

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCEN
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

MÉMOIRE DE MASTER EN HYDRAULIQUE
Option : Hydraulique Urbaine

**Appréciation des séquences pluviométriques sèches et humides
au bassin versant de la Tafna par l'utilisation du SPI**

Présenté par :

BENABDALLAH Mohammed El Amine

BENGUEDDA Sidi Mohammed Mehdi

Soutenu en septembre 2021 devant le jury :

Mme BABA HAMED Kamila

Pr

Présidente

Mme ADJIM Hayet

MCB

Examinatrice

Mr GHENIM Abderrahmane Nekkache

Pr

Encadreur

Année universitaire : 2020-2021



REMERCIEMENTS

Louange à Allah qui par sa grâce infinie et sa volonté nous a permis d'aboutir à ce travail.

Dans un premier temps je remercie M. GHENIM Abderrahmane, notre encadreur pour le suivi, les conseils et les explications.

Nos plus sincères remerciements vont aux examinateurs qui ont accepté de juger ce travail.

Nos derniers remerciements s'adressent à tous nos professeurs et enseignants qui nous ont guidé au cours de notre formation, et à ceux qui nous ont aidé de près ou de loin.

Fleurs et prières vont à notre chère collègue HAMDY Sara qui nous a quitté trop tôt.

BENABDLLAH & BENGUEDDA



Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À ma chère grand-mère pour son amour, ses prières et son encouragement qui m'a été d'un grand soutien au cours de ce long parcours

À mes chers frères et sœur pour leur appui et leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.

À toute ma famille pour son soutien tout au long de mon parcours que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible. Merci d'être toujours présents pour moi.

Je dédie ce travail à tous mes professeurs de la filière hydraulique

À tous mes amis (e).

À mon binôme Mehdi et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

BENABDLLAH Mohammed El Amine





Dédicace

Je dédie ce travail à mes parents qui m'encouragent toujours à apprendre et à donner le meilleur que je peux. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mes frères Tarik et Abdellah.

A mes sœurs.

A toute ma famille, et mes amies.

A tous mes enseignants dès la primaire jusqu'à l'université.

A mon binôme Amine et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.

Je vous dis merci

BENGUEDDA Sidi Mohammed Mehdi



Sommaire

Résumé :	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Introduction générale :	1
Chapitre I : La zone d'étude	2
I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :	2
-La Haute Tafna :	2
-La moyenne Tafna :	2
-La basse Tafna :	3
I.2 CLIMATOLOGIE DE LA REGION :	4
I.3 GEOLOGIE DE LA REGION :	4
I.4 CARACTERISTIQUES DU BASSIN :	4
I.4.1 MNT DU BASSIN :	4
I.4.2 COEFICIENT DE GRAVELIUS :	4
I.4.3 RECTANGLE EQUIVALENT :	5
I.4.4 DENSITE DE DRAINAGE :	5
Chapitre II : méthode d'étude	9
Introduction :	9
II.1-Formule de l'indice SPI :	9
II.2-Classification des valeurs Spi :	11
II.3-Description Du SPI Temporel :	11
II.3.1 Indice Spi sur 1 mois :	12
II.3.2 Indice Spi sur 3 mois :	12
II.3.3 Indice Spi sur 6 mois :	13
II.3.4 Indice Spi sur 9 mois :	14
II.3.5 Indice Spi sur 12-24 mois :	14
II.4-Méthode de calcul :	14
II.4.1 Méthode :	14
II.4.2-Mode de Fonctionnement :	15
II.4.3 Programme de calcul :	15
II.5-Fréquence de sécheresse :	18
II.6-Ampleur de sécheresse :	18
II.7-Intensité de sécheresse :	19
II.8-Avantages et inconvénients du SPI :	19

II.8.1- Avantages du SPI :	19
II.8.2- Inconvénients du SPI :	19
Chapitre III : Résultats et discussions.	21
III.1 Cartographie du climat :	21
III.1.1 SPI-1mois :	22
III.1.2 SPI-3mois :	24
III.1.3 SPI-6mois :	26
III.1.4 SPI-12mois :	28
III.1.5 SPI-24mois :	30
III.1.6 SPI-48mois :	32
III.2 Fréquence de sècheresse :	34
III.2.1 Fréquences SPI-1mois :	34
III.2.2 Fréquences SPI-3mois :	39
III.2.3 Fréquences SPI-6mois :	44
III.2.4 Fréquences SPI-12mois :	49
III.2.5 Fréquences SPI-24mois :	54
III.2.6 Fréquences SPI-48mois :	59
Interprétation générale des fréquences :	63
III.3 La durée de sècheresse :	64
III.4 Ampleur de sècheresse :	65
III.5 Intensité de sècheresse :	67
Conclusion générale :	69
Références Bibliographiques :	70

Résumé :

La sécheresse est l'un des phénomènes météorologiques extrêmes ayant de graves conséquences sociales, économiques et environnementales.

L'analyse de l'indice de précipitation standardisé a été principalement utilisée pour comprendre l'étendue et l'évolution temporelle et spatiale de la sécheresse dans l'ensemble du bassin versant de la Tafna, Cette méthode s'est avérée être un des indicateurs intéressants, recommandée par WMO pour étudier ce phénomène.

Ce travail porte sur l'étude de l'évolution de la sécheresse de 1980 à 2011 et de la régionalisation de la sécheresse dans le bassin de la Tafna.

Le SPI nous a amené à conclure que le bassin est passé par des périodes de sécheresse, et des périodes d'humidité, Cela nous permettra d'avoir une vision globale des scénarios climatiques passés de la Tafna.

Mots clés : sécheresse, l'indice de précipitation standardisé, SPI, précipitation, Tafna.

Abstract :

Drought is one of the extreme weather events with serious social, economic and environmental consequences,

The standardized precipitation index analysis has been mainly used to understand the extent and temporal and spatial evolution of drought throughout the Tafna watershed, This method turned out to be one of the interesting indicators recommended by WMO to study this phenomenon.

This work focuses on the study of the evolution of drought from 1980 to 2011 and the regionalization of drought in the Tafna basin.

The SPI led us to conclude that the basin has gone through periods of drought, and periods of humidity, This will allow us to have a global vision of past climate scenarios for Tafna,

Key words : drought, standardized precipitation index, SPI, precipitation, Tafna.

ملخص:

الجفاف هو أحد الظواهر المناخية القاسية التي لها عواقب اجتماعية واقتصادية وبيئية خطيرة

تم استخدام تحليل دليل هطول الأمطار المعياري بشكل أساسي لفهم المدى والتطور الزمني والمكاني للجفاف في جميع أنحاء الحوض المائي، تبين أن هذه الطريقة هي أحد المؤشرات المثيرة للاهتمام التي أوصت بها المنظمة العالمية للأرصاد الجوية لدراسة هذه الظاهرة

وقد أدى بنا ذلك إلى يركز هذا العمل على دراسة تطور الجفاف من 1980 إلى 2011 وأقلمة الجفاف في حوض التافنة، استنتاج أن الحوض مر بفترات جفاف، وفترات رطوبة، سيتيح لنا ذلك الحصول على رؤية عامة لسيناريوهات المناخ في الماضي للتافنة

كلمات مفتاحية: الجفاف، الأمطار، مؤشر الجفاف المعتدل، حوض التافنة

Liste des abréviations

AEP : Alimentation en eau potable

Hm : Hectomètre

MNT : Modèle numérique du terrain

K_c : Coefficient de gravellus

P : Périmètre

A : Aire

L : Longueur

l : Largeur

Dd : Densité de drainage

Ln : longueur du cours d'eau

CH HYD : Chemin hydraulique

SPI : indice standardisé des précipitations

δ : écart-type

WMO : World meteorological organization (organisation météorologique mondiale)

xls : Excel

txt : Texte

Fi : fréquence

M_j : Ampleur

I_j : Intensité

L_j : Durée

ET : évapotranspiration

ETP : évapotranspiration potentielle

SPEI : l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration

SIG : Système d'information géographique

P_{moy}, P_{min}, P_{max} : Précipitations inter-annuelles moyennes, minimales et maximales

C.V : Coefficient de variation

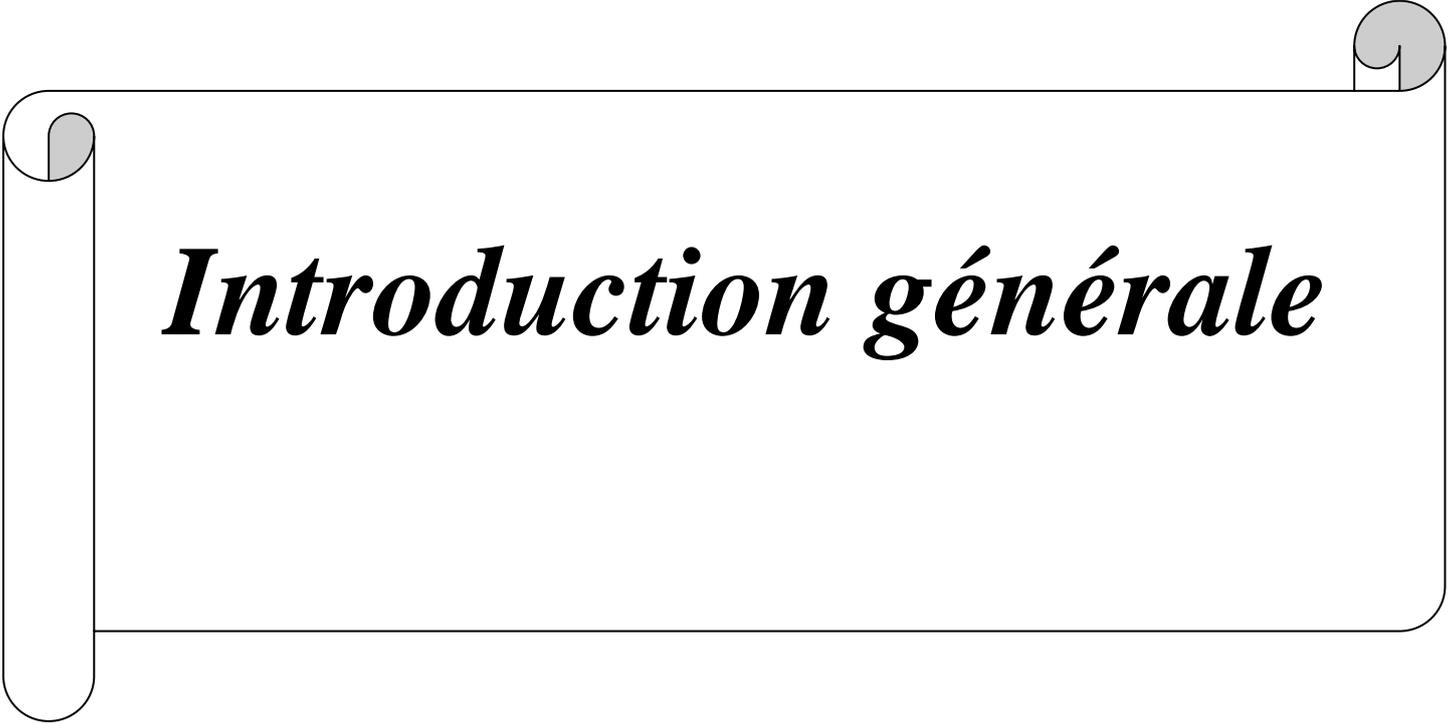
C.asy : Coefficient d'asymétrie

Liste des figures

N°	Intitulé de la figure	Page
Chapitre I		
I.1	Le bassin versant de la Tafna	2
I.2	Bassin versant de la Tafna cas d'étude	6
Chapitre II		
II.1	Exemple du fichier d'entrée	15
II.2	Exemple du fichier de sortie	17
Chapitre III		
III.1	SPI1 Humide	22
III.2	SPI1 Sec	23
III.3	SPI3 Humide	24
III.4	SPI3 Sec	25
III.5	SPI6 Humide	26
III.6	SPI6 Sec	27
III.7	SPI12 Humide	28
III.8	SPI12 Sec	29
III.9	SPI24 Humide	30
III.10	SPI24 Sec	31
III.11	SPI48 Humide	32
III.12	SPI48 Sec	33
III.13	Fréquence des SPI-1Mois St « P. du chat »	34
III.14	Fréquence des SPI-1Mois St « Sebdou »	35
III.15	Fréquence des SPI-1Mois St « Ouled Mimoun »	36
III.16	Fréquence des SPI-1Mois St « Maghnia »	37
III.17	Fréquence des SPI-3Mois St « P. du chat »	39
III.18	Fréquence des SPI-3Mois St « Sebdou »	40
III.19	Fréquence des SPI-3Mois St « Ouled Mimoun »	41
III.20	Fréquence des SPI-3Mois St « Maghnia »	42
III.21	Fréquence des SPI-6Mois St « P. du chat »	44
III.22	Fréquence des SPI-6Mois St « Sebdou »	45
III.23	Fréquence des SPI-6Mois St « Ouled Mimoun »	46
III.24	Fréquence des SPI-6Mois St « Maghnia »	47
III.25	Fréquence des SPI-12Mois St « P. du chat »	49
III.26	Fréquence des SPI-12Mois St « Sebdou »	50
III.27	Fréquence des SPI-12Mois St « Ouled Mimoun »	51
III.28	Fréquence des SPI-12Mois St « Maghnia »	52
III.29	Fréquence des SPI-24Mois St « P. du chat »	54
III.30	Fréquence des SPI-24Mois St « Sebdou »	55
III.31	Fréquence des SPI-24Mois St « Ouled Mimoun »	56
III.32	Fréquence des SPI-24Mois St « Maghnia »	57
III.33	Fréquence des SPI-48Mois St « P. du chat »	59
III.34	Fréquence des SPI-48Mois St « Sebdou »	60
III.35	Fréquence des SPI-48Mois St « Ouled Mimoun »	61
III.36	Fréquence des SPI-48Mois St « Maghnia »	62

Liste des Tableaux

N°	Intitulé du tableau	Page
Chapitre I		
I.1	Caractéristique des cinq barrages du bassin de la Tafna et leur usage	4
I.2	Caractéristiques physiques du bassin de la Tafna	6
Chapitre II		
II.1	Principales caractéristiques des stations pluviométriques utilisées	10
II.2	Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI	11
Chapitre III		
III.1	Classification du SPI	21
III.2	Duration de sècheresse	64
III.3	Ampleur de sècheresse	65
III.4	Intensité de sècheresse	67

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right. The text is centered within this scroll.

Introduction générale

Introduction générale :

Aujourd'hui, la question du changement climatique ou du réchauffement global de la terre est un sujet de préoccupation considérable pour différents chercheurs à travers le monde, Les scientifiques, les décideurs et les gouvernements du monde entier essaient de comprendre la nature du changement et les défis auxquels ils sont confrontés.

L'effet du réchauffement climatique ne fait qu'augmenter par l'apparition des phénomènes météorologiques extrêmes (par exemple, les inondations, les sécheresses et les tempêtes de pluie, les incendies...), Le phénomène extrême d'intérêt dans ce travail est celui de la sécheresse, car elle est exceptionnelle par rapport aux autres phénomènes du fait qu'elle s'installe lentement et se développe aux cours des mois voire même des années, Ces dernières années, la sécheresse est devenue de plus en plus endémique et ses impacts sociaux, économiques et environnementaux sont également devenus plus graves.

La température, le vent et l'humidité relative sont les facteurs décisifs qui caractérisent la sécheresse, Le suivi de la sécheresse doit également tenir compte de l'application envisagée, car l'impact de la sécheresse varie d'un secteur à l'autre, Le concept de sécheresse varie d'un utilisateur à l'autre, selon qu'il s'agit d'un gestionnaire de l'eau, d'un agriculteur, d'un exploitant de centrale hydroélectrique ou d'un « biologiste spécialisé dans la faune sauvage », Au sein d'un secteur, la sécheresse peut également être considérée sous un angle différent, car son impact peut varier considérablement, Les sécheresses sont généralement classées par type (météorologique, agricole et hydrologique) et varient selon leur intensité, leur durée et leur couverture spatiale.

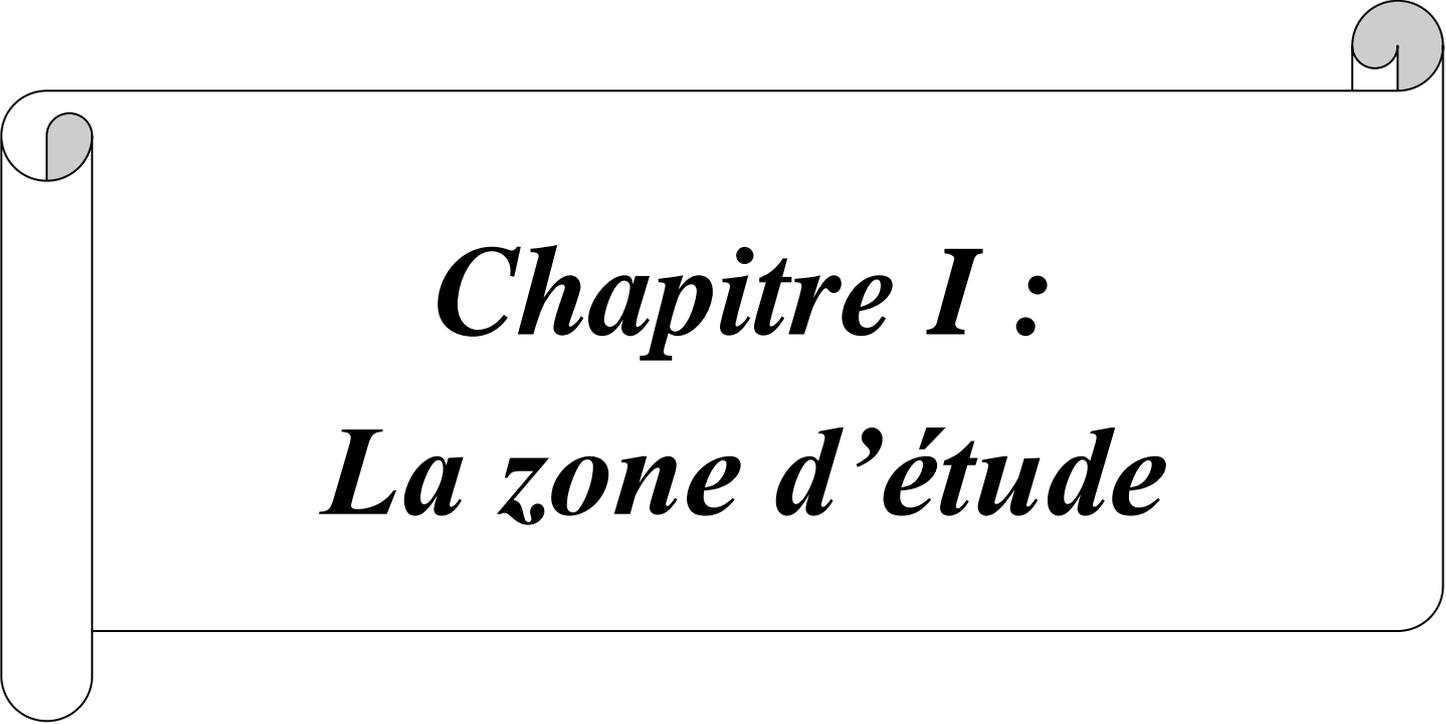
En Algérie dans le nord-ouest du pays, en raison des sécheresses fréquentes, des études ont été élaborées à ce sujet, cela n'exclut pas la région du nord-est qui est aussi touchée par ce phénomène, d'ailleurs les derniers incendies que le pays a vécu ces derniers temps étaient dans le nord-est.

Ce travail a pour objectif d'étudier la sécheresse dans le bassin versant de la Tafna et se divise en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre nous avons présenté quelques paramètres physiques de la zone d'étude ou du bassin versant d'une façon globale.

- Dans le second chapitre nous avons illustré la méthode de calcul utilisée dans ce travail.

- Au dernier chapitre nous avons présenté les résultats obtenus sous forme de cartes et de schémas pour faciliter la compréhension du phénomène aux lecteurs.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both ending in rounded, curled ends. The text is centered within the horizontal strip.

Chapitre I :
La zone d'étude

Chapitre I : La zone d'étude

I.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le bassin de la Tafna est situé au nord-ouest du territoire algérien et s'étend au territoire Marocain, Il couvre une superficie totale de 7245 km².

