

Caractérisation à l'aide du SPI de la Sécheresse climatique dans le bassin versant de Ziz (Sud-Est, Maroc)

Radouan Mehdaoui

Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences,
Département de Géologie, Zitoune, Meknès, Maroc

El-Mostafa Mili, PES

Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences de Meknès,
Département de Géologie, Zitoune, Meknès, Maroc

Aziz Seghir, Docteur

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah,
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines–Saïs, Fès, Maroc

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n21p177 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n21p177](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n21p177)

Abstract

This paper analyzes the spatial and temporal variability of drought in winter season in an arid geographical gradient located in the eastern edge part of the Moroccan High Atlas especially at the Ziz watershed. Drought period between 1975 and 2013 were analyzed using the Standardized Precipitation Index (SPI) over 12 months for a 38-year scale. The results indicate that the most important drought by intensity and duration occurred during the 1982/84, 1983/84, 2000/01, and 2004/05 periods are generalized on all stations of the basin with a minimum SPI reached -2.77 at the Taous station. The results indicate that drought in winter have been tied to the dominance of dry circulation with the exception of the frequency of thermodynamic and north-eastern disturbances which are considered unstable aerological conditions. Which occur frequently between February and April of each year for the Errachidia station, Hassan Adakhil Dam, Fom Zaabal, Tillicht, M'Zizl, Arfoud and Taouz.

Keywords: Drought, Standardized precipitation index (SPI), watershed Ziz

Résumé

Cet article analyse la variabilité spatiale et temporelle des sécheresses hivernales dans un gradient géographique aride à la bordure Est du Haut Atlas Oriental au niveau du bassin versant de Ziz (Sud-Est du Maroc). Les sécheresses survenues entre 1975 et 2013 ont été analysées au moyen de

l'Indice Normalisé de Précipitations (SPI) (Standardized Precipitation Index) sur 12 mois pour une échelle de 38 ans. Les résultats indiquent que les sécheresses les plus remarquables par leur intensité et leur durée se sont produites durant les périodes 1982/84, 2000/01, et 2004/05. Ces sécheresses sont généralisées sur toutes les stations du bassin avec un SPI minimum de - 2,77 au niveau du poste de Taous. L'influence de la fréquence de type météorologique et des schémas généraux de la circulation atmosphérique dans l'Atlantique nord a été analysée aussi: les résultats indiquent que les sécheresses hivernales ont été attachées à la dominance des circulations sèches à l'exception de la fréquence des perturbations thermodynamiques et Nord-Est qui sont considérées comme des états aérologiques instables, qui surviennent fréquemment entre février et avril de chaque année pour la station d'Errachidia, Barrage Hassan Adakhil, Fom Zaabal, Tillicht, M'Zizl, Arfoud et Taouz.

Mots clés : Sécheresse, Indice de précipitation normalisé (SPI), Bassin versant de Ziz, Fréquence météorologique

Introduction

La sécheresse est définie comme un déficit de précipitations sur une période de temps prolongée, habituellement une saison ou plus, qui provoque une pénurie d'eau pour une activité, un groupe ou un secteur de l'environnement. Ses impacts résultent de l'interaction entre l'événement naturel (moins de précipitations que prévu) et la demande en eau des activités humaines. Par conséquence, lorsqu'un déficit en eau affecte les masses d'eau de surface (cours d'eau) et les masses d'eau souterraines (nappes aquifères), survient une sécheresse hydrologique, car le débit d'eau de surface et/ou souterraine diminue par rapport aux valeurs normales (ABHZGR). Tandis que la sécheresse socio-économique apparaît quand les précipitations insuffisantes ont un impact significatif sur les communautés et leur économie. (Organisation météorologique mondiale 1990).

Cet impact croissant impose que la sécheresse soit examinée non seulement comme un événement naturel qu'il faut subir, mais aussi comme un phénomène qu'il convient d'expliquer, de connaître, et qu'il faut, lorsqu'il survient, gérer avec l'efficacité nécessaire et prendre les mesures nécessaires à l'avance pour atténuer son impact.

Certains scénarios des changements planétaires indiquent que l'occurrence et l'impact des sécheresses risquent d'augmenter dans les années à venir (Watson et *al* 1997). Dans un tel contexte climatique, il est indispensable d'analyser les séquences de sécheresse météorologique en vue de proposer aux populations des mesures d'atténuation ou d'adaptation au cas échéant.

Les études sur les changements climatique au Maroc montrent 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).

Néanmoins, dans la région étudiée, la tendance négative des valeurs SPI concorde avec l'augmentation de la fréquence des types de temps de l'Est (E, SE), qui sont susceptibles de provoquer des sécheresses dans cette zone. Les variations interannuelles de la fréquence des différents types de temps ont été fortement déterminées et basées sur les hauteurs géopotentielle (niveaux 500 et 1000 hPa) pour l'Atlantique Nord-Europe.

Les résultats indiquent une succession importante des années sèches dans la zone d'étude ; des dispositions climatiques négatives généralement ont été observées en hiver.

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 versant de Ziz afin de mieux comprendre l'évolution du climat et ses conséquences à l'échelle du bassin et de définir des stratégies d'adaptation.

Présentation du bassin versant de Ziz

Situation géographique

Le bassin hydrographique de Ziz s'étend sur une superficie de 14411 km². Limité au Nord par les massifs du Haut-Atlas Oriental, à l'Ouest par Jbel Ougnane (1189 m), Jbel Al marka (1164 m), Jbel Adrar (1030 m) et le bassin versant de Ghéris, au Sud par des collines (dont l'altitude dépassant 800 m), et à l'Est par des collines (dont l'altitude dépassant 1100 m) et le bassin versant du Guir (Figure 1).

