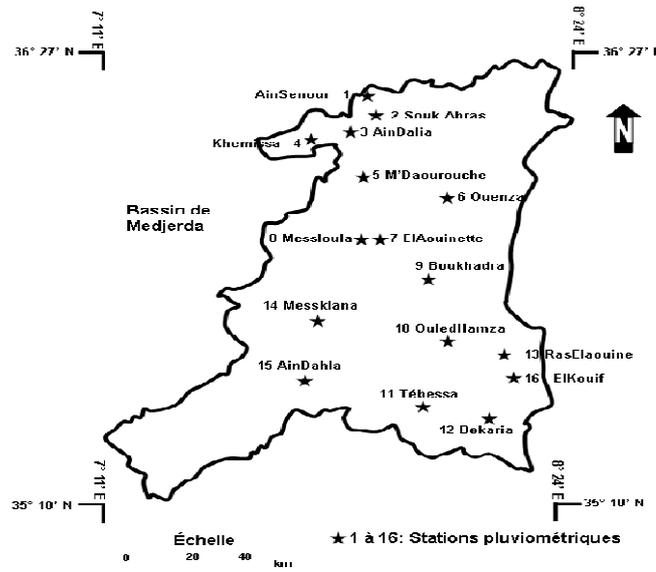


Figure 2 : Stations pluviométriques retenues (Bassin de Medjerda, Nord-Est Algérie).

Statistique U de Buishand [20, 21]

Le test ici présent est de nature Bayésienne. Il fait référence au même modèle et aux mêmes hypothèses que l'approche de Lee et Heghinian [22]. En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture t , la statistique U de Buishand est définie par:

$$U = \frac{\sum_{K=1}^{N-1} (S_K^* / D_x)^2}{N(N+1)} \tag{4}$$

Ou:

$$S_K = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x}) \tag{5}$$

Pour $k = 1, \dots, N$ et D_x désigne l'écart type de la série.

En cas de rejet de l'hypothèse nulle, aucune estimation de la date de rupture n'est proposée par ce test. Outre cette procédure, la construction d'une ellipse de contrôle permet d'analyser l'homogénéité de la série de (x_i) . La variable S_k , définie au-dessus, suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance $k(N - k)N^{-1}\sigma^2$, $k=0, \dots, N$ sous l'hypothèse nulle d'homogénéité de la série des (x_i) .

Il est donc possible de définir une région de confiance dite ellipse de contrôle associée à un seuil de confiance contenant la série des S_k .

Les méthodes citées ci-dessus sont utilisées à travers le logiciel KRONOSTAT [23]. Ce dernier permet une visualisation des résultats de la présente étude en format numérique et graphique.

3.2.2 Caractérisation spatiale des précipitations (Cartographie des indices pluviométriques)

En vue d'apprécier l'évolution de la pluviométrie au cours des différentes années, la méthode de l'indice pluviométrique a été appliquée. Cette méthode a pour objet, la caractérisation de la variabilité de la pluviométrie locale ou régionale, afin de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires, et la mise en place d'un système d'alerte précoce de sécheresse.

Pour chacun des postes pluviométriques retenus, un indice de la pluie interannuelle a été déterminé. Il se définit comme une variable centrée réduite [24] exprimée par l'équation 6:

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \tag{6}$$

avec :

X_i : valeur de la pluviométrie annuelle de l'année i ;

\bar{X} : valeur moyenne interannuelle de la pluviométrie sur la période étudiée;

S : valeur interannuelle de l'écart type de la pluviométrie sur la période étudiée.

L'étude de la variation spatio-temporelle de la pluviométrie s'est faite en utilisant les différentes données des stations pluviométriques qui couvrent la zone d'étude. Les données disponibles ont été calculées et classées sur les quatre décennies (1971 - 1980 ; 1981 - 1990 ; 1991 - 2000 ; 2001 - 2007) qui couvrent la période de disponibilité des données. La base de données obtenue est exportée sous le logiciel Surfer 8.0 où il a été procédé à une interpolation de type krigeage pour générer la carte thématique.

3.2.3 Analyse de la température de l'air

La température de l'air du bassin versant du Medjerda a été analysée à partir de la statistique descriptive (valeurs moyennes) et des représentations graphiques. Cette analyse a été effectuée à partir des données disponibles des deux stations : Souk-Ahras représentant la partie nord du bassin et Tébessa représentant la partie sud. Elle a permis de comprendre la variation saisonnière et interannuelle de la température dans ce bassin. En effet, ces différents paramètres influencent les précipitations dans une région donnée.

3.2.4 Caractérisation de la variabilité des précipitations mensuelles et journalières par rapport aux dates de rupture

La caractérisation des pluies mensuelles s'est limitée aux stations de Souk-Ahras, Ouenza, Boukhadra et Tébessa, dont les séries de données sont presque complètes et la période de l'étude est commune. Pour les pluies journalières, la caractérisation s'est limitée à la station de Souk-Ahras, Tébessa et Ouenza où des données sont disponibles sur une période de 38 ans soit du 1^{er} septembre 1969 au 31 août 2007. L'étude de la significativité de la variabilité des précipitations à l'échelle mensuelle avant et après les années de rupture est d'interpréter la variabilité des précipitations à l'échelle mensuelle à partir des années de rupture. La méthode consiste donc à mesurer les écarts entre les moyennes mensuelles des deux échantillons déterminés par la date de rupture. Quels sont les mois où les écarts sont les plus significatifs ?

L'influence de la sécheresse sur les pluies journalières a été abordée par l'étude des fractions pluviométriques journalières [25-26].

La méthode consiste à répartir le total annuel en trois fractions: F1, somme des précipitations journalières comprises entre 0 et 20 mm ; F2, somme des précipitations journalières comprises entre 20 et 40 mm et F3, somme des précipitations journalières supérieures à 40 mm.

4. RESULTATS

4.1 Tests d'homogénéité sur les pluies annuelles

Les dates de ruptures primaires détectées (1978, 1981, 1982, 1986, 1987, 1988, 1995, 1996, 1999 et 2001) sont liées à des probabilités de dépassement (Tab. 2). Les ruptures s'observent majoritairement dans les décennies 1980 et 1990 avec un niveau de signification qui varie d'un poste à un autre. Le niveau de signification traduit l'importance réelle ou pas d'un changement de la moyenne au sein de la série pluviométrique. Les ruptures primaires très significatives (seuil d'erreur <1%), ont été détectées dans les séries pluviométriques des stations de Messloul en 1982, Ouled hamza en 1986, Boukhadra en 1987, Khemissa en 1995 et Tébessa en 1999. Des ruptures primaires significatives (1% < seuil d'erreur <5%) sont détectées au niveau des séries Souk-Ahras et Ain Senour en 1999, Ain Dalia (1996), M'Daourouche (1981), El Aouinette (1999), Meskiana et Ain Dahla en 1982, Bekaria (1987), Ouenza (1988), El kouif (2001) et Ras El Aouine (1978).