En général, le bassin versant peut-être subdivisé en trois parties principales :

-A l'est se trouvent les principaux affluents de l'Isser et du Sikkak.

-L'ouest comprend la Haute Tafna (Oued Sebdou et Oued Khemis) et l'Oued Mouilah.

-Au Nord : presque du village de Tafna à la plage de Rechgoune qui est l'exutoire de la Tafna sur la mer méditerranée, (Oued Boukiou, Oued Boumessaud et Oued Zitoune sont les principaux affluents de cette partie).

Les plaines du bassin de la Tafna s'étendent jusqu'au pied des monts de Tlemcen devant les massifs de Traras et de Tessala, entourés de massifs en haut-relief formés principalement par les terrains du Mésozoïque et du Cénozoïque.

Les montagnes Traras au nord-ouest ont érigé une barrière entre le bassin et la méditerranée, correspondant à une série de crêtes de direction NE-SW, atteignant leur sommet 1136 m à djebel Fellaoucene.

L'oued Tafna est un cours d'eau de 170 kilomètres de long dont la source se trouve dans les monts de Tlemcen (Ghar Boumaaza, Sebdou), Le tracé de ce bassin peut être subdivisé en trois parties :

-La Haute Tafna :

La Tafna prend sa source à Ouled Ouriach et s'affirme après la confluence d'un grand nombre de ramifications creusées dans les terres jurassiques et descendues de la crête atteignant 1500m.

Ces ramifications se rencontrent près de Sebdou à haute altitude à environ 900m, De cet endroit à Sidi Medjahed, l'Oued suit une vallée profonde creusée dans les terres jurassiques, dans cette région montagneuse, la Tafna reçoit l'oued Khemis (rive droite) et l'oued Sebdou (rive gauche) (Bouanani, 2004).

-La moyenne Tafna :

A partir de Sidi Medjahed, le cours d'eau pénètre dans le bassin tertiaire, s'écoulant dans des vallées peu profondes de sols plus ou moins cohésifs, Cette partie du bassin tertiaire est sillonnée par de nombreux affluents dont certains sont importants.

Sur la rive gauche : les affluents ne sont pas aussi importants que la rive droite, seul l'oued Mouilah, originaire du Maroc, est remarquable par son tracé et son débit. L'oued Boukiou, moins important, part des montagnes de Traras et rejoint la route de la Tafna sur la plaine de Ghossel.

Tableau I.1 Caractéristique des cinq barrages du bassin de la Tafna et leur usage (Bakreti, 2004).

Barrage	Année	Capacité initiale Hm ³	Volume régularisé hm ³ /an	Affectation
Beni-Bahdel	1952	63	48	AEP/Agriculture
Meffrouche	1963	17	15	AEP
Sidi-Abdelli	1988	110	50	AEP
Hamam Bouhrara	1999	177	59	AEP
Sikkak	2004	27	25	AEP/Agriculture

I.2 CLIMATOLOGIE DE LA REGION :

La région de Tlemcen est affectée par le climat méditerranéen, qui se caractérise par de courtes périodes froides et humides en hiver et au début du printemps, et de longues périodes chaudes et sèches en été et en automne.

Le climat du bassin versant de la Tafna est de type semi-aride, il varie d'un lieu à autre par l'influence de deux paramètres principaux qui sont l'altitude et l'éloignement par rapport à la mer (Meddi, 2009).

I.3 GEOLOGIE DE LA REGION :

Le bassin versant de la Tafna est divisé en deux zones d'amont en aval, La Tafna traverse une vaste étendue de terre avec un substrat très diversifié, L'oued est caractérisé par des fractures, dont l'une correspond à la partie sud des Monts Tlemcen formée par la dolomie et le calcaire jurassique, et l'autre correspond à l'itinéraire de la basse Tafna, passant par la roche tendre du Miocène, entre Traras et Sebàa Chioukh (Dali Youcef, 2005).

I.4 CARACTERISTIQUES DU BASSIN :

I.4.1 MNT DU BASSIN :

Nous avons étudié le modèle numérique du terrain (M,N,T) par le logiciel ArcGIS, pour notre cas nous avons pris la partie algérienne seulement, les résultats que nous allons présenter concernent cette partie seulement et exclut la partie marocaine qui fait partie du bassin.

La surface a été estimée à 5335 km², le périmètre est 437 km, la longueur totale des cours d'eau 3542 km.

I.4.2 COEFICIENT DE GRAVELIUS :

L'indice de compacité permet une évaluation globale de la longueur du réseau hydrologique, Le principe de cet indice est de comparer le périmètre d'un bassin versant avec le périmètre d'un

cercle de même superficie, Plus le bassin est compact, plus sa forme est ramassée, plus l'indice de Gravelius est faible, et plus le temps de circulation de l'eau vers l'exutoire est court, donc le risque d'inondation est important, La compacité du bassin de la Tafna est évaluée par le coefficient de Gravelius donné dans le rapport suivant :

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P: périmètre du bassin en km

A: Superficie du bassin en km²

A la base des documents cartographiques utilisées, le coefficient de compacité pour le bassin de la Tafna est égal à $K_c = 1,67$ caractéristiques d'une forme allongée.

I.4.3 RECTANGLE EQUIVALENT :

Il représente la transformation géométrique du contour du bassin versant en un rectangle de même périmètre et de même aire que le bassin versant, La taille du rectangle équivalent est calculée à partir de la valeur mesurée du périmètre du bassin, de la superficie et de l'indice de compacité K_c selon la formule suivante :

$$L, l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \times \left(1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right)$$

L : Longueur du rectangle équivalent en km

l : Largeur du rectangle équivalent en km

Pour le bassin de la Tafna, les dimensions du rectangle équivalent sont :

$$L = 190,5 \text{ km} ; l = 28 \text{ km}$$

I.4.4 DENSITE DE DRAINAGE :

La densité de drainage exprimée en D_d caractérise le chevelu hydrologique, Elle est définie par la somme de la longueur moyenne L_n de tous les talwegs et de la surface A du bassin, Elle est exprimée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_n}{A}$$

D_d : densité de drainage (km/km²)

L_n : longueur des cours d'eau (km)

A : Surface du bassin (km²)

$$D_d (\text{bassin de la Tafna}) = 0,66$$

Les valeurs de densité de drainage renseignent sur le degré de développement des talwegs par rapport à la géologie, Elle est importante lorsque le sol est composé de structures géologiques imperméables et vice versa (Dubreuil et al, 1975).

Le tableau suivant résume les paramètres du bassin versant de la Tafna donnés par le logiciel ArcGIS :

Tableau I.2 Caractéristiques physiques du bassin de la Tafna

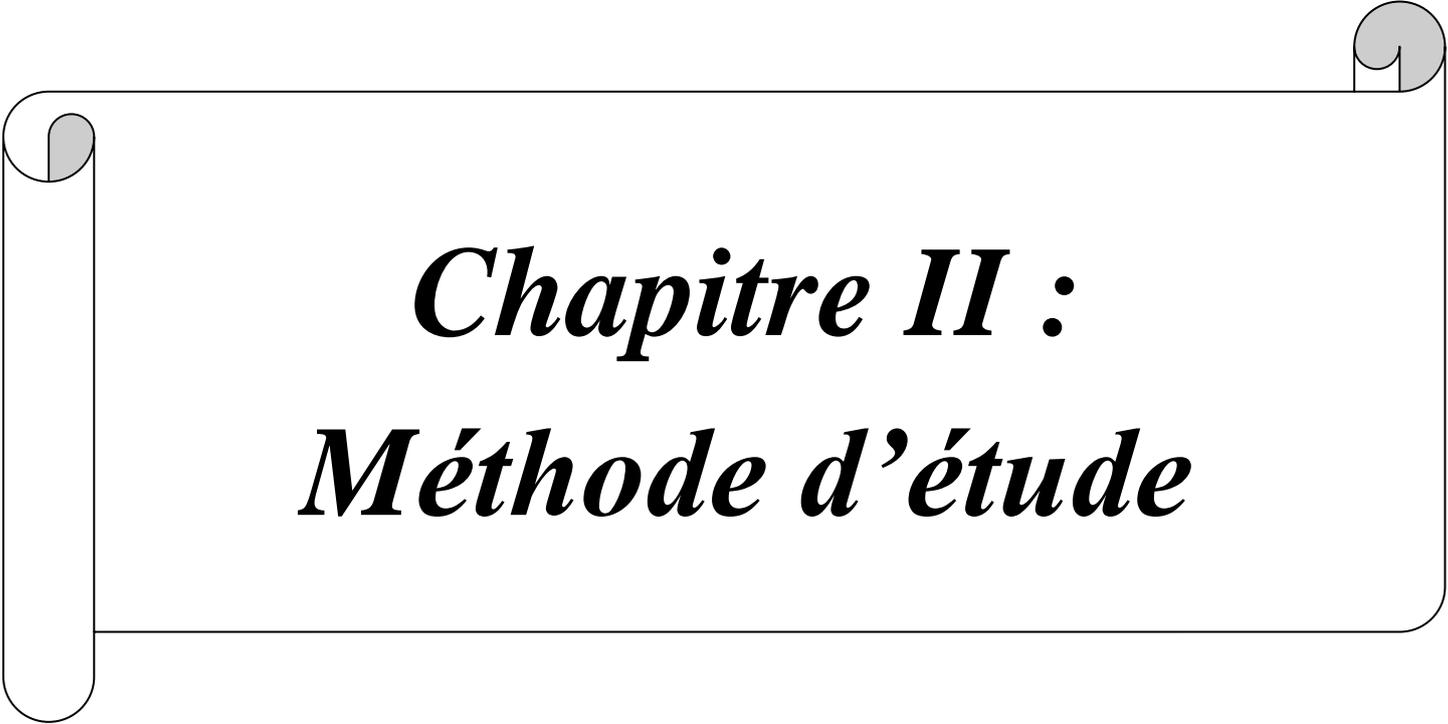
Bassin	Superficie(km ²)	Périmètre(km)	Kc	Rectangle équivalent		Hmin	Hmax	Hmoy	Long-Ch hyd	Dd
				Longueur(km)	Largeur(km)					
Oued Tafna	5335	437	1,67	190,5	28	0	1800	797	3542	0,66

La figure suivante représente le résultat donné par le logiciel sur lequel nous avons tracé et représenté les stations pluviométriques que nous avons par la suite utilisé dans l'étude de sécheresse.



Figure I.2 Contour du bassin versant de la Tafna et position des stations pluviométriques utilisées

Remarque : il y a lieu de souligner que le nombre des stations pluviométriques dans une surface qui dépasse 5000 km² ne permet pas d'obtenir des résultats très satisfaisant.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both with rounded ends and a slight shadow effect.

Chapitre II :

Méthode d'étude

Chapitre II : méthode d'étude

Introduction :

Au fil des ans, les météorologues et climatologues ont développé et utilisé de nombreux indices de sécheresse à travers le monde, des plus simples (comme le pourcentage de la normale des précipitations ou les centiles de précipitations) aux plus complexes (comme l'indice de sécheresse Palmer qui demande beaucoup de données). Des experts des États-Unis d'Amérique ont compris que l'indice doit être simple, facile à calculer, statistiquement pertinent et significatif. De plus, les différents effets de précipitations insuffisantes sur les eaux souterraines, le stockage dans les réservoirs, l'humidité du sol, la couverture neigeuse et le débit des cours d'eau, Cela a poussé au développement de l'indice de précipitation normalisé (indice SPI) en 1993 par les scientifiques américains McKee, Doesken et Kleist.

L'indice SPI (McKee et al, 1993 ; 1995) est un indice puissant, flexible et facile à calculer, Les données sur les précipitations sont en fait le seul paramètre requis, De plus, l'indice SPI est aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs, le programme de calcul d'index peut s'exécuter Windows et MacOs.

Pour calculer l'indice SPI, la situation idéale est d'avoir une série de données qui s'étend sur au moins 20 à 30 ans, mais il est préférable d'avoir une série de 50 à 60 ans ou plus, C'est la période optimale (Guttman, 1994), S'il manque des données pour de telles séries l'exécution du programme reste toujours possible, Cependant, la confiance dans les résultats est affectée en fonction des données manquantes par rapport à la durée de la période d'étude.

Les climatologues préfèrent étudier des ensembles de données complets, c'est-à-dire des séries sans données manquantes, Cependant, il est plus probable que l'ensemble de données n'est complet qu'à 90 % ou même à 85 %.

En fait, de nombreux utilisateurs ne peuvent pas se permettre ce luxe et doivent généralement accepter des ensembles de données contenant seulement 75 à 85 % des données, à moins qu'ils n'utilisent des techniques d'estimation pour combler les lacunes.

Il existe très peu de séries complètes de longue durée, de sorte que les utilisateurs doivent faire attention aux limites statistiques des événements extrêmes lorsqu'ils traitent des séquences de durée relativement courtes à divers endroits.

II.1-Formule de l'indice SPI :

Dans notre cas, nous avons utilisé une série de 30 années de mesures pour 21 stations météorologiques, elle contient seulement 6 ans de manque de données pour l'ensemble des stations soit 1% de lacunes, Les données des pluies sont du type mensuel. Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques des stations pluviométriques utilisées.

Tableau II.1 Principales caractéristiques des stations pluviométriques utilisées (Ghenim et Megnounif, 2011)

N°	Station	Altitude (m)	Coordonnées		Statistiques des pluies annuelles				
			Longitude Ouest	Latitude Nord	P _{moy} (mm)	P _{min} (mm)	P _{max} (mm)	C.V (%)	C.Asy
1	P, du chat	60	01°26'46"	35°08'41"	302	136	494	27	0,33
2	Izdihar Bge	295	01°06'45"	35°05'08"	376	256	698	25	1,51
3	Dj, Chouachi	641	01°28'46"	35°03'03"	278	150	473	32	0,72
4	Sidi Bounekhla	976	01°03'06"	35°02'51"	335	212	670	31	1,31
5	Z,S,Benamar	224	01°39'24"	35°02'27"	386	228	619	23	0,47
6	Zenata	249	01°27'00"	35°01'00"	323	193	550	25	0,90
7	Hennaya	515	01°23'17"	34°55'20"	377	209	560	25	0,15
8	O, Mimoun	650	01°02'21"	34°54'11"	327	198	625	30	1,16
9	H,Boughrara	225	01°38'20"	34°53'28"	232	74	468	39	0,49
10	Tlemcen	810	01°19'29"	34°52'26"	497	311	817	24	0,55
11	Chouly	747	01°07'60"	34°52'00"	391	218	701	27	1,13
12	Lalla Setti	1007	01°19'29"	34°51'58"	488	326	724	23	0,58
13	Meffrouche	1110	01°17'31"	34°51'19"	543	289	871	27	0,50
14	B, Ouassine	413	01°46'00"	34°50'20"	247	121	477	36	0,98
15	Sabra	608	01°32'03"	34°49'48"	371	227	555	22	0,25
16	Maghnia	435	01°48'04"	34°48'11"	283	169	459	29	0,57
17	S, Medjahed	390	01°38'29"	34°46'33"	278	133	526	33	0,98
18	Meurbah	1100	01°13'26"	34°44'46"	375	211	788	32	1,49
19	Béni Bahdel	660	01°29'48"	34°42'33"	391	202	732	31	0,55
20	Sebdou	875	01°19'31"	34°38'44"	358	198	694	33	1,19
21	Khemis	870	01°33'35"	34°38'04"	382	114	713	39	0,24

Pour le calcul des deux paramètres statistiques Cv et C.asy, nous avons utilisé les formules suivantes :

-Coefficient de variation :

$$Cv = \frac{\sigma}{\bar{P}} \times 100$$

σ :Ecart-type

\bar{P} : précipitation moyenne

-Coefficient d'asymétrie :

Nous avons utilisé la fonction (=COEFFICIENT.ASYMETRIE) qui est disponible sur Excel en sélectionnant les données de chaque station.

L'appréciation du degré de sécheresse pluviométrique est faite au moyen de l'indice SPI (Standardized Precipitation Index) (McKee et al, 1993), Celui-ci prend en compte la variabilité de la pluie pour des périodes définies, de préférence les plus longues possibles, Il est adapté pour surveiller la sécheresse et l'évaluation des scénarios climatiques pour des durées de 1, 3, 6, 12, 24, 36, 48 mois et même plus, Le SPI peut être formulé comme suit :

$$SPI = S \frac{t - (C_2 t + C_1) t + C_0}{((d_3 t + d_2) t + d_1) t + 1,0} \quad t = \sqrt{\ln \frac{1}{H(x)^2}}$$

$$G(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(y)_0 \int_0^x x^{\gamma-1} e^{-x/\beta} dx, x > 0} \quad \Gamma(\gamma) = \int_0^x x^{\gamma-1} dx$$

Où : x représente les valeurs des précipitations ; β et γ , les paramètres d'échelle et de forme de la fonction T, (avec S, positif et les coefficients négatifs) ; c_0, c_1, c_2 et d_1, d_2, d_3 sont les paramètres de calcul, ayant pour valeurs : $c_0=2,515517, c_1=0,802853, c_2=0,010328, d_1=1,432788, d_2=0,189269, d_3=0,001308$; $G(x)$ désigne la probabilité de distribution des précipitations, Lorsque $G(x) > 0,5, H(x) = 1 - G(x), S=1$, Pour $G(x) \leq 0,5, H(x) = G(x), S=-1$.

II.2-Classification des valeurs Spi :

Le calcul de l'indice SPI pour n'importe quel endroit est basé sur les précipitations historiques à long terme correspondant à la période d'étude, Nous adaptons la distribution de probabilité à cette série d'enregistrements, puis la convertissons en une distribution normale de sorte que l'indice SPI moyen pour le lieu considéré et la période étudiée soit égal à 0 (Edwards et McKee, 1997).

Une valeur positive de l'indice SPI indique que les précipitations sont supérieures à la médiane, et une valeur négative indique que les précipitations sont inférieures à la médiane.

L'indice étant standardisé, il peut être utilisé pour représenter le climat humide et aride, par conséquent les périodes humides peuvent également être surveillées.

McKee et al, (1993) ont utilisé le système de classification des valeurs de l'indice SPI présenté dans le tableau suivant pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice, Ils ont également défini des critères pour les événements de sécheresse à n'importe quelle échelle de temps.

Tableau II.2 Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI

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

II.3-Description Du SPI Temporel :

Il existe de nombreuses définitions qu'on peut donner à la sécheresse (Wilhite et Glantz, 1985), On peut en effet distinguer différents types de sécheresses, ces sécheresses se répartissant généralement en quatre catégories : Sécheresses météorologiques, agricoles, hydrologiques et socio-économiques, La sécheresse est un aléa difficile à définir et à détecter, Ce fléau touche de nombreux secteurs et couvre de multiples échelles de temps, De même qu'il est impossible de donner une définition unique de la sécheresse, aucun indice de sécheresse unique ne peut répondre à toutes les exigences de toutes les applications possibles.

Le SPI peut être calculé sur de nombreuses échelles de temps, ce qui est un réel avantage qui permet de l'appliquer à de nombreux types de sécheresses différentes, ce qui offre une flexibilité temporelle pour évaluer les conditions de précipitation liées à l'approvisionnement en eau.

Comme mentionné précédemment, l'indice SPI vise à quantifier le manque de précipitations sur plusieurs échelles de temps, ce qui est une moyenne sur une fenêtre glissante, Ces échelles de temps reflètent l'impact de la sécheresse sur différents types de ressources en eau et répondent aux besoins des différents décideurs, Les conditions météorologiques et l'humidité du sol (agriculture) réagissent relativement rapidement aux précipitations anormales, par exemple, dans un délai de 1 à 6 mois, tandis que les eaux souterraines, le débit des rivières et la quantité d'eau stockée dans les réservoirs sont extrêmement sensibles aux précipitations à long terme ce qui signifie sur une échelle de temps de 6 à 24 mois ou plus, Par conséquent, la période couverte par l'indice SPI variera selon le type de sécheresse envisagée dans l'objet d'analyse et d'application, par exemple :

-l'indice SPI sur 1 à 2 mois pour une sécheresse météorologique.

-1 à 6 mois pour une sécheresse agricole.

-6 à 24 mois voire plus pour une sécheresse hydrologique.

Pour bien comprendre, nous allons présenter ci-dessous avec plus de détails le Spi à plusieurs échelles de temps.

