



Risque de la sécheresse sous l'effet de variabilité climatique dans le bassin du Haut du Sebou à travers de l'indice standardisé des précipitations (ISP)

LHOUSSAINE MAZOU¹ & MOHAMMED ERRAFIK²

Laboratoire Dynamique, Espace, Patrimoine et Développement Durable
à la Faculté Polydisciplinaire de Taza ; Université Sidi Med Ben Abdellah Fès

¹: **Lhoussaine Mazoz**. Docteur chercheur, FLSH-Sais Fès

²: **Mohammed Errafik**. Professeur d'enseignement supérieur. FPT

Résumé :

Depuis les années quatre-vingt, Le Maroc a connu des épisodes de sécheresses caractérisées par une sévérité, intensité et extension très remarquées. Le Haut Sebou n'a pas échappé à ces conditions difficiles qui pèsent lourdement sur les activités agricoles et réduisent considérablement les ressources en eau superficielles et souterraines. Cette étude vise de caractérisée la sévérité de sécheresse au sein du bassin, en utilisant un indicateur (SPI) calculé sur plusieurs échelles temporelles, et mesurer sur une longue période de temps (1970-2021), à travers de quatre stations pluviométriques qui représentent le bassin d'étude (Pont M'dez, Ait Khabbache, El marse, Aguelmame Sidi Ali).

Les résultats obtenus indiquent qu'il existe un effet de sécheresse notable sur la région, qui se manifeste par une succession d'années sèches, atteignant parfois un maximum de cinq ans consecutive, suivies d'une année humide insuffisante à compenser la carence qui en résulte.

Mots-clefs : sécheresse, intensité, sévérité, Haut Sebou, Maroc.

Drought risk Under the effect of climate variability in the Upper Sebou basin through the Standardized precipitation index (SPI).

Abstract :

Since the 1980s, Morocco has experienced periods of drought characterized by remarkable severity, intensity, and extent. The Upper Sebou has not escaped these difficult conditions, which have placed a heavy burden on agricultural activities and significantly reduced surface and groundwater resources. This study aims to characterize the severity of drought within the basin, using an indicator (SPI)

calculated on several time scales, and measured over a long period of time (1970-2021), through four rainfall stations which represent the study basin (Pont M'dez, Ait Khabbache, El marse, Aguelmame Sidi Ali).

The results obtained indicate that there is a notable drought effect on the region, which manifests itself by a succession of dry years, sometimes reaching a maximum of five consecutive years, followed by a wet year insufficient to compensate for the resulting deficiency.

Key words : drought, intensity, severity, Upper Sebou, Morocco.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.15607706>

INTRODUCTION :

La sécheresse est l'une des phénomènes extrêmes ont eu de profondes répercussion socioéconomiques, elle a menacé les ressources en eau qui représentent l'épine dorsale de la vie, elle peut toucher aussi bien les zones arides que les zones humides. Alors, toute pénurie d'eau aura plusieurs impacts essentiellement sur l'agriculture, le secteur sur lequel les économies des pays en voie de développement reposent.