Des ruptures secondaires sont identifiées au niveau des stations de Tébessa (1974), El Aouinette (1984) et Ras El Aouine (1999), à travers l'analyse des courbes de la variable U du test de Pettitt. La figure 3 illustre le cas de la série de Tébessa. La rupture est ici traduite par un changement brutal dans l'allure d'évolution de la courbe. On note deux ruptures, successivement en 1974 et 1999, pour la courbe de la série de Tébessa. La rupture secondaire traduit une baisse de la pluviométrie à partir de 1974. Une tendance de reprise à la hausse de la pluviométrie est observée en 1999. La figure 4 présente les ellipses des quatre stations représentatives du site d'étude, station de Souk-Ahras au Nord, station de Boukhadra au Centre, et stations d'Ouled Hamza et Tébessa au Sud. L'analyse des résultats de la figure 4 montre que les ruptures sont observées au sein des séries

avec un niveau de signification qui varie d'une série à l'autre.

Sur l'ensemble de seize stations de cette étude, les séries de données pluviométriques présentent des ruptures plus ou moins significatives. Ces hétérogénéités identifiées traduisent une baisse de la pluviométrie, entamée à partir des années 1970. Cette baisse de la pluviométrie a été amplifiée au cours de la

décennie 1980. Une tendance de reprise à la hausse des hauteurs pluviométriques au cours de la décennie 1990 est amorcée. Ces ruptures coïncident avec les années des grandes sécheresses déterminées dans les études antérieures en Algérie [1, 3, 4, 6, 9, 10], qui situent la plupart des ruptures à partir de 1970, et persiste dans les décennies 80 et 90.

Tableau 2 : Principales dates de rupture des séries pluviométriques

N°	Stations	Période d'observation	Dates de rupture
1	Ain Senour	1969-2000	1999
2	Souk-Ahras	1969-2007	1999
3	Ain Dalia	1988-2007	1996
4	Khemissa	1971-2007	1995
5	M'Daourouche	1969-2000	1981
6	Ouenza	1969-2007	1988
7	El Aouinette	1971-2007	1999
8	Mess loula	1970-2007	1982
9	Boukhadra	1969-2007	1987
10	Ouled Hamza	1969-2007	1986
11	Tébessa	1969-2007	1999
12	Bekaria	1971-2007	1987
13	Ras ElAouine	1971-2007	1978
14	Mes kiana	1969-2007	1982
15	Ain Dahla	1969-2007	1982
16	Elkouif	1969-2007	2001

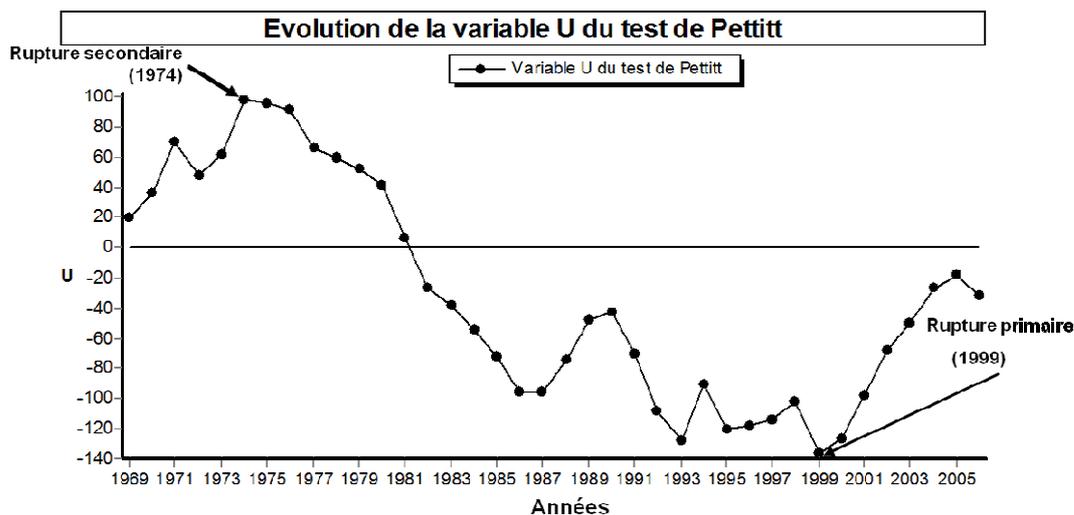


Figure 3: Courbe de la série pluviométrique de Tébessa (dates de rupture: 1974 et 1999)

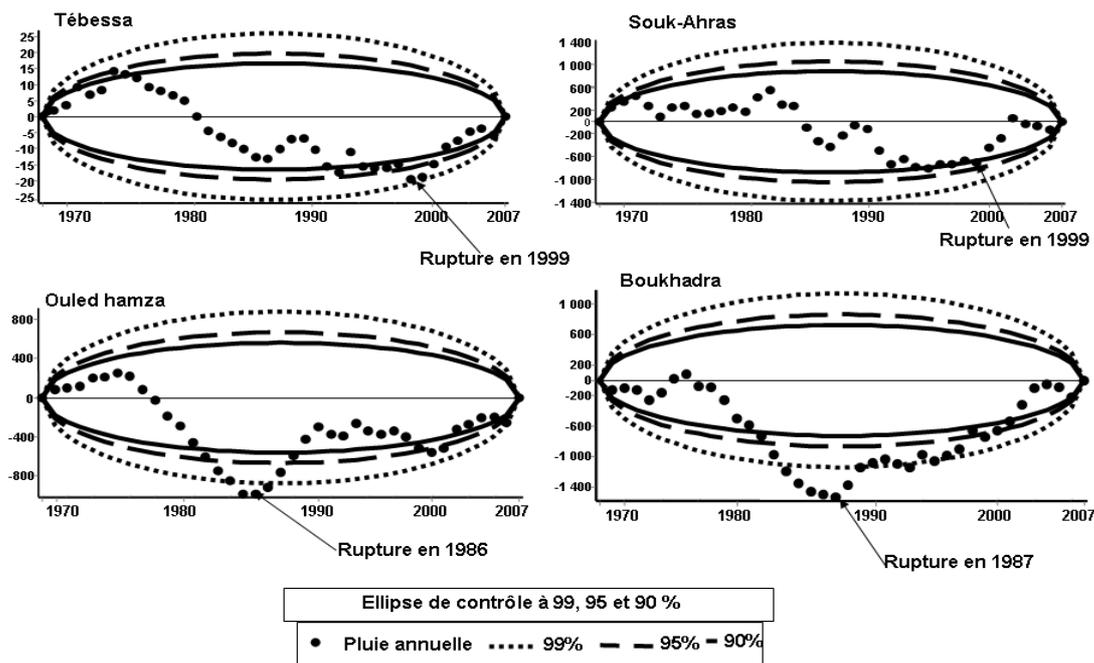


Figure 4: Ellipses de contrôle des pluies annuelles (1969 – 2007)

