



## **CARACTERISATION DE LA SECHERESSE METEOROLOGIQUE EN CLIMAT SEMI ARIDE : CAS DU BASSIN VERSANT OUED BOUMESSAOU (NORD OUEST DE L'ALGÉRIE)**

### **CHARACTERIZATION OF DROUGHT WEATHER IN CLIMATE SEMIARID: CASE OF WATERSHED WADI BOUMESSAOU (N- W ALGERIA)**

*BOUGUERRA S.A., BENSLIMANE N.*

Département d'hydraulique, Faculté de Technologie, Université Abou Bakr Belkaid,  
Tlemcen, Algérie.

*sid\_bouguerra@yahoo.fr*

#### **RESUME**

Le nord-ouest de l'Algérie, comme la plupart des régions méditerranéennes a connu une alternance de périodes humide et sèche. Dans un contexte où le changement climatique est d'actualité conjugué à l'impact des activités anthropiques sur la surexploitation de l'eau, il est indispensable d'analyser les épisodes secs à diverses échelles temporelles pour une meilleure prévention de la rationalisation des ressources hydriques. A cet effet, les séries pluviométriques reconstituées de trois stations couvrant le bassin d'étude oued Boumessaoud ont été analysées. L'analyse s'est basée sur les valeurs de l'indice standardisé des précipitations (SPI) calculé pour des échelles de temps de 10, 35 et 68 ans. Les résultats montrent qu'à moyen et long terme les périodes 1945-1952 et 1978-2010 ont connu des sécheresses importantes de par leur intensité, leur durée et leur fréquence. Ces épisodes secs ont atteint leur paroxysme surtout au début des années 80 avec des sécheresses de type extrêmement sévères. Les stations d'Henaya au centre du bassin et celle de Zenata à l'extrême nord sont les plus affectées par la sécheresse comparativement à la station de Tlemcen située à l'extérieur près de la limite Sud- Est du bassin.

**Mots clés :** Sécheresse, Déficit pluviométrique, Indice standardisé des précipitations, bassin Boumessaoud, Nord-Ouest de l'Algérie.

## **ABSTRACT**

Northwestern Algeria, like most Mediterranean regions experienced alternating wet and dry periods. In a context where climate change is conjugated news at the impact of human activities on the water overuse, it is essential to analyze the dry spells in various time scales for Prevention of rationalization of water resources. To this end, the rainfall series reconstructed three stations covering the river basin Boumessaoud study were analyzed. The analysis was based on the values of the standardized precipitation index (SPI) calculated for time scales of 10, 35 and 68 years. The results show that medium and long-term periods 1945-1952 and 1978-2010 have experienced significant droughts by intensity, duration and frequency. These dry episodes culminated especially in the early 80s with extremely severe type of drought. The stations Henaya the center of the basin and the Zenata in the far north are the most affected by drought compared to the Tlemcen station located outside near the limit of Southeast Basin.

**Keywords:** Drought, Rainfall deficit, standarisé Index rainfall Boumessaoud basin, North West of Algeria.

## **INTRODUCTION**

L'Algérie, est l'un des pays du sud de la méditerranée qui subit les dures conséquences de la pénurie d'eau. La sécheresse qui sévit depuis ces dernières décennies et la mauvaise gestion des ressources hydriques en sont la cause principale de ce phénomène. Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20ème siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les 30 dernières années (Agoumi et al.1999). Ces données montrent aussi une augmentation nette de la fréquence des sécheresses et inondations.

D'un point de vue météorologique, la sécheresse peut se définir comme un comportement anormal mais récurrent du climat lié essentiellement à l'absence de précipitations que reçoit une région dans un laps de temps déterminé. La sécheresse, notion toute relative, se manifeste de plusieurs façons : sécheresse météorologique, sécheresse hydrologique et sécheresse agronomique. L'analyse de la récurrence et de la persistance de ce phénomène par des méthodes scientifiques cherche à établir une estimation des durées et des probabilités qui pourront contribuer à la planification de stratégies de mobilisation et de gestion des ressources en eau (Abdoulaye et al., 2014). La difficulté à définir la