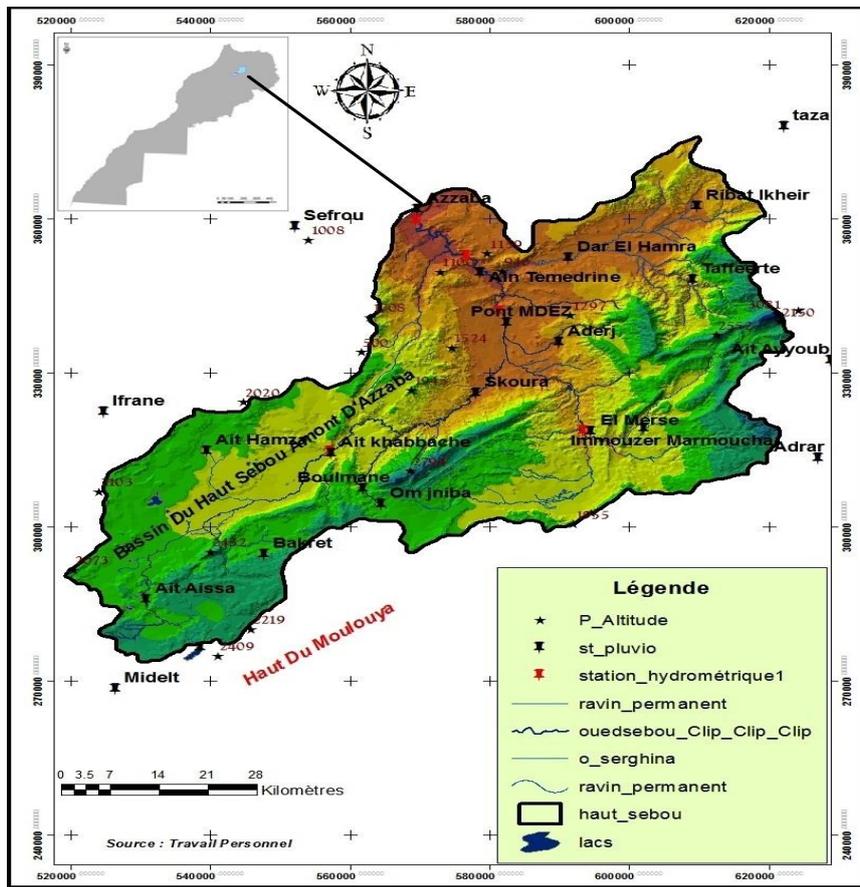
Le Maroc n'est pas échapper par ces phénomènes, elle vit des épisodes sec le plus long de son histoire contemporaine, caractérisé par une diminution des précipitations et irrégulières, avec une tendance nette à la hausse des températures. Les études dendrochronologie (Stockton, 1988), ont montré que le Maroc a souvent été marqué par des périodes de sécheresse intenses qui reviennent de façon alarment. En outre, l'étude du ministère de l'équipement en 1997 a montré que le Maroc a connu onze (11) évènement de la sécheresse entre 1896 et 1996 dont l'intensité a été modéré à forte.

L'objectif de notre travail est de caractériser la sécheresse climatique pour la période 1970/2021 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.

L'objectif de cette contribution est d'étudier la variabilité interannuelle de la pluviométrie et de la température de quatre stations à différente échelle temporelle emboîtées (année, saison, mois), identifié et analysé la variabilité spatiale et temporelle des indices de précipitations et température sur la période (1970-2021)..

I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

Le Haut Sebou, est distingué à la fois par son altitude plus élevée de ses montagnes et par la remarquable extension des plateaux et des plaines. Il compte plusieurs sommets (chaine plissé), dépassant trois mille mètres dont Jbel Bou Iblane (3191m). Ces caractéristiques interviennent directement sur la répartition pluviométrique qui pèse lourdement sur les ressources naturelles. L'aire d'étude, est donc caractérisée globalement par des reliefs élevés qui par leur répartition géographique hétérogène, ont des influences diverses sur les conditions climatiques.



Carte n°1 : Situation géographique du bassin du Haut Sebou

Le bassin du Haut Sebou, est constitué d'une mosaïque de sites géologiques et géomorphologiques extrêmement diversifiés, qui méritent une étude scientifique détaillée.

II : Méthodologie et données ;

II.1 : Méthodologie :

Plusieurs indices et méthodes ont été développés à cet effet afin de caractériser et identifier la sécheresse climatique à différentes échelles de temps (annuelle, saisonnière et mois). Ils permettent de déterminer le seuil de la sécheresse climatique, d'établir une classification selon la sévérité de l'évènement et sa position, et d'identifier la probabilité d'occurrence de différentes classes de sévérité.

Pour déterminer la vulnérabilité des ressources en eau, nous avons choisi d'utiliser l'indice pluviométrique standardisé (SPI), cette approche facilite la comparaison des situations à différentes périodes. 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). Par ailleurs, plusieurs chercheurs ont montré la robustesse de l'indice pluviométrique standardisé et les précautions à prendre pour son interprétation.

