



La variabilité pluviométrique et le risque de la sécheresse dans le bassin de Souss-Massa-Maroc à travers l'Indice Standardisé des précipitations (ISP)

EL HAWARI Jawad & EL GHACHI Mohamed

Laboratoire Dynamique des Paysages, Risques et Patrimoine, Département de géographie, Université Sultan Moulay Slimane, Béni Mellal-Maroc

This is an open access article under the [CC BY-NC-ND](#) license.



Résumé : La sécheresse climatique compte parmi les aléas climatiques qui menacent toutes les ressources naturelles au Maroc. Elle peut toucher l'économie de ce pays et son avenir vu ses impacts néfastes. La fréquence de ce phénomène météorologique et climatique a connu une intensification ces dernières décennies. Dans ce travail, nous avons choisi de caractériser la variabilité temporelle et spatiale des données pluviométriques au niveau de bassin de Souss-Massa pendant la période de 1965 à 2015. Ainsi, nous étudions le phénomène de sécheresse à l'aide des séries pluviométriques mensuelles de trois stations météorologiques (Aoulouz, Taroudant, Agadir), elles représentent les trois parties du bassin (l'amont, la médiane et l'aval). Nous utilisons l'Indice Standardisé des Précipitations (ISP) calculé sur plusieurs échelles temporelles. Cela, nous a permis de caractériser les fluctuations de ce phénomène qui s'est accentué durant les dernières décennies.

Mots clés : Souss-Massa, variabilité climatique, la sécheresse, ISP, série pluviométrique.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.7792928>

1 Introduction

Vu sa situation géographique dans le bassin méditerranéen, le Maroc est caractérisé par une importante fluctuation interannuelle des précipitations. L'étude de cette variabilité a donc un intérêt particulier pour la recherche scientifique et pour les gestionnaires des ressources en eau. En effet, cette variabilité a une influence directe sur le bilan hydrique et par la suite peut perturber l'écoulement habituel des cours d'eau.

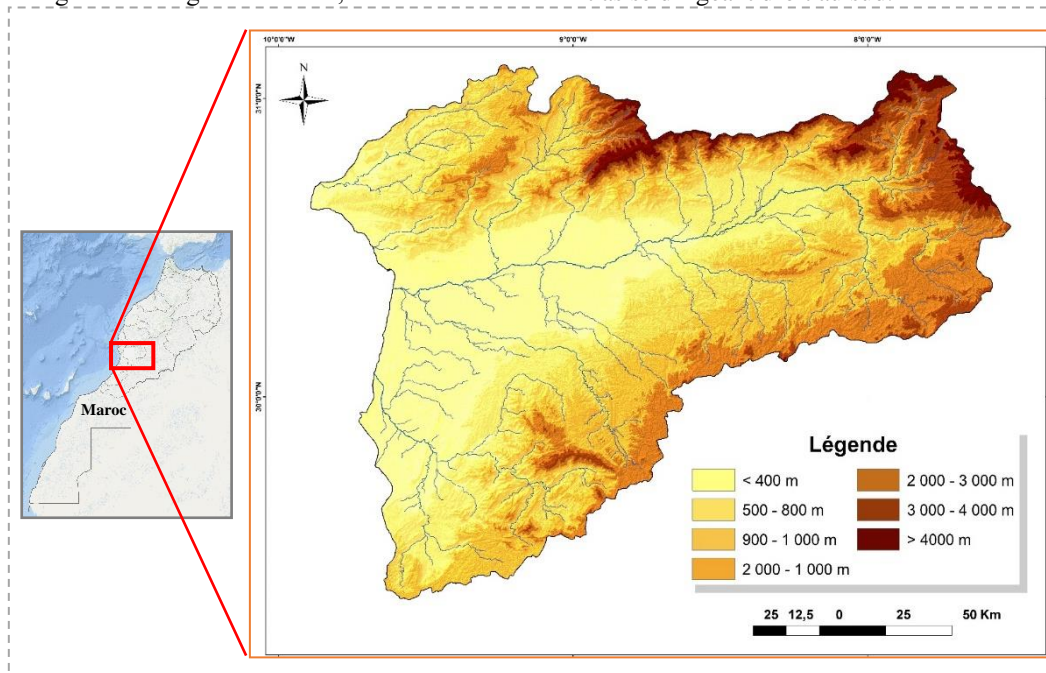
Le Maroc est vit actuellement l'épisode sec le plus long de son histoire contemporaine, caractérisé par une diminution des précipitations et une tendance nette à la hausse des températures. Des études de dendrochronologie (stockton, 1988) ont montré que le Maroc a souvent été marqué par des périodes de sécheresses intenses qui reviennent de façon périodique amenant des famines et des épidémies, la famine engendrée par la sécheresse de 1597-1608 a exterminé le tiers de la population (Stour et al, 2008). En outre, l'étude du ministère de l'équipement en 1997 a montré que le Maroc a connu onze sécheresses entre 1896 et 1996 dont l'intensité a été modérée à forte.