sécheresse pousse les chercheurs à trouver des indicateurs de ce phénomène basés sur différents variables et paramètres. Ces indicateurs permettent de déterminer d'une façon scientifique le seuil indiquant la sécheresse à différentes échelles de temps et de définir des classes d'appartenance à cet événement en fonction de sa sévérité et de sa position (Layelmam, 2008). Ils assurent également le suivi de la sécheresse et la détection à différents stades de son évolution. Ces indices constituent un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires. Parmi les indices de sécheresse les plus connus on a : l'indice de Palmer (Palmer, 1965), l'indice de l'approvisionnement en eau de surface (Shafer et Dezman, 1982), l'indice standardisé de précipitation (McKee et al., 1993), l'indice de sécheresse effective (Byun et Wilhite, 1999), l'indice de sécheresse des débits (Nalbantis et Tsakiris, 2009), l'indice hydrologique normalisé (Sharma et Panu, 2010), l'indice normalisé de l'évapotranspiration maximale (Vicente-Serrano et al., 2010), l'indice régional de la zone de sécheresse (Fleig et al., 2011) et l'indice agricole de référence de la sécheresse (Woli et al., 2012). Il existe aussi d'autres indicateurs établis par télédétection (basés sur l'indice de végétation et la température de brillance). Pour la caractérisation de la sécheresse météorologique dans notre région d'étude, on a choisi l'indice standardisé de sécheresse (SPI). Cet indice est largement utilisé à travers le monde pour l'analyse de la sécheresse surtout météorologique (Soro et al., 2014). Le (SPI) présente des avantages en termes de cohérence statistique, il a été développé en 1993 en vue de caractériser les déficits de précipitations pour une période donnée.

Des sécheresses aiguës se succèdent sur la région Nord-Africaine depuis déjà plusieurs décennies (Megnounif et Ghénim, 2013), les répercussions du déficit pluviométrique sur l'économie des pays poussent les responsables à trouver d'autres alternatives très coûteuses tel que le dessalement d'eau de mer. C'est dans ce contexte que la présente étude a été initiée dans le bassin versant oued Boumessaoud au nord-ouest de l'Algérie, pour pouvoir analyser les séquences de sécheresse météorologique.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **Description de la zone d'étude**

Le bassin versant de l'oued Boumessaoud fait partie du grand bassin de la Tafna qui s'étend au nord-ouest de l'Algérie. Situé entre les longitudes 1°20' et 1°30' O, et les latitudes 34°51'15'' et 35°05'N (Figure 1), il occupe une superficie de

118 km<sup>2</sup> avec un périmètre de 59 km. Dans La partie sud du bassin, les pentes sont fortes (> 20%) et les altitudes atteignent 1150 m La courbe hypsométrique indique que 80% de la surface se situe entre 900 et 200 m avec une altitude médiane égale à 630 m.

D'amont en aval on rencontre des formations carbonatées jurassiques qui caractérisent le sud du bassin, alors qu'au centre des formations marneuses et gréseuses du Tertiaire prédominent et vers le nord affleurent des marnes du miocène inférieur et des alluvions récentes. Le climat qui règne dans cette région est de type semi-aride, la température moyenne est de 16,3°C. Le régime pluviométrique est très irrégulier et le bassin reçoit annuellement en moyenne 382 mm à la station d'Henaya. Deux périodes climatiques caractérisent l'année hydrologique : une période correspondant aux mois secs de l'année (juin, juillet, août), et une autre pour les neuf mois restants dans laquelle les mois de novembre à mars sont considérés comme les plus pluvieux de l'année (Figure.2).

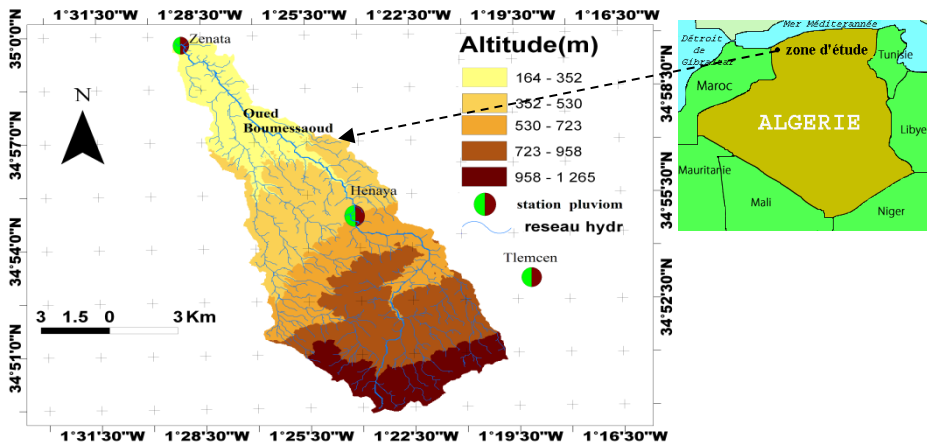


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

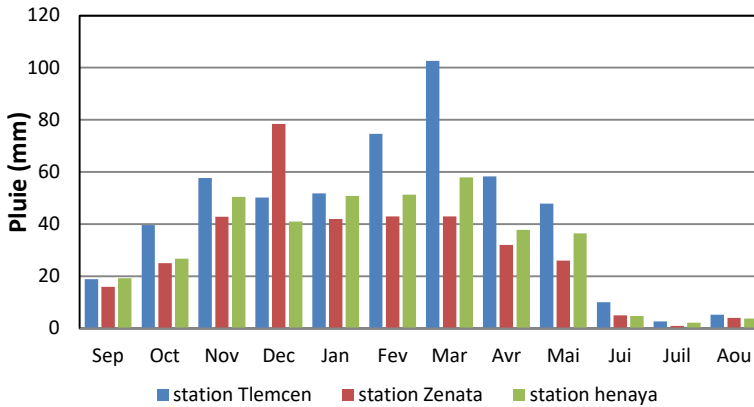


Figure 2 : Régime pluviométrique de la région d'étude

## Données

Les données de base sont constituées de relevés pluviométriques journaliers provenant de trois postes pluviométriques. Les données ont été mises à disposition par l'Agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) d'Oran en Algérie. La variable d'étude est la pluie annuelle de la période 1943 à 2010. L'emplacement des postes permet une couverture homogène de la zone d'étude. Le Tableau 1 présente Les caractéristiques principales des séries de données pluviométriques des stations étudiées.

