



## **ETUDE DES SEQUENCES DE SECHERESSE DANS LE BASSIN D'ISLY (MAROC ORIENTAL)**

### **STUDY OF DROUGHT SEQUENCES IN THE ILSLY BASIN (EAST MOROCCO)**

*EL HAFID D.<sup>1</sup>, ZERROUQI Z.<sup>1</sup>, AKDIM B.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Centre Régional des Métiers de l'Éducation et Formation, Oujda-Maroc

<sup>2</sup> Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès- Maroc.

*elhafid\_driss@yahoo.fr*

#### **RESUME**

La sécheresse représente le risque majeur le plus fréquent dans l'histoire du Maroc avec des conséquences négatives sur l'environnement et l'économie du pays. En effet, les différentes régions du Maroc ont connu des périodes d'intenses sécheresses ces dernières décennies caractérisées par une diminution des pluies et une tendance à la hausse des températures. Le bassin versant de l'oued Isly qui fait partie du Maroc oriental avec un climat semi-aride a été plusieurs fois exposé à des épisodes de sécheresses sévères ces dernières années. Ses effets peuvent avoir des impacts négatifs sur l'agriculture, les ressources en eau et l'immigration de la population rurale. Cette étude a pour but de caractériser la sécheresse climatique au niveau du bassin d'Isly. Elle s'appuie sur le calcul de l'indice de précipitation normalisé SPI (Index standardisé des précipitations) qui permet d'indiquer aussi le caractère sévère et durable de la sécheresse dans cette région du Maroc. Cette étude vise aussi à discuter les facteurs amplificateurs de ce phénomène dans ce milieu semi-aride.

**Mots clés :** Bassin Isly, sécheresse, indice de précipitation standardisé (SPI)

## **ABSTRACT**

In Morocco, drought is the most frequent major risk in history, with negative impacts on the country's environment and economy. The different regions of Morocco have experienced periods of intense droughts in recent decades. They are characterized by a decrease in rain falls and a tendency to increase temperatures. The watershed of Wadi Isly, in the eastern Morocco, is under a semi-arid climate and has been exposed to severe droughts in recent years. They have negative impacts on the agriculture, water resources and immigration from rural areas. The purpose of this study is to characterize the drought in the Isly basin. It is based on the calculation of the standardized precipitation index SPI (Standardized Precipitation Index), which also indicates the severe and lasting nature of the drought in this region of Morocco. This study also aims to discuss the amplifying factors of this phenomenon in this semi-arid environment.

**Keywords:** *Isly basin, drought, standardized precipitation index (SPI)*

## **INTRODUCTION**

La sécheresse est un phénomène naturel qui touche plusieurs pays du monde comme les pays des golfs, le Moyen-Orient et l'Afrique dont le Maroc en fait partie. Ce phénomène se distingue des autres risques naturels par l'absence d'une définition précise et incontestée (OMM, 2006). La sécheresse de type météorologique peut être définie comme un déficit global des précipitations annuelles par rapport à la moyenne d'un certain nombre d'années sur une période de temps déterminée. Aussi, elle se caractérise par une réduction ou une mauvaise répartition, voir une absence des pluies dans une région donnée pendant une période de temps (Bootsma et al., 1996).

La sécheresse a toujours été présente dans l'histoire du Maroc. Des études dendrochronologiques (Stockton, 1988) ont montré que le Maroc a souvent connu dans le passé des périodes d'intenses sécheresses (Stour et al., 2009). En effet, le territoire marocain a été, plusieurs fois exposé aux risques de sécheresses au cours des années 1944-1945, 1965-1966, 1980-1985, 1994-1995 et 2000-2001. Mais la sécheresse chronique de longue durée est celle qu'a connu le Maroc dans les années quatre-vingt. Cette période de sécheresse a un impact indubitable sur les ressources en eau, l'agriculture, l'énergie et des conséquences négatives sur le bilan économique du pays.