L'objectif de cette contribution est d'étudier la variabilité interannuelle de la pluviométrie et de la température de trois stations à différente échelle temporelle emboîtées (année, saison, mois) dans le bassin versant de Souss-

Massa, identifié et analysé la variabilité spatiale et temporelle des indices de précipitation et température sur la période 1968-2015. D'autre part, nous avons caractérisé la sécheresse climatique dans le bassin de Souss-Massa pour la période 1972/2015, à travers le calcul d'un indice pluviométrique à l'échelle annuelle. Ensuite, nous nous proposons d'identifier la probabilité d'occurrence de différentes classes de sévérité de la sécheresse par station.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant du Souss-Massa est situé au sud-ouest du Maroc entre 7.5°-9.9°W et 29.3°-31.1°N, il s'étale sur une superficie d'environ 24.867 km², soit 3.49% de la superficie totale du Royaume. Du point de vue hydrogéographique, on peut subdiviser le bassin du Souss-Massa en trois parties successives: Une partie amont : entre le point culminant à l'est, le massif du Siroua (3000m), jusqu'à Aoulouz où l'oued débouche sur la plaine par des gorges qui marquent la fin de son parcours montagneux, une partie moyenne entre Aoulouz et Taroudant où la vallée forme comme un rectangle de 60 Km sur 20 et une partie aval jusqu'à l'embouchure. Sur cette partie, la vallée s'élargit d'avantage vers l'ouest, la bordure de l'Anti-Atlas se dirigeant droit au sud.



Carte 1. Situation géographique du bassin versant de Souss-Massa.

3. Méthodologie et données

3.1. Méthodologie

3.1.1. L'Indice Standardisé des Précipitations (ISP)

Plusieurs méthodes et indices ont été développés à cet effet afin de caractériser et identifier la sécheresse climatique à différentes échelles de temps (annuelle, saisonnière). Afin de déterminer le caractère humide ou sec d'une année ou d'une saison, l'indice standardisé des précipitations (ISP) est généralement utilisé. Cet indice, appelé Standardized Precipitation Index dans la littérature anglo-saxonne (SPI), est une moyenne des cumuls pluviométriques (annuels ou saisonniers) centrés et réduits calculés à chaque station disponible pour une année ou saison donnée. Il a vocation à indiquer à lui seul si la saison ou l'année peut être qualifiée d'excédentaire (SPI > 0) ou de déficitaire (SPI < 0). La simplicité du calcul et de l'interprétation proposée fait de SPI un indice très utilisé. Cette simplicité est obtenue par la prise en compte de plusieurs facteurs essentiels à une caractérisation pertinente de la saison des pluies. Parmi ces facteurs, les plus importants sont : la variabilité spatiale de la pluie, le réseau de mesure utilisés, la période de référence considérée, la taille et la situation géographique de la zone d'étude (Abdou et al, 2008).

Le choix de l'indice standardisé des précipitations (dénommé en anglais, SPI, Standardized Precipitation Index), est lié au fait que cet indice présente des avantages en termes de cohérence statistique et à la capacité de décrire et quantifier le déficit de précipitation à de multiples échelles de temps, il permet également d'analyser les périodes humides ainsi que les périodes sèches et peut assurer une alerte précoce de la sécheresse et de les aider à évaluer sa sévérité.

La formule mathématique de SPI est la suivante :

$$SPI = (pi - pm) / \sigma$$

Où :

Pi : Précipitation de l'année i

Pm : Précipitation moyenne

σ : Déviation standard ou écart type

Une sécheresse sévit lorsque l'ISP est consécutivement négatif et que sa valeur atteint une intensité de -1 ou moins, et se termine lorsque l'ISP devient positif. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs de l'ISP.

Tableau 1. Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs de l'ISP.

Classifications ISP	
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

3.1.2. Présentation des données utilisées

L'ensemble des données pluviométriques est mis à notre disposition par l'Agence du Bassin Hydraulique de Souss-Massa (ABHSM). Les données climatiques de la zone qu'on va exploiter s'étalent sur une période de 47 ans (1972-2015). Elles représentent les trois parties de ce bassin (l'amont, la médiane et l'aval). Il s'agit des cumuls de précipitations mensuelles. Ils sont ensuite traités pour calculer les moyennes annuelles et saisonnières, on a calculé l'indice standardisé des précipitations (IPS) pour caractériser la variabilité pluviométrique et la sécheresse météorologique.