II.3.1 Indice Spi sur 1 mois :

La carte SPI à 1 mois ressemble beaucoup à une carte montrant le pourcentage de précipitations normales sur une période de 30 jours, L'indice dérivé fournit en fait une représentation plus précise des précipitations mensuelles car la distribution est standardisée, Par exemple, l'indice SPI sur un mois qui se termine fin novembre compare le total des précipitations mensuelles en novembre de l'année sous revue avec le total des lectures de précipitations mensuelles disponibles pour toutes les années en novembre, Étant donné que l'indice SPI à 1 mois représente des conditions à court terme, son application est étroitement liée à la sécheresse météorologique, à l'humidité du sol à court terme et au stress hydrique des cultures, en particulier pendant la période végétative.

Si vous ne tenez pas compte des caractéristiques climatiques locales, vous pouvez mal comprendre l'indice SPI à 1 mois, Dans les zones où les faibles précipitations d'un mois donné sont normales, de grandes valeurs négatives ou positives peuvent être obtenues, avec des écarts relativement faibles par rapport à la moyenne, L'indice SPI à 1 mois sera également trompeur lorsque la valeur des précipitations dans les zones où les précipitations totales normales sont faibles au cours de ce mois est inférieure à la normale, Comme les cartes normales de pourcentage de précipitations, les cartes SPI à 1 mois fournissent des informations utiles, mais on doit être prudent lorsque on les analyse (WMO, 2012).

II.3.2 Indice Spi sur 3 mois :

L'indice SPI sur trois mois compare les précipitations totales au cours de la période de trois mois considérés avec les précipitations totales au cours de la même période de trois mois pour

toutes les années enregistrées, En d'autres termes, l'indice SPI à trois mois se terminant fin février permet de comparer les précipitations cumulées de décembre, janvier et février de l'année considérée avec les précipitations cumulées de décembre à février de toutes les années observées à la station d'étude.

Chaque nouvelle année, les données d'observation viennent s'ajouter à la série des relevés dont la durée gagne ainsi une année et les valeurs de toutes les années sont une nouvelle fois prises en compte, Les valeurs peuvent alors évoluer, C'est le cas lorsque l'on compare l'année en cours avec toutes les années précédentes qui constituent la série chronologique d'observations d'un point de vue historique et statistique.

L'indice SPI à 3 mois fournit une indication des conditions d'humidité à court et moyen terme et une estimation des précipitations pour une saison, Dans les zones agricoles, l'indice SPI à 3 mois peut être performant à l'indice Palmer ou à d'autres indices hydrologiques actuels pour mettre en évidence la nature des conditions humides actuelles, Dans les zones de culture du maïs aux États-Unis, l'analyse de l'indice SPI à trois mois se terminant fin août pourrait permettre de détecter la tendance des précipitations pendant les étapes importantes de la reproduction et du remplissage précoce des grains du maïs et du soja, L'indice SPI à trois mois se terminant fin mai donne une indication de l'état d'humidité du sol au début de la phase nutritive.

Il est important de comparer l'indice SPI à 3 mois avec une période plus longue, Dans une sécheresse qui dure longtemps, il peut y avoir des conditions relativement normales voire humides pendant trois mois, ce qui ne peut être prouvé qu'à partir d'une période relativement longue, En analysant des périodes de temps relativement longues, on évite de confondre l'existence temporaire de périodes humides avec la fin de la sécheresse, Par conséquent, il est nécessaire d'assurer une surveillance continue pour déterminer les heures de début et de fin des épisodes de sécheresse, et pour éviter d'annoncer faussement le début et la fin des sécheresses.

Comme pour l'indice SPI à un mois, l'indice SPI à trois mois peut prêter à confusion dans les zones où le climat est généralement sec pendant la période de trois mois considérés, La valeur négative ou positive importante de l'indice SPI peut être liée à des précipitations accumulées qui ne s'écartent que légèrement de la moyenne, Cette mise en garde peut s'expliquer dans le cas du climat méditerranéen de la Californie, de l'Afrique du Nord et du sud de l'Europe, à savoir des régions qui ne reçoivent que très peu de précipitations durant certaines périodes de l'année et où on s'attend à ce qu'il en soit ainsi, Ces périodes se caractérisant par de faibles pluies, les cumuls historiques correspondants seront faibles, si bien que des écarts relativement petits, dans un sens ou dans l'autre par rapport à la moyenne, peuvent donner des valeurs négatives ou positives importantes de l'indice SPI.

II.3.3 Indice Spi sur 6 mois :

L'indice SPI sur 6 mois compare la quantité de précipitations pendant la période de 6 mois considérée avec la quantité totale de précipitations pendant la même période de 6 mois dans toutes les années enregistrées, Par exemple, l'indice SPI sur six mois qui se termine à la fin septembre peut comparer les précipitations cumulées d'avril à septembre de l'année d'examen avec les précipitations cumulées pour la même période de toutes les années de la série.

L'indice SPI sur 6 mois fournit une indication des tendances saisonnières et moyennes des précipitations, on considère que pour cette échelle de temps, il présente encore davantage de sensibilité aux conditions que l'indice Palmer, L'indice SPI à 6 mois peut être très efficace pour mettre en évidence les précipitations d'une saison spécifique, Par exemple, l'indice SPI à 6 mois qui se termine fin mars peut fournir une bonne indication des précipitations observées pendant la saison des pluies d'octobre à mars, ce qui est très important pour certaines régions méditerranéennes, A partir de 6 mois, on peut également commencer à corrélérer les informations fournies par l'indice SPI avec les anomalies de débit des rivières et de niveaux d'eau des réservoirs en fonction de la région considérée et de la période de l'année.

II.3.4 Indice Spi sur 9 mois :

L'indice SPI sur 9 mois donne une indication des précipitations inter saisonniers, Il faut généralement au moins une saison pour que des conditions de sécheresse se produisent, Un indice SPI établi sur 9 mois et affichant une valeur inférieure à -1,5 est généralement un bon indicateur des conditions de sécheresse, qui ont un impact important sur l'agriculture et peuvent également affecter d'autres secteurs.

A partir de 9 mois, on commence à établir un lien entre les sécheresses saisonnières de courte durée et les sécheresses de longue durée, ces dernières pouvant se transformer en sécheresse hydrologique ou en sécheresse s'étalant sur plusieurs années.

II.3.5 Indice Spi sur 12-24 mois :

Sur ces échelles de temps, l'indice SPI fournit une indication des conditions de précipitation à long terme, L'indice SPI sur 12 mois compare les précipitations pendant 12 mois consécutifs avec les précipitations de la même série pendant 12 mois consécutifs dans toutes les années enregistrées, Étant donné que ces échelles de temps sont des accumulations sur une courte période de temps qui peuvent être supérieures ou inférieures à la normale, la valeur de l'indice SPI établi sur une période de temps relativement longue a tendance à osciller autour de zéro, à moins qu'il n'y ait pas de tendance évidente sèche-humide, L'indice SPI sur ces échelles de temps est généralement lié au débit de la rivière, au niveau du réservoir et au niveau des eaux souterraines à relativement long terme.

II.4-Méthode de calcul :

Le SPI est déterminé en normalisant les précipitations pour une station donnée, puis en y adaptant la densité de probabilité, comme décrit par McKee et al (1993, 1995), Programme de calcul de l'indice SPI Décrit en détail par McKee et al, (1993, 1995) et Edwards et McKee (1997), Les éléments de base proposés par Edwards et McKee (1997) sont les suivants :

II.4.1 Méthode :

- L'indice SPI pour un emplacement donné est calculé pour la période sélectionnée sur la base des enregistrements de précipitations à long terme, Les séries de données à long terme correspondent à la distribution de probabilité, qui est ensuite convertie en une distribution

normale de sorte que l'indice SPI moyen de l'emplacement et de la période considérés de l'étude soit égal à 0 (Edwards et al, 1993 ; McKee, 1997).

-Une valeur positive de l'indice SPI indique que les précipitations sont supérieures à la médiane, et une valeur négative indique que les précipitations sont inférieures à la médiane.

-L'indice SPI indique que la sécheresse commence lorsque sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et la sécheresse se termine lorsque sa valeur devient positive.

II.4.2-Mode de Fonctionnement :

-Les données sur les précipitations sont normalisées à l'aide d'une fonction de distribution de probabilité de sorte que la valeur de l'indice SPI soit l'écart type de la médiane.

-La distribution étant normalisée, les périodes humides et sèches peuvent être estimées.

-La valeur cumulée peut être utilisée pour analyser l'intensité de la sécheresse "ampleur de sécheresse".

-Les enregistrements mensuels doivent couvrir une période continue d'au moins 30 ans, de préférence des séries chronologiques plus longues.

-Lorsqu'il couvre moins de 1 mois et plus de 24 mois, l'indice SPI devient peu fiable.

-Basé sur la nature de la probabilité (la probabilité de convertir les précipitations observées en un indice), l'indice est particulièrement utile dans le domaine de la gestion des risques et de la prise de décision.

II.4.3 Programme de calcul :

Le programme que nous avons utilisé pour le calcul du Spi est téléchargeable à partir de l'adresse suivante : https://www.dropbox.com/s/zodso9oors4quns/SPI_paper_data.zip?dl=0

Ce programme nous a facilité la tâche. Il permet de calculer le Spi pour une station sur plusieurs pas de temps à la fois.

a) Pour commencer nous avons préparé des fichiers qui sont compatible avec le programme.

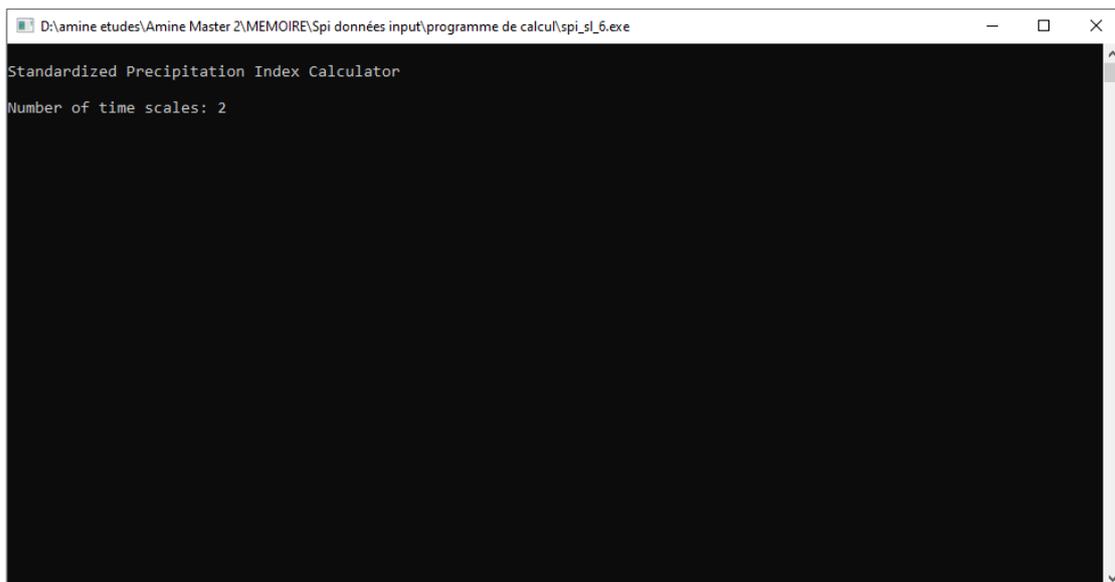
Nous avons utilisé EXCEL pour créer ce type de fichier en enregistrant au lieu du format tableau(.xls), le format texte (.txt).

Year	month	BgeIzdihar
1982	9	7
1982	10	71
1982	11	91
1982	12	65
1983	1	0
1983	2	25
1983	3	17
1983	4	3
1983	5	4
1983	6	0
1983	7	3
1983	8	0
1983	9	0
1983	10	0
1983	11	12
1983	12	66
1984	1	33
1984	2	41
1984	3	32
1984	4	5
1984	5	99
1984	6	2
1984	7	0
1984	8	0
1984	9	8
1984	10	5
1984	11	169
1984	12	27
1985	1	49
1985	2	18
1985	3	53
1985	4	21
1985	5	41
1985	6	0
1985	7	0
1985	8	0

Figure II.1 Exemple du fichier d'entrée

Dans la figure ci-dessus on trouve dans la première colonne l'année de mesure, la deuxième colonne les mois de mesure et la troisième colonne les mesures de précipitation qui doivent être arrondi (sans virgule) sinon le logiciel ne donnera pas de résultats.

b) Nous avons mis le fichier d'entrée et le programme dans le même dossier, puis nous avons lancé le logiciel.



c) Dès qu'on ouvre le programme, il demande le nombre de pas de temps qu'on veut calculer dans cet exemple nous avons pris deux pas de temps (Spi3 mois et Spi6 mois).

```
D:\amine etudes\Amine Master 2\MEMOIRE\Spi données input\programme de calcul\spl_6.exe
Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 2
timeScale1 3
timeScale2 6
```

d) Ensuite, le programme demande le nom du fichier d'entrée et du fichier de sortie (résultats)

```
D:\amine etudes\Amine Master 2\MEMOIRE\Spi données input\programme de calcul\spl_6.exe
Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 2
timeScale1 3
timeScale2 6
Input file: 1.txt
Output file: Spireresults.txt
```

E) Au final, le résultat se présente comme suit, (la 3^{ème} et la 4^{ème} colonne représentent le Spi3 et le Spi6) :

Year	month	BgeIzdihar
1982	11	1.14 -99.00
1982	12	1.43 -99.00
1983	1	0.12 -99.00
1983	2	-0.82 0.09
1983	3	-1.47 -0.04
1983	4	-1.67 -1.04
1983	5	-2.01 -2.38
1983	6	-1.97 -3.11
1983	7	-1.08 -2.31
1983	8	-0.46 -2.08
1983	9	-1.66 -2.66
1983	10	-1.79 -3.22
1983	11	-2.75 -2.87
1983	12	-0.82 -1.30
1984	1	-0.64 -1.35
1984	2	-0.05 -1.33
1984	3	-0.32 -1.17
1984	4	-0.81 -1.22
1984	5	0.64 0.25
1984	6	0.88 0.03
1984	7	1.69 0.30
1984	8	-0.67 0.53
1984	9	-0.93 0.51
1984	10	-1.18 0.75
1984	11	1.30 1.30
1984	12	1.13 0.93
1985	1	1.27 0.71
1985	2	-0.75 0.27
1985	3	-0.14 0.53
1985	4	-0.52 0.61
1985	5	0.32 -0.66
1985	6	0.12 -0.36
1985	7	0.48 -0.42
1985	8	-1.24 0.16
1985	9	-1.30 -0.38
1985	10	-1.63 -0.90

Figure II.2 Exemple du fichier de sortie

II.5-Fréquence de sécheresse :

La fréquence de sécheresse (F_i) est l'évaluation de la fréquence de sécheresse d'une station au cours de la période d'étude, La formule est comme suit :

$$F_i = n/N \times 100\%$$

n: le nombre total de sécheresse d'un site

N : le nombre de données de précipitations du site

II.6-Ampleur de sécheresse :

L'ampleur de la sécheresse est définie par la formule suivante :

$$M_j = \sum_{i=1}^m |X_i - X_0|$$

m : est le nombre de déficits pendant une période de sécheresse,

X_0 : une valeur seuil de précipitation compte tenu de la valeur zéro SPI,

X_i : La valeur négative Du SPI,

Pour simplifier, l'ampleur de sécheresse représente la somme des valeurs négatives de Spi d'une série (Shadeed, 2013).

II.7-Intensité de sécheresse :

L'intensité de sécheresse (I_j) de la période de sécheresse j , est défini selon (Shadeed, 2013) comme le rapport de l'ampleur de la sécheresse à la durée de la sécheresse :

$$I_j = \frac{M_j}{L_j}$$

M_j : Ampleur de sécheresse

L_j : Durée de sécheresse

II.8-Avantages et inconvénients du SPI :

Pour résumer ce chapitre nous allons donner quelques avantages et inconvénients du SPI.

II.8.1- Avantages du SPI :

- L'indice SPI offre une bonne flexibilité : il peut être calculé pour plusieurs échelles de temps.
- Lorsqu'il couvre une période relativement courte, par exemple entre 1 et 3 mois, l'indice SPI permet de détecter rapidement les conditions de sécheresse et d'évaluer sa gravité.
- L'indice SPI a une bonne cohérence spatiale et permet de comparer entre différentes régions avec même des climats différents.
- Son caractère probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien à la prise de décision.

II.8.2- Inconvénients du SPI :

- L'indice SPI est basé uniquement sur les enregistrements de précipitations.
- L'indice ne permet pas de calculer le rapport évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP) car le bilan hydrique du sol n'est pas pris en compte.
- Grâce à une variante de l'indice qu'ils ont développé, (Vicente-Serrano et al, 2010) ont essayé de résoudre le problème ci-dessus en tenant compte de la température lors du calcul du nouvel indice, qu'ils ont appelé l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI).

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the chapter title.

Chapitre III : ***Résultats et discussions***

Chapitre III : Résultats et discussions.

III.1 Cartographie du climat :

Afin de faire une analyse ponctuelle au niveau des stations d'étude concernées, et pour mieux évaluer les variations du climat de la Tafna, nous avons calculé les valeurs de l'indice SPI d'une série de 30 années de mesures (1980-2010).

Ensuite, nous avons représenté les résultats sur les cartes des Figures suivantes de ce chapitre que nous avons créé avec le logiciel ArcGIS.

Sachant que nous avons obtenu beaucoup de résultats sur la série de 30 années de mesures soit (360 mois), il est impossible de faire une carte pour chaque mois, donc nous pris pour chaque pas de temps de SPI le mois le plus humide et le mois le plus sec obtenu à partir des stations d'étude.

- Pour commencer on présente ce tableau où les classes d'humidité et de sécheresse sont coloriées comme dans les figures qui suivront :

Tableau III.1 Classification du SPI

Degré d'Humidité et de Sécheresse	SPI
Extrêmement Humide	$> +2$
Très Humide	$[1,5 , 1,99]$
Modèrément Humide	$[1 , 1,49]$
Proche de la normale	$[-0,99 , 0,99]$
Modèrément Sec	$[-1, -1,49]$
Très Sec	$[-1,5, -1,99]$
Extrêmement Sec	< -2

III.1.1 SPI-1mois :

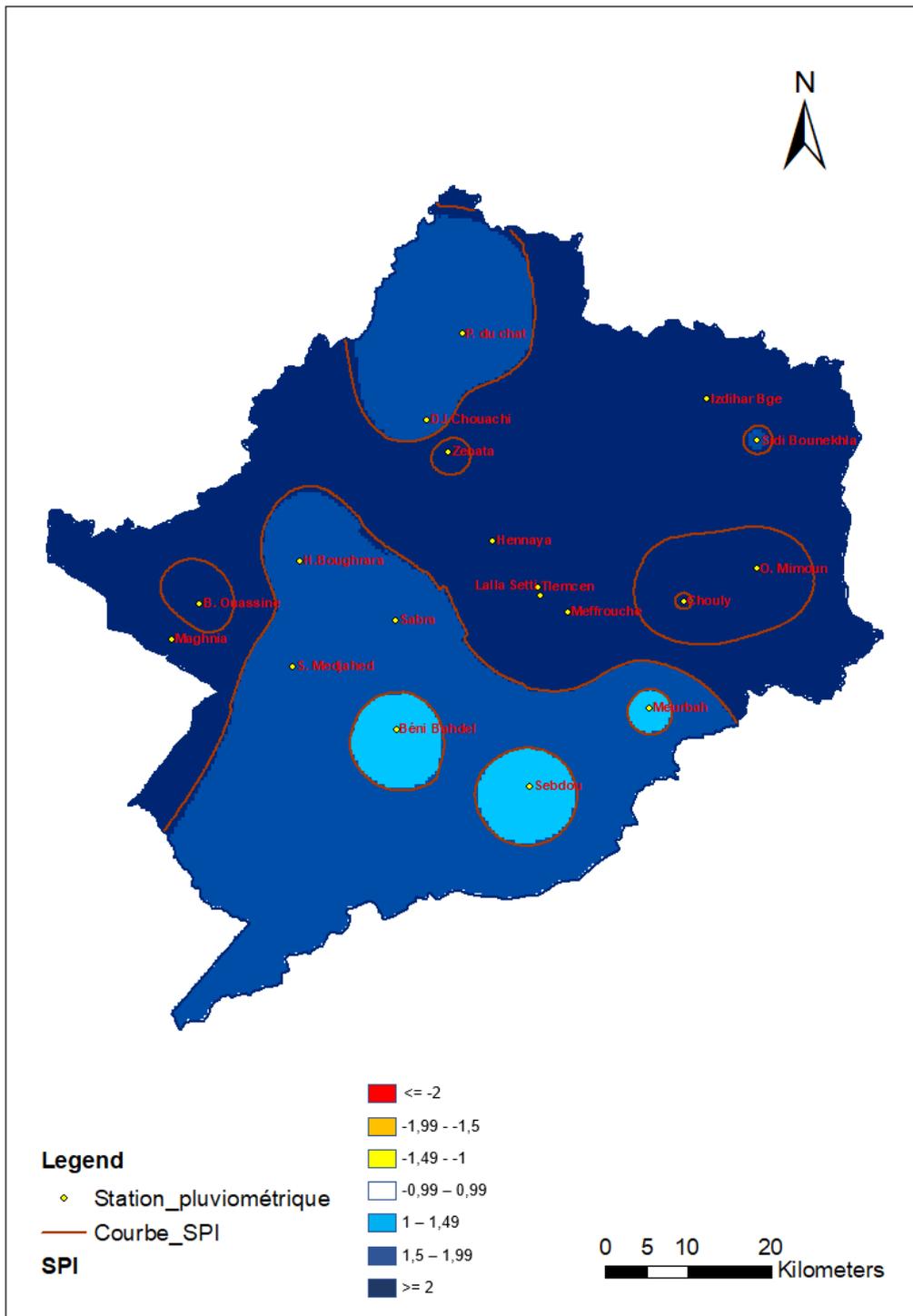


Figure III.1 SPI1 Humide

La figure III.1 représente le SPI-1mois calculé du mois de septembre-2009 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une humidité extrême sur l'ensemble du bassin versant sauf pour la zone du sud et sud-ouest que nous avons remarqué une présence de zones très humides et modérément humides. Cela veut dire que la Tafna a subi une humidité météorologique extrême durant cette période.