II.1.1 : l'Indice Standardisé des Précipitations (ISP)

L'Indice standardisé de précipitation (SPI), proposé à l'origine par (McKee et al. 1993), (dénommé en anglais, SPI, Standardized Precipitation Index), est un indice simple, puissant et souple à la fois, grâce à son efficacité, il est utilisé par la plupart des études sur l'événement de sécheresse. Le calcul de l'indice SPI est basé sur un historique de précipitations, Il est possible de calculer l'indice pour diverses échelles de temps, celui-ci permettant également de distinguer les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité. Il est moins complexe que bien d'autres indices. Il permet de déterminer les périodes humides que les périodes sèches. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$\text{SPI} = (p_i - p_m) / \sigma$$

P_i : Précipitation de l'année i (cumul moyen annuel) ;

P_m : Précipitation moyenne ;

σ : Déviation standard ou écart type de la série des cumuls à la station.

Ainsi, une année sera considérée comme normale si son indice est compris entre -0.1 et +0.1. Elle sera dite humide si son indice est supérieur à 0.1 et séché en deçà de -0.1. Cet intervalle reste critiquable puisqu'il est relativement faible de sorte que les années normales sont très peu nombreuses. Mais il permet de bien distinguer les années sèches et des années humides. On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs de l'ISP.

Tab n°1 : Catégorie de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs de (SPI).

Classification (SPI)	
SPI > 2	Extrêmement humide
1,5 < SPI < 1,99	Très humides
1,0 < SPI < 1,49	Modérément humide
-0,99 < SPI < 0,99	Proche à la normale
-1,49 < SPI < -1,0	Modérément sec
-1,99 < SPI < -1,5	Très sec
SPI < -2	Extrêmement sec

II.1.2 : Présentation des données utilisées

L'ensemble des données pluviométriques est mis à notre disposition par l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou (ABHS). Les données climatiques de la zone qu'on va exploiter s'étalent sur une période de 51 ans (1970-2021). Il s'agit des cumuls de précipitations mensuelles, pour traiter et calculer les moyennes annuelles et saisonnières, ensuite ont calculé l'indice (ISP) pour caractériser la variabilité pluviométrique et la sécheresse météorologique.

Tab n°2 : Catégorie de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs de (SPI).

Bassin	Stations	coordonnées			chronique
		longitude	latitude	Altitude (m)	
Haut du Sebou	Ait Khabbache	557,000	314,800	1478	1970-2021
	El marse	593,000	318,620	1210	1970-2021
	Pont M'dez	581,400	341,900	725	1970-2021
	Aguelmame sidi Ali	537,800	276,000	2078	1970-2021

L'objectif est 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 du Haut Sebou.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 : Pluviométrie et disponibilité en eau dans le bassin du Haut Sebou

III.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 au Sud-Ouest pendant l'année hydrologique 2009 avec 828,10mm (Station El marse), en Ouest du bassin (Station Aguelmame Sidi Ali) avec 789,10mm pendant l'année 2011, à l'intérieur du bassin (Station Ait Khabbache), avec 635,9mm pendant l'année 2010, alors que en aval (Station Pont M'dez) avec 483,70mm pendant l'année hydrologique 2010. Par contre, la plus sèche de la période d'étude avec un minimum de 65,81mm à la station Ait Khabbache, 81mm à la station M'dez, à la station Ait Khabbache avec 188,6mm et 221,6mm à la station Aguelmame sidi Ali.

D'un point de vue statistique, si on considère les années inférieures à la moyenne comme années sèches, on remarque que sur les 52 années étudiées (1970-2021), 25 années sont inférieures à la moyenne (années sèches) pour la station Ait Khabbache et Pont M'dez, aussi 22 années à la station El marse, et enfin 21 années à la station Aguelmame sidi Ali (fig.1).