Tableau 2. Stations étudiées et leurs caractéristiques.

Bassins	Stations	Coordonnées			Chroniques	Localisation
		Longitude	Latitude	Altitude (m)		
Souss-Massa	Aoulouz	-8,15	30,70	680	1968 à 2015	Amont du BV
	Taroudant	-8,90	30,50	209	1968 à 2015	Centre du BV
	Agadir	-9,57	30,38	23	1914 à 2015	Aval du BV

L'objectif est d'identifier la variabilité des précipitations, leurs tendances et surtout cerner les phases de la sécheresse. Les différents pas de temps utilisé dans ce travail permettent de caractériser l'amplitude et la fréquence de la sécheresse météorologique qu'a connue le bassin de Souss-Massa.

3. Résultats et discussion

3.1. Pluviométrie et disponibilité en eau dans le bassin de Souss-Massa

3.1.1. L'analyse pluviométrique à l'échelle annuelle

L'étude des modules pluviométriques annuels et interannuels montre une évolution temporelle des précipitations avec une alternance d'années humides et d'années sèches tout au long de la série. On remarque que les précipitations maximales ont été enregistrées pendant l'année hydrologique 2010 en aval du bassin (station d'Agadir) avec 613 mm, et 561 mm à l'intérieur du bassin (Taroudant) pendant la même année (2010), alors que, en amont (station d'Aoulouz) pendant l'année hydrologique 2013 avec 724 mm. Par contre, la plus sèche de la période d'étude avec un minimum de 77 mm à la station d'Agadir, 59 mm à Taroudant et 133 mm à la station d'Aoulouz.

D'un point de vue statistique, si on considère les années inférieures à la moyenne comme années sèches, on remarque que sur les 48 années étudiées (1968-2015), 26 années sont inférieures à la moyenne (années sèches) pour la station d'Agadir, et 26 années à la station de Taroudant, et enfin 28 années à la station d'Aoulouz (fig.1).

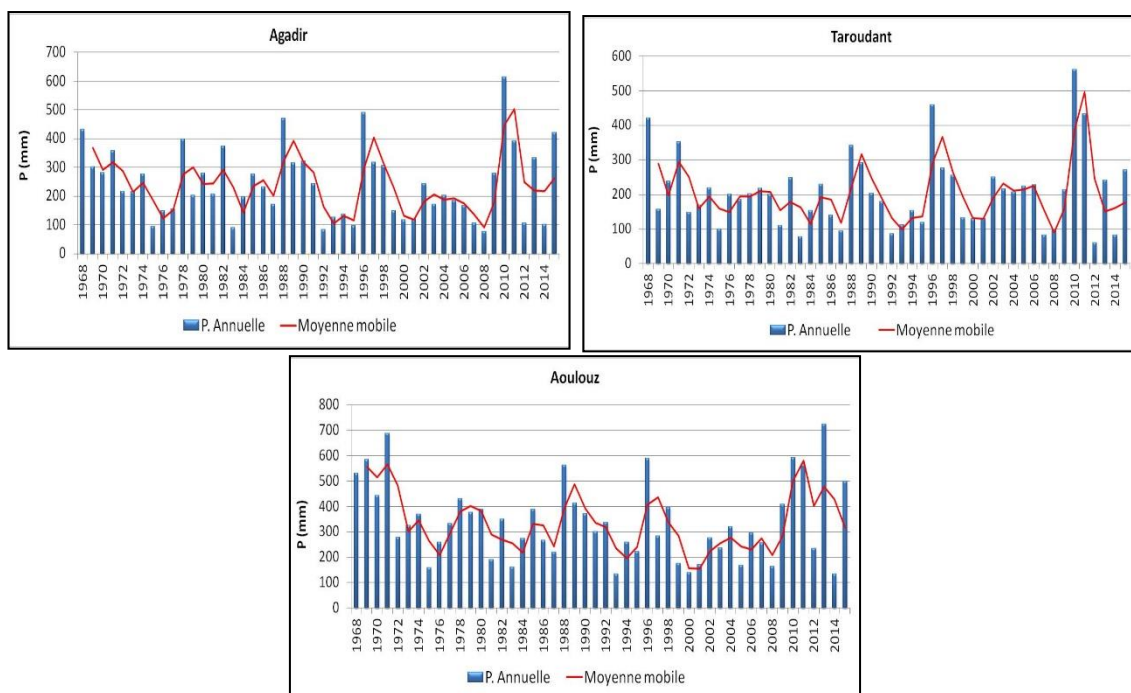


Figure 1. Évolution des précipitations annuelles par rapport à la moyenne mobile à la station d'Agadir, Taroudant et d'Aoulouz (1968-2015).