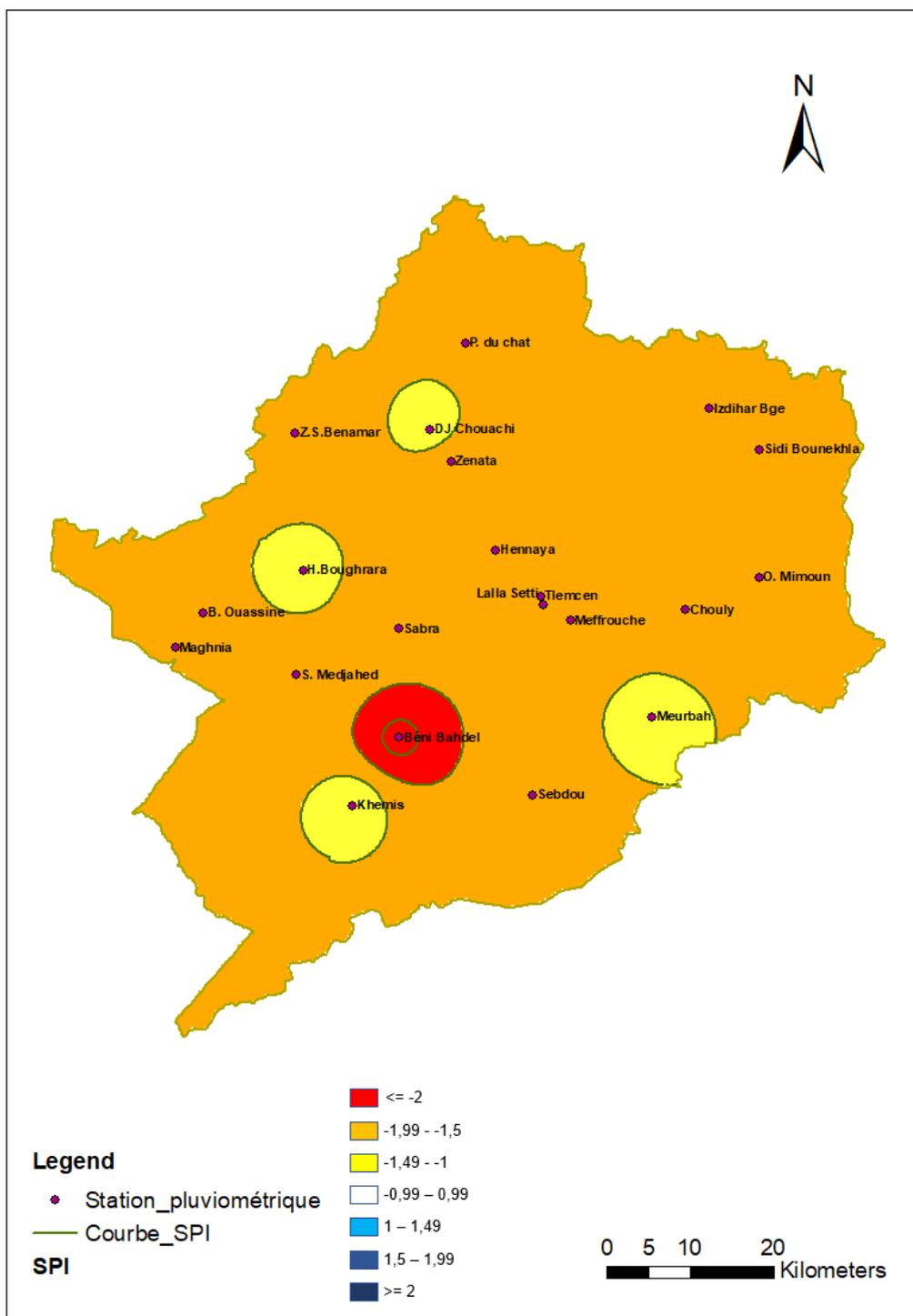


Figure III.2 SPI1 Sec

La figure III.2 représente le SPI-1mois calculé du mois d'Avril-2009 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une sécheresse forte sur l'ensemble du bassin versant mise à part la zone du barrage de Beni-Bahdel où nous avons une sécheresse extrême et une sécheresse légère au niveau de quelques stations (Boughrara, Khemis, Meurbah, Dj chouachi). Cela veut dire que le bassin a subi une sécheresse météorologique forte durant cette période.

III.1.2 SPI-3mois :

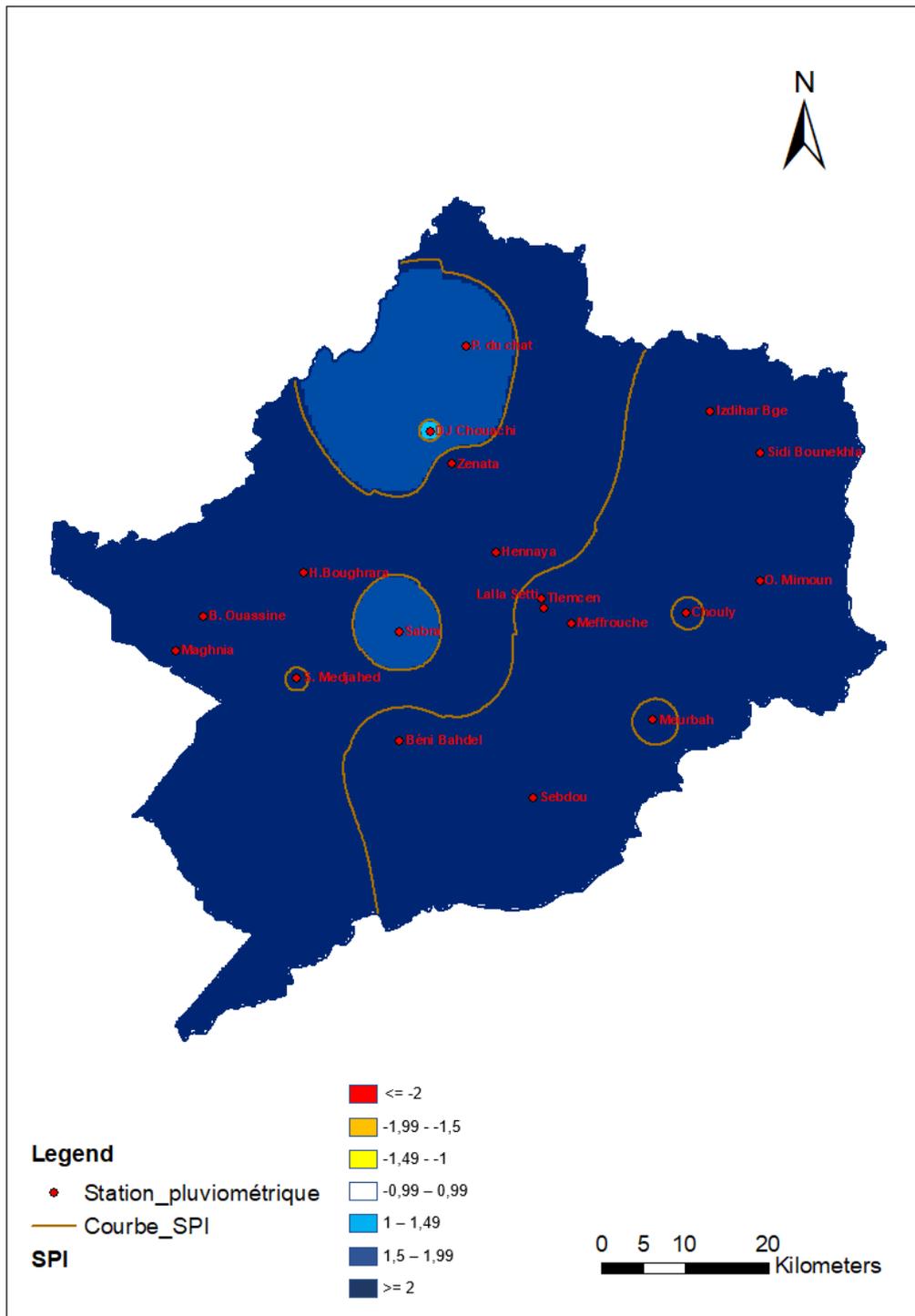


Figure III.3 SPI3 Humide

La figure III.3 représente le SPI-3mois calculé du mois de janvier-2009 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une humidité extrême presque sur tout le bassin versant. Cette carte nous permet de dire que pendant le mois de novembre, décembre et janvier 2009 la région a vécu le trimestre le plus humide pendant les 30 années d'étude mais aussi l'humidité agricole pendant cette période était très élevée.

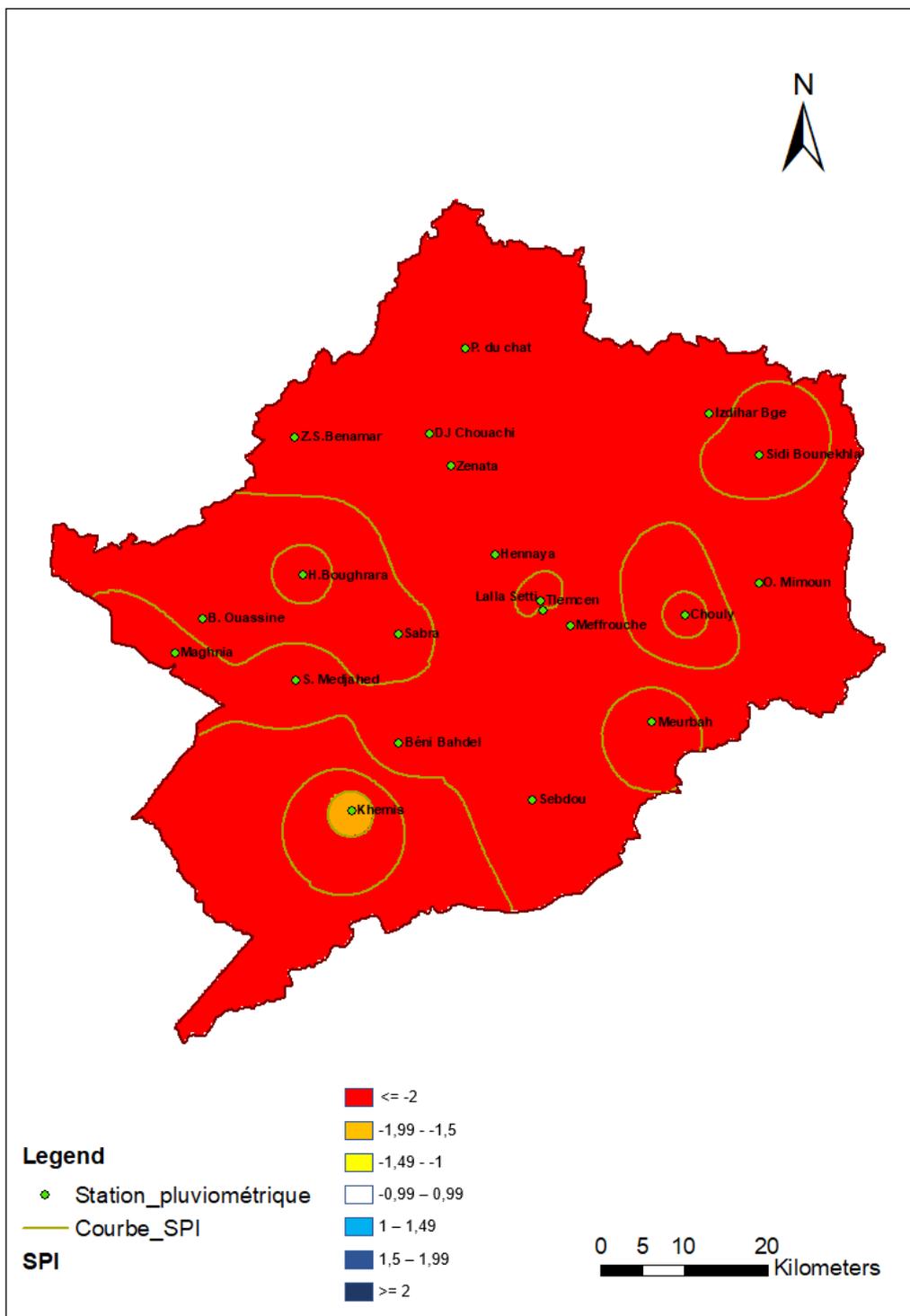


Figure III.4 SPI3 Sec

La figure III.4 représente le SPI-3mois calculé du mois de mars-2000 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une sécheresse extrême sur l'ensemble du bassin versant de la Tafna. Cela veut dire que le bassin a subi une sécheresse agricole extrême durant les 3 mois de janvier, février et mars de l'année 2000.

III.1.3 SPI-6mois :

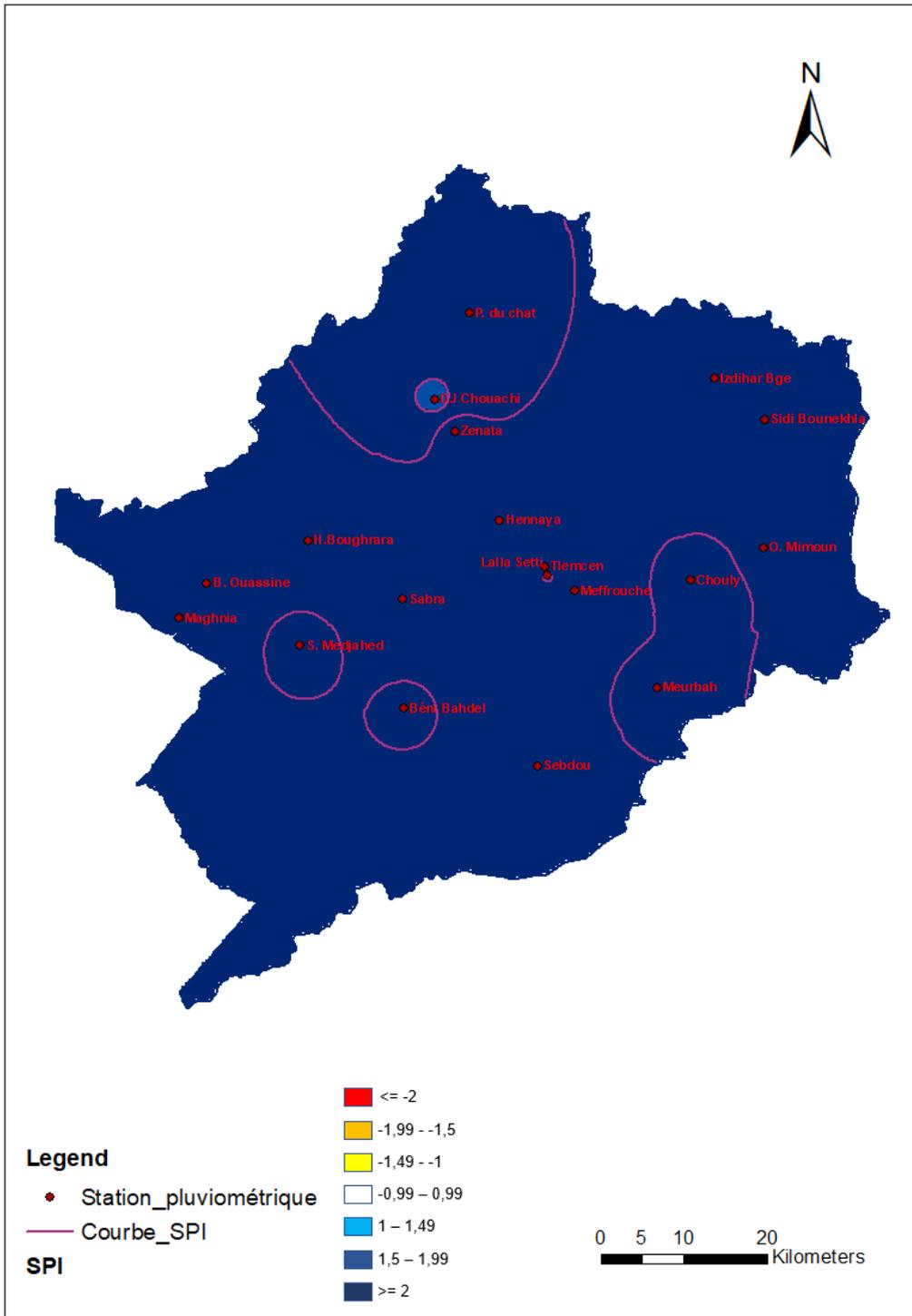


Figure III.5 SPI6 Humide

La figure III.5 représente le SPI-6mois calculé du mois de janvier-2009 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une humidité extrême sur tout le bassin versant. Nous pouvons constater que pendant la période qui commence du mois d'aout et finit au mois de janvier le bassin a passé par une très bonne saison de pluie par rapport aux autres saisons de précipitation des autres années de (Aout à janvier).