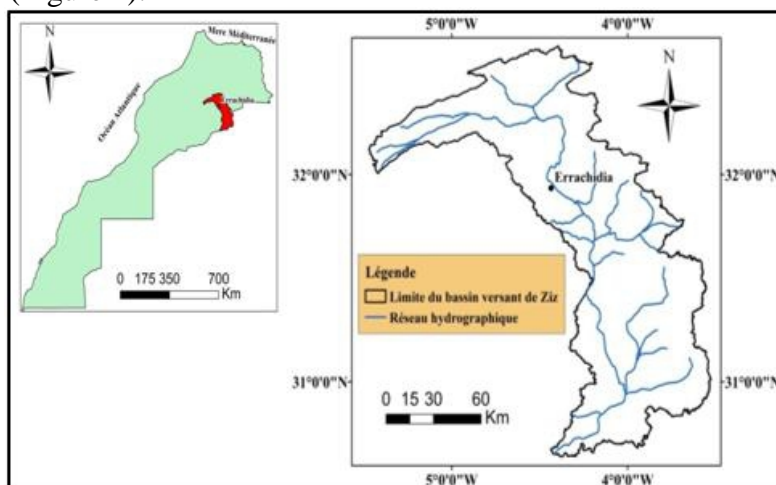


Figure 1: Situation géographique du bassin versant de Ziz

Contexte climatique

De point de vue géo-climatique, La grande variabilité spatio-temporelle du régime pluviométrique de la zone est due à l'orographie et à sa localisation.

La particularité arquée de la chaîne atlasique provoque l'apparition d'une zone d'abri dont le système convectif est associé au chauffage intense. Cet abri empêche l'entrée des perturbations océaniques et marines à la région.

La complexité de la sécheresse climatique dans le bassin est accentuée par l'instabilité de la circulation cyclonique associée à la présence des barrières topographiques ; celles-ci freinent les influences perturbées Atlantiques et Marines ; qui restent très faibles si on prend en compte l'éloignement de la région par rapport aux flux perturbés ouest et nord-est (figure 2).

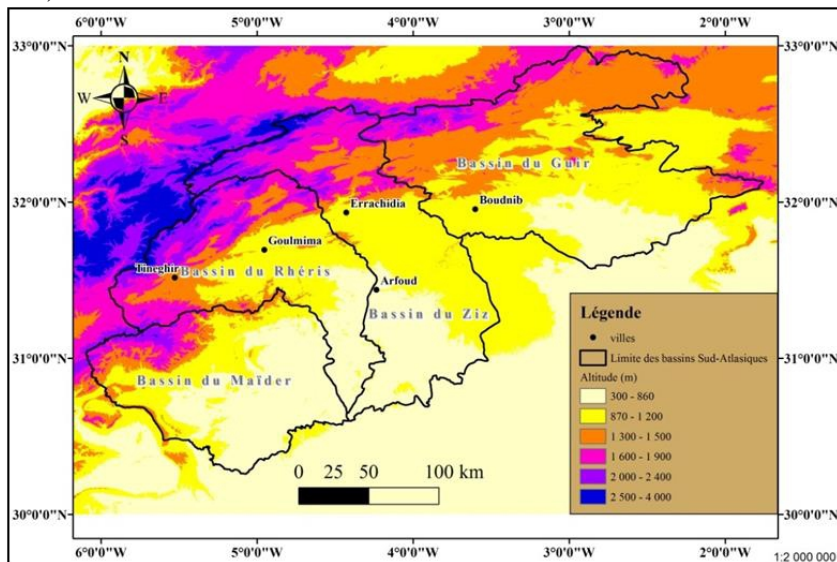


Figure 2: Situation de la zone par rapport au contexte géo-climatique locale

Si on prend en compte l'ensemble des caractéristiques géoclimatiques de la région d'étude, on trouve que les précipitations mensuelles dépendent de 75 % des flux perturbés parvenus du secteur nord-est. En effet, lorsqu'une vallée froide atteint la Méditerranée occidentale, un flux perturbé de direction nord-est arrive jusqu'aux régions orientales du Maroc (Figure 3).

En outre, les précipitations mensuelles dépendent de 20 % des orages thermodynamiques qui sont considérés comme des états aérologiques instables et qui surviennent fréquemment au Maroc entre février et avril. Ces orages sont dus à la présence d'une circulation méridienne d'un air polaire frais vers le Sud dans un environnement où il n'y a pas un grand contraste entre l'air polaire froid et l'air tropical chaud. L'instabilité aérologique est

activée par la présence des montagnes qui forcent l'air tropical chaud à s'élever et en contrepartie l'air polaire en haut à descendre (figure 4).

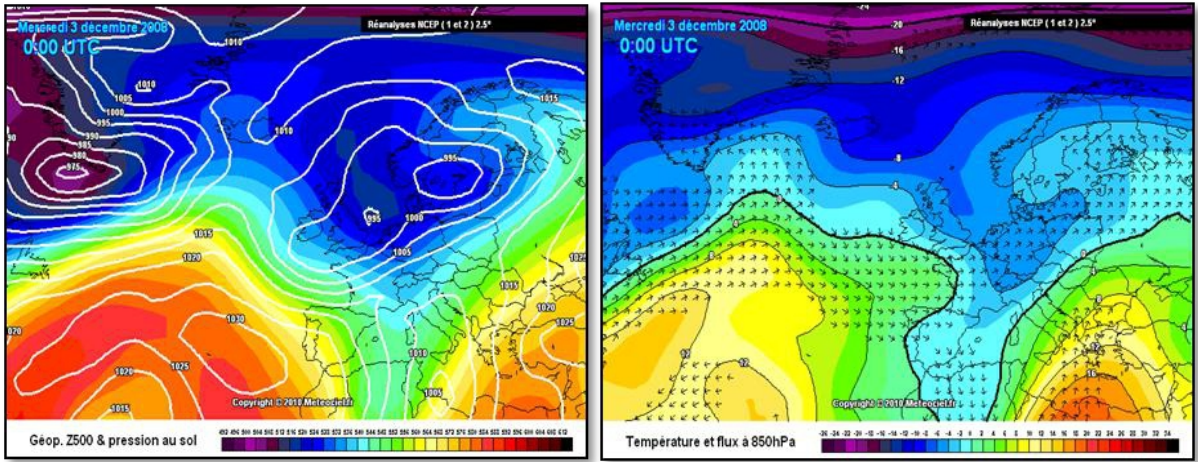


Figure 3: Circulation atmosphérique à 500 hPa (hectopascal), de la journée 3 Décembre 2008 à 00 UTC (Universal Time Coordinated) (<http://www.meteociel.fr>)