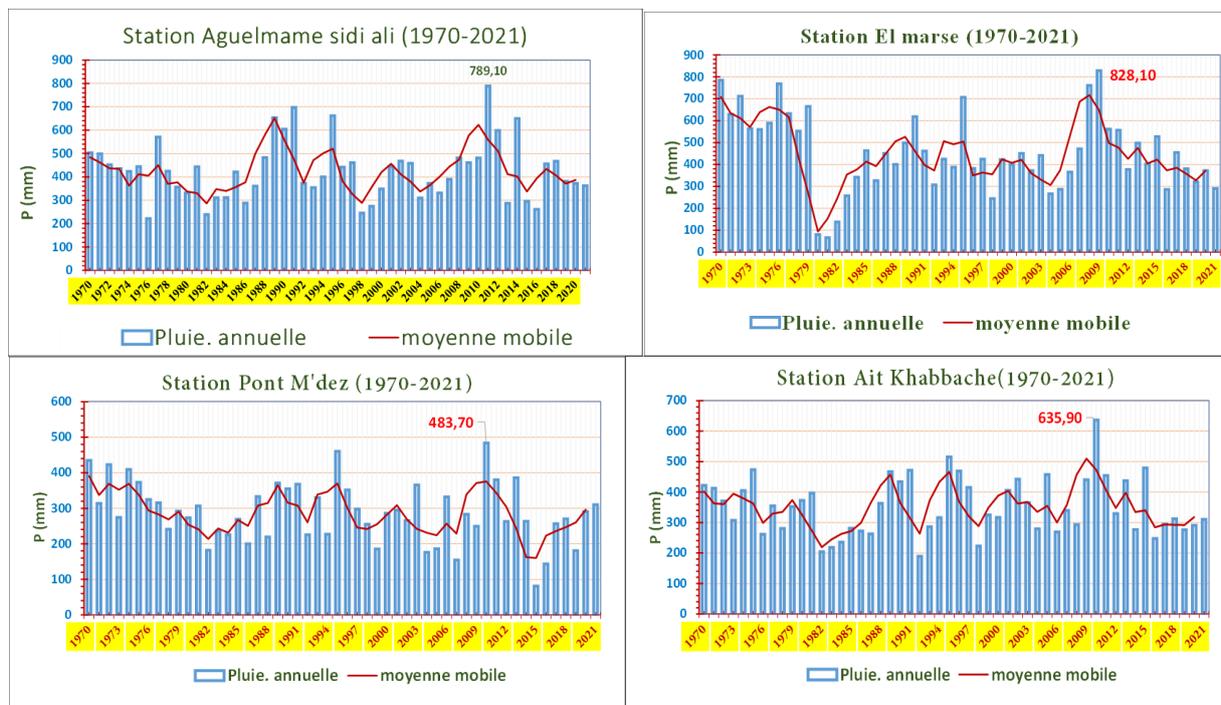


Figure 1. L'évolution des précipitations par rapport à la moyenne mobile dans la période (1970-2021).

Les stations ressortent que, l'amont du bassin particulièrement Sud-Ouest et bien arrosé avec des hauteurs pluviométriques qui dépassent les 800mm (Station El marse), à l'aval, les pluies enregistrées les plus faibles de la série avec moyenne de 288mm (moins arrosée) (tab.3).

Tab n°3 : Caractéristiques statistiques des quatre stations (1970-2021)

station	P moyenne (mm)	Pmax (mm)	Pmin (mm)
Aguelmame Sidi Ali	425,63	789,10	221,60
Ait Khabbache	351,91	635,90	188,60
El marse	452,40	828,10	65,81
Pont M'dez	287,96	483,70	81,00

III.1.2 : L'analyse pluviométrique à l'échelle mensuelle

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles durant les 52 années, ressorte que, la pluviométrie moyenne au niveau de la station Aguelmame Sidi Ali, se caractérise par un maximum (56.47mm) pluviométrique en Décembre et le minimum (14mm) enregistré en juillet. On constate que, les précipitations moyennes mensuelles sont marquées par une hétérogénéité et une grande variabilité du point de vue de leur répartition de l'amont vers l'aval. Et d'après l'analyse des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station Pont M'dez et la station Ait Khabbache, il ressort clairement des mesures qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs enregistrées, et la raison est que les deux stations sont exposées aux mêmes courants d'air, et la topographie ne constitue pas un obstacle à ces courants humides (fig.2).