4.2 Variabilité spatio-temporelle des pluies annuelles

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des indices pluviométriques annuels au cours des différentes décennies, de 1971 à 2007, a permis de situer le bassin versant de la Medjerda dans son contexte local (Fig. 5). Les résultats obtenus montrent une répartition hétérogène des intensités pluviométriques sur l'ensemble du bassin liées à la latitude et à la longitude. La décennie 1971-1980 se distingue par une alternance de zones excédentaires et déficitaires. On observe la présence d'un caractère excédentaire avec des indices pluviométriques compris entre 0 et 0.9 dans les parties Sud-Ouest, Sud-Est et Nord-Est du bassin. Par contre, on observe un caractère déficitaire avec des indices pluviométriques qui varient entre 0 et -0.7 dans la partie Nord-Ouest. Pour la décennie 1981-1990, l'apparition d'un caractère déficitaire avec des indices pluviométriques qui varient entre 0 et -0.5 se trouve sur la totalité du bassin. Pour la décennie 1991-2000, le caractère déficitaire s'observe sur tout le bassin mais s'accroît et apparaît très marqué dans la zone Sud-Ouest avec des

indices pluviométriques compris entre 0.5 et -0.7. La dernière décennie (2001-2007) semble annoncer une tendance à un retour des précipitations, avec la réduction du champ des forts déficits. Les indices pluviométriques sont plus élevés, et oscillent entre 0.5 et 2 dans la partie Nord-Ouest, Centre et Sud-Est du bassin. La cartographie des indices pluviométriques, du bassin versant de la Medjerda, a permis de mettre en évidence la tendance générale à la baisse de la pluviométrie, à partir de la décennie 1970, qui s'est aggravée au cours des décennies 80 et 90, et un retour à l'augmentation des précipitations dans la décennie 2000.

Cependant, l'ensemble du bassin n'a pas été touché de la même manière, compte tenu de l'influence des climats locaux (climat sub-humide au Nord, semi-aride au Sud, influence des deux types de climat dans le centre du bassin).

Le caractère d'irrégularité temporelle des précipitations est, par ailleurs, une donnée fondamentale du climat du Nord-Est algérien [27, 28]. La carte de l'A.N.R.H. [29] montre que les moyennes pluviométriques sont inférieures d'environ 10% à celles de la série de Chaumont et Paquin [30]. Ces deux auteurs

ayant eux-mêmes constaté une diminution des précipitations par rapport à celles cartographiées par Seltzer [14]. Ces résultats sont aussi en concordance avec ceux trouvés, sur des séries moins longues par Laborde en 1993 [2] qui indique que la baisse de la pluviométrie dans le Nord de l'Algérie, s'est installée après la décennie 70 d'une manière significative. Les tests utilisés et les résultats obtenus confirment cette tendance. Les longues sécheresses observées dans le bassin d'étude, se localisent dans les décennies 80 et 90. Ces résultats sont en conformité avec les conclusions du groupe intergouvernemental sur

l'évolution du climat de 2001 et de 2007 [31], ainsi qu'avec les conclusions du rapport régional des Nations Unies sur le changement en Afrique du Nord. Ces périodes peuvent être utilisées, comme périodes de référence, représentant la sécheresse dans la région d'étude. Elles peuvent être utilisées dans la conception des systèmes de gestion des ressources hydriques en périodes de sécheresse.

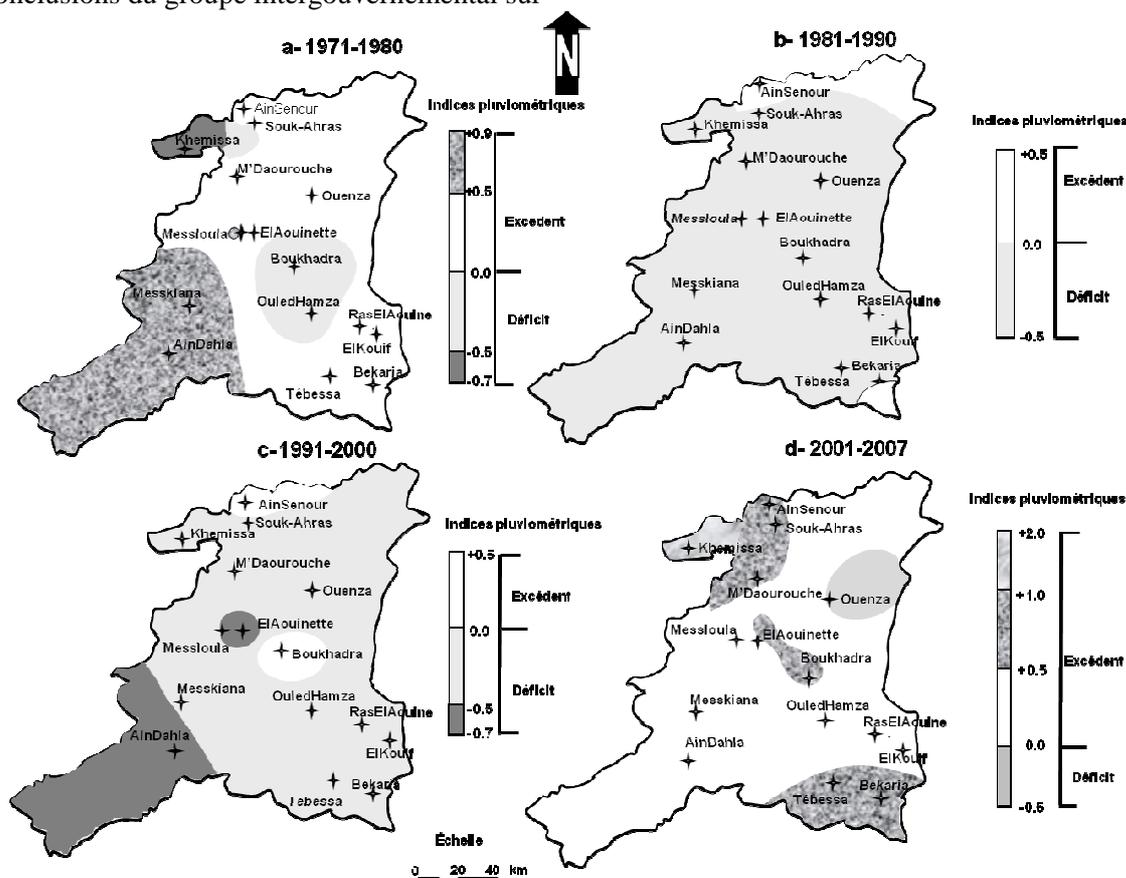


Figure 5: Indices pluviométriques annuels du bassin versant de la Medjerda (1971-2007)

4.3 Variations de la température de l'air

Les valeurs moyennes de la température de l'air, permettent de suivre l'évolution moyenne du régime thermique au niveau du bassin d'étude (Tab. 3). Les températures moyennes mensuelles au niveau de Souk-Ahras varient entre 24 et 25.43 °C août et 6.25 et 7.4 °C

janvier. Quant à celles de la station de Tébessa, elles varient entre 26.80 et 27.31 °C en août et 6.44 et 6.10 °C en janvier. Les moyennes mensuelles maximales sur le bassin s'observent en général pendant le mois d'août. Les variations interannuelles de la température de l'air montrent que cette dernière connaît une hausse régulière sur toute la période d'étude de

Tébessa et de Souk-Ahras. Au niveau de la station de Souk-Ahras (Fig. 6a), la température est restée inférieure à 15.5 °C avant 1976 et supérieure à 15.5 °C après 1976. De même, au niveau de Tébessa (Fig. 6b), la température de l'air est restée inférieure à 16.24 °C avant 1987 et supérieure à 16.24 °C à partir de 1987. On constate donc qu'il fait de plus en plus chaud sur l'ensemble du bassin. Des valeurs supérieures à la moyenne ont été enregistrées à partir de la décennie 1970.