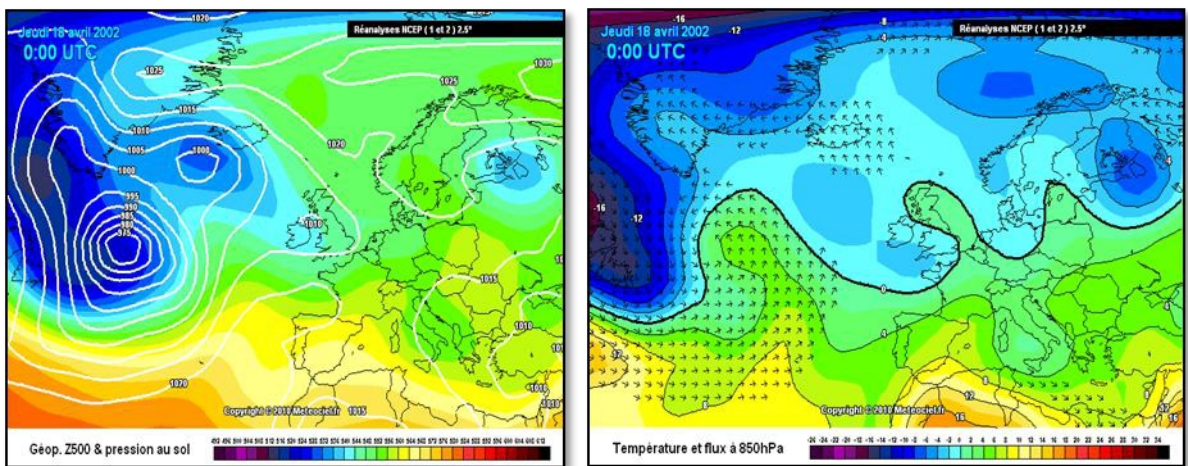


Figure 4: Circulation atmosphérique à 500 hPa (hectopascal), de la journée 18 /4/ 2002 à 00 UTC (Universal Time Coordinated) (<http://www.meteociel.fr>)

Ainsi, les régimes de précipitations saisonnières ont également des caractéristiques spécifiques au cours de la période d'enquête, notamment les précipitations mensuelles, saisonnières et annuelles qui dépendent de quelques événements climatiques spécifiques autochtones. D'où la variabilité interannuelle devient assez élevée.

La principale caractéristique imprégnant le climat de la zone d'étude est qu'il est semi-désertique (Saharien) à forte influence continentale (Riad 2003). Les indicateurs climatiques sont les suivants :

- la température moyenne annuelle varie entre 15°C en montagne du Haut Atlas à 22°C dans les limites Sud et Est avec l’Algérie. Elle se caractérise par des grands écarts tant saisonniers que journaliers. Alors qu’elle neige à Outerbat et ces environs pendant l’hiver, la température peut atteindre 50 °C à Rissani pendant l’été.
- la zone d’étude est caractérisée par une très forte évaporation qui varie entre 2500 à 5000 mm/ an.
- les vents dominants sont de direction Nord-Est. Le chergui (vent chaud et sec en provenance du Sud-Est) souffle essentiellement au printemps et en automne.
- la neige est fréquente au niveau de la zone d’étude. Le mois de janvier reste le mois le plus froid durant lequel les hauteurs moyennes atteignent environs 0,5 m. La zone d’étude est caractérisée aussi par des périodes de crues durant lesquelles les vallées sont irriguées à travers le réseau de prises d’eau et séguias. On distingue deux types de crues :
 - crues de montagnes de faible importance, liées à des averses localisées dans la zone amont et peuvent survenir dans les différents oueds à n’importe quel moment.
 - les fortes crues qui se produisent généralement en automne, elles sont très violentes à caractères dévastateurs et peuvent provoquer des dégâts (notamment au niveau des sols et des berges). Elles sont dues à des fortes pluies de courte durée.

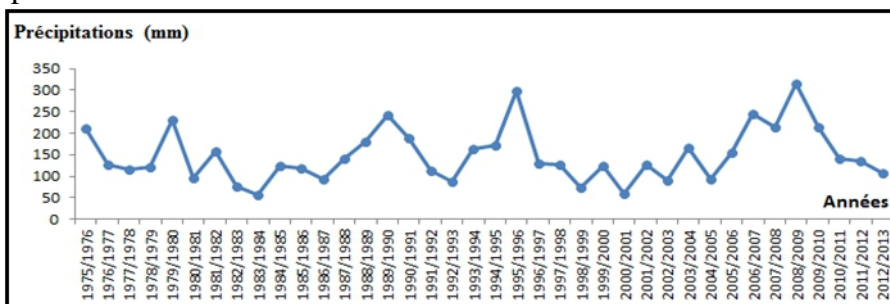


Figure 5: Evolution des précipitations annuelles dans la totalité des stations étudiées (Période 1975/2013)

Le régime annuel des précipitations est caractérisé par deux saisons humides, l’automne et le printemps séparés par une brève saison d’hiver avec un minimum relatif faible, et par une longue saison d’été très marquée par la sécheresse.

En général Le régime annuel des pluies présente une grande irrégularité dans sa répartition interannuelle et dans sa répartition spatiale. Elle varie en moyenne entre 250 mm en montagne au Nord et 50 mm au Sud avec

une moyenne sur le bassin de 120 mm. Le nombre de jours de pluies par an est très faible et varie entre 3 à 10 jours par an.

En examinant les données pluviométriques relatives aux années 1975-2013, nous constatons que ces périodes connaissent un déficit pluviométrique généralisé, dont l’observation du graphe permet de distinguer également une irrégularité des précipitations. Les périodes 1999-2006, sont considérées comme sèches car les totaux pluviométriques sont largement inférieurs à la moyenne. Dans la période 2007-2009, on constate une hausse des valeurs avec plus de 280 mm presque dans toutes les stations du bassin.

En ce qui concerne les précipitations mensuelles, elles sont caractérisées par un régime pluviométrique très variable d’une année à l’autre et qui traduit l’irrégularité des précipitations. Le module pluviométrique interannuel augmente du Sud vers le Nord et atteint 259 mm/an à Zaouit Sidi Hamza (Hilali, 2015).