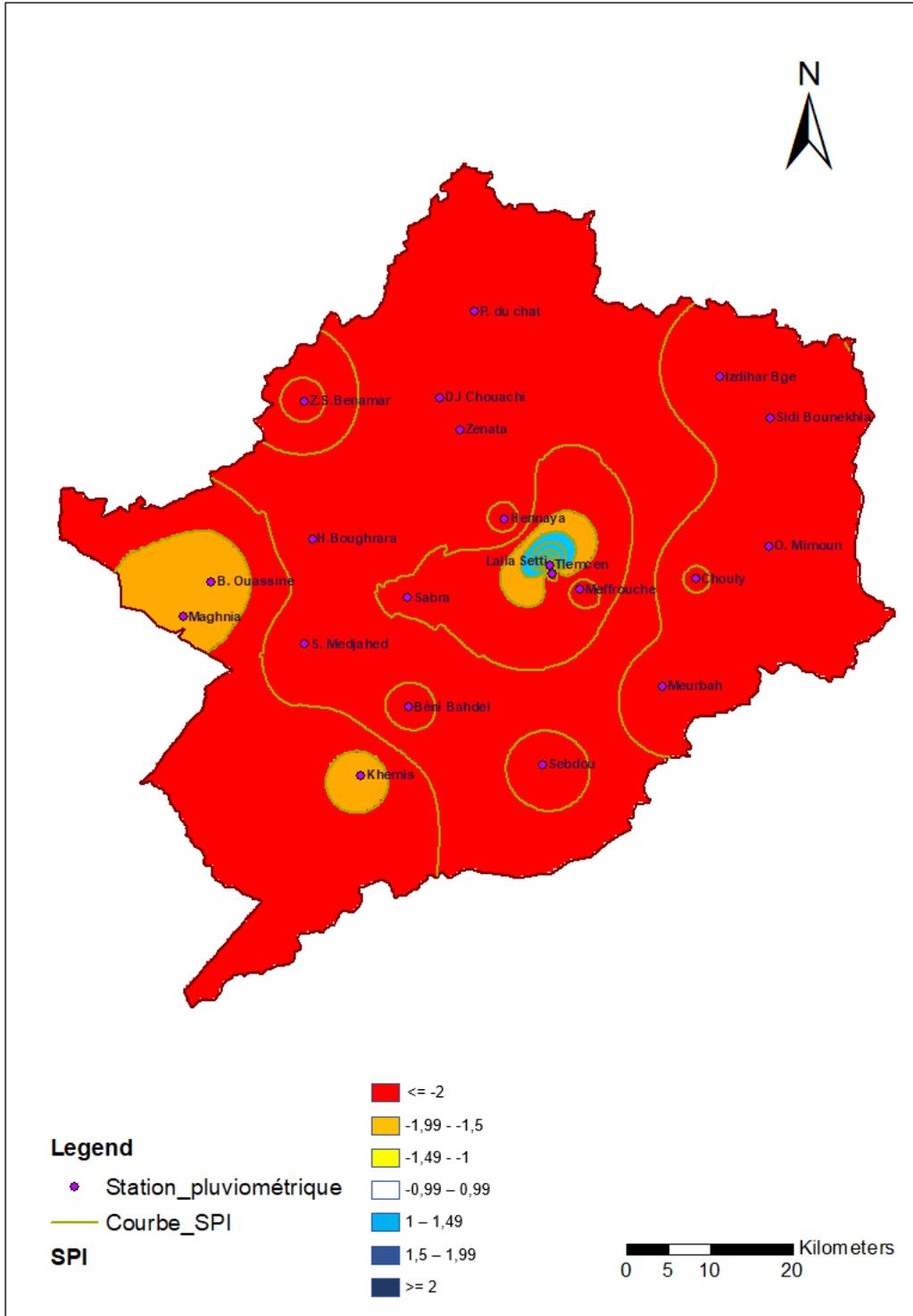


Figure III.6 SPI6 Sec

La figure III.6 représente le SPI-6mois calculé du mois d'octobre-1983 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une sécheresse extrême sur la plupart des zones du bassin versant de la Tafna. Cela indique que le bassin a subi une sécheresse saisonnière extrême durant les 6 mois d'avril jusqu'à octobre.

III.1.4 SPI-12mois :

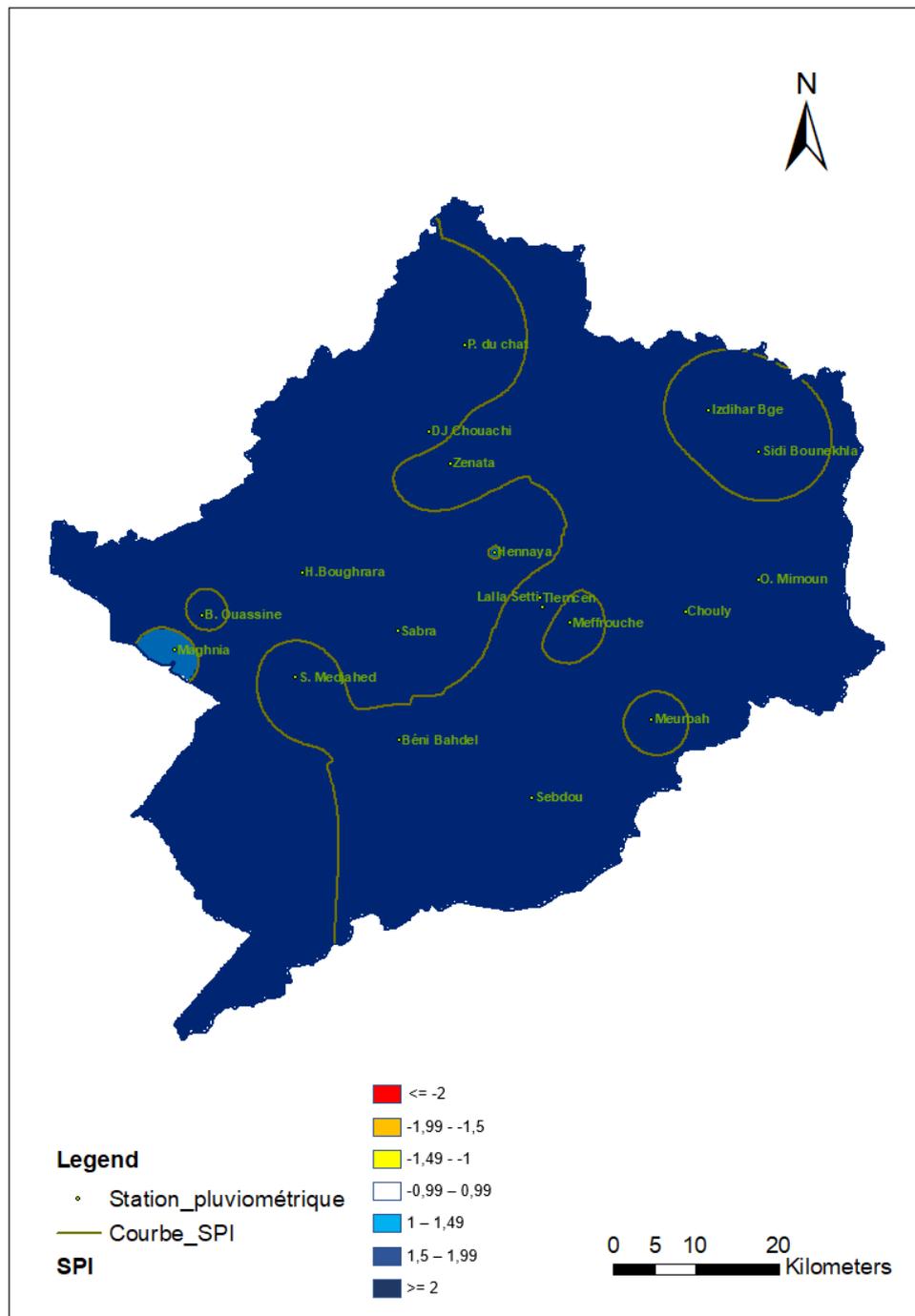


Figure III.7 SPI12 Humide

La figure III.7 représente le SPI-12mois calculé du mois de mai-2009 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une humidité extrême sur tout le bassin versant. Durant la période qui commence du mois de juin 2008 et finit au mois de mai 2009 la zone d'étude a vécu l'année d'extrême humidité selon l'indice de sécheresse normalisé sur les 30 années de mesure.

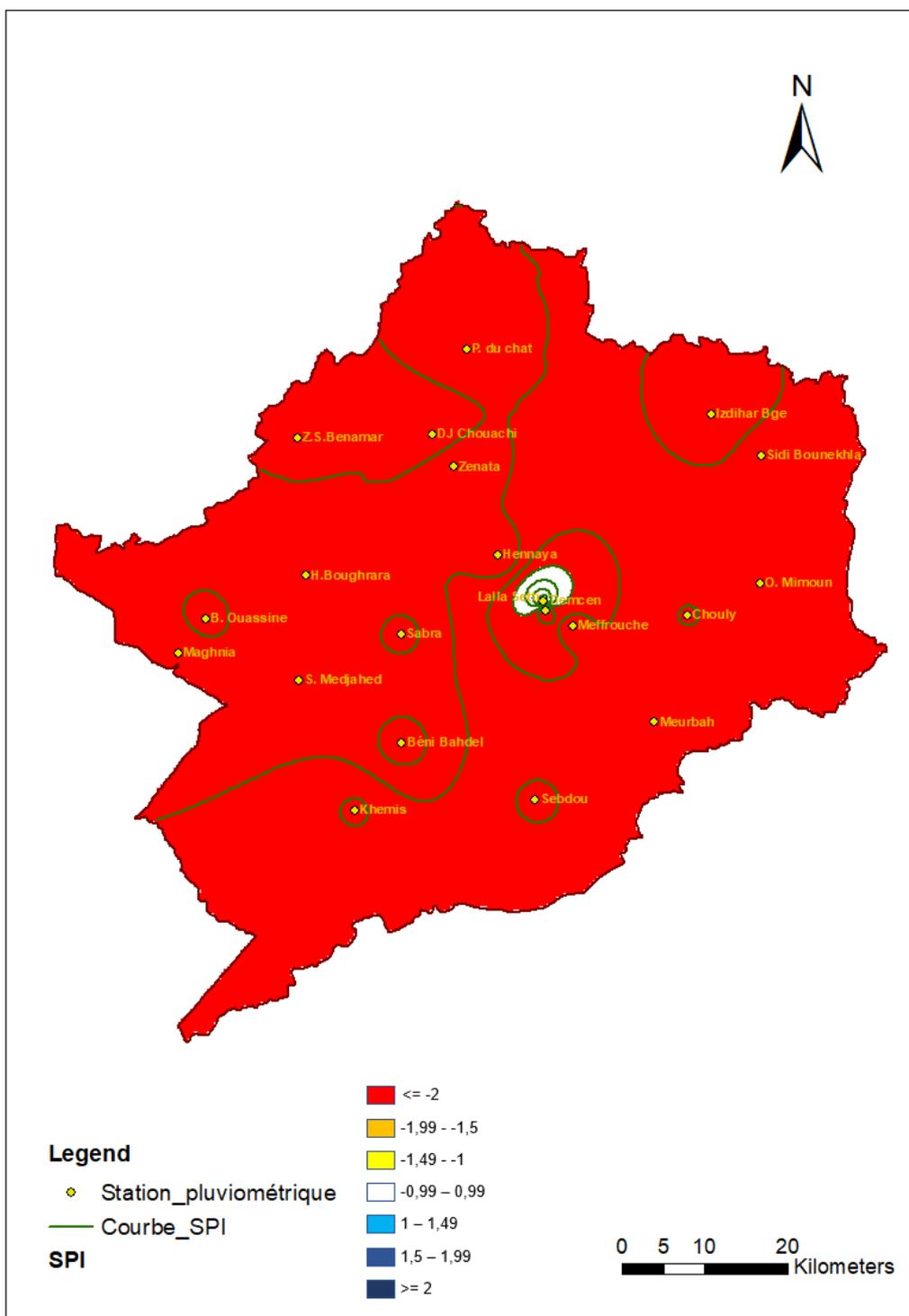


Figure III.8 SPI12 Sec

La figure III.8 représente le SPI-12mois calculé du mois de novembre-1983 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une humidité extrême sur tout le bassin versant. Durant la période qui commence du mois d'octobre 1982 et finit au mois de novembre 1983 le bassin de la Tafna a passé par une sécheresse extrême annuelle la plus forte de la série selon les résultats. A cette échelle de temps la sécheresse peut causer une diminution moyenne du débit des cours d'eau et des eaux souterraines.

III.1.5 SPI-24mois :

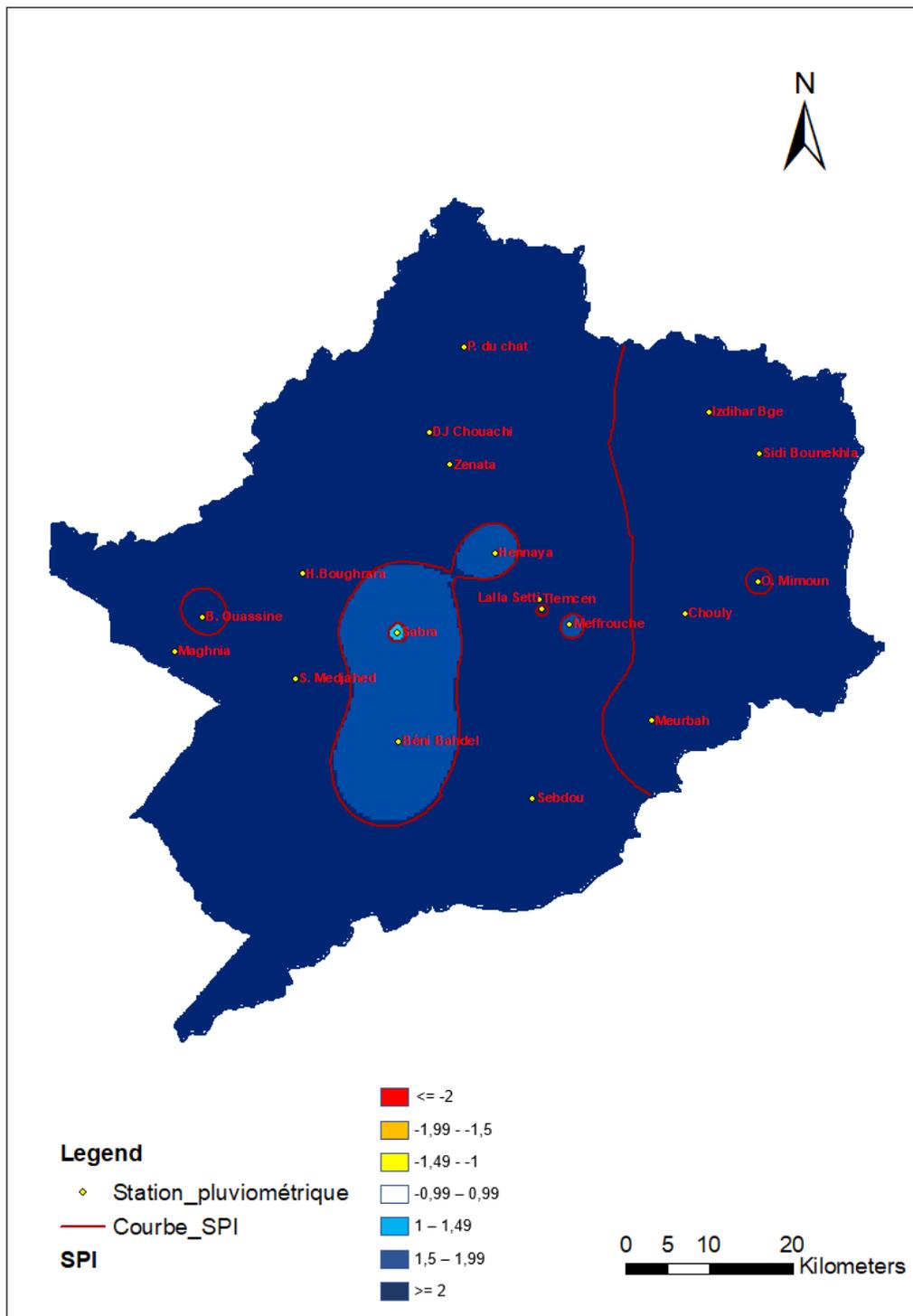


Figure III.9 SPI24 Humide

La figure III.9 représente le SPI-24mois calculé du mois d'avril-2010 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une humidité extrême sur l'ensemble de la Tafna. Durant la période qui commence du mois d'avril 2008 et finit au mois d'avril 2010 la Tafna a connu une humidité extrême sur une période de 24 mois qui est considérée comme une période de long terme, selon l'indice de sécheresse normalisé SPI.

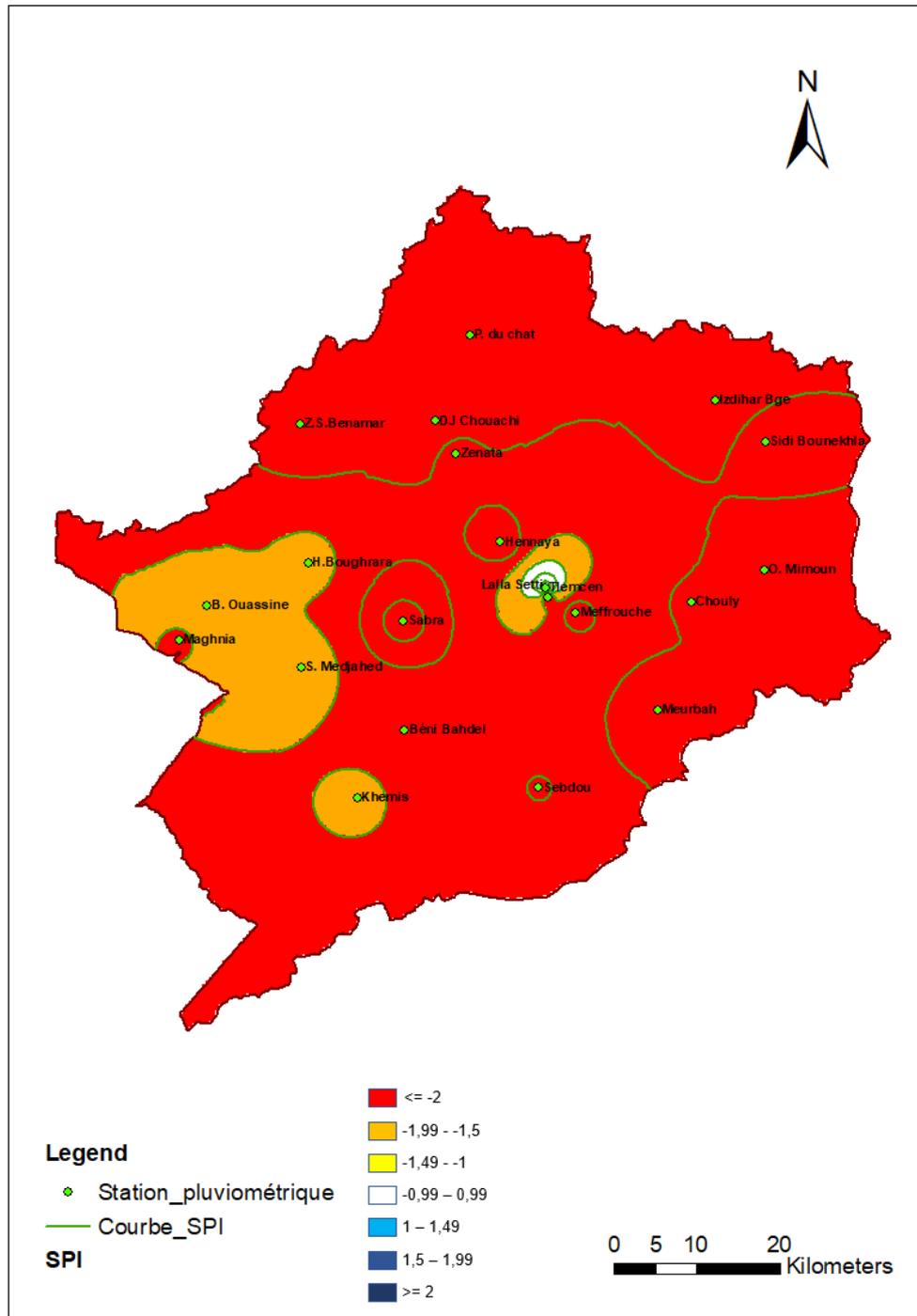


Figure III.10 SPI24 Sec

La figure III.10 représente le SPI-24mois calculé du mois de février-1989 au niveau des stations d'étude, on remarque que nous avons une sécheresse extrême sur la plupart des régions de la Tafna. Durant la période qui commence du mois de février-1987 et finit au mois de février-1989 la Tafna a connu une sécheresse extrême sur une période de 24 mois qui est considérée comme une période à long terme pendant laquelle nous pouvons avoir un tarissement des cours d'eau et un rabattement important au niveau des nappes souterraines.