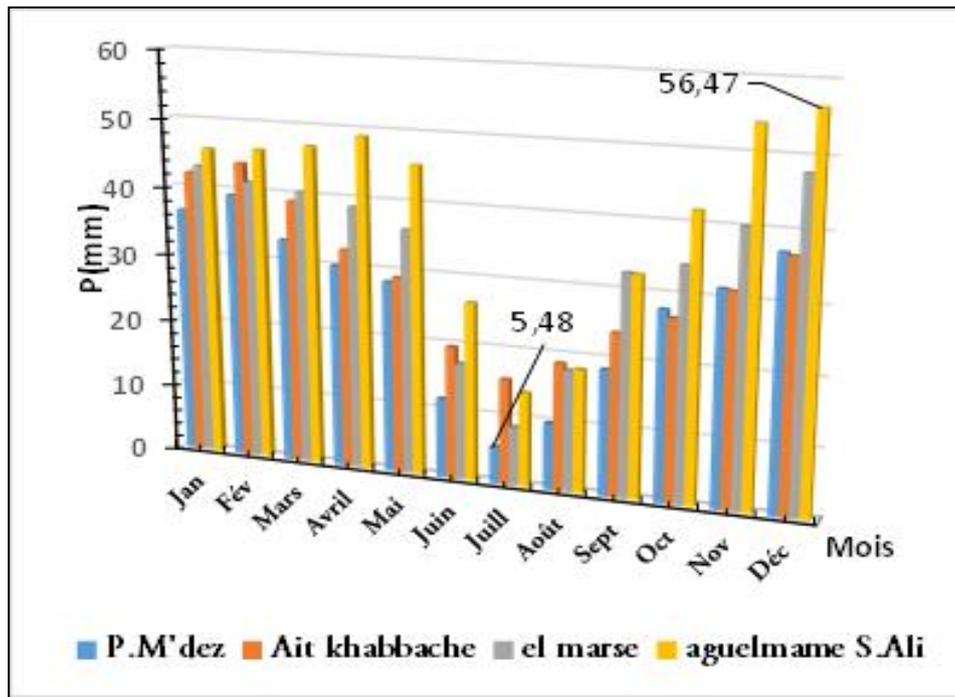


Figure 2. Les précipitations moyennes mensuelles série (1970-2021).

Le coefficient mensuel de la précipitation (CMP) de quatre stations, montre l'existence de deux périodes par rapport à la valeur de référence de chaque station (fig.3).

i. Station Aguelmame Sidi Ali (Valeur de référence 0,0833) :

- La période hivernale : elle est la plus arrosée qui commence en Octobre jusqu'au mois de Mai.
- La période des faibles précipitations qui se situe pendant la période estivale, elle commence en Juin jusqu'au mois septembre.

ii. Station M'dez (Valeur de référence 0,0833) :

- La période hivernale : elle commence en Octobre jusqu'au mois de Mai.
- La période des faibles précipitations qui se situe pendant la période estivale, elle commence en mai jusqu'au mois septembre.

iii. Station Ait Khabbache (Valeur de référence 0,0833) :

- La période hivernale : elle commence en Octobre jusqu'au mois de Mai.
- La période des faibles précipitations qui se situe pendant la période estivale, elle commence en mai jusqu'au mois septembre.

iv. Station Ait Khabbache (Valeur de référence 0,0833) :

- La période hivernale : elle démarre en Novembre jusqu'au mois de Mai.
- La période des faibles précipitations qui se situe pendant la période estivale, elle commence en mai jusqu'au mois Octobre.