Les stations ressortent que, l'amont du bassin de Souss-Massa est bien arrosé avec des hauteurs pluviométriques qui dépassent les 700 mm (station d'Aoulouz), L'intérieur du bassin avec la station de Taroudant enregistre les pluies les plus faibles de la série avec moyenne de 206 mm (moins arrosée). À l'aval, la station d'Agadir se positionne avec des hauteurs pluviométriques moyennes de 242 mm.

Tableau 3. Caractéristiques statistiques des trois stations (1968-2015).

Station	Moyenne P (mm)	Max P (mm)	Min P (mm)
Agadir	242	613	77
Taroudant	206	561	59
Aoulouz	338	724	133

3.1.2. L'analyse pluviométrique à l'échelle mensuelle

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles durant les 48 années, ressorte que, la pluviométrie moyenne au niveau de la station d'Agadir, se caractérise par un maximum (47 mm) pluviométrique en Décembre et le minimum (0,1 mm) enregistré en juillet. Ainsi, on constate que, les précipitations moyennes mensuelles sont marquées par une hétérogénéité et une grande variabilité du point de vue de leur répartition. Et d'après l'analyse des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station de Taroudant, on trouve que, la pluviométrie moyenne se caractérise par un maximum (36 mm) pluviométrique en Décembre et le minimum (0.3 mm) enregistré en juillet. Ainsi, on constate que, les précipitations moyennes mensuelles sont marquées par une hétérogénéité et une grande variabilité du point de vue de leur répartition. Dans la station d'Aoulouz, on trouve que, la pluviométrie moyenne se caractérise par un maximum (54 mm) pluviométrique en Novembre et le minimum (1.2 mm) enregistré en juillet. Ainsi, on note que, les précipitations moyennes mensuelles sont marquées par une hétérogénéité et une grande variabilité du point de vue de leur répartition.

On conclut que, l'interprétation de la représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles des trois stations durant la série (1968-2015), montrent une forte variation pluviométrique mensuelle. Donc, on peut déterminer deux classes, la première connue une pluviométrie plus forte qui s'étend d'octobre jusqu'à avril où les précipitations dépassent 16 mm/mois en moyenne, et la deuxième connue faible pluviométrie et s'étend de Mai jusqu'à Septembre avec une moyenne inférieure à 16 mm/mois.

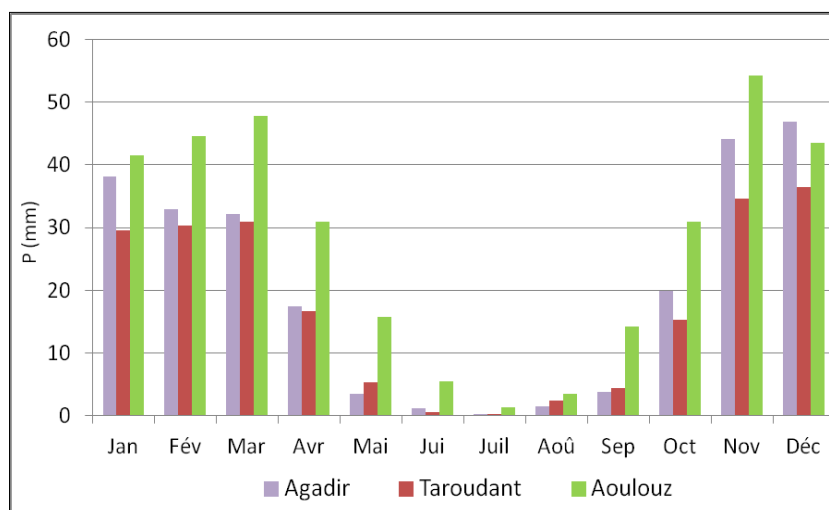


Figure 2 : les précipitations moyennes mensuelles à la station : Agadir, Taroudant et Aoulouz (1968-2015).

L'analyse de figure (3) du coefficient mensuel de la précipitation (CMP) des trois stations, montre l'existence de deux périodes par rapport à la valeur de référence de chaque station :

i. Station d'Agadir (valeur de référence 0.083) :