Certaines études sur les changements climatique au Maroc indiquent que la pluviométrie est beaucoup plus contrastée avec une forte variabilité spatio-temporelle, une augmentation des températures et une fréquence remarquable de la sécheresse dans les dernières décennies (Elbouqdaoui, et al., 2006 ; Driouech, 2010 ; Sebbar, 2013). D'autres travaux de recherche ont caractérisé la sécheresse par une approche basée sur la production agricole et le déficit pluviométrique (Barakat et al., 1998). Aussi Yacoubi et al., (1998) ont étudié la typologie de la sécheresse agricole céréalière et ont défini une méthode d'alerte précoce à la sécheresse en climat semi-aride marocain.

Dans ce contexte climatique variable et instable, la présente étude s'est fixée pour objectif d'analyser les séquences de sécheresse météorologique à l'échelle annuelle dans le bassin de l'oued Isly, et ceci pour mieux comprendre l'évolution du climat et ses conséquences à l'échelle du bassin d'Isly et définir des stratégies d'adaptation.

## **CONTEXTE GEOGRAPHIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET CLIMATIQUE**

Le bassin de l'oued Isly de type montagneux, est situé au Nord-Est Maroc. Il occupe une grande partie du territoire de deux provinces Jerada et Oujda. Ce bassin versant s'étend sur une longueur de 43 Km, une largeur moyenne de 49 Km et couvre une superficie de 1312 km<sup>2</sup>. Sur le plan topographique le bassin comporte la partie Nord-Est de la chaîne des horsts (les monts de Zekkara et de Touissit-Sidi Bou Beker) et la plaine de Guenfouda. Les altitudes varient de 570 à 1660 mètres et les pentes de 0 à 57 %. L'oued Isly s'écoule sur une longueur d'environ 78,5 km. Il provient du territoire algérien, traverse le périmètre urbain de la ville d'Oujda, puis de nouveau rejoint l'Algérie vers l'oued Mouilah, qu'est lui-même affluent de l'oued Tafna.

La lithologie du bassin versant de l'oued Isly est essentiellement calcaire et calcaire-dolomitique avec des roches volcaniques récentes au sud-ouest de la ville d'Oujda vers Guenfouda. L'oued Isly traverse par un véritable couloir rétréci la zone basaltique qui, vers le nord-ouest s'accroche aux chaînons jurassiques des Jbels Harraza et Mégrez (Laouina, 1978).

**Tableau 1 : Caractéristiques du bassin versant de l'oued Isly**

Superficie du BV	1312 km <sup>2</sup>
Périmètre du BV	169 km
Longueur total des cours d'eau	966,5 km
Coefficient K = S/P	7,76
Densité de drainage	1,35 km/km <sup>2</sup>
Superficie de végétation	561 km <sup>2</sup>

Le régime hydrologique de l'oued Isly connaît globalement un écoulement pérenne en amont et saisonnier et épisodique en aval. Son débit augmente en hiver et au début du printemps avec un débit moyen annuel qui ne dépasse pas 0,2m<sup>3</sup>/s à la station de Guenfouda. Son écoulement est marqué par des crues exceptionnelles et violentes provoquant des inondations catastrophiques, tel était le cas par exemple du 27 septembre 2005 (850 m<sup>3</sup>/s à la station de Guenfouda et 1040 m<sup>3</sup>/s à Oujda).

Le couvert végétal est bien dégradé au milieu et en aval du bassin et assez dense en amont sur les monts de Touissite et Jerada (Figure 1). Il est constitué par des parcoures et des arbres forestiers tels que le chêne vert, le Thuya, les pins, les glandes vertes, le Tagat, le romarin et les oliviers sauvages.

Les habitants ruraux du bassin d'Isly pratiquent une agriculture traditionnelle basée surtout sur la céréaliculture, l'arboriculture et le pâturage. Ils font aussi des travaux d'extraction minière dans les gisements de Touissite et Sidi Boubker et pratiquent la contrebande à travers la frontière Algéro-Marocaine.