Cette tendance a été accentuée, à partir des années 1980 avec des températures supérieures à 16.24 °C en moyenne dans le sud du bassin, où il est enregistré pour l'année 87-88, une température de 22.52 °C en moyenne annuelle. Ces températures ont atteint les plus fortes valeurs au cours de la décennie 1990 et ne semblent pas régresser. Les diagrammes reliant

température et pluie, ou diagrammes ombro-thermiques, aux stations de Souk-Ahras et Tébessa (Fig 7a et Fig. 7b) sur les différentes périodes, permettent d'observer, en général, de faibles valeurs de température pendant les mois de fortes pluviométries et de fortes valeurs pendant les mois de faibles pluviométries. Le tableau 3 montre que les températures moyennes mensuelles observées pour la deuxième période des deux stations sont supérieures à celles de la période (1913-1938). Le réchauffement a été de l'ordre 0.89 °C à Souk-Ahras et de 0.35 °C à Tébessa. Cet accroissement de température participe au changement climatique local et global, et s'accorde avec les observations faites par ailleurs sur l'augmentation des températures au cours des dernières décennies en Algérie

Tableau 3: Températures mensuelles aux stations de Souk-Ahras et Tébessa

		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Tébessa	1913-1938	6.1	7.5	10.4	14.05	18.3	23.45	26.8	26.25	22.65	16.55	11.35	7.25	15.89
	1978-2007	6.44	7.59	11.31	14.57	19.48	23.97	27.31	26.62	21.95	18.27	10.43	6.90	16.24
Souk-Ahras	1913-1938	6.25	7.25	9.3	12.65	15.95	20.5	23.9	24	21	15.85	11.2	7.3	14.60
	1969-2007	7.4	8.02	10.02	12.34	17.02	21.8	25.27	25.43	21.43	17.01	11.73	8.26	15.49

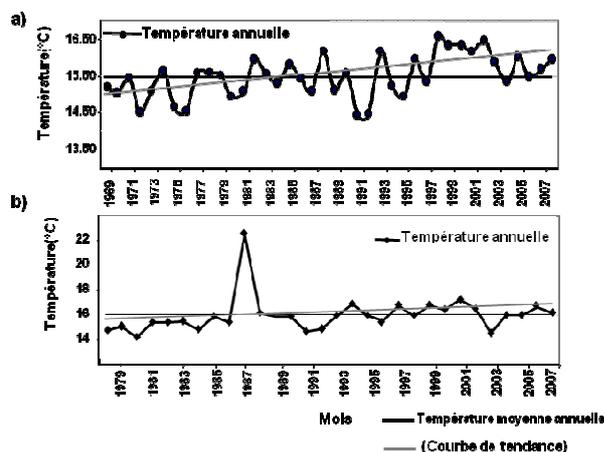


Figure 6. Variations interannuelles de la température de l'air : a- Souk-Ahras (1969-2007) ; b- Tébessa (1978-2007).

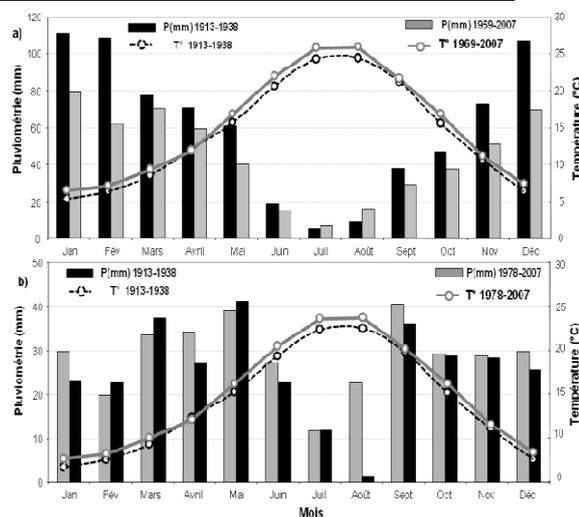


Figure 7. Diagrammes ombro-thermiques: a- Souk-Ahras; b-Tébessa.

4.4 Variation des pluies mensuelles

Pour placer la variation des pluies mensuelles du bassin d'étude dans son contexte historique, une analyse a été réalisée sur la période 1913-1938, à partir des séries de données les plus longues et disponibles des deux stations de Souk-Ahras et Tébessa, (Tab.4). Les pluies moyennes mensuelles, observées pendant la période (1969-2007) à la station de Souk-Ahras sont inférieures à celles de la période (1913-1938), soit une diminution au total de l'ordre de 26% accompagnées d'une augmentation des pluies estivales de l'ordre de 54%. Cependant, pour la station de Tébessa la deuxième période (1969-2007), s'est révélée excédentaire à celle de la période (1913-1938) soit une augmentation au total de 17% (avec une augmentation très marquée de l'ordre de 78% pour la saison estivale). Cette augmentation peut expliquer la forte variabilité dans le caractère orageux. En revanche, les résultats de la figure 8 des quatre stations principales, dont

les chroniques sont les plus complètes mettent en évidence les excédents des pluies mensuelles après les dates de rupture des décennies 80 et 90. Un déficit pluviométrique mensuel est observé au mois de mars pour l'ensemble de ces stations. Si l'on examine les diminutions relatives des précipitations avant la rupture de stationnarité de la fin des années 80 ou des années 90, la diminution des pluies moyennes mensuelles est de l'ordre de 15% et 24.5% pour la station de Tébessa et Souk-Ahras respectivement avant 1999, 64% et 6% pour la station de Boukhadra et Ouenza avant 1987 et 1988. On notera, cependant que, ce bassin connaît une diminution pluviométrique mensuelle avant les dates des ruptures et une tendance à la hausse après ces dates. L'ensemble de ce bassin a été touché par une irrégularité pluviométrique mensuelle temporelle sur la totalité des mois durant ces dernières décennies.