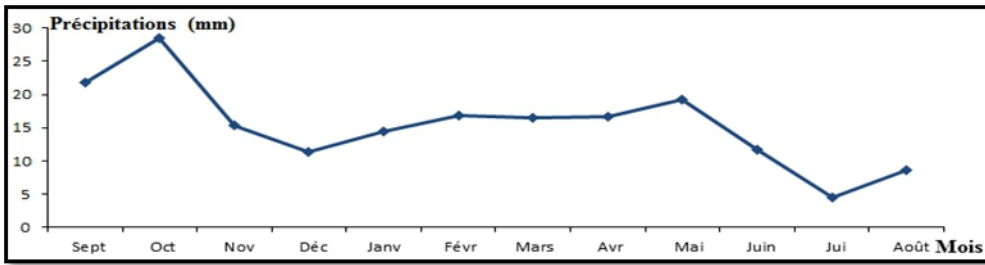


Figure 6: Evolution des précipitations mensuelles moyennes dans le bassin du Ziz

Contexte hydrologique

Le bassin versant de Ziz est très vaste et présente une forme assez régulière. Le réseau hydrographique est riche en vallées importantes mais à faible développement de cours d’eau pérennes (Bousfoul, 2008). En effet, l’oued Ziz présente un régime hydrologique à tendance saharienne avec une longueur de 390 km, prend sa source au Nord dans le Haut Atlas oriental et débouche, après 282 km, dans le désert du Sahara Algérienne (Amharref 1991).

Le cours d'eau principal comprend :

- **un cours d’eau supérieur**, de direction Est-Ouest sur 122 km devenant Nord-Sud au coude de Kerrando. Ce cours d’eau draine le bassin amont du Ziz qui est limité au Sud par le barrage Hassan Adakhil ;
- **un cours d’eau moyen**, de direction générale Nord-Sud, collecte les eaux du bassin intermédiaire depuis le barrage au radier d'Erfoud ;
- **un cours d’eau inférieur**, de direction générale Nord-Sud, traverse la plaine du Tafilalet.

Le barrage Hassan Adakhil, régulateur des apports entre la région atlasique et la plaine de Tafilalet, contrôle à son amont une superficie d'environ 3490 km² (El Ouali, 1992).

Méthodologie

L'Indice Standardisé de Précipitation (SPI) a été développé en 1993 par Mc Kee, N.J. Doesken & J. Kleist de l'Université de l'Etat du Colorado, pour la détermination des déficits pluviométriques pour une période donnée. C'est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis.

En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes humides que les périodes sèches.

Méthode de calcul de l'indice SPI

L'indice standardisé de précipitation (SPI) est basé sur des calculs statistiques des précipitations pendant une longue période (30 ans au moins). Le SPI est développé en 1993 par Mc KEE, N.J. DOESKEN & J. KLEIST de l'Université de l'Etat du Colorado, pour la détermination des déficits pluviométriques. C'est un indice très important, puissant et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. Cet indice est calculé par

la formule suivante :

$$SPI = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \frac{P_j^i - \bar{P}_j}{\sigma_j}$$

Où P_j^i est la pluie de l'année i à la station j, \bar{P}_j la pluie moyenne interannuelle de la station j, σ_j l'écart-type de la série des cumuls saisonniers à la station j et N_i le nombre de stations de l'année i.

Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane alors que les valeurs négatives indiquent des précipitations inférieures à la médiane. Étant donné que l'indice est normalisé, il est possible de représenter de la même manière les climats humides et arides; ainsi est-il possible aussi, grâce à cet indice SPI, d'assurer une surveillance des périodes humides et leur fréquence de répétition (Tableau 1).

Tableau 1: Probabilité d'occurrence des catégories climatique selon (McKee et al 1993)

SPI	Catégorie	Nombre de fois sur 100	Fréquence
de 0 à 0,99	Légère sécheresse	33	1 fois tous les 3 ans
de -1,00 à -1,49	Sécheresse modérée	10	2 fois tous les 10 ans
de -1,5 à -1,99	Grande sécheresse	5	3 fois tous les 20 ans
< -2	Sécheresse extrême	2	4 fois tous les 50 ans

La classification adoptée par l'Organisation Mondiale de la Météorologie où sept classes de sécheresse sont distinguées, variant de l'extrêmement sèche à l'extrêmement humide, peuvent être distinguées (Tableau 2).

Tableau 2: Classification de la sécheresse selon SPI (OMM)

Valeurs de l'indice SPI	Catégorie de sécheresse
2.0 et plus	Extrêmement humide
1.50 à 1.99	Très humide
1.0 à 1.49	Humide
-0.99 à 0.99	Normal
-1.0 à -1.49	Modérément sec
-1.50 à -1.99	Sévèrement sec
-2.0 et moins	Extrêmement sec

Un programme sous Matlab pour le calcul du SPI où les données des précipitations sont directement chargées à partir des fichiers Excel a été construit.

La source des données pluviométriques qui ont été collectées et exploitées dans cette étude est l'agence du bassin hydraulique de Guir-Ziz-Gheris (ABH-G-Z-R). Les caractéristiques des différentes stations utilisées dans cette étude sont présentées dans le tableau 4:

Tableau 4 : Caractéristiques des différentes stations hydrométriques principales du bassin de Ziz

Nom de la Station	Latitude (°, N)	Longitude (°, W)	Altitude (m)	Moyenne annuelle des précipitations en mm (1975-2013)
Errachidia	31,95	-4,4	1036	119,5
Arfoud	31,43	-4,23	800	61,4
Barrage Hasan Adakhil (BHA)	32	-4,45	1158	123,8
M'Zizel	32,23	-4,72	1600	184,1
Tillicht	32,31	-4,55	1627	201,7
Foum Zaabal	32,16	-4,36	1253	179,3
Sidi Hamza	32,43	-4,72	1738	268,5
Taouz	30,91	-3,98	676	45,59

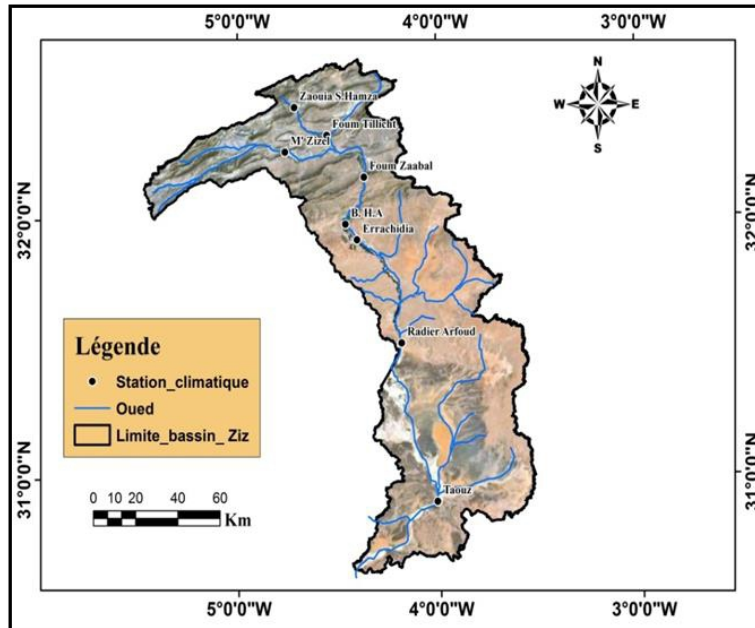


Figure 7: Carte de situation des stations climatiques implantées sur un fond satellitaire