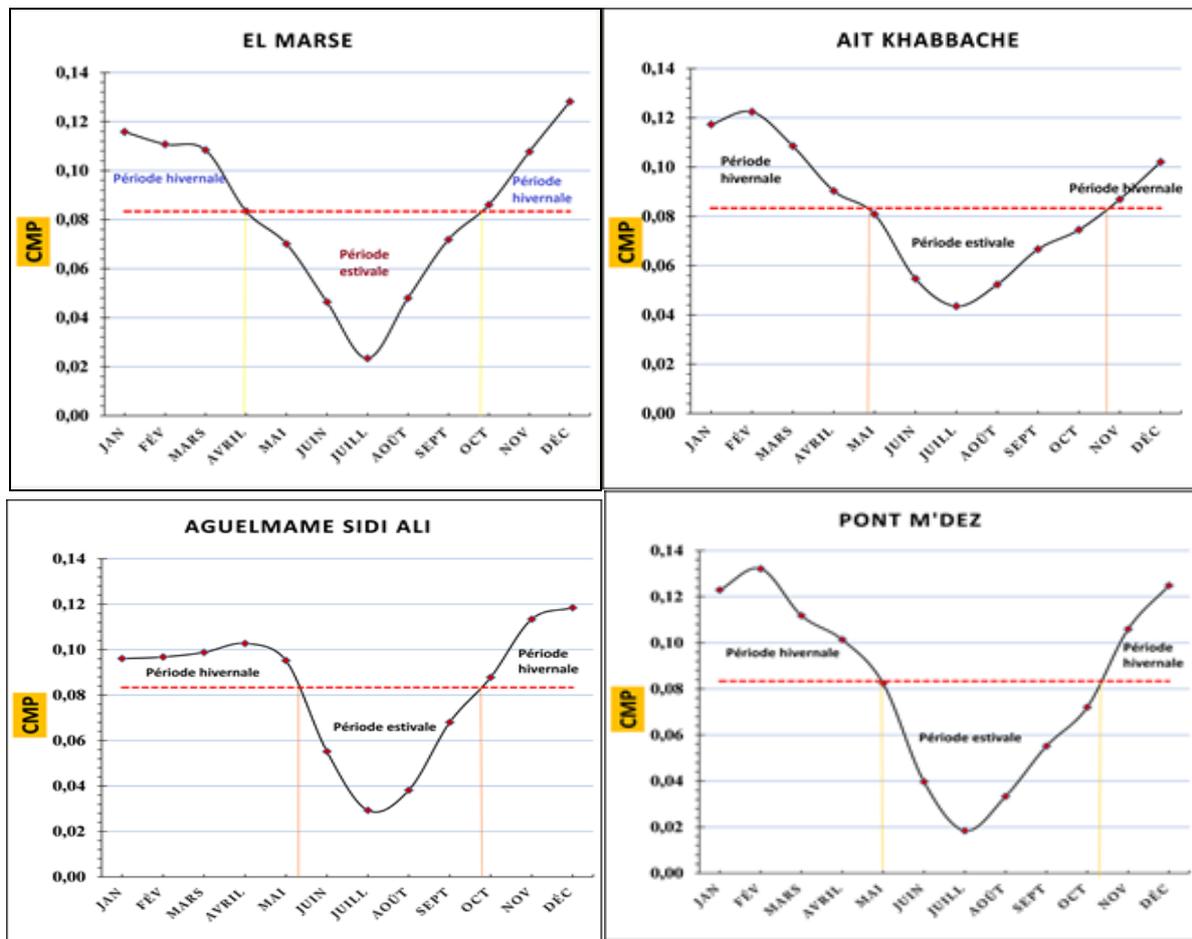


Figure 3. Coefficient mensuel des précipitations de quatre stations, série (1970-2021).

III.1.3 : L'analyse pluviométrique à l'échelle saisonnière

La totalité des stations pluviométriques du bassin Haut Sebou, 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 52ans, montre une forte variation saisonnière avec un Hiver plus pluvieux dans les quatres stations, l'Automne et le Printemps restent légèrement moins arrosée (fig.4).

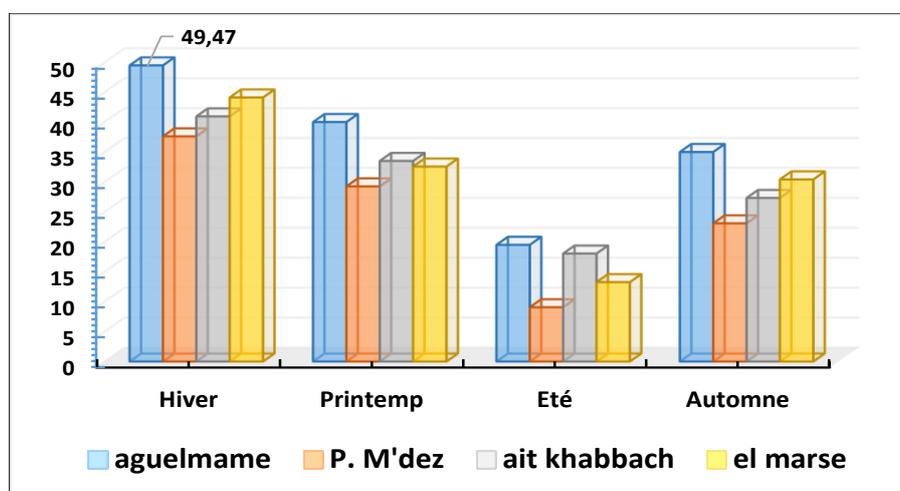


Figure 4. Les précipitations moyennes saisonnières à la station (Ait Khabbache, M'dez, El marse, Aguelmame sidi Ali ; 1970-2021).