III.1.6 SPI-48mois :

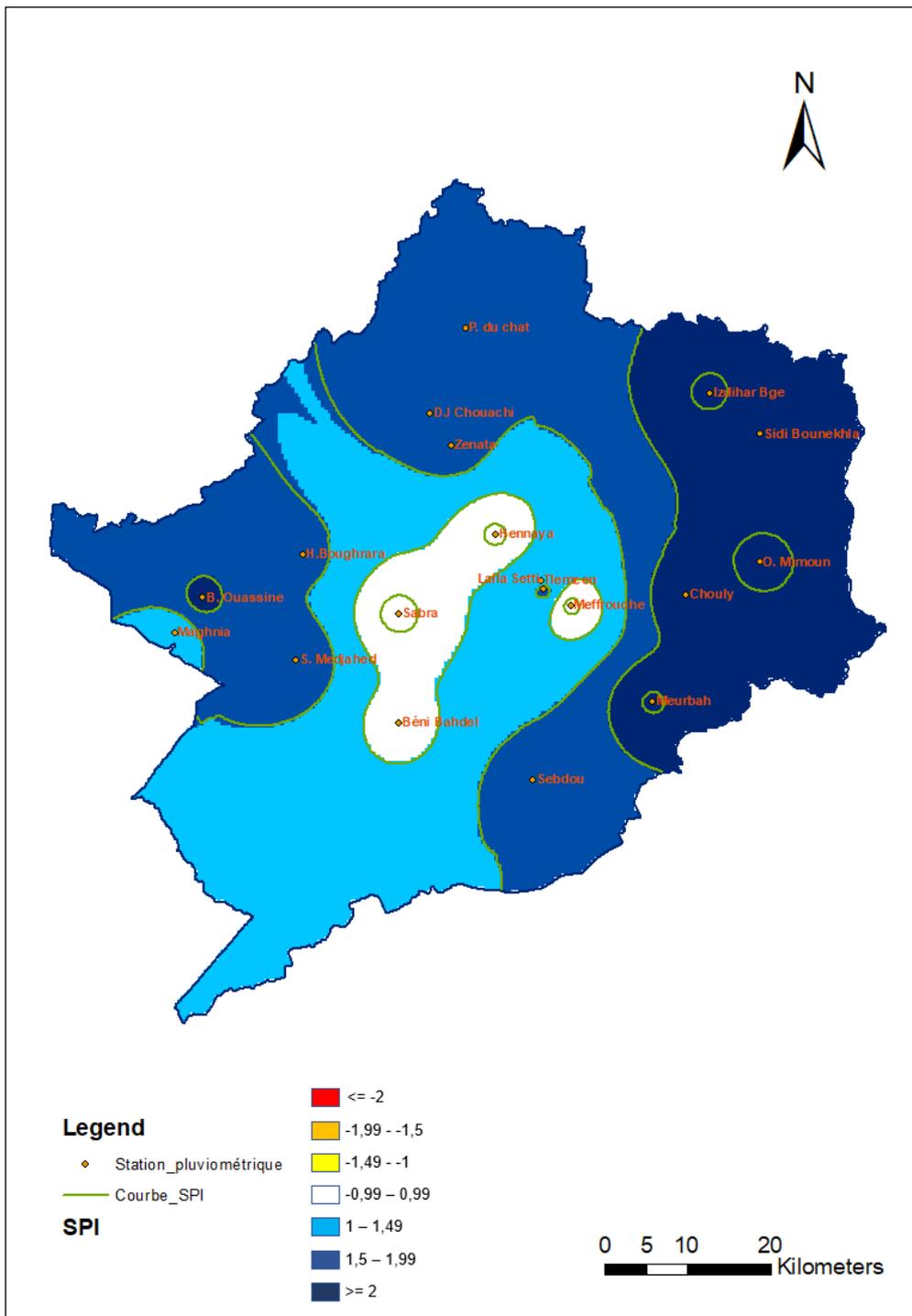


Figure III.11 SPI48 Humide

La figure III.11 représente le SPI-48mois calculé du mois d'avril-2010 au niveau des stations d'étude, nous avons une humidité extrême à l'est, humidité forte au nord et à l'ouest du bassin et une humidité modérée au centre et au sud de la Tafna. Durant la période qui commence du mois d'avril 2006 et finit au mois d'avril 2010, pendant cette période la région a passé par des années humides qui ont assuré une certaine stabilité hydrique pour la région.

III.2 Fréquence de sècheresse :

-Nous allons présenter ci-dessous pour 4 stations à différents pas de temps de SPI la proportion de chaque classe de sècheresse et d'humidité sous forme de secteur.

Les quatre stations sont suffisantes pour l'étude de fréquence vu que les résultats de SPI pour les stations adjacentes se ressemblent un peu :

-Station nord (P. du chat) -Station sud (Sebdou) -Station l'est (Ouled Mimoun) -station l'ouest (Maghnia)

III.2.1 Fréquences SPI-1mois :

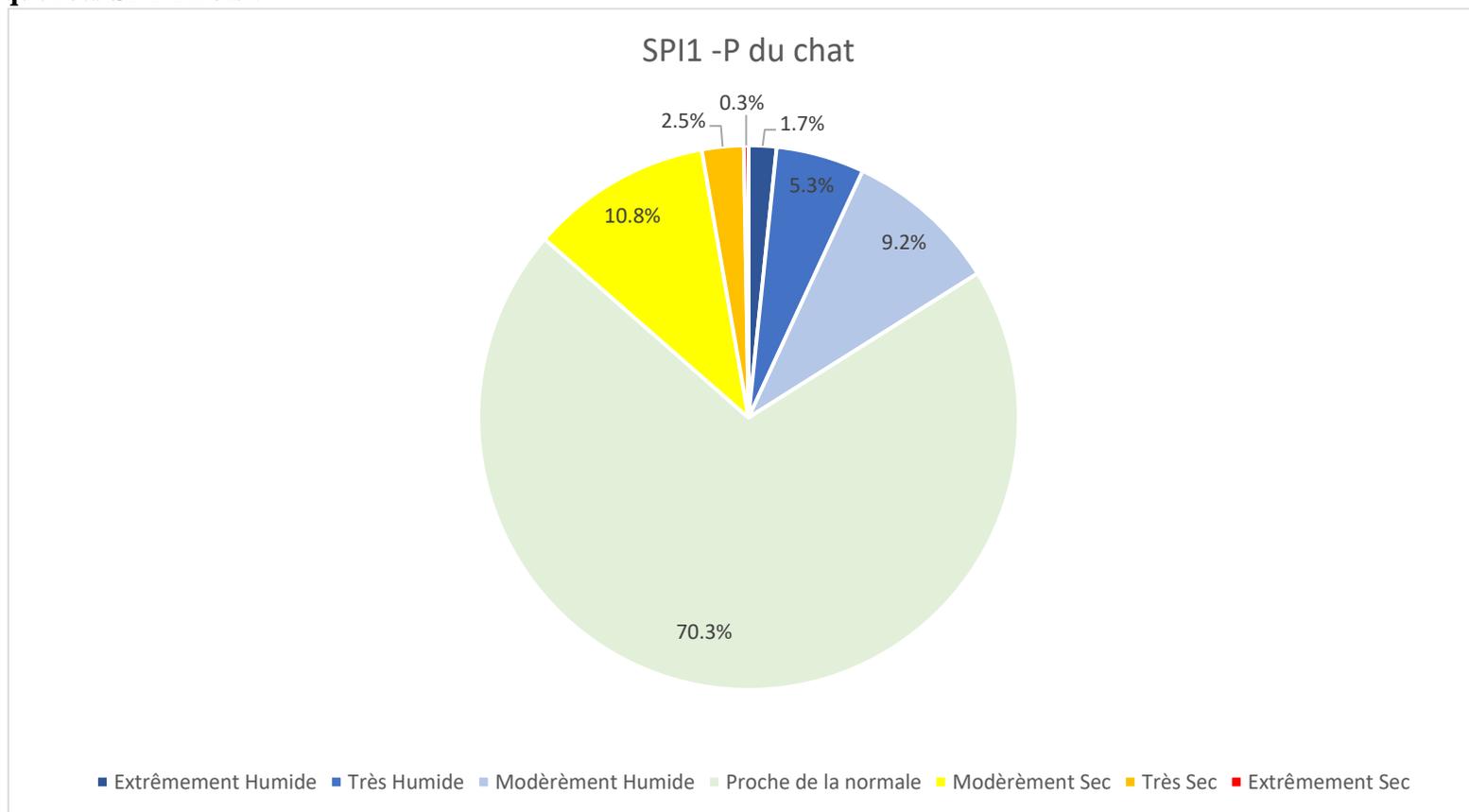


Figure III.13 Fréquence des SPI-1Mois St « P. du chat »

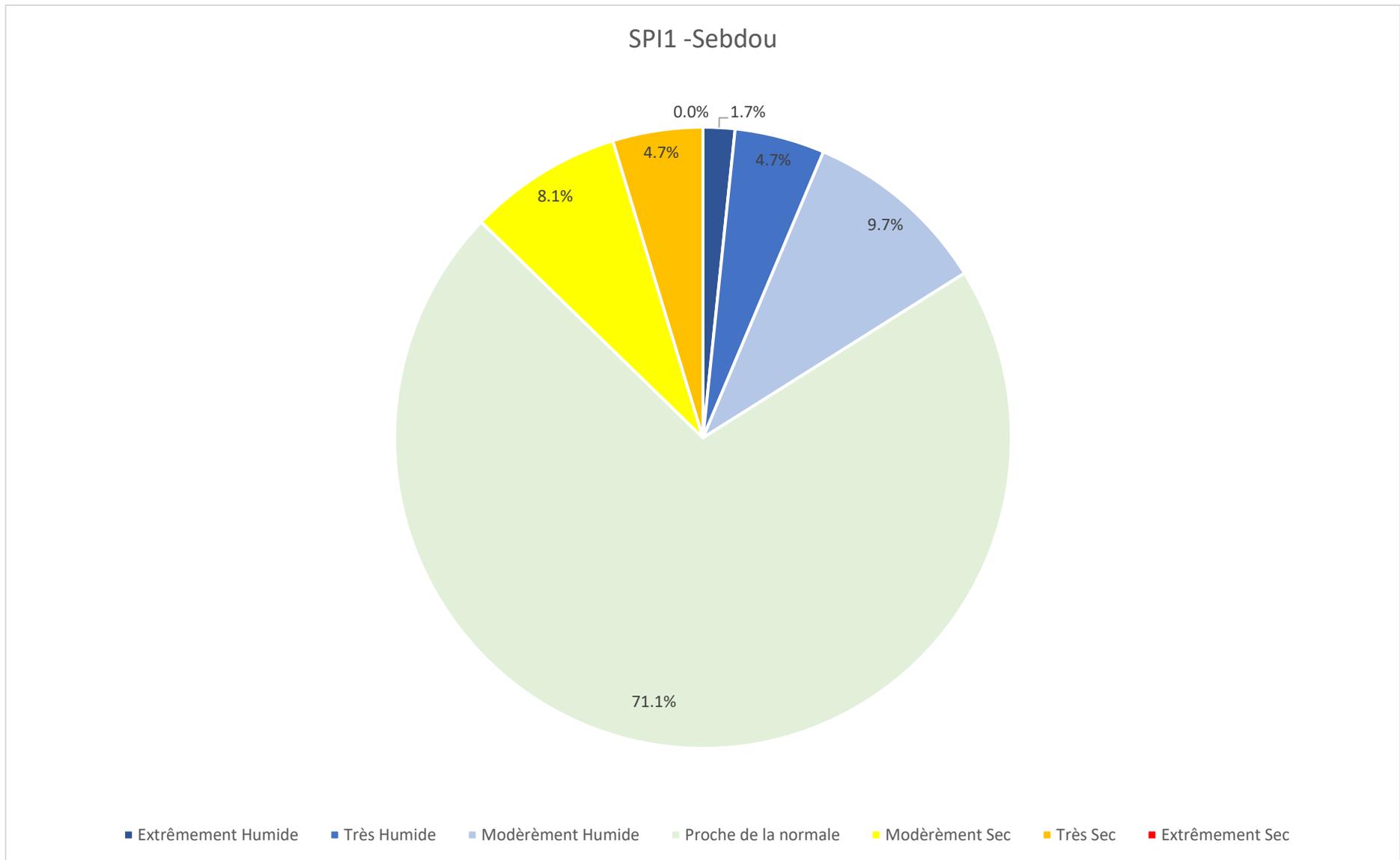


Figure III.14 Fréquence des SPI-1Mois St « Sebdou »

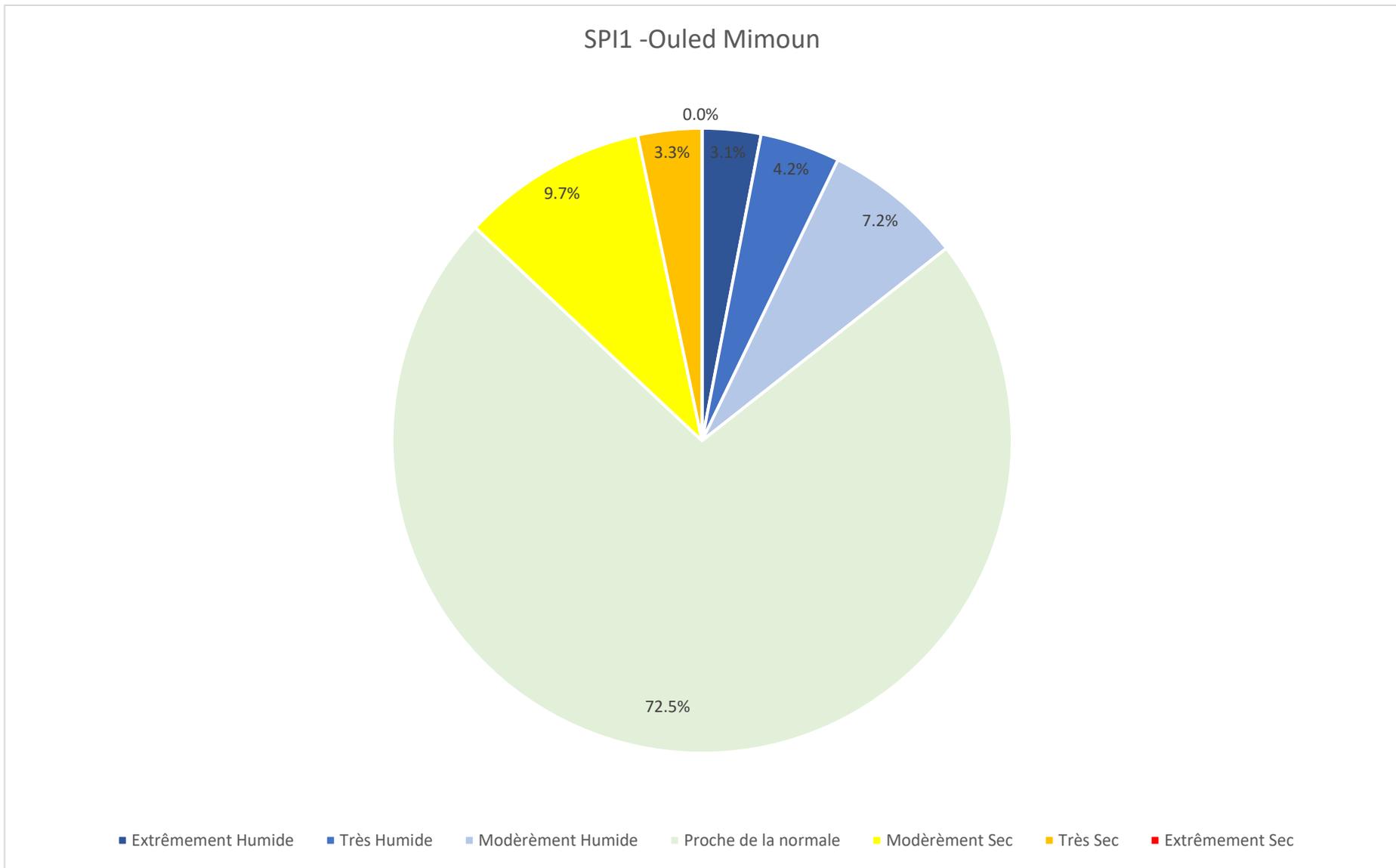


Figure III.15 Fréquence des SPI-1 Mois St « Ouled Mimoun »

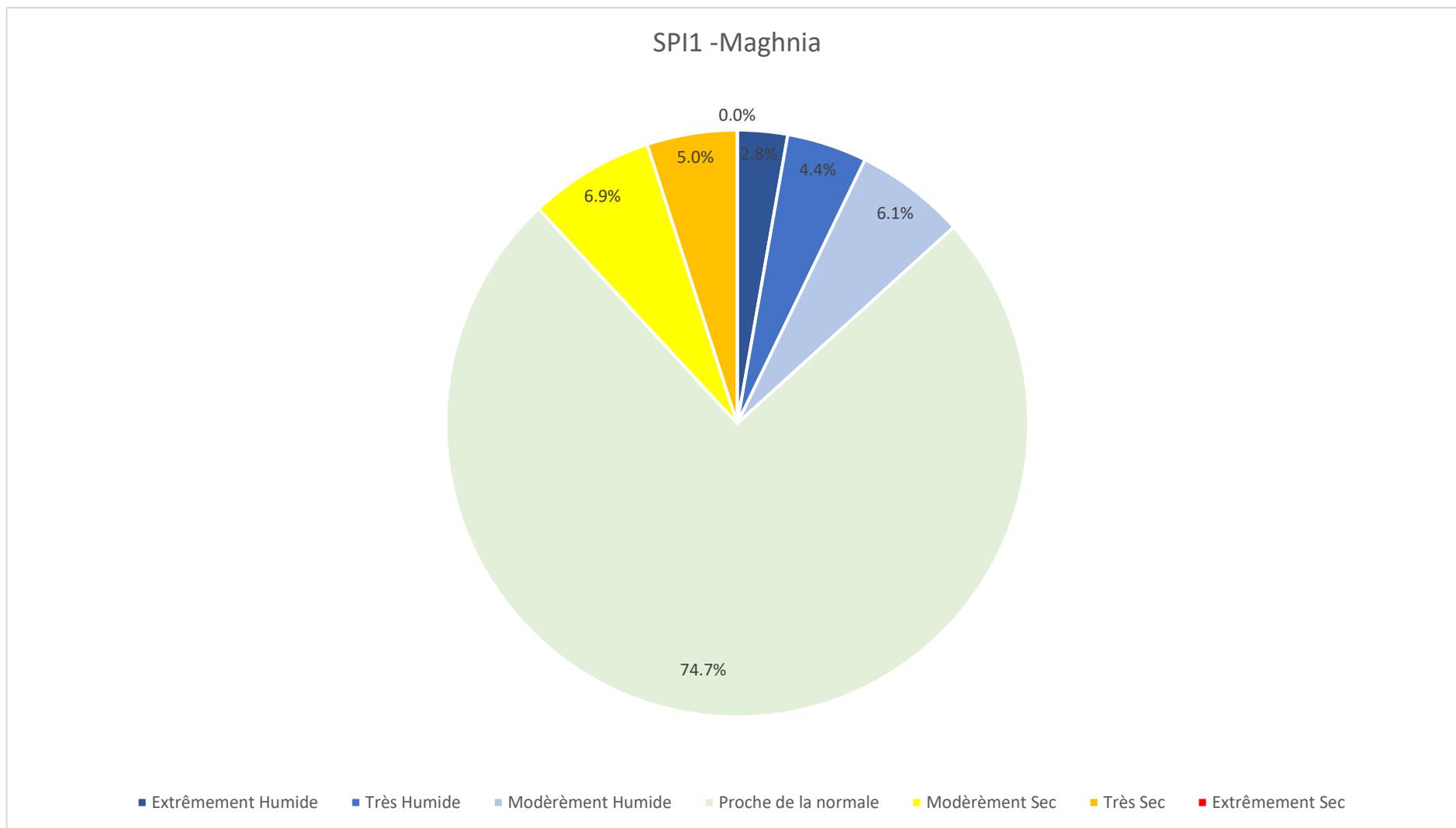


Figure III.16 Fréquence des SPI-1Mois St « Maghnia »

Interprétation des fréquences SPI-1mois :

- Station pluviométrique Pierre du chat :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Pierre du chat montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 70.3%, on observe aussi que nous avons 13.6% de sécheresse dont 0.3% est extrême et 16.2% d'années humides dont 1.7% est extrême.

- Station pluviométrique Sebdu :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Sebdu montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 71.1%, on observe aussi que nous avons 12.8% de sécheresse avec une absence totale de la sécheresse extrême et 16.1% d'années humides dont 1.7% est extrême.

- Station pluviométrique Ouled Mimoun :

L'indice pluviométrique standardisé à la station d'Ouled Mimoun montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 72.5%, on observe aussi que nous avons 13% de sécheresse avec 0% de sécheresse extrême et 14.5% d'années humides dont 3.1% est extrême.

- Station pluviométrique Maghnia :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Maghnia montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 74.7%, on observe aussi que nous avons 11.9% de sécheresse avec une absence totale de sécheresse extrême et 13.3 % d'années humides dont 3.4% est extrême.