Tableau 1 : Caractéristiques statistiques des données pluviométriques annuelles

Station	Tlemcen	Zenata	Henaya
Période	1943-2010	1943-2010	1943-2010
coordonnées	latitude=34°53'22''N longitude=1°19'58''W Z=650 m	latitude=34°59'35''N longitude=1°29'50''W Z=250m	latitude=34°54'25''N longitude=1°23'58''W Z=452 m
Moyenne (mm)	523	340	412
Médiane (mm)	520	339	420
Mini (mm)	240	149	182
Max (mm)	814	525	640
Ecart type	126	82	99
Coeff. Var	24%	24%	23.9%
Etendue (mm)	574	376	458

On note une nette différence entre les paramètres de position (moyenne, médiane) à la station de Tlemcen et d'Henaya. L'écart entre le minimum et le maximum est très important au niveau des trois stations. Le coefficient de variation annuelle quant à lui se caractérise par une forte fluctuation. Il permet d'apprécier le degré de variabilité dans une série et la dispersion des valeurs par rapport à la moyenne.

## CARACTERISATION DE LA SECHERESSE METEOROLOGIQUE

### Indice standardisé des précipitations

L'indice standardisé des précipitations «SPI» (McKee et al., 1993; Hayes, 1996) a été développé en vue de quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau pour une période donnée. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = (P_i - P_m) / S$$

$P_i$  : Pluie de l'année  $i$

$P_m$  : Pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée

$S$  : Ecart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

Etudier cet indice permet également de distinguer les années sèches des années humides ou les années déficitaires des années excédentaires. Une sécheresse sévit lorsque le SPI est consécutivement négatif et que sa valeur atteint une intensité de -1 ou moins et se termine lorsque le SPI devient positif. Une classification de la sécheresse est effectuée suivant les valeurs du SPI (Tableau.2).

**Tableau 2 : Classification des séquences de sécheresse selon SPI (McKee et al., 1993).**

Valeur de la SPI	Séquence de sécheresse
-0,99 à 0,99	Proche de la normale
-1,00 à -1,49	Modérément sèche
-1,50 à -1,99	Sévèrement sèche
-2,00 et moins	Extrêmement sèche

## **Paramètres descriptifs des séquences de sécheresse**

Parmi les paramètres caractérisant la sécheresse, il est important de citer sa durée, son intensité, et sa fréquence.

### ***Durée maximale des séquences de sécheresse***

La durée est l'une des caractéristiques importante de la sécheresse. En effet si une sécheresse débute rapidement sous certains régimes climatiques, il faut généralement au moins deux à trois mois avant de s'installer dans d'autres régions (Soro et al., 2014). Elle peut ensuite persister pendant des mois voire des années.

Pour cette étude, la durée maximale sera considérée comme paramètre caractéristique de la durée des séquences sèches.

### ***Intensité des séquences de sécheresse***

L'intensité de la sécheresse reflète l'ampleur du déficit des précipitations. Elle peut être évaluée à l'aide des valeurs du SPI. Dans le cadre de cette étude, la valeur extrême du SPI a été considérée comme valeur de référence de l'intensité de la sécheresse.

### ***Fréquence des séquences de sécheresse***

La fréquence cumulée (F) de sécheresse donne une idée sur l'occurrence des séquences sèches sur une période d'étude. Elle est obtenue en faisant le rapport de l'effectif cumulé des séquences sèches par l'effectif total des années pluviométriques.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

### **Qualité des séries de données pluviométriques**

Afin de pouvoir tester qualitativement la série de nos données pluviométriques et illustrer le caractère fortement aléatoire de la pluie, on a dressé les graphiques de l'évolution des hauteurs de pluie annuelle associée à la courbe de la moyenne mobile calculée sur 5 ans (pour lisser les valeurs) (Soro et al., 2014). Les résultats montrent que les courbes de la moyenne mobile calculée sur 5 ans

suivent en majorité l'évolution des pluies annuelles pour les trois stations (Figure 3). Cela indique que les séries chronologiques ne comportent pas de valeurs aberrantes. Elles peuvent donc faire l'objet d'un traitement statistique.