III.2 : L'indice de l'ISP calculé sur l'échelle annuelle dans le bassin du Haut Sebou

Le calcul des valeurs de SPI annuel à l'échelle du bassin Haut Sebou, pour chaque station (fig. 5), et l'application de la moyenne mobile, nous révèlent une alternance des phases sèches et humides au niveau de quatre stations étudiées au cours de la période de 1970-2021. A partir du diagramme ci-dessous, le calcul de l'indice pluviométrique de la station Ait Khabbache, et quasiment les mêmes périodes que celles enregistrées par la station Pont M'dez, avec une différence dans les valeurs enregistrées à partir de chaque année. L'analyse des valeurs de SPI, montre qu'avant 1974 n'est pas de séquence sèches observées dans la plupart des stations.

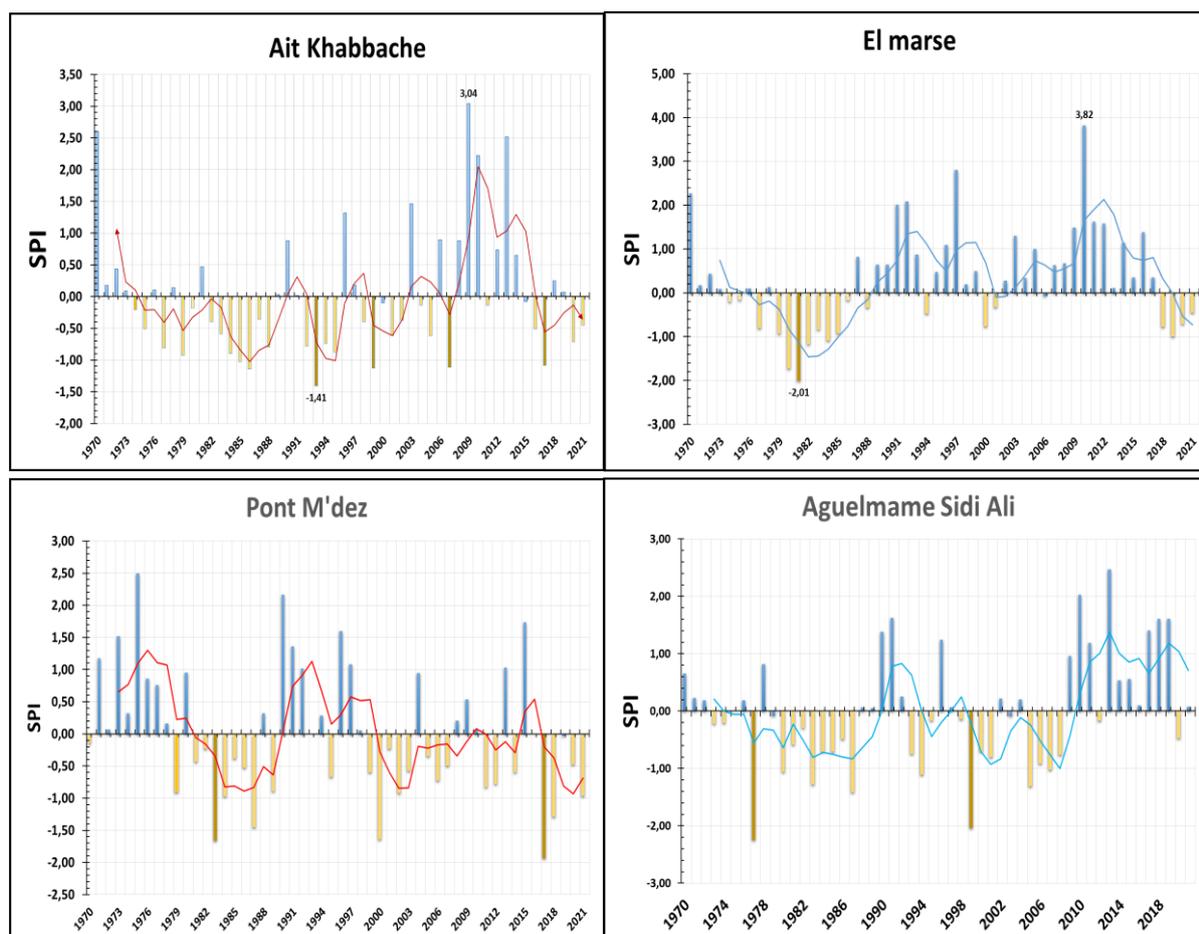


Fig. n°5 : Valeurs annuelles SPI dans le bassin d'étude période (1970-2021)