Le climat du bassin versant d'Isly est de type méditerranéen sec, car il subit de fortes influences sahariennes et continentales. Il se caractérise par des précipitations de l'ordre de 245 mm par an avec 290 mm à Oujda et 200 mm à Guenfouda. Le nombre de jours pluie est en moyenne de 64 j/an, avec des minima enregistrés en juillet et août et des maxima observés pendant les mois de novembre, décembre et janvier. Les crues les plus subjectifs sont celles qui sont issues d'averses exceptionnelles et très intenses. La concentration des précipitations est une caractéristique du climat de la région. Une forte proportion des précipitations annuelles peut tomber en quelques jours voire quelques heures. Cette concentration pluviométrique déclenche souvent des crues pouvant déborder les lits mineurs et inonder les quartiers avoisinants (EL Hafid et al., 2012), tel était le cas des inondations enregistrées le 17 novembre 1986, lorsque 10% des précipitations annuelles sont tombées en quelques heures (EL Hafid et al, 2004). Dans les monts de Jerada et Touissite des chutes de neiges tombent en moyenne 7 jours/an au-dessus de 1000 mètres. La

température moyenne annuelle à l'échelle du bassin d'Isly est de l'ordre de 17,13 °C.

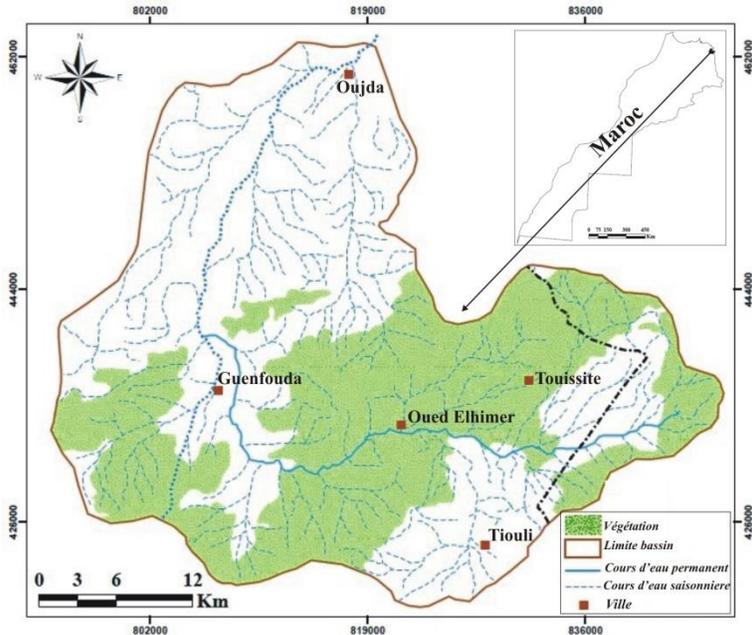


Figure 1 : Localisation du bassin de l'oued Isly

## DONNEES ET METHODES

### Données climatiques

Les données pluviométriques utilisées dans cette recherche sont issues de l'agence de bassin hydraulique de la Moulouya et de la direction régionale des eaux et forêts de l'oriental du Maroc. Le tableau 2 montre les coordonnées et les caractéristiques climatiques des stations retenues dans cette étude. Les données de base sont constituées de relevés pluviométriques mensuels provenant de deux stations pluviométriques Oujda et Guenfouda et de la température annuelle de la station Oujda. Le choix de ces stations est déterminé en fonction de la disponibilité des séries de données climatiques.

**Tableau 2 : Caractéristiques des stations pluviométriques du Bassin d’Isly**

Station		Oujda	Guenfouda
Coordonnées (m)	X	817000	806750
	Y	470200	439600
	Z	458	770
Taille des séries (ans)		47	47
Pluie Moyenne Annuelle (mm)		282,6	266,4
Min (mm)		109	81,8
Max (mm)		497,6	465,3
Ecart Type		81,74	95,76
Couverture végétale (%)		29	36

Le traitement statistique des données pluviométriques proposé dans cette étude, concerne d’une part les variations spatio-temporelle des pluies annuelles et les évènements pluviométriques extrêmes, aussi que l’analyse de la fréquence des années sèches.