Résultats et discussions

Afin de faire une analyse ponctuelle au niveau des stations concernées, et pour mieux évaluer les variations de la pluviométrie annuelle, nous avons calculé les valeurs de l'indice SPI d'une série de 38 années. Les résultats du calcul sont représentés dans la Figure 8.

a. Station de M'Zizel

L'indice pluviométrique standardisé à la station de M'Zizel montre une dominance des années sèches bien remarquable pendant la période (1982-1989) ; on observe aussi que l'indice SPI peut atteindre moins de (-1,5), ce qui explique l'existence des années de grande sécheresse.

Pendant la période 2006/2011 et l'année 2014, on constate des années humides à extrêmement humides. Alors que durant la période 2011/2013, on remarque un assèchement des conditions climatiques.

b. Station de Sidi Hamza

A partir de 1975 jusqu'à 1989, les valeurs de l'indice pluviométrique standardisé au niveau de la station sont négatives et montrent des années modérément sèches à l'exception des années 1975 et 1976, et à partir de 1990 on remarque la dominance des années normales.

c. Station de Tilicht

L'analyse de SPI dans la station de Tilicht indique la succession des années sèches et des années humides. A partir de 1983 jusqu'à 1988 on a des années modérément sèches, et pendant la période 2006/2011, on remarque la succession des années modérément humides à très humides.

d. Station de Foug Zaabal

L'analyse des résultats de l'indice pluviométrique standardisé à la station de Foug Zaabal renseigne sur la succession des périodes sèches et des périodes humides.

e. station de barrage Hassan Adakhil

L'analyse de SPI dans la station de BHA indique la succession des années sèches et des années humides, on note aussi que cette zone a connu des périodes très sèches et des périodes très humides.

f. Station d'Errachidia

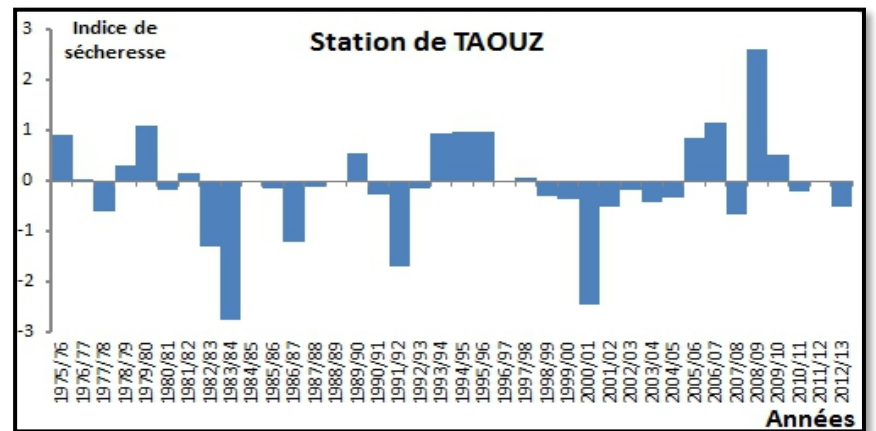
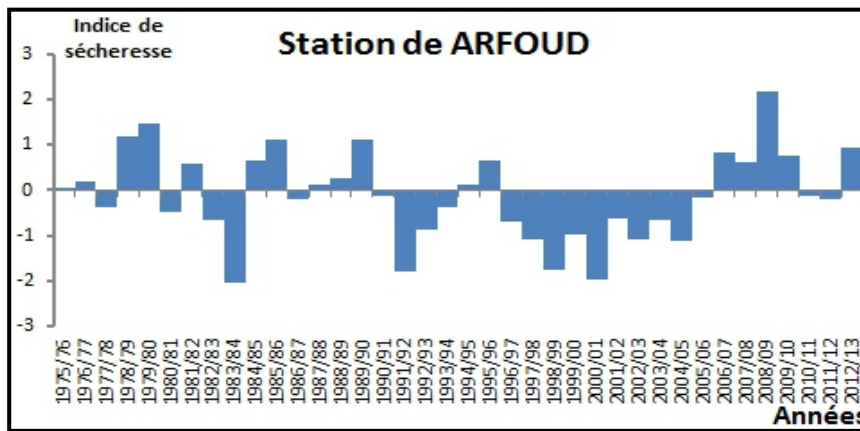
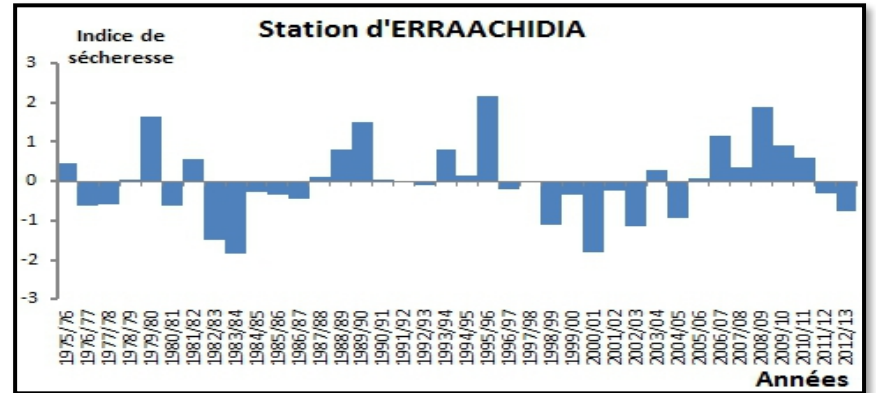
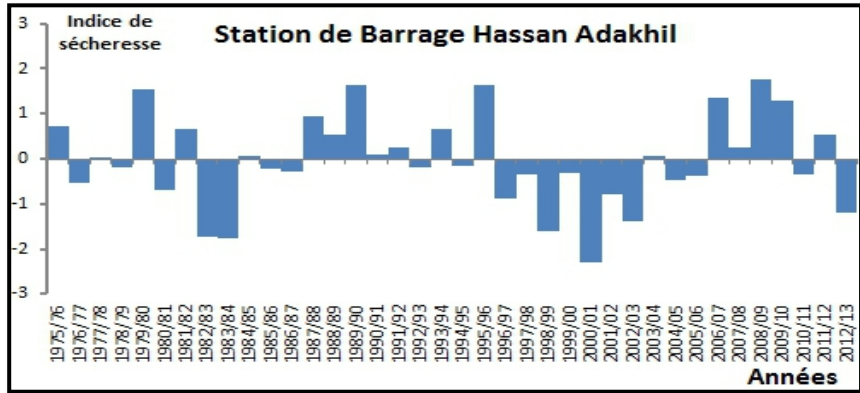
L'analyse de SPI dans la station d'Errachidia indique la succession des années sèches et des années humides. On note aussi la présence des périodes extrêmement chaudes (1984) et des périodes extrêmement humides (1995).