III.2.2 Fréquences SPI-3mois :

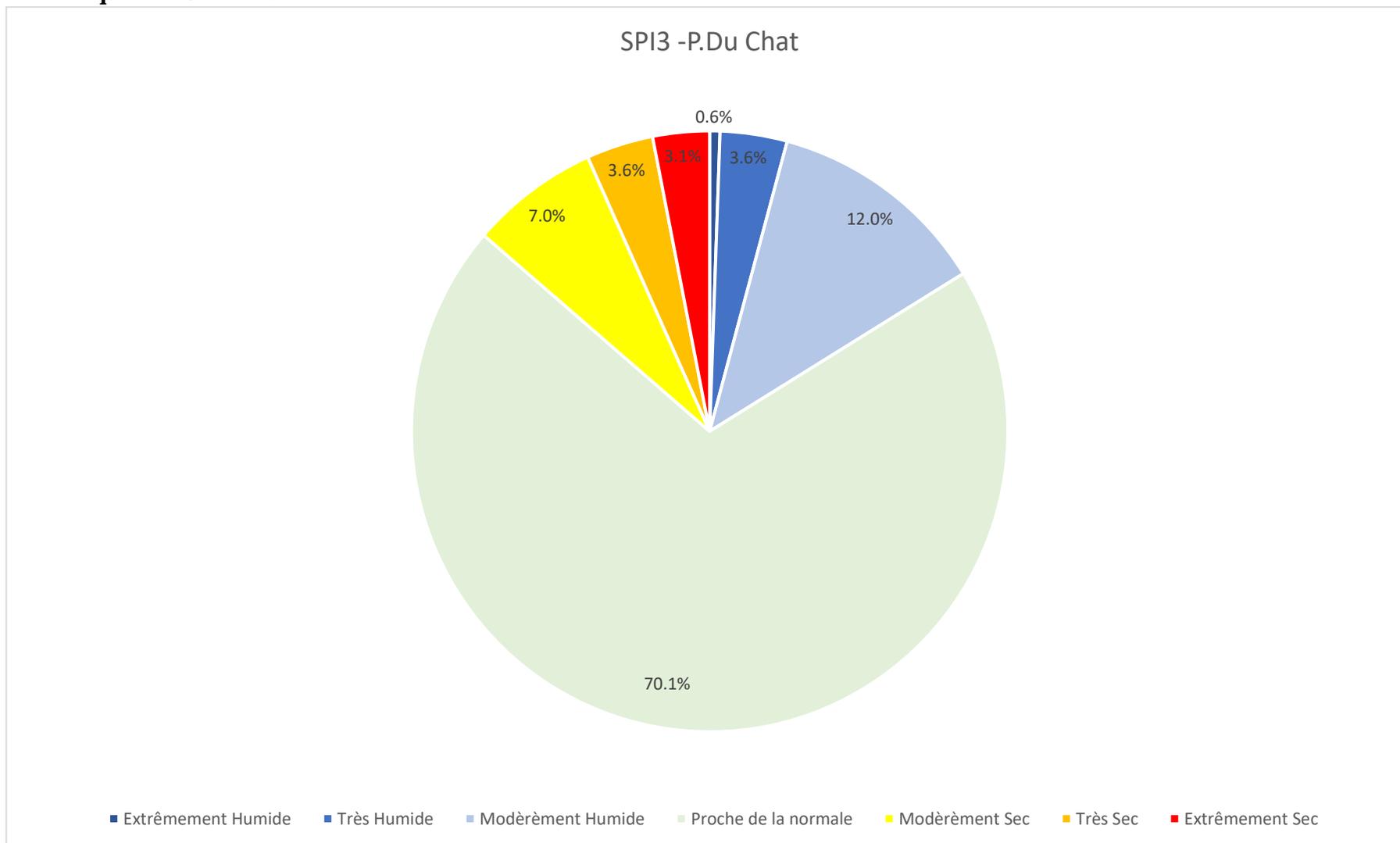


Figure III.17 Fréquence des SPI-3Mois St « P. du chat »

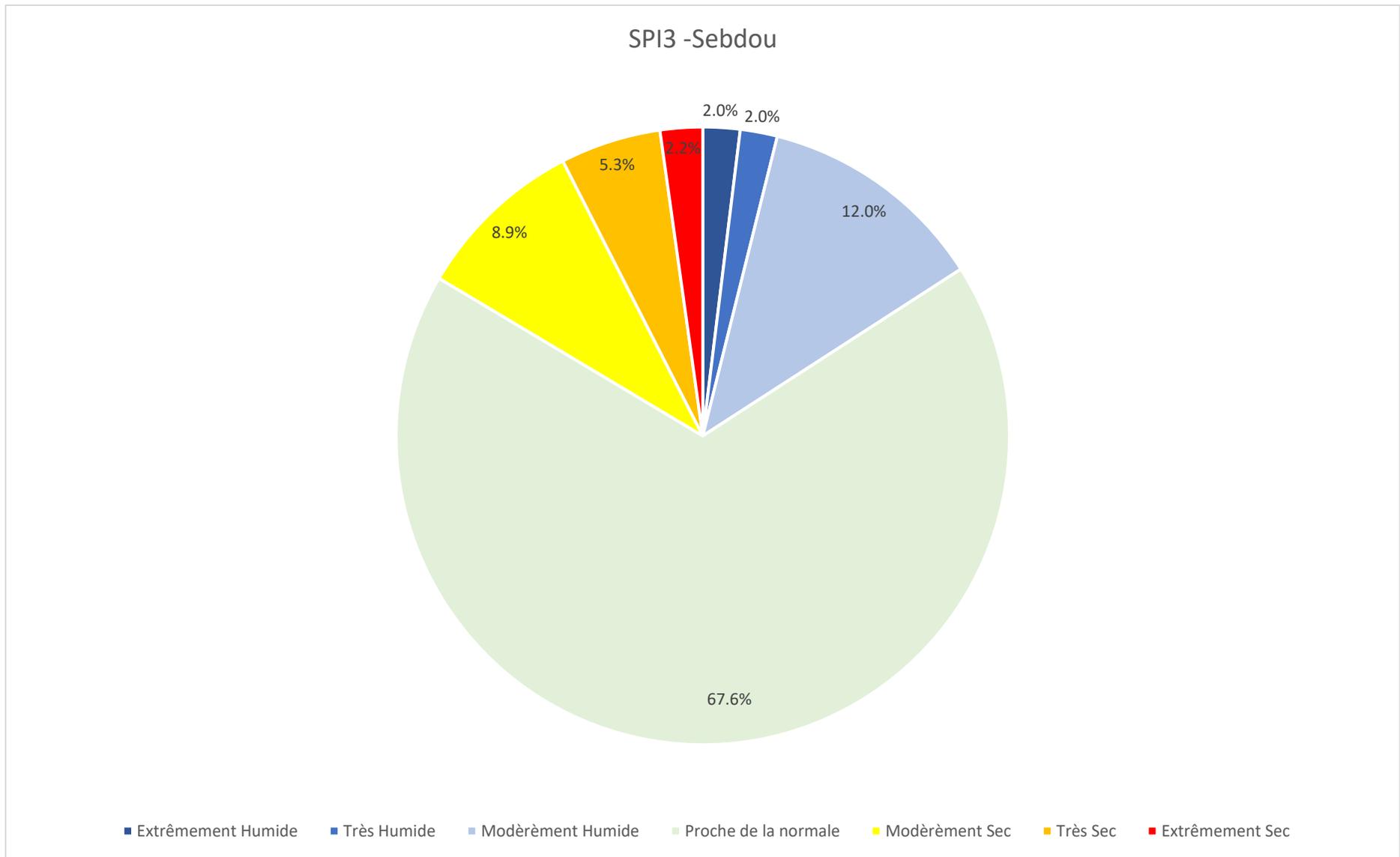


Figure III.18 Fréquence des SPI-3Mois St « Sebdou »

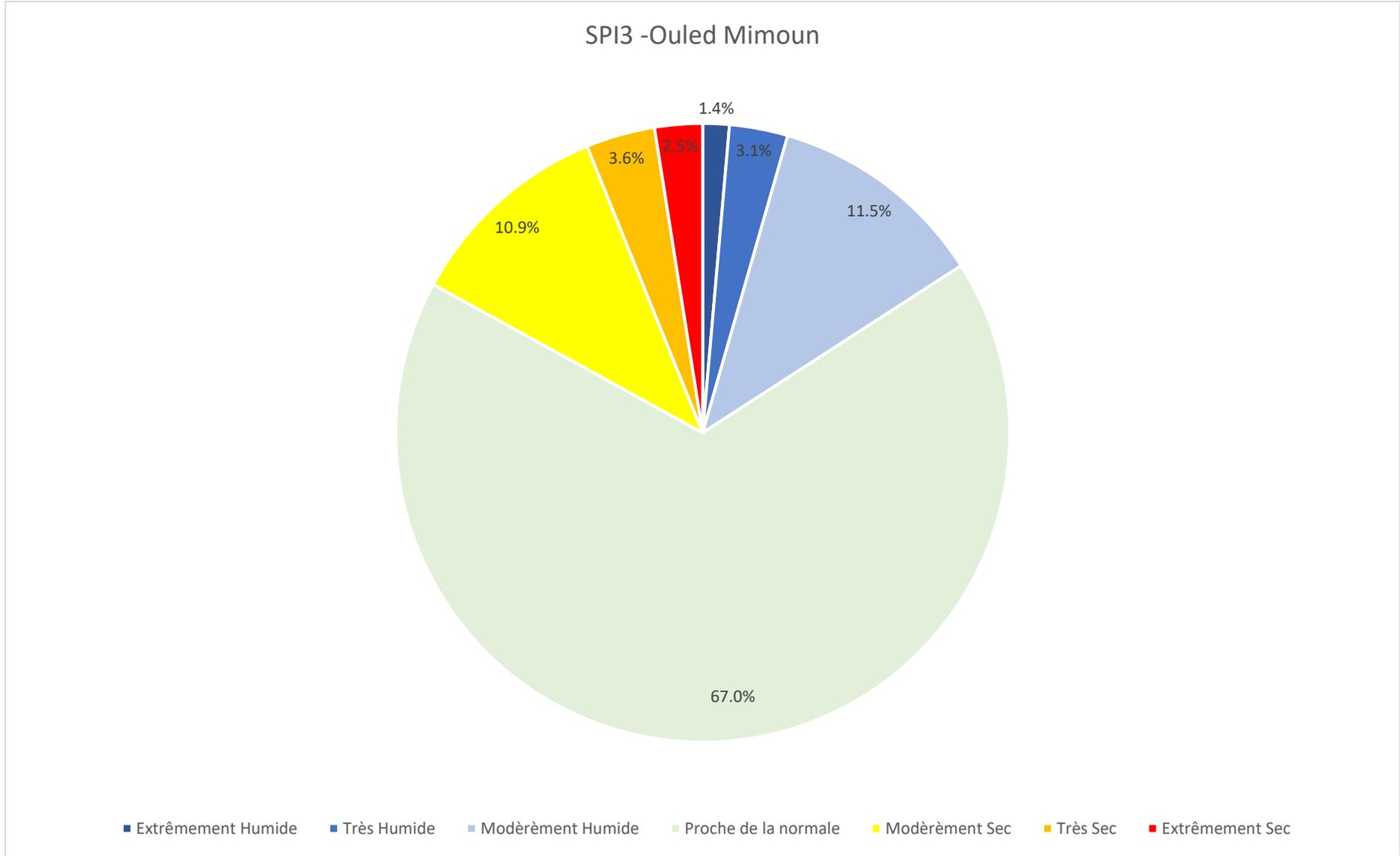


Figure III.19 Fréquence des SPI-3Mois St « Ouled Mimoun »

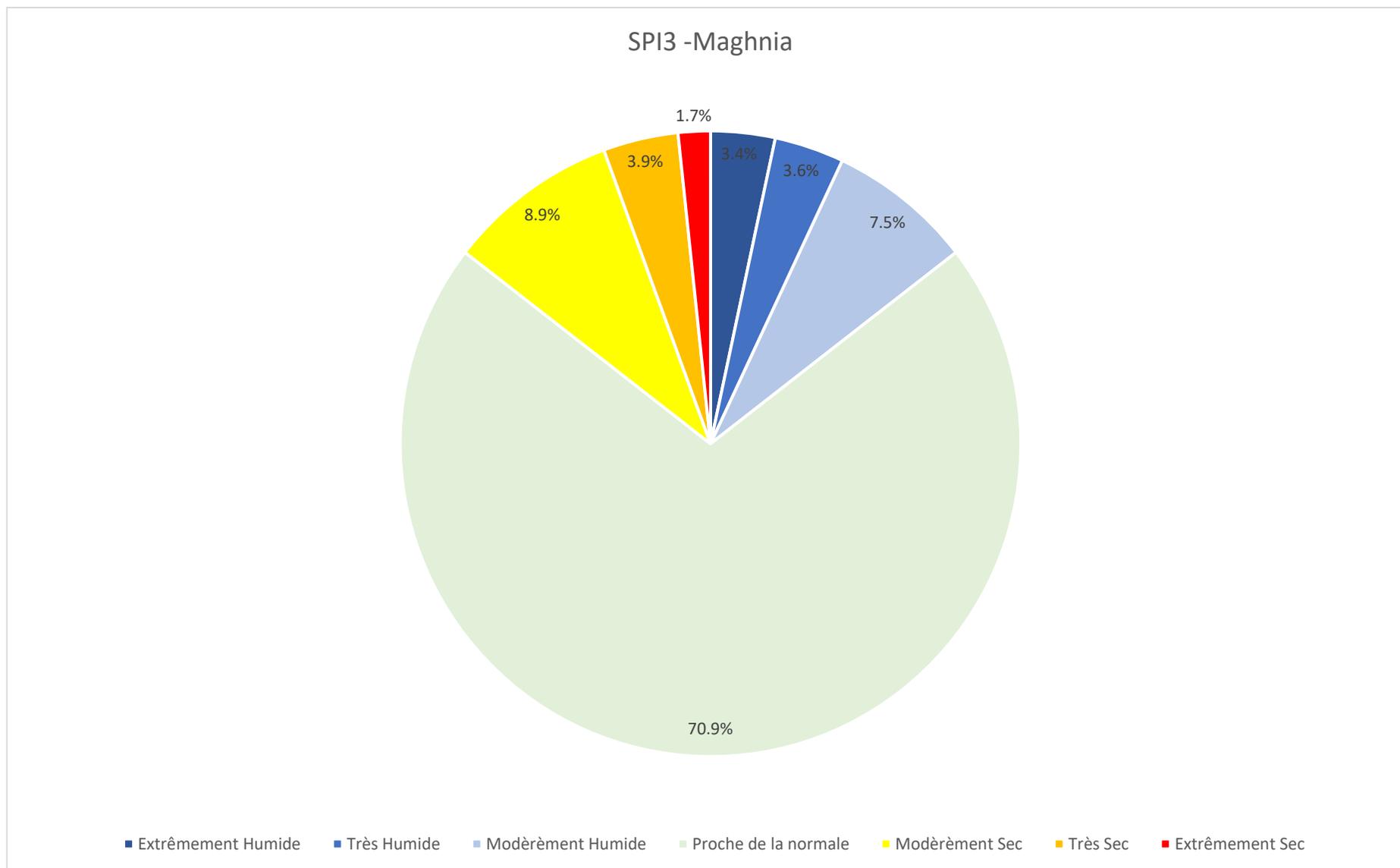


Figure III.20 Fréquence des SP3-1Mois St « Maghnia »

Interprétation des fréquences SPI-3mois :

- Station pluviométrique Pierre du chat :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Pierre du chat montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 70.1%, on observe aussi que nous avons 13.7% de sécheresse dont 3.1% est extrême et 16.2% d'années humides dont 0.6% est extrême.

- Station pluviométrique Sebdu :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Sebdu montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 67.6%, on observe aussi que nous avons 17.4% de sécheresse avec 2.2% de sécheresse extrême et 16% d'années humides dont 2% est extrême.

- Station pluviométrique Ouled Mimoun :

L'indice pluviométrique standardisé à la station d'Ouled Mimoun montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 67%, on observe aussi que nous avons 17% de sécheresse avec 2.5% de sécheresse extrême et 16% d'années humides dont 1.4% est extrême.

- Station pluviométrique Maghnia :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Maghnia montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 70.9%, on observe aussi que nous avons 14.6% de sécheresse dont 1.7% est extrême et 14.5% d'années humides dont 3.4% est extrême.

III.2.3 Fréquences SPI-6mois :

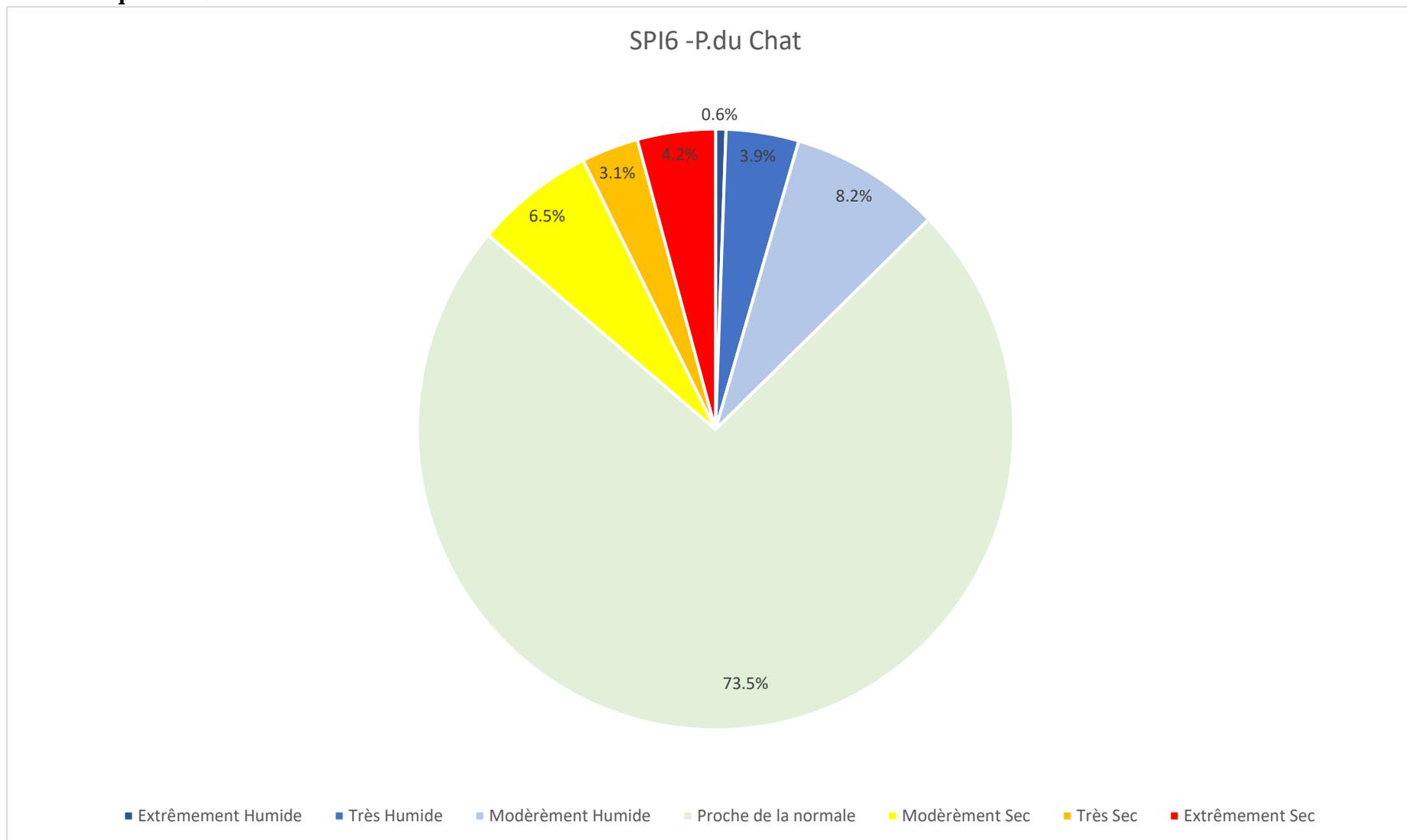


Figure III.21 Fréquence des SPI-6Mois St « P. du chat »