### Indice standardisé des précipitations (SPI)

Le SPI (Standardized Precipitation Index) est un indice très simple créé par McKee et al., (1993). Il permet de mesurer la sécheresse météorologique. L’organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté cet indice en 2009 comme instrument mondial de mesure des sécheresses météorologiques. Pour calculer l’indice SPI, on a besoin seulement de données de précipitations annuelles, mais il faut aussi se baser sur une historique des précipitations de longue durée et disposer de relevés mensuels s’étalant sur au moins 20 à 30 ans. Or, la période optimale est de l’ordre de 50 à 60 ans (Guttman, 1994). L’indice SPI permet de quantifier l’écart des précipitations d’une période par rapport aux précipitations moyennes. Il est calculé ainsi :

$$SPI = (X_i - X_m) / S_i$$

Où

$X_i$  : est le cumul de la pluie pour une année  $i$ .

$X_m$  : est la moyenne des pluies annuelles observées pour une série donnée.

$S_i$  : est l’écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée.

L’indice SPI est parmi les nombreux indices d’appréciation de la sécheresse pluviométrique. Il permet de calculer des déficits pluviométriques et détermine les périodes ou cycles humides ainsi que les cycles secs. Suivant les valeurs de l’indice SPI, une classification de la sécheresse est effectuée (Tableau 3).

**Tableau 3 : Classes de sécheresse selon l'indice SPI (Mckee et al., 1993)**

Valeurs de SPI	Type de sécheresse
2,0 et plus	Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99	Très humide
de 1,0 à 1,49	Modérément humide
de -0,99 à 0,99	Proche de la normale
de -1,0 à -1,49	Modérément sec
de -1,5 à -1,99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse par rapport à la période de référence choisie. Cette formule créée par Mckee et al., (1993) a été mise en œuvre dans de nombreuses travaux de recherches hydro-climatiques dans certaines régions du monde (Wu et al., 2006 ; Khan et al., 2008 ; Naresh Kumar et al., 2009 ; Ghenim et al., 2011 ; Jouilil et al., 2013 ; Soro et al., 2014 ; Boudad et al., 2015 ; Nouaceur et al., 2015).

Le choix de cet indice dans la présente étude est justifié par ses avantages en termes de cohérence statistique et sa capacité de décrire à la fois à court et long terme les impacts de la sécheresse à travers les différentes échelles de temps (McKee et al., 1993). Aussi cet indice est moins complexe en comparaison avec d'autres indices et nécessite uniquement la pluviométrie comme seul paramètre permettant l'évaluation des périodes de sécheresse.

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

L'analyse générale de la pluviométrie dans le bassin d'Isly a montré deux phases d'évolution. Une première phase marquée par l'humidité (1970-1980) et une deuxième (1981-2016) caractérisée par une forte variabilité, une période sèche et un retour des pluies parfois d'une année à 3 ans. Cette région du Maroc Oriental a connu un important déficit pluviométrique après l'année 1980 variant de 10 à 69% par rapport la moyenne des pluies annuelles.

L'analyse des résultats du calcul de l'indice standardisé des précipitations (SPI) pour les stations d'Oujda et Guenfouda au cours de la période d'étude (1970-2016) a permis de déterminer l'évolution des degrés de sévérité de la sécheresse. Durant la période de 47 années, il y a eu une dominance des années sèches de l'ordre de 49% dans la station de Guenfouda et de 45% dans la station d'Oujda.

Au niveau de la station de Guenfouda (Figure 2) les résultats du calcul de l'indice SPI montrent l'existence de séquences sèches remarquables durant les périodes 1981-1985, 1987-1989 et 2001-2003 avec respectivement 5 et 3 années sèches successives et un pic de l'ordre de -1,9 pendant l'année 1983.

L'analyse des valeurs de l'indice SPI à la station d'Oujda (Figure 3), indique l'existence de 6 séquences de sécheresse avec un pic de l'ordre de 1,64 pendant l'année 1983.