Tableau 4: pluies moyennes mensuelles aux stations de Souk-Ahras et Tébessa (1913-1938 et 1969-2007)

		Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Tébessa	1913-1938	23.00	22.60	37.40	27.08	41.20	22.83	11.97	1.60	36.15	29.02	28.18	25.72	25.56
	1969-2007	30.30	25.33	40.90	35.07	37.70	27.75	13.44	23.70	37.62	30.64	30.21	28.39	30.09
Souk-Ahras	1913-1938	111	109	78	71	61	19	6	9	38	47	73	107	60.75
	1969-2007	79.45	61.89	70.38	59.56	40.28	15.87	7.14	16.11	29.27	37.62	50.93	69.67	44.85

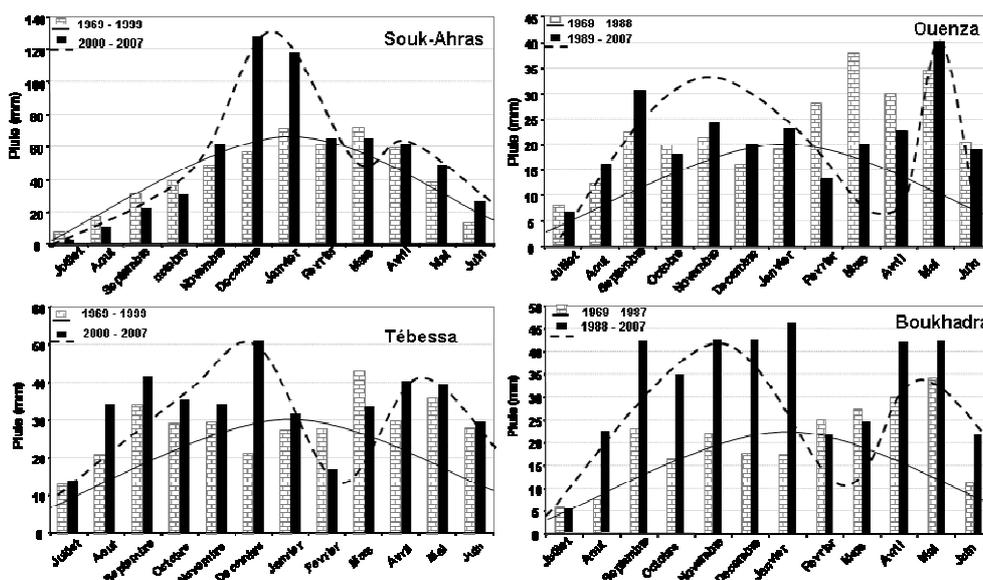


Figure 8. Précipitations mensuelles moyennes avant et après rupture aux stations de Souk-Ahras, Ouenza, Boukhadra et Tébessa.

4.4.1 Les années de rupture marquent le début d'hiver et la fin du printemps particulièrement pluvieux et une concentration des pluies exceptionnelles au mois d'août

Les excédents de décembre janvier

Sur les quatre stations, la moyenne des mois de novembre, décembre et janvier calculée sur la période après rupture est largement supérieure à la moyenne de la période précédente. Les écarts sont très marqués respectivement, en particulier à Souk-Ahras et Boukhadra rapport de 2.27 et 2.46 au mois de décembre, rapport de 1.65 et 2.50 au mois de janvier et au mois de novembre 1.27 et 2.09. Ces résultats sont à nuancer car ils peuvent être la conséquence des précipitations remarquables concentrées en une seule année. Le mois décembre 2002 fut le plus pluvieux depuis 1969 sur le bassin versant d'étude (256.5 mm à Souk-Ahras, 148.6 mm à Tébessa et 81 mm à Ouenza).

Les excédents d'avril, mai et juin

Comme pour le mois décembre, les ruptures de 1999 et 1987 par exemple font ressortir le mois d'avril comme particulièrement pluvieux sur la période 1999 - 2007 et 1988 - 2007 par rapport à la période précédente. A l'exception, la station de l'Ouenza présente, dans l'ensemble des trois postes ; des écarts positifs. Les stations de Tébessa, de Boukhadra et de Souk-Ahras montrent des écarts très importants, respectivement 1.36, 1.27 et 1.05. Le mois de mai enregistre certaines valeurs exceptionnelles durant la dernière décennie: 108 mm à Souk-Ahras en 2002; 72.7 mm à Tébessa en 2007; 91.9 mm à Ouenza en 2005; 82 mm à Boukhadra en 2005, ces valeurs sont très supérieures à la normale. Le mois de juin aussi enregistre certaines valeurs exceptionnelles durant la dernière décennie: 82.2 mm à Souk-Ahras en 2000; 82.2 mm à Tébessa en 2003; 64.1 mm à Ouenza en 2003; 88.2 mm à Boukhadra en 2000, ces valeurs sont, également, très supérieures à la normale. Des pluies excédentaires, localisées dans la dernière décennie 2000, sont remarquables.

Une concentration des pluies exceptionnelles au mois d'août

En été, dans la région d'étude, de gros orages présentant de fortes intensités durant une période n'excédant pas généralement les 30

minutes, sont observées. Le mois d'août présente des excédents significatifs depuis 1970 confirmés par les postes témoins. Il convient de s'interroger sur les caractères de ce mois durant la dernière décennie. Les précipitations d'août, sont souvent associées aux catastrophes pluvieuses dans le Nord et le Sud du bassin. Il y a effectivement une concentration de ces pluies exceptionnelles (supérieures à 30 mm en 24 heures). Toutefois, il est difficile d'interpréter la variabilité de ces pluies. Depuis 1969, on dénombre 10 et 9 épisodes sur l'ensemble du Sud et le Nord du bassin, dont 6 et 4 enregistrées respectivement dans la décennie 80 et 90. Le bassin versant de Medjerda a enregistré durant cette période d'étude 136.7 mm à Souk-Ahras, 93 mm à Tébessa, 49 mm à Ouenza, 50.1 mm Boukhadra. Des pluies exceptionnelles ont eu lieu le 22 Août 2002 au bassin d'étude, ont produit des inondations, dégâts matériels importants et la mort de 3 personnes. Ces pluies sont caractérisées par d'importantes précipitations en peu de temps. Elles sont très irrégulières d'une année à l'autre et leur période de retour est difficile à calculer

Les déficits du mois de mars

La moyenne du mois de mars après rupture est inférieure à celle de la période avant rupture. Les écarts sont marqués à Ouenza où le rapport est de 0.5 entre les deux périodes. Ils sont tout aussi importants à Tébessa (0.79), à Boukhadra (0.89) et à Souk-Ahras (0.9). A Souk-Ahras, la normale climatique (1969 / 1990) est de 100 mm au mois de mars. Depuis 1990, seul le mois de mars 2004 a été supérieur à la normale, les autres années, il a été observé des cumuls inférieurs à 50 mm et parfois même égale à 3 mm au mois de mars. Le mois de mars en 1992 a été le plus sec du bassin versant de la Medjerda sur la période d'étude; 3.3 mm à Souk-Ahras, 7.1 mm à Tébessa, 4.5 mm à Ouenza et 2 mm à Boukhadra. D'après une étude sur le sud du bassin méditerranéen le mois de mars accuse un sérieux déficit depuis le début des années 1990, avec des conséquences parfois désastreuses [32].