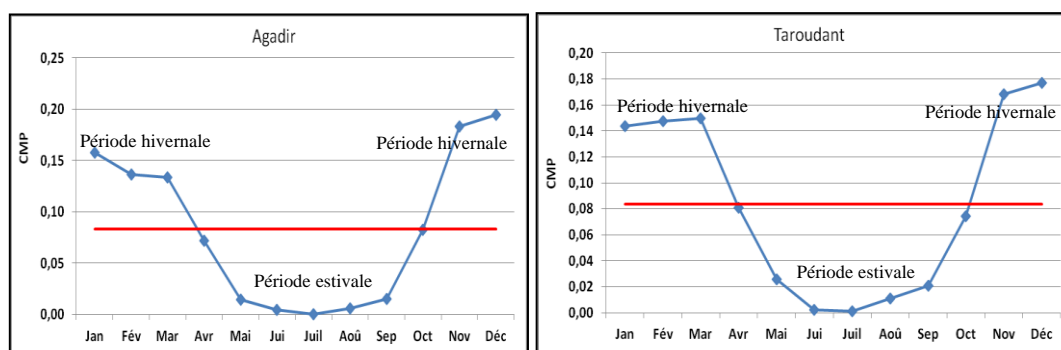
- La période hivernale : elle est la plus arrosée qui commence en Novembre jusqu'au mois de Mars.
- La période des faibles précipitations qui se situe pendant la période estivale, elle commence en Avril jusqu'au mois de Septembre.

ii. Station de Taroudant (valeur de référence 0.084) :

- La période hivernale : elle démarre en Novembre jusqu'au mois de Mars.
- La période estivale : elle commence en Avril jusqu'au mois d'Octobre.

iii. Station d'Aoulouz (valeur de référence 0.082) :

- La période hivernale : elle démarre en Octobre jusqu'au mois d'Avril.
- La période estivale : elle commence en Mai jusqu'au mois de Septembre.



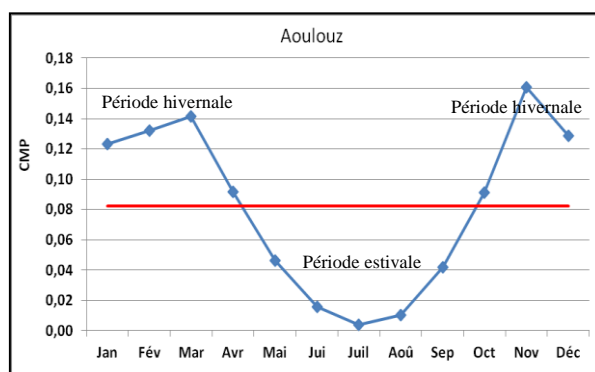


Figure 3. Coefficient mensuel des précipitations à la station : Agadir, Taroudant et Aoulouz (1968-2015).

3.1.3. L'analyse pluviométrique à l'échelle saisonnière

La totalité des stations pluviométriques du bassin versant de Souss-Massa ont reçu le maximum de la hauteur de pluies en hiver.

L'analyse des variations des précipitations de chaque saison au cours de ces derniers 48 ans, montre une forte variation saisonnière avec un Hiver plus pluvieux dans les trois stations, l'Automne et le printemps restent légèrement moins arrosée (fig.4).

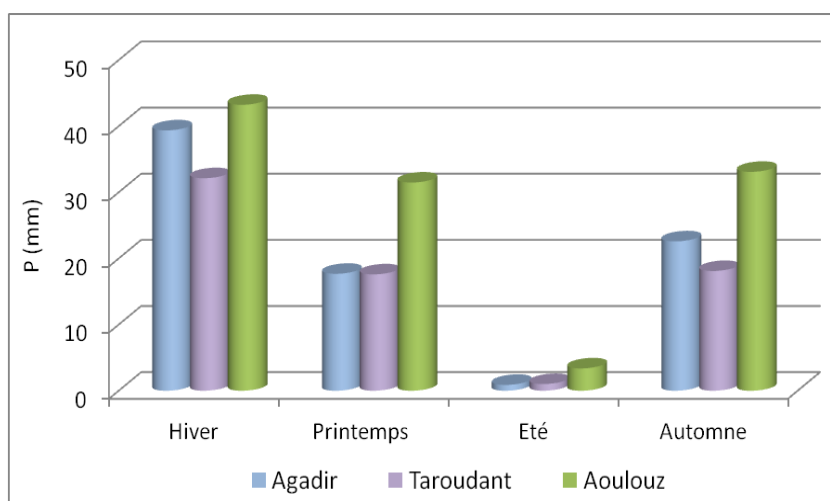


Figure 4. Les précipitations moyennes saisonnières à la station : Agadir, Taroudant et Aoulouz (1968-2015).

La variation saisonnière des précipitations dans le bassin versant de Souss-Massa est résumée sur les tableaux suivants.

Tableau 4. Pluies saisonnières et leurs contributions dans les pluies moyennes annuelles à la station d'Agadir, Taroudant et d'Aoulouz (1968-2015).