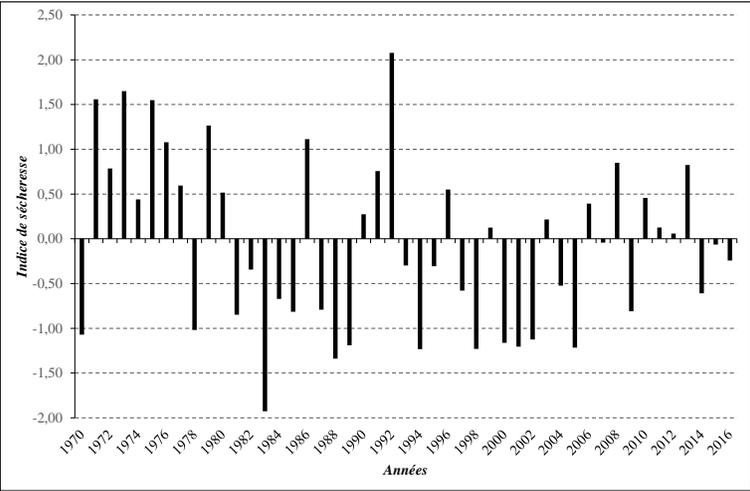


Figure 2 : Variation de l'indice SPI à la station de Genfouda

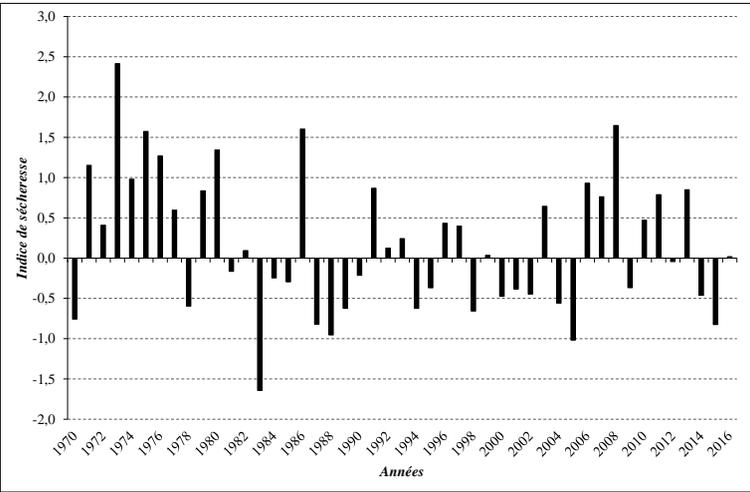
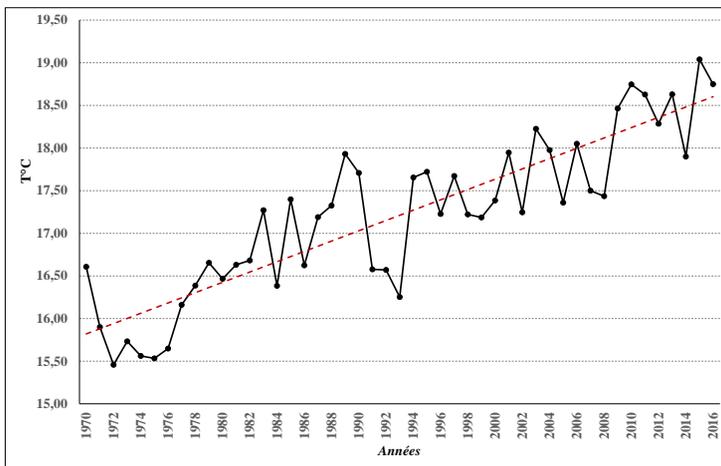


Figure 3 : Variation de l'indice SPI à la station d'Oujda

Au cours de la période d'étude (1970-2016), les variations de température entre les épisodes hivernales et estivales à la station Oujda sont très importantes. En hivers, les températures minimales ne dépassent pas 10°C et parfois la région sud d'Oujda subie des gelées blanches pendant les mois de décembre et janvier ou le thermomètre enregistre des valeurs inférieures à 0°C. En été, les températures sont maximales et les deux mois de juillet et août sont les plus chauds et parfois les vents de chergui secs et chauds soufflent dans la région. En été, les températures maximales dépassent les 40°C. L'analyse des températures enregistrées à la station météorologique d'Oujda depuis 1970 (Figure 4) indique une augmentation des températures annuelles depuis 1970 de l'ordre de 0,45 °C par décennie soit environ 2,1 °C sur l'ensemble des 47 ans étudiés. Ces résultats sont très proches de ceux trouvés par Driouech (2010) et conformes au réchauffement global planétaire enregistré durant les dernières décennies.