4. 5 Variation des fractions pluviométriques

L'étude des précipitations annuelles et mensuelles a clairement montré la variabilité temporelle des totaux annuels et mensuels durant la période d'étude, sans toutefois, décrire le phénomène en recherchant quels sont les

paramètres qui ont varié de façon significative. Il a été dégagé l'influence de la sécheresse sur les pluies journalières par l'étude des fractions pluviométriques journalières. L'analyse des résultats obtenus (Tab. 5) montre qu'elles évoluent de façon indépendante. F1 varie avec des coefficients de variations compris entre 0.31 et 0.34 et F2 varie avec des coefficients de variations compris entre 0.66 et 1.10. Par contre F3 varie avec des coefficients de variation très élevée. Ainsi, une tendance à la hausse du cumul des pluies supérieures à 20 mm (qui sont considérées comme les fortes pluies) semble se dessiner à partir des années de rupture pour les trois stations, dont les chroniques journalières sont disponibles (Fig. 9 et Fig. 10). Ces différents résultats ont permis d'avoir le comportement temporel des fractions pluviométriques qui constituent un facteur dans la tendance d'explication de la variabilité pluviométrique. Cette forte variabilité peut expliquer l'irrégularité des pluies et leurs caractères orageux. Cette nouvelle phase pluvieuse coïncide avec une recrudescence dans le pays de catastrophes de type inondations urbaines. Ces épisodes pluvio-orageux ont généré à plusieurs reprises de graves inondations meurtrières. L'épisode le plus tragique est celui qu'a connu en 2001 le quartier Bab – El Oued d'Alger (la crue subite de l'Oued Koriche a fait plus de 800 morts) [12]. Les pluies diluviennes en août 2002 à Souk-Ahras et Tébessa ont provoqué la mort de 3 personnes et des dégâts matériels importants. En 2008, les pluies diluviennes qu'a connue la région du M'Zab ont provoqué la crue de l'oued M'Zab et la submersion de la ville de Ghardaïa. Là encore, les victimes se comptent par dizaines. Plusieurs autres villes algériennes ont enregistré ces dernières années une recrudescence de ce type de phénomène. Les pluies tant attendues après ces deux décennies de sécheresse sont ainsi de plus en plus redoutées par les populations locales. Cette augmentation de fréquence des catastrophes de type inondation confirme que les cycles pluviométriques en Algérie se caractérisent désormais par des pluies plus intenses [33, 34]. De multiples interrogations peuvent être formulées quant aux causes et aux conséquences, voir même à l'existence d'une variabilité de la pluviométrie, au cours de ces dernières décennies en Algérie. Elles ont augmenté de façon importante mais tout aussi irrégulière et s'étalent sur un petit nombre de

jours depuis le début des années 1990 [9]. De nombreux travaux sont effectués sur la corrélation entre la variabilité des précipitations et l'élévation de la température [31, 35]. La période 1990 / 2000 est considérée comme la plus chaude du XX^{ème} siècle. La moyenne décennale des températures (2001 – 2010) représente la moyenne la plus élevée depuis le début des relevés des instruments météorologiques [35]. Parallèlement à cette hausse, une augmentation probable des précipitations [31] est attendue. Cela pourrait coïncider ou corrélérer avec les résultats trouvés ci-dessus dans la zone d'étude. Il apparaît que la température est un facteur de l'irrégularité de la variabilité temporelle des régimes pluviométriques saisonniers. En effet, ce paramètre atmosphérique influence fortement la variabilité temporelle des variables pluviométriques. Or, les résultats précédents de l'étude montrent une baisse des variables pluviométriques dans les décennies 80 et 90 et une reprise pluviométrique après les dates de ruptures de ces décennies, ainsi qu'une hausse des températures au cours des dernières décennies est observée dans le bassin versant de Medjerda. Partant de ces constats, on peut dire que l'irrégularité de la variabilité climatique des dernières décennies de la zone d'étude dépend, d'une part, de la hausse de la température de l'air, et d'autre part, elle coïncide avec des changements importants qui influent sur le climat local comme :

- le taux d'urbanisation relativement faible du bassin d'étude qui était entouré de chaînes de forêts importantes pendant les années 60 a connu pendant les années 70 une croissance accélérée de la population causant une déforestation rapide.
- les activités industrielles dans la région Nord et Sud du bassin d'étude.
- la construction des barrages Ain Dalia et Oued Charef mises en service en 1987.

Le changement du climat local peut trouver sa source dans la déforestation, l'urbanisation, les activités industrielles et la construction de deux barrages. Ces surfaces d'eau n'altèrent pas les grands mécanismes de précipitation dans la région, mais elles peuvent être derrière les pluies de type convectif d'été de plus en plus fréquentes et intenses dans cette région. Dans

tous les cas, elles ne peuvent pas expliquer à elles seules ces changements.

Tableau 5 : Différentes fractions pluviométriques journalières des trois stations dont les chroniques sont disponibles

	Période 1969-2007			Période avant rupture			Période après rupture		
	0-20	20-40	> 40	0-20	20-40	> 40	0-20	20-40	> 40
Souk-Ahras									
Moyenne	381.48	82.77	52.03	365.62	82.29	42.87	440.95	84.55	86.36
Ecart type	118.55	54.24	53.06	116.44	57.50	46.90	114.01	42.94	63.75
Coeff. variation	0.31	0.66	1.02	0.32	0.70	1.09	0.26	0.51	0.74
Tébessa									
Moyenne	264.04	50.73	33.31	249.34	47.59	36.15	319.19	62.51	22.68
Ecart type	94.75	38.90	48.00	94.52	39.91	48.54	77.73	34.63	47.49
Coeff. variation	0.36	0.77	1.44	0.38	0.84	1.34	0.24	0.55	2.09
Ouenza									
Moyenne	180.27	58.52	20.32	198.51	54.14	13.13	162.03	62.90	27.51
Ecart type	60.66	64.51	39.13	63.60	41.43	22.69	53.08	82.45	50.23
Coeff. variation	0.34	1.10	1.93	0.32	0.77	1.73	0.33	1.31	1.83

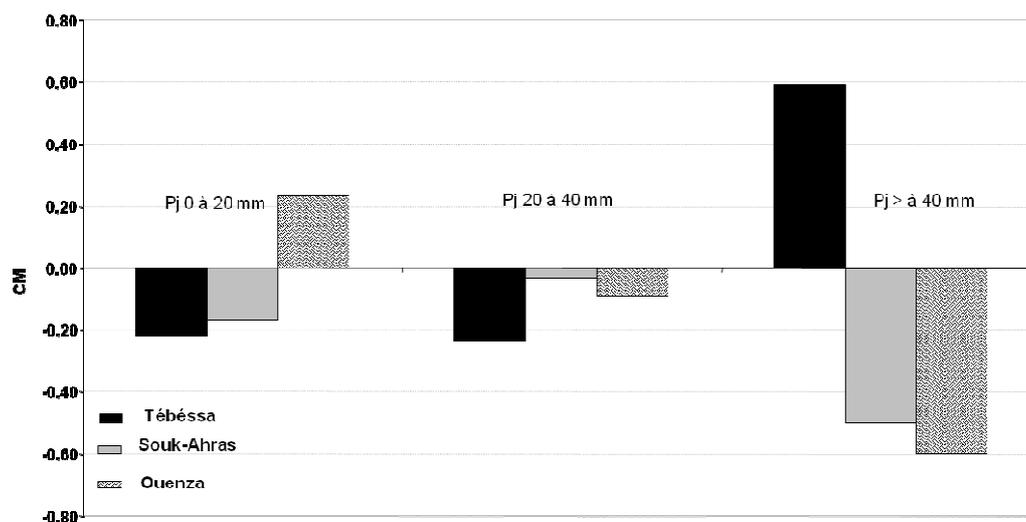


Figure 9: Changements de moyenne (CM) pour différentes fractions pluviométriques avant et après la rupture
 Pj : précipitations journalières < 20 mm, 20 à 40 mm, > 40 mm
 . CM = rapport moins un entre la valeur annuelle moyenne sur la période après rupture et celle sur la période avant rupture.