g. Station d'Arfoud

L'analyse de SPI au niveau de la station d'Arfoud indique la succession des années sèches et des années humides. Durant la période allant de 1992 à 2006, on note des années modérément sèches, alors que la période 2006/2013 est remarquée par la succession des années modérément humides à très humides.

h. Station de Taouz

L'analyse des résultats de l'indice pluviométrique standardisé à la station de Taouz montre une dominance des années sèches bien remarquable, où l'indice SPI peut atteindre moins de (-2), ce qui explique l'existence des années de grande sécheresse. On remarque également que les années 2005-2011 étaient humides à extrêmement humides suivies d'un assèchement des conditions climatiques.



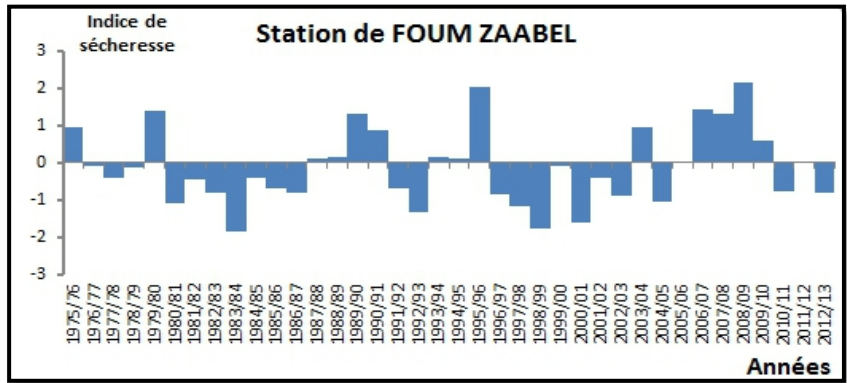
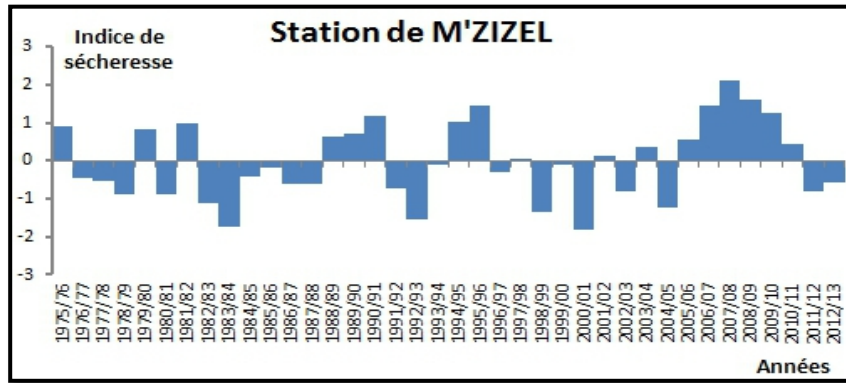
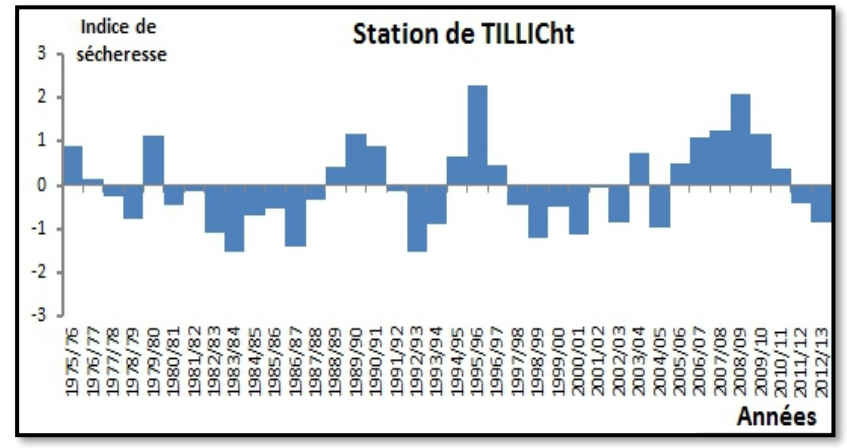
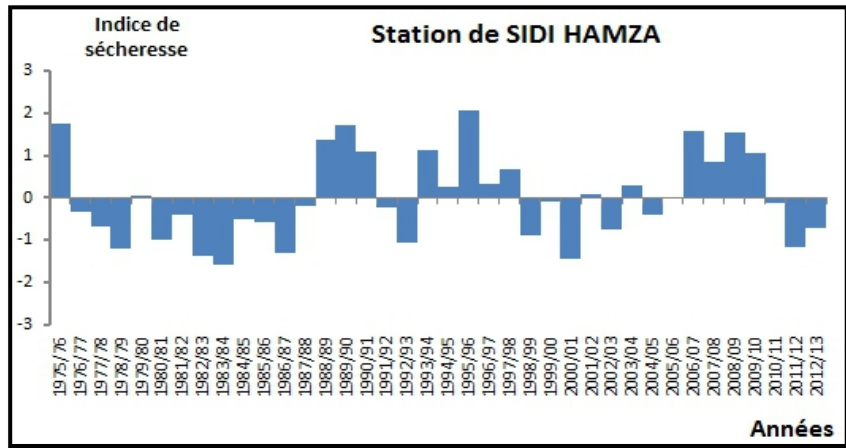


Figure 8: Indice de précipitations standardisé au cours de la période 1975-2013 dans les huit stations climatiques du bassin versant de Ziz