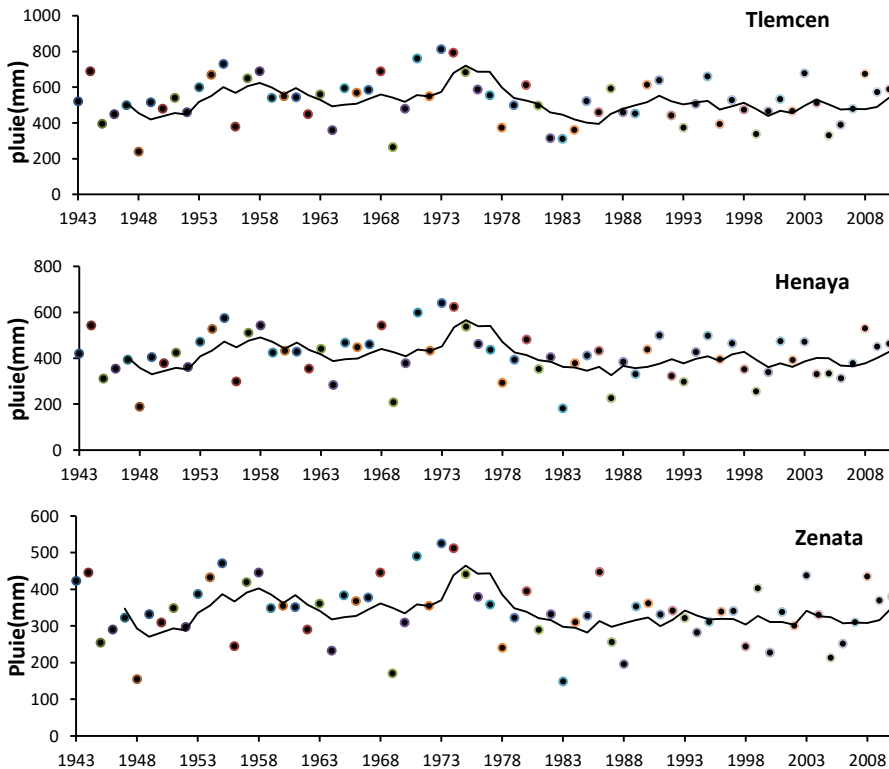


Figure 3 : Evolution temporelle des hauteurs annuelles de pluie associée à la courbe de la moyenne mobile calculée sur 5 ans.

## Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique

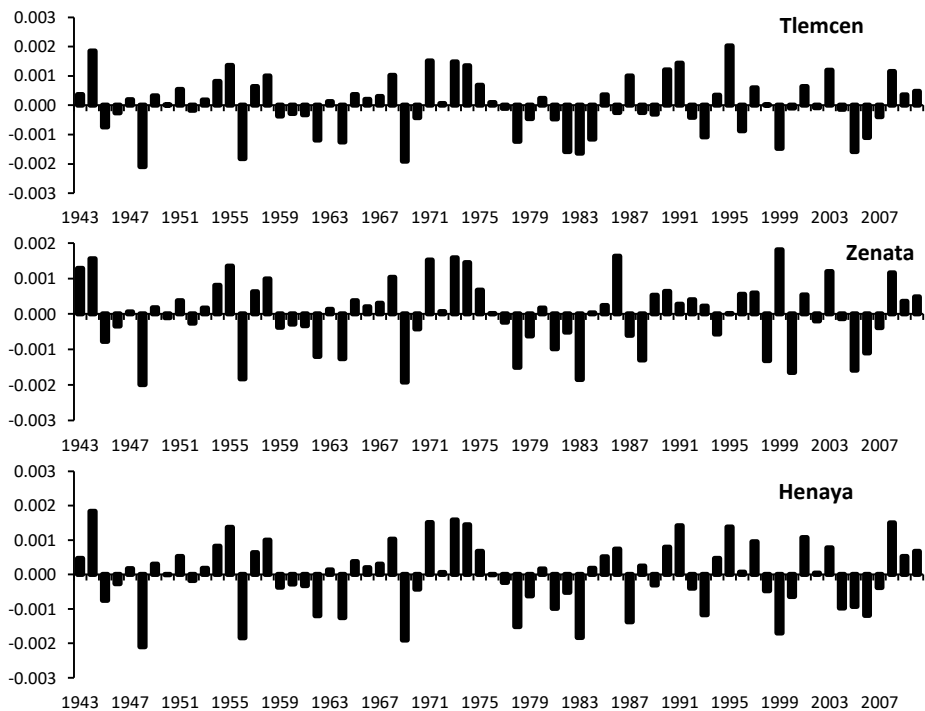
### *Sécheresse météorologique à court terme*

Avant l'année 1980 les trois stations ont connu la même évolution des précipitations avec la même ampleur (Figure 4). Ainsi de 1943 à 1970 on assiste à une alternance de séquences sèches et humides soit 12 et 16 années respectivement avec une période de 4 années de sécheresse successives (1959-1962). Excepté l'année 1980 la sécheresse qui a commencé les trois dernières



années de la décennie 1970 se poursuit les quatre premières années de la décennie 1980 pour les trois stations mais avec des intensités différentes. La décennie 1990 a été caractérisée par une succession d'années sèches et humides avec 2, 4 et 5 séquences sèches pour la station de Zenata, Tlemcen et Henaya respectivement. Le milieu de la décennie 2000 a enregistré aussi un retour de sécheresse continue vers les années 2004, 2005, 2006 et 2007 pour les trois stations avec un pic de déficit pluviométrique l'année 2005 à la station de Zenata et Tlemcen.