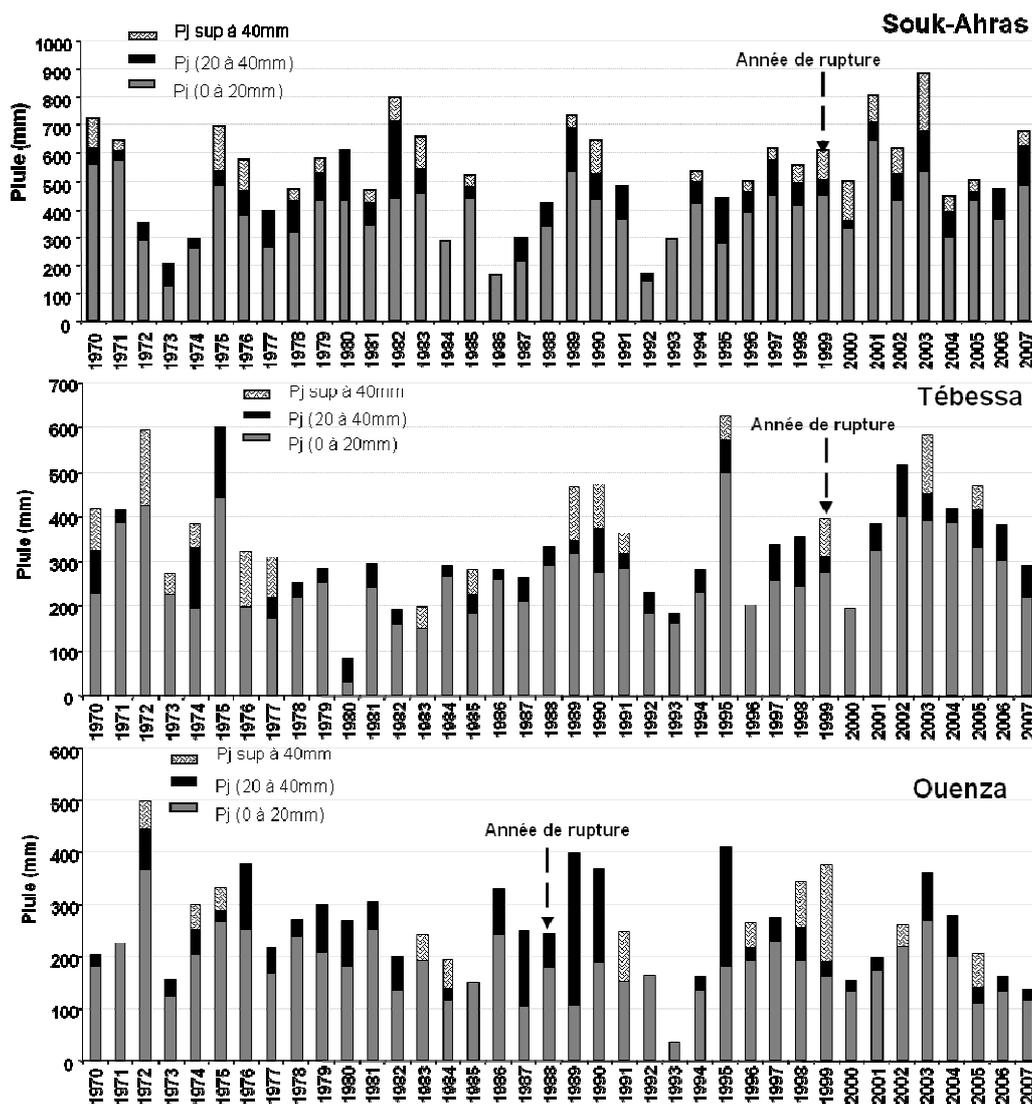


Figure 10. Valeurs annuelles de différentes fractions pluviométriques (précipitations journalières < 20 mm, de 20 à 40 mm et > 40 mm).

5. CONCLUSION

L'analyse des séries pluviométriques, du bassin versant de la Medjerda, de la période 1969-2007 montre que les chroniques ne sont pas stationnaires et qu'elles ont subi une rupture dont la date est comprise entre 1978 (RasElAouine) et 2001 (El Kouif). Sur l'ensemble des tests de détection de rupture, des ruptures sont identifiées autour de la décennie 1980 (1981, 1982, 1986, 1987,1988) et de la décennie 1990 (1995, 1996, 1999). Il est noté que la majorité des ruptures se localisent dans les décennies 80 et 90. À l'échelle mensuelle, en analysant les stations dont les chroniques sont les plus complètes (Souk-Ahras, Tébessa, Ouenza et Boukhadra), il est noté une très

grande irrégularité mensuelle après les dates de rupture des décennies 80 et 90. Il est observé une augmentation des pluies au début de l'hiver et au printemps avec un déficit au mois de mars et une concentration des pluies exceptionnelles au mois d'août.

L'influence de la sécheresse sur les pluies journalières se trouve mise en évidence par l'étude des fractions pluviométriques des trois principales stations. Une tendance à la hausse du cumul de pluies supérieur à 20 mm (considérées comme les fortes pluies) se dessine à partir des années de rupture. Aux variations temporelles, s'ajoutent les variations spatiales des précipitations. Les résultats obtenus montrent une répartition hétérogène des intensités pluviométriques sur l'ensemble du

bassin. La décennie 1971-1980 se distingue par une alternance de zones excédentaires et déficitaires. Les décennies 1981-1990 et 1991-2000 apparaissent comme déficitaires. La période 2001-2007 semble excédentaire. Le bassin connaît une diminution pluviométrique au total avec une augmentation des pluies estivales. Ainsi, une hausse régulière des variations interannuelles de la température de l'air pourrait être derrière la prédominance des orages de ces dernières décennies. Mais cette prédominance ne peut pas expliquer à elle seule ce changement.