**Figure 4 : Moyennes des températures annuelles à la station d'Oujda (en pointillée la tendance)**

L'élévation de la température et la baisse des précipitations annuelles ont un impact sur l'environnement surtout la couverture végétale et les ressources en eau dans le bassin d'Isly caractérisées par un changement de la disponibilité des eaux souterraines. En effet depuis l'année 1980, la nappe de Jbel Hamra a enregistré une baisse de 2,5 à 3 m/an (ABHM, 2007). Aussi, l'oued Isly a connu un déficit d'écoulement à partir de l'année 1980 à nos jours et a enregistré à la station de Guenfouda sa plus grande baisse de débit par rapport à la moyenne interannuelle de 0,36 m<sup>3</sup>/s en 1980 à 0,01 en 2010.

Ce travail a montré que la région sud d'Oujda a connu des périodes de sécheresses sévères avec un déficit pluviométrique qui dépasse 65% à la station de Guenfouda et 55% à la station d'Oujda. Des pics de déficits remarquables ont été enregistrés en 1983, 1988, 1994, 1998 et 2005. Ces années ont été caractérisées par des sécheresses de types très secs à modérément sec. Ces résultats sont similaires à ceux d'autres travaux de recherches effectués par Stour et al., (2009) et qui ont montré que la sécheresse s'est imposée avec force ces dernières décennies en tant qu'élément structurel du climat du Maroc et qu'un réchauffement du climat significatif accompagne cette installation de la sécheresse. En outre, les études effectuées dans le bassin d'Oum Errabia par Jouilil et al., (2013), El Ghachi et al., (2016) et Daki et al., (2016) ont également mentionné que les années sèches les plus persistantes sont survenues après l'année 1980 et que le bassin d'Oum Errabia est fortement vulnérable à la sécheresse. De même, l'étude de la sécheresse pluviométrique du bassin de Tafna en Algérie par Ghenim, (2013) a montré que la décennie 1980-1990 a été la plus sèche au cours des 60 dernières années. Par ailleurs, Il est à constater que le bassin d'Isly est le plus touché par le risque de sécheresse par rapport aux bassins atlantiques qui sont moins sujettes aux épisodes secs et reçoivent plus de précipitations que ceux situés à l'Est et Sud-Est.

## **CONCLUSION**

A l'issue de cette étude, nous pouvons conclure qu'il y a une tendance significative à la sévérité de la sécheresse à l'échelle du bassin d'Isly et ceci durant les dernières décennies. La sécheresse s'est imposée avec force dans le Maroc oriental et elle représente un élément structurel et caractéristique du climat méditerranéen semi-aride. Cette tendance à l'assèchement provoque un déficit hydrique de plus en plus marqué par un déséquilibre entre l'offre et la demande en eau.

Le calcul de l'indice standardisé des précipitations, mis au point par McKee et al. (1993) est un outil qui pourra aider les décideurs à cibler les stratégies d'interventions, à adapter les projets agricoles et pastoraux aux changements climatiques et par conséquent diminuer l'impact des périodes de sécheresse.