Cette analyse dévoile trois phases remarquables :

- 1970-1979 : présente une dominance d'une période humide, où on observe un SPI positif qui atteint +2.60 se révèle à station Ait Khabbache, et les années sèches enregistrés ont été dans l'ensemble légères en exception une année sévère en 1977 à la station Aguelmame Sidi Ali (SPI= -2.24).
- 1980-2007 : Durant cette période, nous avons observé une série d'années sèches durant plus d'une décennie dans la plupart des stations standards, entrecoupées de quelques années humides avec un indicateur très faible qui n'a pas affecté l'année suivante.

Après l'année 1990, les années sèches et humides succèdent en moyenne à trois années consécutives entre périodes humides et sèches jusqu'à l'année 2007, à l'exception de la station El Marse, qui a connu des années humides tout au long de la période.

- 2008-2021 : Cette période a été marquée par le début d'années humides successives jusqu'en 2011, avec une valeur maximale atteignant environ 3,82 en 2010 (El Marse), suivies d'années oscillant entre humides et sèches jusqu'à 2017. Mais après cette année, les sécheresses enregistrées ont été dans l'ensemble est sévère, avec une valeur maximum apparaitre en 2018 (S. M'dez ; SPI=-1,93).

Pour conclure, au cours des années quatre-vingt et jusqu'à 2000, la baisse de la pluviométrie s'est installée d'une manière significative. Après 2008, un retour des pluies avec une phase négative de l'ONA. Les sécheresses, les plus sévères sont celles des années 1983, 1992, 1994, 1999, 2002 et 2015, elles ont touché la majorité du l'aire d'étude, surtout la région Montagneuse celui qui a subi une importante hausse de la fréquence des années sèches depuis les années quatre-vingts. Ceci, expliquerait la forte réduction pluviométrique constatée dans cette zone.

IV : CONCLUSION

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin d'étude est généralement de type méditerranéen, semi-aride à influencer des courants continentaux. En raison de son étendue et son relief, le bassin étudié se caractérise par un climat très différencié d'une zone à l'autre. De ce fait, le bassin du Haut Sebou a connu des précipitations très irréguliers tout à long de l'année, l'alternance des années humides et sèches, s'inscrit par la dominance des années sèches avec une tendance très évidant depuis les années quatre-vingts

L'analyse de l'indice SPI a montré que le bassin d'étude, est généralement ressortir des périodes excédentaires et des périodes déficitaires. Ses périodes sont interrompues par des années sèches et humides au cours de la série étudiée, les années excédentaires et déficitaires sont plus remarquables par leur intensité.

V : REFERENCE.

- JANATI, I. A. (2010) - Situations pluviométriques extrêmes en 2008-2009 et impacts engendrés au Maroc. Revue Géomaghreb n° 6,
- Benjelloul M., 2000 : La rivière et les établissements humains dans la plaine du Guigou. Publication de la FLSH, Dhar El Mehraz. Fès,
- Nejjari A., 2002. La sécheresse, l'eau et l'homme dans le bassin versant du Haut Sebou (Moyen Atlas septentrional – Maroc). Thèse de doctorat de l'université de Metz, p 304.
- Nejjari A., Devos A., Obda, kh, 2001 : Spatialisation des débits d'étiages du Haut Sebou (Moyen Atlas) aspects méthodologiques et ressources en eau, Mossella –Tom XXV. Univ de Metz, n°3-4, PP 121-138.
- Mazoz E. 2015. Régimes Pluvio-Hydrologiques du Haut Sebou (Maroc) et incidences des situations climatiques à risques dans le bassin- Thèse de doctorat, université sidi Mohamed ben Abdellah, Faculté Fès-Sais, pp : 133-149.
- Sary M., Akdim B. 2000. La sécheresse hydrologique récente dans le bassin du haut Sebou (Moyen Atlas, Maroc). In Mosella 2000, T. XXV, n° 3-4,