Mzizl					Sidi Hamza				
Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence	Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence
2<SPI	Humidité extrême	0	0	Pas d'occurrence	2<SPI	Humidité extrême	0	0	Pas d'occurrence
1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	0	0	Pas d'occurrence	1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	0	0	Pas d'occurrence
1<SPI<1,49	Humidité modérée	4	11	1 fois tous les 9 ans	1<SPI<1,49	Humidité modérée	4	11	1 fois tous les 9 ans
0<SPI<0,99	Humidité légère	12	32	1 fois tous les 3 ans	0<SPI<0,99	Humidité légère	9	24	1 fois tous les 4 ans
0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	18	47	1 fois tous les 2 ans	0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	17	45	1 fois tous les 2 ans
-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	4	11	1 fois tous les 9 ans	-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	7	18	1 fois tous les 6 ans
-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	0	0	Pas d'occurrence	-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	1	3	1 fois tous les 34 ans
SPI < -2	Sécheresse extrême	0	0	Pas d'occurrence	SPI < -2	Sécheresse extrême	0	0	Pas d'occurrence
Tillicht					Foum Zaabal				
Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence	Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence
2<SPI	Humidité extrême	2	5	1 fois tous les 20 ans	2<SPI	Humidité extrême	2	5	1 fois tous les 20 ans
1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	0	0	Pas d'occurrence	1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	0	0	Pas d'occurrence
1<SPI<1,49	Humidité modérée	5	13	1 fois tous les 8 ans	1<SPI<1,49	Humidité modérée	4	11	1 fois tous les 9 ans
0<SPI<0,99	Humidité légère	9	24	1 fois tous les 5 ans	0<SPI<0,99	Humidité légère	10	26	1 fois tous les 4 ans
0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	16	42	1 fois tous les 2 ans	0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	15	39	1 fois tous les 4 ans
-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	4	11	1 fois tous les 9 ans	-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	4	11	1 fois tous les 9 ans
-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	2	5	1 fois tous les 20 ans	-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	3	8	1 fois tous les 13 ans
SPI < -2	Sécheresse extrême	0	0	Pas d'occurrence	SPI < -2	Sécheresse extrême	0	0	Pas d'occurrence

BHA					Errachidia				
Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence	Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence
2<SPI	Humidité extrême	0	0	Pas d'occurrence	2<SPI	Humidité extrême	1	3	1 fois tous les 33 ans
1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	4	11	1 fois tous les 9 ans	1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	3	8	1 fois tous les 13 ans
1<SPI<1,49	Humidité modérée	2	5	1 fois tous les 20 ans	1<SPI<1,49	Humidité modérée	1	3	1 fois tous les 33 ans
0<SPI<0,99	Humidité légère	12	32	1 fois tous les 3 ans	0<SPI<0,99	Humidité légère	13	34	1 fois tous les 3 ans
0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	14	37	1 fois tous les 3 ans	0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	15	39	1 fois tous les 3 ans
-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	2	5	1 fois tous les 20 ans	-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	2	5	1 fois tous les 20 ans
-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	3	8	1 fois tous les 13 ans	-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	3	8	1 fois tous les 13 ans
SPI < -2	Sécheresse extrême	1	3	1 fois tous les 33 ans	SPI < -2	Sécheresse extrême	0	0	Pas d'occurrence

Arfoud					Taous				
Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence	Indice SPI	Catégorie	Nombre d'année	Nombre de fois sur 100 ans	Fréquence
2<SPI	Humidité extrême	1	3	1 fois tous les 33 ans	2<SPI	Humidité extrême	1	3	1 fois tous les 33 ans
1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	0	0	Pas d'occurrence	1,5<SPI<1,99	Humidité sévère	0	0	Pas d'occurrence
1<SPI<1,49	Humidité modérée	4	11	1 fois tous les 9 ans	1<SPI<1,49	Humidité modérée	2	5	1 fois tous les 20 ans
0<SPI<0,99	Humidité légère	12	32	1 fois tous les 3 ans	0<SPI<0,99	Humidité légère	11	29	1 fois tous les 3 ans
0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	14	37	1 fois tous les 3 ans	0<SPI<-0,99	Sécheresse légère	19	50	1 fois tous les 2 ans
-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	3	8	1 fois tous les 13 ans	-1<SPI<-1,49	Sécheresse modérée	2	5	1 fois tous les 20 ans
-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	3	8	1 fois tous les 13 ans	-1,5<SPI<-1,99	Sécheresse sévère	1	3	1 fois tous les 33 ans
SPI < -2	Sécheresse extrême	1	3	1 fois tous les 33 ans	SPI < -2	Sécheresse extrême	2	5	1 fois tous les 20 ans

Figure 9: Probabilité d'occurrence de chaque catégorie pour les huit stations climatiques du bassin versant de Ziz au cours de la période (1975-2013)

Le graphique de la Figure 10 reflète la corrélation qui existe entre les apports d'eau au barrage Hassan Adakhil enregistrés durant la période 1975/13 et le SPI de 12 mois au niveau du poste de BHA et d'Errachidia, et confirme bien la réponse hydrologique de l'oued Ziz aux précipitations. Cependant, pour certaines années la comparaison entre les valeurs du SPI et celles des

apports d'eau au barrage Hassan Adakhil, montre que même pour un SPI positif de 0,5, l'année est déclarée sèche. C'est le cas des deux années 1975/76, 1981/82. D'où la limite de l'approche SPI pour l'étude de la sécheresse dans le contexte local de notre zone d'étude.

Le suivi de la sécheresse climatique peut par contre être utilisé pour le suivi de l'état des pâturages dans le bassin versant de Ziz et l'évaluation de l'état des ressources en eau.