Stations	Contribution (%)	Hiver	Printemps	Été	Automne
Agadir	Précipitations moyennes saisonnières (mm)	39	18	01	23
	Contribution (%)	49	22	01	28
Taroudant	Précipitations moyennes saisonnières (mm)	32	18	01	18
	Contribution (%)	47	26	01	26
Aoulouz	Précipitations moyennes saisonnières (mm)	43	31	03	33
	Contribution (%)	39	28	03	30

On constate que, la saison hivernale est la saison qui reçoit le maximum de précipitations pour les trois stations : Agadir (49%), Taroudant (47%) et Aoulouz (39%), suivi par la saison d'automne, alors que, l'été reste la saison la plus sèche avec contribution inférieure 3% de la pluie totale durant la série 1986-2015.

3.2. L'indice de l'ISP calculé sur l'échelle annuelle dans le bassin versant de Souss-Massa

Le calcul des valeurs de SPI annuel à l'échelle de bassin de Souss-Massa, pour chaque station (fig. 5-6-7) et l'application de la moyenne mobile sur 5 ans pour la période 1972/2015, nous révèlent, une alternance des phases sèches et d'autres humides au niveau des trois stations étudiées au cours de la période de 1968-2015. La station d'Aoulouz et d'Agadir montrent presque les mêmes intensités de sécheresse. L'analyse des valeurs de SPI montre qu'avant 1972 presque pas de séquences sèches ont été observées dans la plupart des stations étudiées. En plus, de 1972-2015, 09 séquences sèches observées au niveau de la station d'Aoulouz, 10 séquences sèches à Taroudant et 11 séquences sèches pour Agadir. En effet, l'indice statistique SPI a révélé que la période 1999-2008 dans le bassin versant de Souss-Massa a connu un important déficit pluviométrique. Il est à noter aussi que la durée maximale de sécheresse dans le bassin de Souss-Massa est atteinte 10 années à la station d'Aoulouz.

D'une manière plus détaillée, la station d'Aoulouz a connu des périodes de 2 années successives de sécheresse (1975-1976, 1983-1984, 1993-1994 et 2007-2008) cette station a également été marquée par une période relativement sèches de 10 années successives (1999-2008), avec des pics en 1975, 1983, 1993, 2000, 2008 et 2014, ces pics ont été caractérisés par des sécheresses de types forts et extrêmement sévères. Alors que, les périodes 1968-1971 et 1978-1980, 1988-1990 et 2009-2011 sont globalement humides. On constate que, d'une part, cette station est marquée par une irrégularité spatio-temporelle des pluies, et d'autre part, avec de plus longue années successives de sécheresses.

L'analyse de l'indice standardisé des précipitations (SPI) pour la station de Taroudant a révélé que cette station a connu une importante alternance pluviométrique à partir des années 70 avec des pics en 1983 et 2012. Ces pics ont été caractérisés par des sécheresses de types forts et extrêmement sévères. Durant la période de 1968-2015, station de Taroudant a enregistré plus de séquences de sécheresse, elle a connu des périodes de 2, 3 et 4 années successives de sécheresse (1983-1984, 1986-1987, 1991-1995 et 2007-2008).

À la station d'Agadir, on remarque l'alternance des périodes humides et sèches au cours de la période d'étude avec une suscitions des phases humides de 3 et 4 années successives, sont enregistré à la période de 1968-1971, 1988-1990, 1996-1998 et 2010-2011. Alors que, cette station a connu aussi des périodes de sécheresses de 2 et 3 années successives de sécheresse (1975-1976, 1992-1995, 2000-2001 et 2007-2008), avec des pics en 1983, 1992 et 2008, ces pics ont été caractérisés par des sécheresses de types forts sévères. Elle a également été marquée par des périodes relativement normales de 3 et 4 années successives (1972-1974, 1979-1981, et 2002-2006).