Ces résultats corroborent avec celles de l'étude de Zeineddine [9] qui affirme que les longues sécheresses observées dans les années quatre-vingt et quatre-vingt-dix et qui confirme le retour de pluie durant les dernières années de la série (2002 - 2006). Les observations faites en 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 et 2012 confirment aussi la prédominance de conditions plus humides, puisque le Ministère de l'Agriculture Algérien a annoncé pour l'année 2010, une production céréalière record de 62 millions de quintaux, un chiffre jamais atteint par l'agriculture algérienne. Les chiffres publiés par le Ministère de l'Hydraulique font état aussi d'un taux de remplissage des différents barrages de plus 70% sur ces dernières années. Parallèlement à cette tendance, on note aussi une nette recrudescence des pluies orageuses dans presque la totalité des stations. Les pluies qui s'abattent sur le territoire algérien sont ainsi devenues plus intenses, cet argument est d'ailleurs conforté par une augmentation sans précédent des inondations et des crues dévastatrices dans le pays [9,12]. Cependant, la période récente 2007-2013 n'étant pas prise en compte dans cette étude, il serait intéressant d'intégrer cette période dans des recherches futures, afin de déterminer si cette tendance à la hausse des températures et des précipitations constatée se poursuit dans la zone d'étude.

Remerciements

Nous remercions l'ensemble des structures qui nous ont fourni les données indispensables à la réalisation de ce travail.

6. REFERENCES

[1] Djellouli Y., & Daget P., 1993. Conséquences de la sécheresse des deux dernières décennies sur les écosystèmes naturels algériens, Publication Association International Climatologique, 6, pp105-14.

[2] Laborde J.P., 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, projet PNUD/ALG/88/021, une carte avec notice explicative, 44 p.

[3] Talia A. & Meddi M., 2004. La pluvio-variabilité dans le Nord de l'Algérie. Actes du colloque "Terre et Eau" (Annaba, 2004), 477-480.

[4] Meddi H. & Meddi M., 2007. Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. *Geographia Technica*, n° 2, 49-55.

[5] Hirche A., Boughani A. & Salamani M., 2007. Évolution de la pluviosité dans quelques stations arides algériennes. *Sécheresse*, Vol. 18 (4), 314-320.

[6] Meddi H. & Meddi M., 2009. Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, Vol 20, 57-67.

[7] Meddi M. & Humbert J., 2000. Étude des potentialités de l'écoulement fluvial dans le Nord de l'Algérie en vue d'une réalimentation des aquifères. In : *Eaux sauvages, eaux domestiquées*, Hommage à L. DAVY, Publications de l'Université de Provence, pp 177-190.

[8] Meddi M. & Hubert P., 2003. Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. In : *Hydrology of the mediterranean and semiarid regions*, IAHS publication, n°278, pp 229-235.

[9] Zeineddine N., 2011. Vers un retour des pluies sur la rive sud du bassin méditerranéen occidental: analyse et évaluation de la tendance pluviométrique sur plus d'un demi - siècle en Algérie. *The Annals of Valahia University of Târgoviște*, Geographical Series, Tome 11 / 2011.

[10] El Mahi A., Meddi M., Matari A. & Ketrouci K., 2004. État de la pluviométrie en période de sécheresse en Algérie du nord et sa relation avec le phénomène ENSO. Actes du colloque "Terre et Eau" (Annaba, 2004), 420-423.

[11] Kettab A. & Ait Mouhoub D., 2002. L'eau objet de toutes les convoitises, Colloque international sur l'eau, Chlef, 05 /06/ février, Algérie.

[12] Benazzouz A., 2011. Conférence sur les inondations majeures en Algérie, Séminaire International UVREDA, Utilisation et valorisation des ressources en eau pour le développement durable des écosystèmes arides, Centre de Recherche Scientifique et technique sur les Régions Arides, Biskra, 13-14 novembre.

[13] Brunet-Moret Y., 1971. Etude de l'homogénéité des séries chronologiques de précipitations annuelles par la méthode des doubles masses. Cah. O.R.S.T.O.M., série Hydrologie, Vol. VIII (4) 3-31.

[14] Seltzer P., 1946. Le climat de l'Algérie, Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe, Carbonnel, 219 p.

[15] Lubes H., Gautier F., Masson J-M., Servat E. et Paturel J-E., 1998. Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950-1989. *Journal des sciences hydrologiques*, 43(6).

[16] Cantat O., 2004. Analyse critique sur les tendances pluviométriques au 20ème siècle en Basse- Normandie :

Réflexions sur la fiabilité des données et le changement climatique. Annales de l'Association Internationale de Climatologie, Vol I, 11, p. 13-31.

[17] OMM-WMO., 2000. Detecting trend and other changes in hydrological data. In : *Kundzewicz ZW, Robson A, eds. World Climate Programme Data and Monitoring*. WCDMP-45. WMO/TD-n° 1013. Genève.

[18] Lubes H., Masson J-M., Servat E. et Paturel J-E., et Boyer J-F 1994. Caractérisation de fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Etude bibliographique, rapport 3, Programme ICCARE. OSTROM, Montpellier, France.

[19] Pettitt A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, vol. 28, n° 2, p. 126-135.

[20] Buishand T.A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology*, vol. 58, p. 11-27.

[21] Buishand T.A., 1984. Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. *Journal of Hydrology*, vol. 73, p. 51-69.

[22] Lee A.F.S. & Heghinian S.A., 1977. A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables – a Bayesian approach. *Technometrics*, vol. 19, n° 4, p. 503-506.

[23] IRD 1998. KhronoStat version 1.0. Logiciel, IRD, Montpellier. URL: <http://www.hydrosciences.org/spip.php?article239>.

[24] Servat E., Paturel J.E., Kouamé B., Travaglio M., Ouedraogo M., Boyer J.F., Lubès-Niel H., Fritsch J.M., Masson J.M., & Mariou B., 1998. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. In: *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century* (Abidjan'98 Conference), Publication IAHS, n° 252, p. 323-337.

[25] Albergel J., 1986. Évaluation de la pluviométrie en Afrique Soudano-Sahélienne exemple du Burkina-Faso. In : *Colloque CIEH sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse* (Ouagadougou), 19 p.

[26] Dacosta H., 1989. Précipitation et écoulements sur le Bassin de la Casamance. Thèse de 3ème cycle, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 278 p.

[27] Mebarki A., 2010. Surface flows and hydrologic balance mapping: The case of the Eastern Algerian basins. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, Vol 21, I 4. P. 3-10.

[28] Belloum A., 2009. Hydrologie agricole en Algérie— une double problématique. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 38, I 6, 1993, p 479-495.

[29] A.N.R.H., 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p), Ministère de l'Équipement, Alger, Ed. I.N.C.

[30] Chaumont M., & Paquin C., 1971. Carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000. Alger : Soc. Hist. Afri. Nord.

[31] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), 2007. Rapport 2001 et 2007 sur l'évolution du climat. Genève. 20p.

[32] Blöchliger H., & Neidhöfer F., 1998. Impacts des précipitations extrêmes, Rapport de l'orange consultatif en matière de recherche sur le climat et les changements climatiques, pp 40.

[33] Zeineddine N., Benoit L., et Imen T., 2013. Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Géographie Physique et Environnement*, Vol. 7, p. 307-323.

[34] Saadaoui M. & Ben Sakka M 2007. Pluviométrie en Méditerranée occidentale et oscillation nord-atlantique (NAO), Actes du XXe colloque de l'association internationale de climatologie, 501-507.

[35] OMM., Organisation Météorologique Mondiale 2011. http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/gcs_2011_fr.html