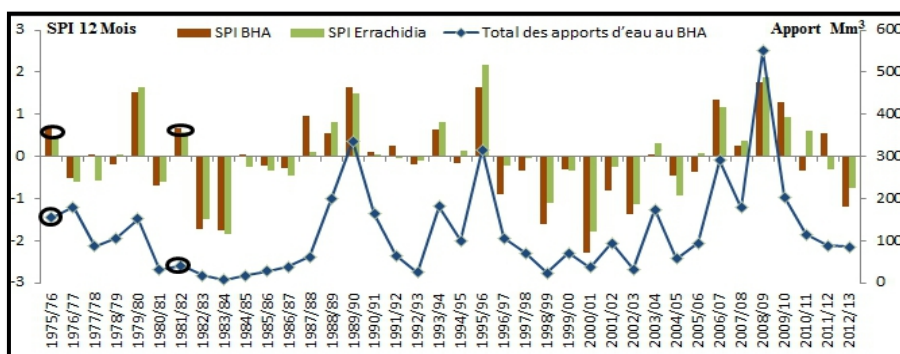


Figure 10: Corrélation entre le SPI d'Errachidia et de BHA ; et le Total des apports d'eau au BHA (1975/2013)

La figure 11 révèle le degré de sécheresse en calculant l'indice du rapport de l'année la plus sèche et la normale de précipitations, et son équivalent en déficit pluviométrique pour chaque année. Ainsi, durant la période d'étude on a 21 % des années représentent un excédent de réserve en eau, alors qu'un déficit inférieur à 50 % représente 34 % des années, et 44 % de la période caractérise un déficit supérieur à 50%.

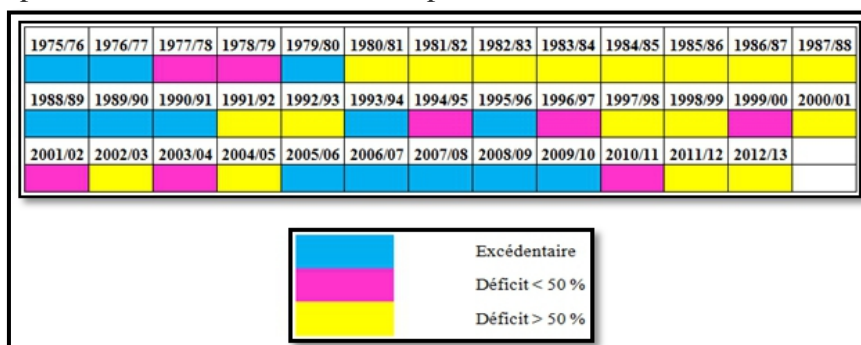


Figure 11: Épisodes de sécheresse au bassin versant de Ziz au cours de la période (1975 /2013)

Conclusion

Ce travail a démontré que le bassin versant de Zizi a connu des périodes de sécheresses sévères avec un déficit pluviométrique important durant la période de 1982 à 2013.

- la station de BHA: à partir du 1995 jusqu'à 2006, on remarque des années modérément sèches ;
- la station d'Arfoud: pour la période de 1997 à 2006, les résultats montrent des années très sèches ;
- la station d'Errachidia: pour la période de 1981 à 1984, l'indice SPI montre des années extrêmement sèches ;
- la station de Taouz: la plupart des années de la période d'étude sont très sèches et d'autres sont extrêmement sèches.
- L'étude de la probabilité d'occurrence montre que les catégories climatiques les plus fréquentes sont celles du climat humide léger et de sécheresse légère.

L'orographie et les altitudes du Haut-Atlas influencent positivement les quantités précipitées au Nord du bassin.

La sécheresse selon l'indice SPI a mis en évidence une tendance vers l'augmentation de la récurrence des années sèches à partir de l'année 1977, pour la zone montagneuse dont l'altitude est supérieure à 1253 m ; et durant toute la période pour les autres stations.

L'étude présente un système de suivi des situations hydriques à travers des indicateurs hydro-climatiques qui définit les différents états de sécheresse : Alerte, Pré-alerte et Urgence et les seuils à partir desquels il faut déclarer un niveau d'état de sécheresse donné.

References:

1. Barakat F. & Handoufe A., 1998. Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. Sécheresse, pp 9, 201-208.
2. CNUCED, La conception d'un modèle de gestion du risque sécheresse, cas des céréales (au Maroc), l'assurance indexée, pp 5-7.
3. C.Cacciamani, A. Morgillo, S. Marchesi, and V. Pavan., 2007 "Monitoring and forecasting drought on a regional scale: emilia-romagna region," Water Science and Technology Library, vol. 62, part1, pp 29-48.
4. 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, p 163.
5. D.C. Edwards and T. B. McKee., 1997 Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple scales, Atmospheric Science, pp 634
6. D.S. Wilks., 1995. Statistical Methods in the Atmospheric Science an Introduction, Academic Press, San Diego, USA. pp167-170.
7. El Janati Idrissi A., 2004. L'impact de déficit pluviométrique sur les

8. systèmes des ressources en eau de surface dans le bassin de Sabou en amont de Machrâa Belkssiri. Thèse Doct. Géographie naturelle. Thèse de doctorat, Université Sidi Mouhamed Ben Abdellah Fes Sais, p 26
9. El Ouali A., 1992. Contribution du Haut Atlas central au Sud de Midelt à l'alimentation des aquifères profonds du bassin crétacé d'Errachidia. Thèse de doctorat sciences de la terre. Université de Franche-Comte. France,p.
10. Jouilil I, Bitar k, Salama h, Amraoui, Mokssit a., Tahiri m., 2013. Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. Larhyss journal, n° 12, janvier 2013, pp 109-127.
11. McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, p 179-186.
12. Amherf M., 1991. Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée du Ziz (province d'Errachidia Sud-Est du Maroc) : Incidences respectives de la sécheresse et du Barrage Hassan Addakhil sur les ressources à l'aval. Université de Franche-Comté, Faculté des Sciences et des Techniques, Besançon.
13. M.Abramowitz and A. Stegun, Eds., 1965. Handbook of Mathematical, Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, Dover, Publications, New York, NY, USA.
14. Bousfoul M., 2008. Gestion intégrée des ressources en eau: une nécessité pour la préservation des oasis du sud est marocain (cas du Tafilalet) Revue HTE N°140. p 237-239.
15. HILALI M., 2015. Hydrogéologie et ressources en eau du tafilalet et ses régions limitrophes (sud-est du maroc): connaissance, prospection, caractérisation, exploitation et gestion des ressources en eau.habilitation universitaire, faculté des sciences, Université Mohammed V, Rabat, p 13-15.
16. Riad S., 2003. Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielle à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc.Thèse en cotutelle, Université des Sciences et technologie de Lille ; Université Ibnou Zouhr, Agadir, p 27-34.
17. Thom, H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution.Mon. Weather Rev., 86, 117-122.
18. T.B.MCKEE, DOESKEN N.J., KLEIST J., 1995. Drought monitoring with multiple times scales. American Meteorological Society.9th conference on Applied Climatology, 15-22 Janvier, Dallas, TX,pp. 233-236.