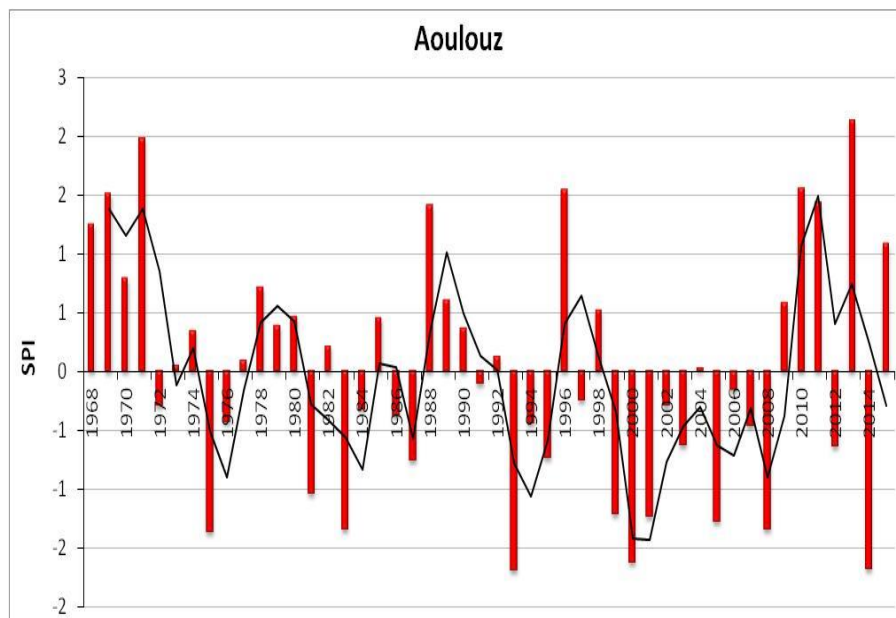


Figure 5. Valeurs annuelles de l'ISP à la station pluviométrique d'Aoulouz (1968-2015).

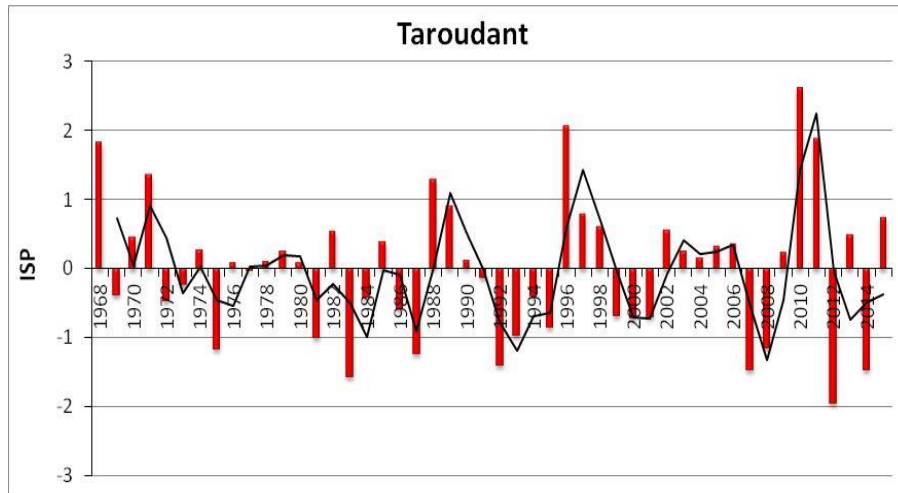


Figure 6. Valeurs annuelles de l'ISP à la station pluviométrique de Taroudant (1968-2015).

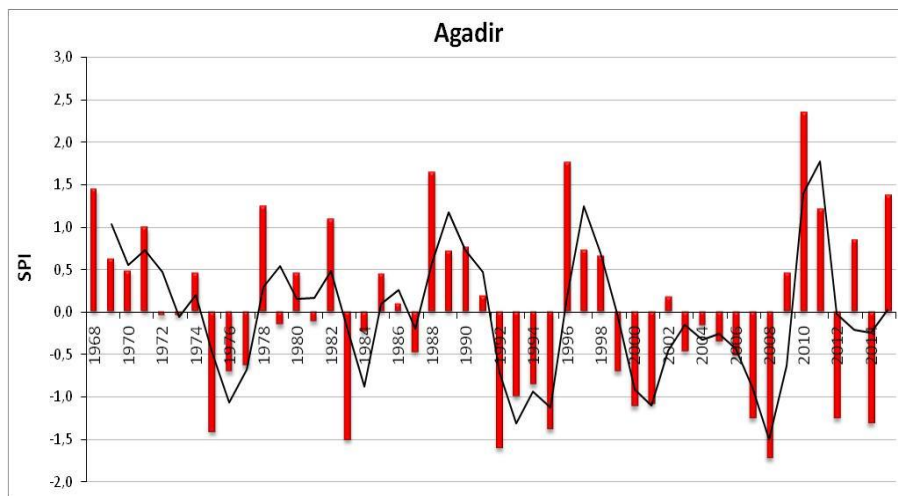


Figure 7. Valeurs annuelles de l'ISP à la station pluviométrique d'Agadir (1968-2015).

Par ailleurs, le pourcentage des années sèches et humides dans le bassin versant de Souss-Massa ne dépasse pas chacun le seuil de 25 % sur la période 1968/2015. Alors que, on remarque la dominance des années normales, qui présentent un pourcentage aux alentours de 60 % (fig.8).