Il est à noter qu'au cours des 68 années d'observation et à cette échelle de temps, les trois premières décennies ont connu des indices statistiques très élevés comparativement aux dernières décennies avec un pic de -2.10 enregistré l'année 1948 au niveau des deux stations de Tlemcen et d'Henaya.

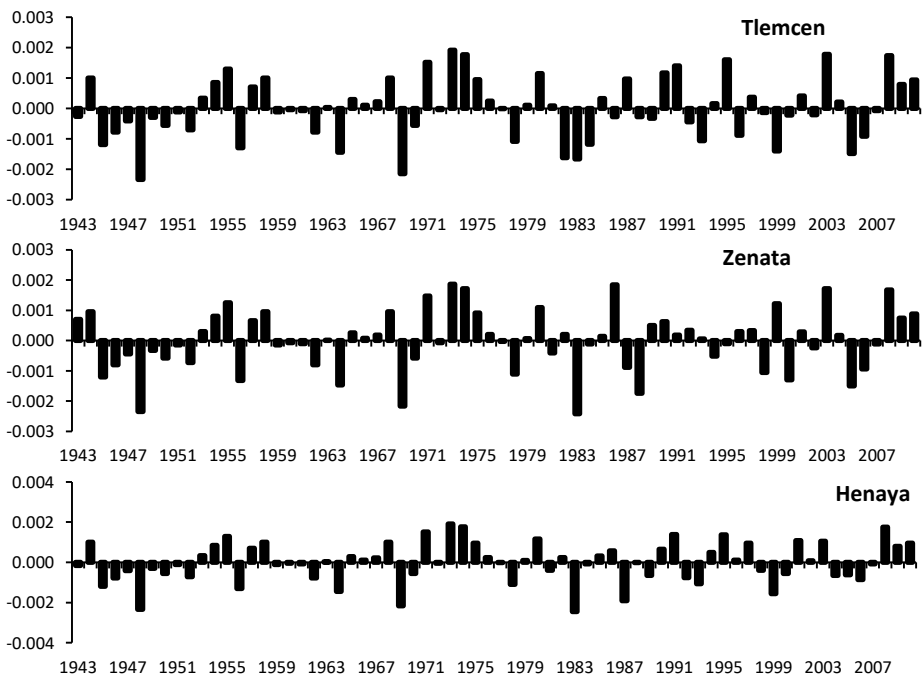


**Figure 4 : Evolution de la sécheresse météorologique à court terme à l'aide de l'indice standardisé de précipitation aux stations de Tlemcen, Zenata et Henaya.**

### Sécheresse météorologique à moyen terme

En général les quarante premières années de la série d'observation ont connues une variation commune du SPI pour les trois stations avec une longue séquence de sécheresse qui a duré 8 années successives de 1945 à 1952 (Figure 5). Une forte intensité de la sécheresse enregistrée pour les trois stations l'année 1948 avec un SPI de l'ordre de - 2.34 en moyenne. Les années 1980 ont été marquées par une sécheresse rude touchant les trois stations avec un déficit pluviométrique très fort atteint l'année 1983 à la station d'Henaya (SPI= -2.44) et de Zenata (SPI= -2.41). La station de Tlemcen a été la plus touchée avec 3 années sèches successives, l'année 1982, 1983 et 1984. La décennie 1990 s'est caractérisée par une alternance d'années humides et sèches avec peu de séquences déficitaires.

Le milieu des années 2000 enregistre un retour sévère de la sécheresse au niveau des trois stations avec des durées de 2,3 et 4 séquences sèches successives à la station de Tlemcen, Zénata et Henaya respectivement.