## REFERENCES

- BARAKAT F., HANDOUFE A. (1998). Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. *Sécheresse*, 9, 201-208.
- BOOTSMA A., BOISVERT J.B., DE JONG R. et BAIER W. (1996). La sécheresse et l'agriculture canadienne : Une revue des moyens d'action. *Sécheresse*, 7, 277-285.
- BOUDADA B., SAHBIA H., MANSSOURIB I., MANSSOURIA T., et BOUDEBBOUZ B. (2015). Prédiction de la sécheresse dans le bassin d'Inaouène en utilisant les réseaux de neurones et la régression linéaire multiple. *Journal of SAWIS*, Volume, 01, 13-18.
- DAKI Y., ZAHOUR G., LACHGAR R., EL HADI H. (2016). Caractérisation de la sécheresse climatique du bassin versant d'Oum Er Rbia (Maroc) par le biais de l'indice de précipitation standardise (SPI). *European Scientific Journal*, vol 12, 14, 198-209.
- DRIOUECH F. (2010). Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique. Thèse de Doctorat de l'Institut national polytechnique de Toulouse, 163 p.
- ELBOUQDAOUI K., HAIDA S., ABOULABBES O., BENAABIDAT L., ZAHRAOUI M., OZER A. (2006). Evolution du régime pluviométrique et hydrométrique du bassin versant du Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Revue, Géo-Eco-Trop*, 30.2, 41-56.
- EL HAFID D., GILLES E., AKDIM B. (2004). Echelle spatiale et genèse des risques hydrologiques en milieu urbain et péri-urbain cas de la ville d'Oujda. *Revue Géomagreb Fès*, 2, 1-10.
- EL HAFID D., JULIA R., AKDIM B. (2012). Erosion, aménagement et risque hydrologique dans le bassin versant de l'oued Sidi Yahya (Oujda, Maroc). *Revue Géographie du Maroc*, 27, 79-90.
- GHENIM A., MEGNOUNIF A. (2011). Caractérisation de la sécheresse par les indices SPI et SSFI (Nord-Ouest de l'Algérie). *Revue scientifique et Technique*, 18, 59-77.
- JOUILIL I., BITAR K., SALAMA H., AMRAOUI MOKSSIT A., TAHIRI M. (2013). Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. *Revue Larhyss Journal*, 12, 109-127.
- KHAN S., GABRIEL H. F., RANA T. (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. *Irrig Drainage Syst*, 22, 159-177.
- LAOUIA A. (1990). Le Maroc Nord Oriental, Reliefs modelés et dynamique du calcaire. Publication du Rectorat de l'université Mohammed 1<sup>er</sup> Oujda. 605p.

- MCKEE, T.B., DOESKENET N.J., KLEIST J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, du 17 au 22 janvier 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
- MIRABBASI R., ANAGNOSTOU E.N., FAKHERI-FARD A., DINPASHOH Y., ESLAMIAN S. (2013). Analysis of meteorological drought in northwest Iran using the Joint Deficit Index. *Journal of Hydrology*, Vol. 492, 35–48.
- NARESH KUMAR M., MURTHY C. S., SESA SAIB M.V.R., ROYB P.S. (2009). On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment. *Meteorol. Appl* 16, 381–389.
- NOUACEUR Z., LAIGNEL B. (2015). Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes sur la rive sud du bassin méditerranéen : études du cas du « quart nord-est » Algérien. Actes de la 18<sup>ème</sup> Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 573-578.
- ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE (OMM). (2012). Guide d'utilisation de l'indice normalisé de précipitations. Genève, 17p.
- SEBBAR A. (2013). Etude de la variabilité et de l'évolution de la pluviométrie au Maroc (1935-2005) : Réactualisation de la carte des précipitations. Thèse de Doctorat en Bioclimatologie, Univ. Hassan II, Fac. Sci. Ben M'sik, Casablanca, 186 p.
- SORO G.E., ANOUMAND G.L., GOULABIT A., SROHOROU B., SAVANE I. (2014). Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de type soudanais : cas de l'extrême nord-ouest de la Cote d'Ivoire. *Revue Larhyss Journal*, 18, 107-124.
- STOCKTON C.W. (1988). Current research progress toward understanding drought. In proceed. Confer. On drought, water management and food production, 21-24 novembre 1988. Agadir Maroc, 21-35.
- STOUR L., AGOUMI A. (2009). Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies. *Revue Hydroécol. Appl.* Tome 16, 215–232.
- YACOUBI M., EL MOURID M., CHBOUKI N., STOCKLE C. (1998). Typologie de la sécheresse et recherche d'indicateur d'alerte en climat semi-aride marocain. *Sécheresse*, 9, 269-276.
- WU H., SVOBODA M.D., HAYES M.J., WILHITE D.A., FUJIANG W. (2006). Appropriate application of the standardized precipitation index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27, 65–79.