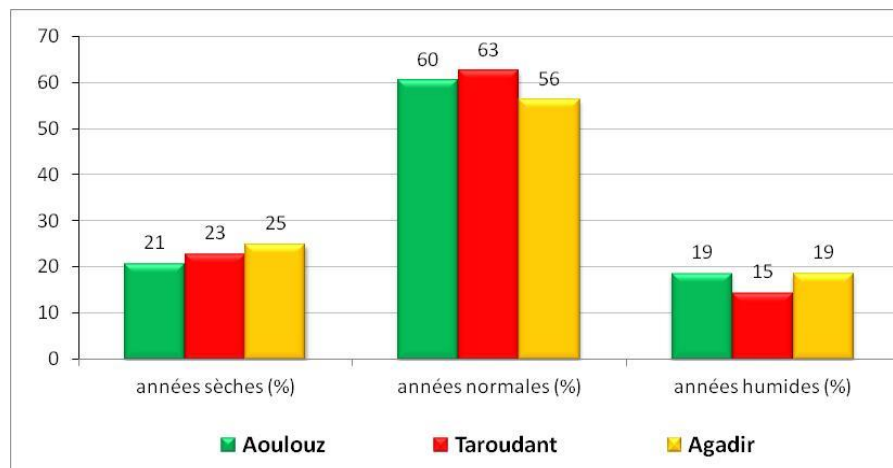


Figure 8. Pourcentage des années sèches, normales et humides aux trois stations (1968-2015).

En bref, à l'échelle annuelle les trois stations présentent une tendance notable au cours de la période d'étude, on note que l'alternance des années sèches et humides sur toute la période étudiée avec des fréquences et des intensités relativement similaires pour les trois stations.

Pour conclure, l'étude des indices de la sécheresse précédente au niveau du bassin versant de Souss-Massa fait généralement ressortir des périodes excédentaires et des périodes déficitaires, ses périodes sont interrompues par des années sèches ou humides en fonction de la période. Au cours des 48 années analysées pour la station Aoulouz, Taroudant et Agadir, les années de sécheresses les plus remarquables par leur intensité ont été celle des années 1999 et 2008 (pour Aoulouz) et 1991-1995 (pour Taroudant) et 1999-2008 (pour Agadir). Les épisodes secs détectés pour les trois stations ont été qualifiés forts et extrêmement sévères en termes d'intensité.

Conclusion

Le climat régnant sur l'ensemble du domaine d'étude est généralement de type aride à semi-aride à influence océanique près des côtes. En raison de son étendue et de son relief, la zone d'étude se caractérise par un climat très différencié d'une zone à l'autre. Au fait, le bassin versant de Souss-Massa a une variabilité et une irrégularité spatio-temporelle des températures et des précipitations. En effet, la zone d'étude est caractérisée par une année humide caractérisée par un excès d'eau, et une année sèche dominée par un déficit d'eau. De plus, l'analyse de l'évolution des températures moyennes annuelles a permis de constater une tendance vers l'augmentation.

Cette étude a montré que l'indice de la sécheresse (ISP) au niveau du bassin versant de Souss-Massa fait généralement ressortir des périodes excédentaires et des périodes déficitaires, ses périodes sont interrompues par des années sèches ou humides au cours de la période étudiée. Au cours des 48 années analysées pour la station Aoulouz, Taroudant et Agadir, les années de sécheresses les plus remarquables par leur intensité ont été celle des années 1999 et 2008 (pour Aoulouz) et 1991-1995 (pour Taroudant) et 1999-2008 (pour Agadir). Les épisodes secs détectés pour les trois stations ont été qualifiés forts et extrêmement sévères en termes d'intensité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Brochet, et al., (1974) : "L'Évapotranspiration : aspect agrométéorologique, évaluation pratique de l'évapotranspiration potentielle" . 95, 5-6.
- [2] Buishand, T. A. (1984): Tests for detecting a shift in the mean of hydrological time series. J. Hydrol. 58, 51-69.
- [3] Emberger. L (1955) : "Une classification biogéographique des climats". Recueil des travaux des laboratoires de botanique. Géologie et zoologie de la faculté des scien. De Montpellier. 1955. Fascic. 7. pp, 3-43.
- [4] GIEC. (2007): "Impacts adaptation and vulnerability, Summary for policymakers. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change". www.ipcc.ch
- [5] Lee, A. F., & Heghinian, S. M. (1977): A Shift of the Mean Level in a Sequence of Independent Normal Random Variables. A Bayesian Approach. Technometrics, 19(4), 503-506.
- [6] Pettitt. AN (1979): "A non-parametric approach to the change-point problem". Applied Statistics. Volume 28(2), pp. 126-135.
- [7] Thornthwaite C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, 55-94.
- [8] Sebbar .A, Fougrach H., Hsain M., Saloui A., Badri W., (2011) : "Étude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935-2004) ". Sécheresse, 22, 139-48.
- [9] . Stour L., Agoumi A. (2008) - *Sécheresse climatique au Maroc durant les dernières décennies, Hydroécologie appliqué, Volume16, pp. 215-232.*