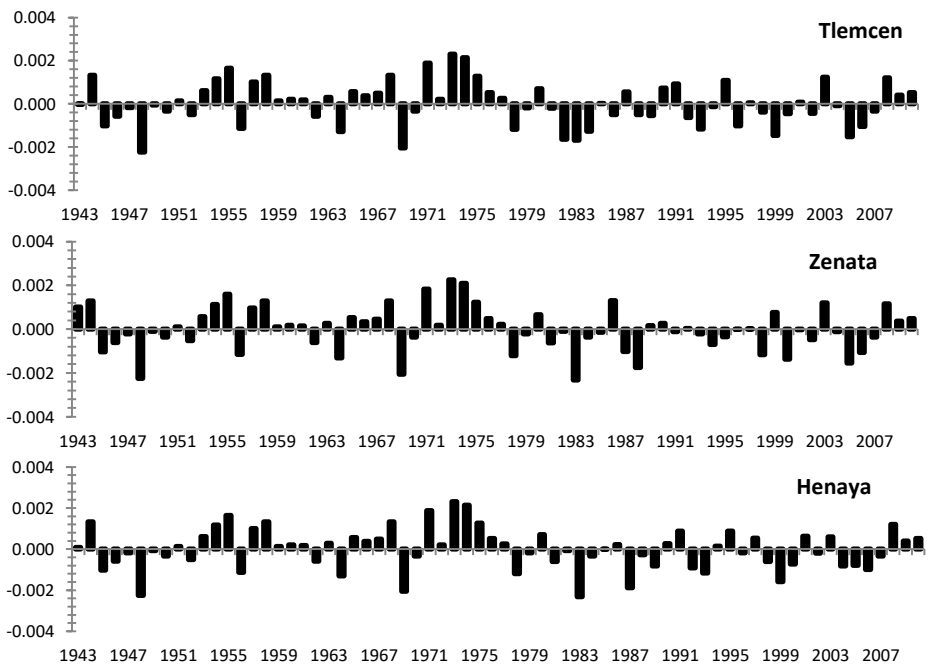


**Figure 5 : Evolution de la sécheresse météorologique à moyen terme à l'aide de l'indice standardisé de précipitation aux stations de Tlemcen, Zenata et Henaya.**

### **Sécheresse météorologique à long terme**

Contrairement aux échelles de temps précédentes la période d'avant 1980 a connu très peu de séquences sèches pour les trois stations soit 12 à 13 années sur 37 (Figure 6). Toute fois on note une séquence sèche de faible intensité et qui a persistée 6 années de suite (de 1945 à 1950) à la station de Tlemcen et Zenata avec un pic de l'indice SPI d'une valeur de -2.25 enregistré en 1948. La sécheresse s'est déclenchée encore une fois au début des années 1980 avec de longues périodes successives sèches soit 6, 5 et 4 années à la station de Tlemcen, Zenata et Henaya respectivement. L'année 1983 a connu des déficits élevés avec un SPI égal à -2.32 à la station de Zenata et d'Henaya. La décennie 1990 s'est caractérisée par des fluctuations du SPI avec de petites séquences sèches de 2 ou 3 années surtout aux stations de Tlemcen et Henaya.

Quant aux années 2000, les trois stations ont été marquées par une séquence sévèrement sèche de 4 années de suite (de 2004 à 2007).



**Figure 6 : Evolution de la sécheresse météorologique à long terme à l'aide de l'indice standardisé de précipitation aux stations de Tlemcen, Zenata et Henaya.**

Le tableau 3 résume les paramètres descriptifs des séquences de sécheresse ainsi analysés à différentes échelles temporelles au niveau des trois stations d'observation.

**Tableau 3 : Paramètres descriptifs des séquences de sécheresse**

Station	Echelle de temps	Intensité (SPI)	Type	Date d'occurrence	Durée maximale	Fréquence
Tlemcen	Court	-2.09	Extrêmement sèche	1948	4 ans	47%
	Moyen	-2.33	Extrêmement sèche	1948	8 ans	53%
	Long	-2.31	Extrêmement sèche	1948	6 ans	50%
Henaya	Court	-2.10	Extrêmement sèche	1948	4 ans	43%
	Moyen	-2.44	Extrêmement sèche	1983	8 ans	51%
	Long	-2.14	Extrêmement sèche	1948	6 ans	49%
Zenata	Court	-1.99	sévèrement sèche	1948	4 ans	46%
	Moyen	-2.41	Extrêmement sèche	1983	8 ans	47%
	Long	-2.32	Extrêmement sèche	1983	6 ans	50%

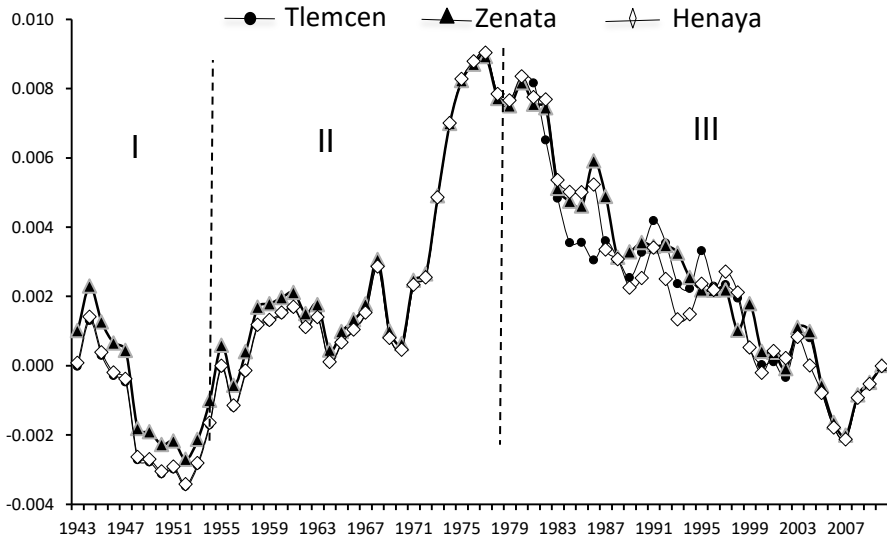
## DISCUSSION

L'analyse de l'indice standardisé des précipitations (SPI) a révélé que le nord-ouest de l'Algérie a connu un important déficit pluviométrique durant la décennie 1940 et surtout après l'année 1980 avec des pics en 1948, 1969 et 1983. Ces pics ont été caractérisés par des sécheresses de types extrêmement sévères. Ces résultats confirment les recherches effectués par Bouanani (2004) et Khaldi (2005). Ce dernier affirme qu'en Algérie, en considérant les stations du nord, l'ampleur du déficit pluviométrique de la dernière période 1974/1992 s'intensifie d'Est en Ouest. Il met en évidence la tendance à la sécheresse à partir des années 1980 et fait apparaître des sécheresses analogues durant les années 1913 et 1940. Meddi et Humbert (2000), à partir d'une étude sur la sécheresse ont constaté qu'un déficit pluviométrique apparaît à partir de 1970, et persiste encore actuellement. Ce déficit génère un grave problème d'ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation...). Selon l'évolution de l'indice de sévérité de la sécheresse sur la même région, l'occurrence de sécheresses sévères et généralisés s'est effectuée durant des années très isolées : 1937, 1961, 1970 (Khaldi, 2005).

Par ailleurs, les variations de l'indice SPI à différentes échelles temporelles des stations pluviométriques montrent que ces trois régions ont été touchées par des séquences de sécheresse très sévères avec des durées et des fréquences assez voisines. Par contre à long et moyen terme l'effet semble influencer et la durée et la fréquence des séquences sèches surtout pour les stations d'Henaya et Zenata situées plus en aval de la station de Tlemcen. Cela pourrait être lié à la distribution spatiale de la pluie au niveau de la région, ces deux stations reçoivent moins de précipitations que celle située à l'extrême nord et sont donc plus sujettes aux épisodes secs.

En examinant la figure 7, l'évolution de la variable cumulée SPI des trois stations permet d'identifier globalement deux grandes périodes sèches et une période humide. Le début des années 1950 et la fin des années 1970, marquent un changement dans la tendance des apports pluviométriques. La période humide correspond à la courbe croissante (zone II, figure 7) et commence vers 1952 pour se terminer vers 1976 en passant par une courte durée de trois années sèches soit 1956, 1964 et 1970. Les courbes décroissantes représentent la période sèche (zones I et III, figure 7). La chute brutale de la courbe des cumuls du SPI à la station de Tlemcen vers le début des années 1980 indique que cette station a été gravement touchée par les affres d'une longue séquence de sécheresse. En revanche les fortes fluctuations de la période 1987-2010 des courbes cumuls caractérisant surtout les stations de Zenata et d'Henaya, indiquent que celles-ci ont connu un équilibre entre leur excédent et leur déficit.

Il est à noter que la sécheresse qui a sévit depuis les années 1980 a eu un impact négatif sur les ressources hydriques dans la région d'étude. En effet malgré l'occurrence d'une période humide qui a duré près de 30 ans (1950-1980), le bassin enregistre une décroissance pluviométrique grave après 1980. Ce déficit évalué à 45% sur les trente dernières années est responsable d'une baisse des apports liquides de 62%. Le caractère aride à semi-aride du climat dans le nord de l'Algérie affecte davantage ces ressources en eau qui sont dépendantes de la pluviométrie. En étudiant les données de 120 postes pluviométriques du nord de l'Algérie, Laborde (1993) a mis en évidence quatre phases pluviométriques, dont une longue période sèche qui s'est affirmée dès la décennie 1970. Le déficit pluviométrique enregistré est plus accentué à l'Ouest du pays, alors qu'il est estimé à 30 % à l'Est et à plus de 50 % au centre et à l'Ouest (Ait Mouhoub, 1998 ; Meddi et Hubert, 2003). Le manque en pluviométrie a généré des écoulements de surface. Il a été estimé à près de 55 % pour les bassins du Centre, entre 37 et 44 % pour la région Est du pays alors qu'elle oscille de 61 à 71 % pour les bassins de l'Extrême Ouest (Meddi et Hubert, 2003 ; Ghénim, 2010).



**Figure 7 : Variation des cumuls partiels des précipitations SPI centrées et réduites (1943-1944 à 2009-2010).**

## CONCLUSION

Au terme de ce travail, on retient que le bassin versant oued Boumessaoud a été affecté par une alternance de périodes sèches et autres humides sur la période 1943 à 2010. Les sécheresses les plus remarquables de par leur intensité, leur durée et leur fréquence ont été observées durant les périodes 1943-1970 et 1980-2010. Ces épisodes secs ont atteint leurs maximums en 1948, 1969 et 1983 avec des sécheresses de type extrêmement sévères. Les trois stations étudiées n'ont pas été affectés de la même manière par la sécheresse selon les échelles temporelles choisies. Des trois échelles de temps considérés, celles à moyen et long terme semblent les mieux appropriées pour décrire les séquences de sécheresse car à ce pas de temps on voit que l'indice statistique SPI permet d'identifier globalement beaucoup d'épisodes secs avec une précision qualitative de leur durée et leur fréquence.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDOULAYE B., CLOBITE B.B., MBANGHOGUINAN A., ISSAK A. et LAOHOTE B. (2014). Impact De La Variabilité Pluviométrique Et De La Sécheresse Au Sud Du Tchad : Effets Du Changement Climatique. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 23, 13 – 30
- AGOUMI A, SENOUSSE N. et YACOUBI A. (1999). Changements climatiques et ressources en eau. Hydrogéologie appliquée ; 12 : 163-82.
- AIT MOUHOU B. D. (1998). Contribution à l'étude de la sécheresse sur le littoral algérien par le biais de traitement des données pluviométriques et la simulation. Thèse de Magister, école nationale polytechnique, Alger,
- BOUANANI A. (2004). Hydrologie, transport solide et modélisation. Étude de quelques sous-bassins de la Tafna (NW–Algérie). Thèse Doctorat, Univ. Tlemcen, Algérie, 254 p.
- BYUN H. R., WILHITE D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. Journal of Climate, 12, 2747-2756.
- FLEIG A.K., TALLASSEE L.M., HISDAL H., HANNAH D.M. (2011). Regional hydrological drought in north-western Europe: linking a new Regional Drought Area Index with weather types. Hydrological Process, 25 (7), 1163-1179.
- GHENIM A.N. (2010). Fluctuations hydro pluviométriques du bassin-versant de l'oued Tafna à Beni Bahdel (Nord-Ouest algérien). Sécheresse vol. 21, n° 2.115-20.
- HAYES M. (1996). Drought indices. National drought mitigation center. Consulté en ligne: <http://enso.unl.edu/ndmc>.
- KHALDI A. (2005). Impact de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaire de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen- Saida". Thèse de doctorat d'Etat, Université d'Oran.
- LABORDE JP. (1993). Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500 000, notice explicative. Projet PNUD/ALG/88/021. Alger : Agence nationale des ressources hydrauliques.
- LAYELMAM M. (2008). Calcul des indicateurs de sécheresse à partir des images NOAA/AVHRR. Projet de Mise en place d'un Système d'Alerte précoce à la Sécheresse dans trois pays de la rive Sud de la Méditerranée: Algérie, Maroc, et Tunisie LIFE05 TCY/TN/000150.
- McKEE T.B., DOESKEN N.J., KLEIST J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. 8th Conference on Applied Climatology, 179-184.
- MEDDI M., HUBERT J., (2000). Variabilité pluviométrique dans l'ouest Algérien durant les cinq dernières décennies. 13<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de climatologie. Nice, France.

- MEDDI M. et P. HUBERT (2003). Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-Ouest de l'Algérie. Dans: *Hydrology In The Mediterranean And Semiarid Regions*. E. Servat , W. Najem , C. Leduc et A. Shakeel (Éditeurs), IAHS Publ. 278, IAHS Press, Wallingford, UK, 329–235.
- MEGNOUNIF A. et GHENIM A.N. (2013). Influence des fluctuations hydro-pluviométriques sur la production des sédiments : cas du bassin de la Haute Tafna. *Revue des Sciences de l'Eau* 26(1) (2013) 53-62
- NALBANTIS I., TSAKIRIS G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881-897.
- PALMER W. (1965). *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, 58p
- SHAFER B.A., DEZMAN L.E. (1982). Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In: *Proceedings of the Western Snow Conference*. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 164-175.
- SHARMA T.C., PANU U.S. (2010) Analytical procedures for weekly hydrological droughts: a case of Canadian rivers. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (1), 79-92.
- SORO G.E., ANOUMAN D. G.L., GOULA BI T.A., SROHOROU B., SAVANE I. (2014). Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique a diverses échelles de temps en climat de type soudanais : cas de l'extrême Nord-Ouest de la cote d'ivoire. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°18, pp. 107-124.
- VICENTE-SERRANO S. M., BEGUERIA S., LOPEZ-MORENO. J. I. (2010). A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index –SPEI. *Journal of Climate*. 23 (7), 1696-1718.
- WOLI P. JONES J.W., INGRAM K.T., FRAISSE C.W. (2012). Agricultural reference index for drought. *Agronomy Journal*, 104 (2), 287-300.