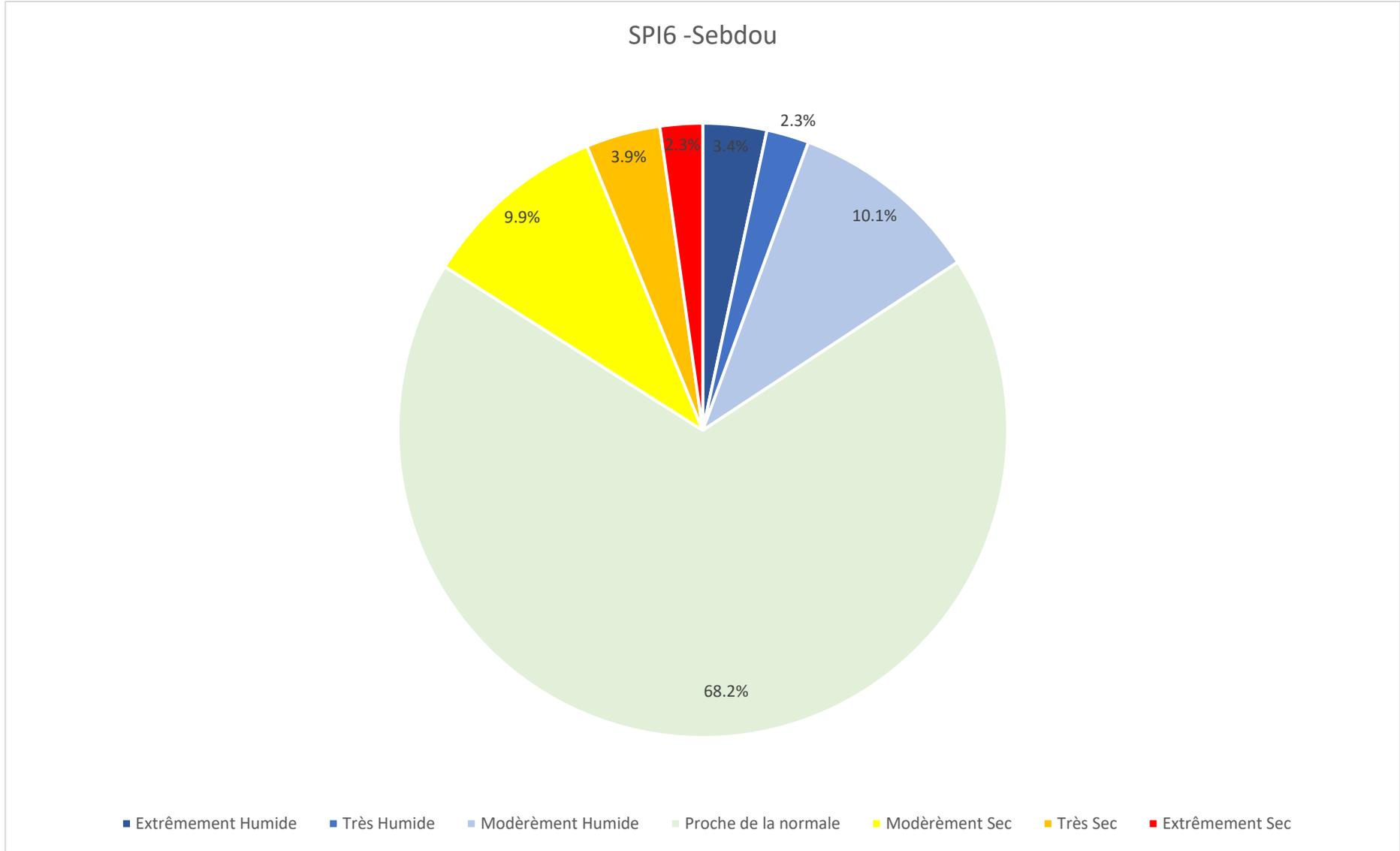


Figure III.22 Fréquence des SPI-6Mois St « Sebdou »

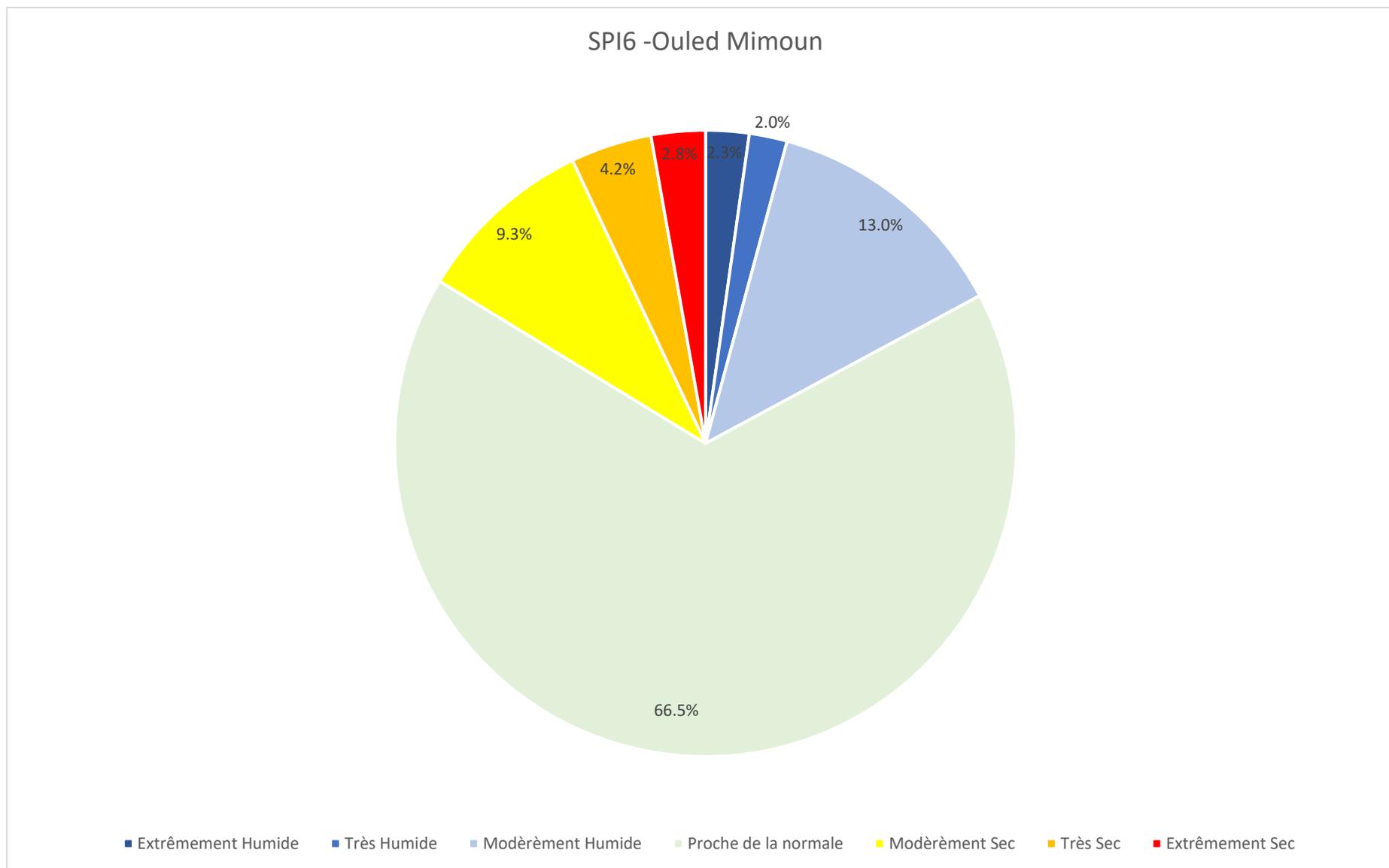


Figure III.23 Fréquence des SPI-6Mois St « Ouled Mimoun »

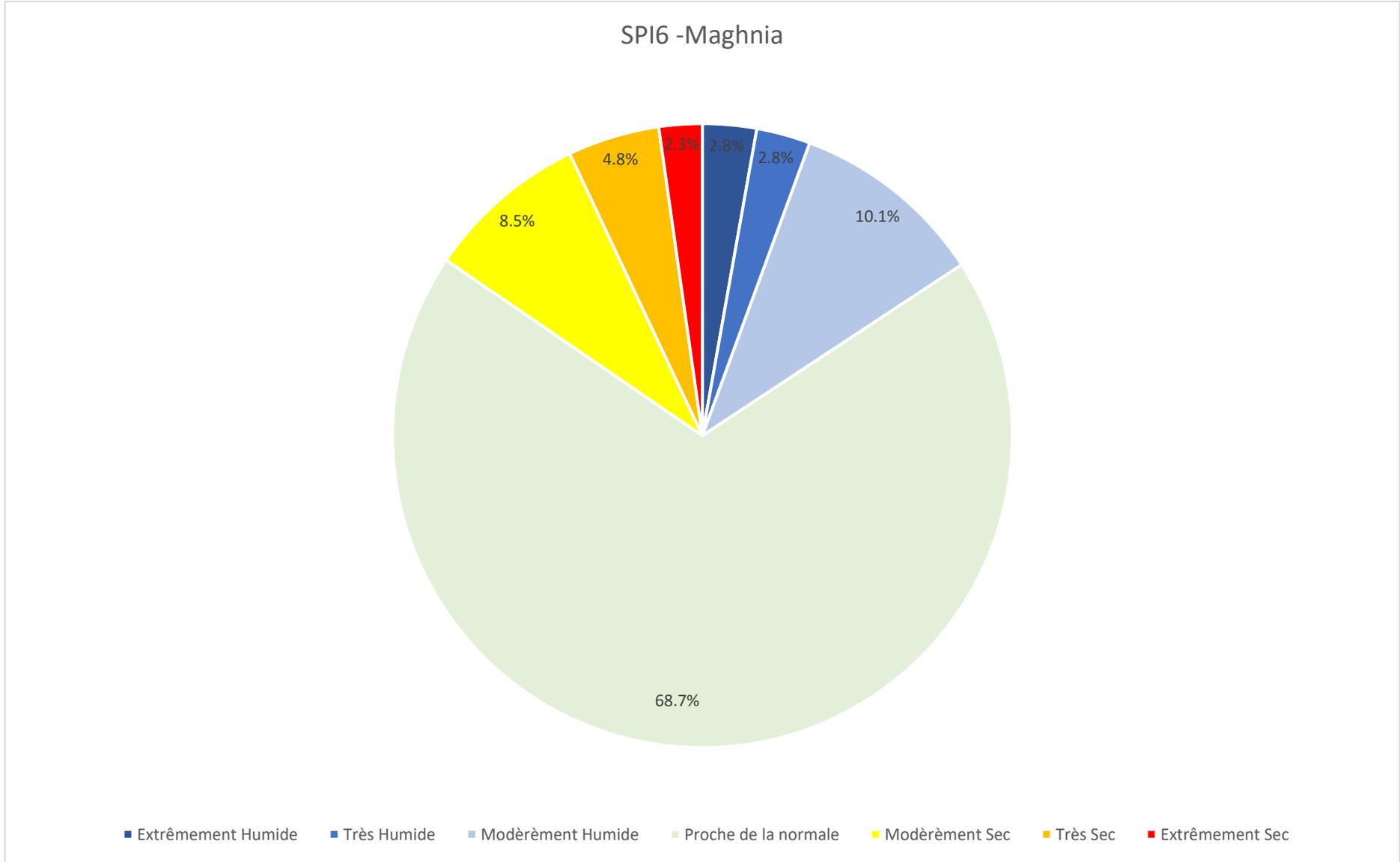


Figure III.24 Fréquence des SPI-6Mois St « Maghnia »

Interprétation des fréquences SPI-6mois :

- Station pluviométrique Pierre du chat :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Pierre du chat montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 73.5%, on observe aussi que nous avons 13.8% de sécheresse dont 4.2% est extrême et 12.7% d'années humides dont 0.6% est extrême.

- Station pluviométrique Sebdu :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Sebdu montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 68.2%, on observe aussi que nous avons 12.8% de sécheresse avec une absence totale de la sécheresse extrême et 16.1% d'années humides dont 1.7% est extrême.

- Station pluviométrique Ouled Mimoun :

L'indice pluviométrique standardisé à la station d'Ouled Mimoun montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 66.5%, on observe aussi que nous avons 16.3% de sécheresse avec 2.8% de sécheresse extrême et 17.3% d'années humides dont 2.3% est extrême.

- Station pluviométrique Maghnia :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Maghnia montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 68.7%, on observe aussi que nous avons 15.6% de sécheresse dont 2.3% est extrême et 15.7% d'années humides dont 2.8% est extrême.

III.2.4 Fréquences SPI-12mois :

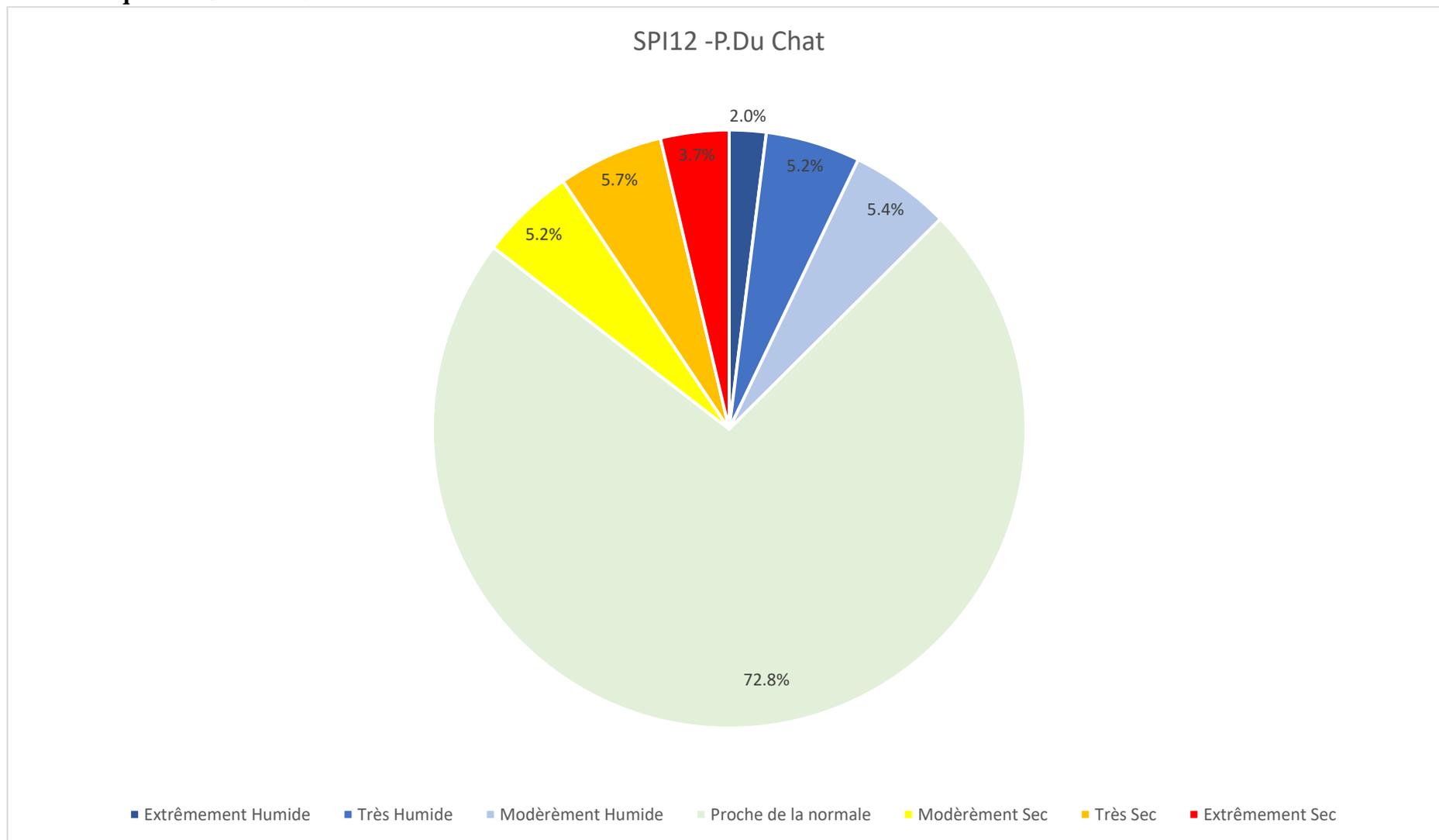


Figure III.25 Fréquence des SPI-12Mois St « P. du chat »

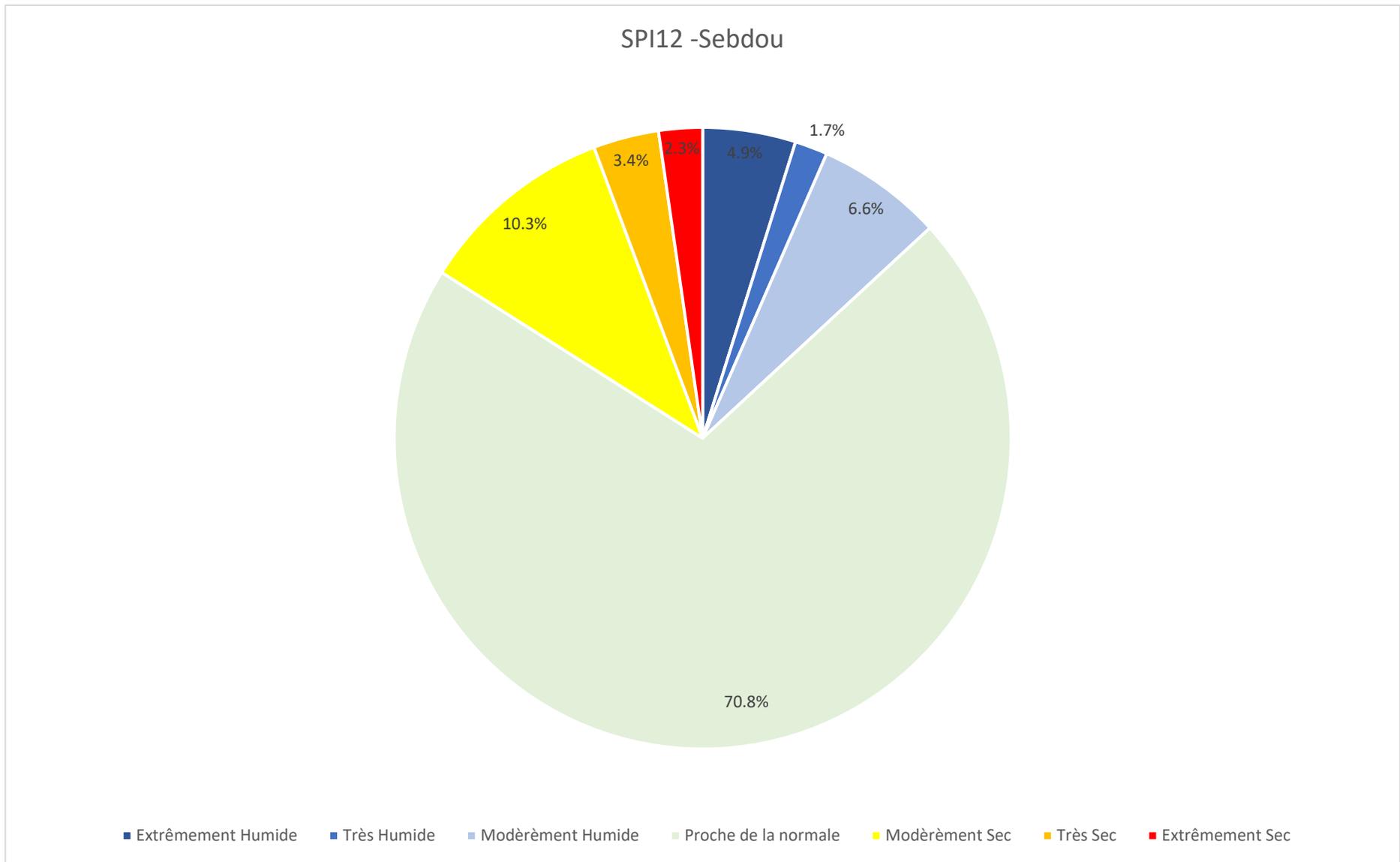


Figure III.26 Fréquence des SPI-12Mois St « Sebdou »

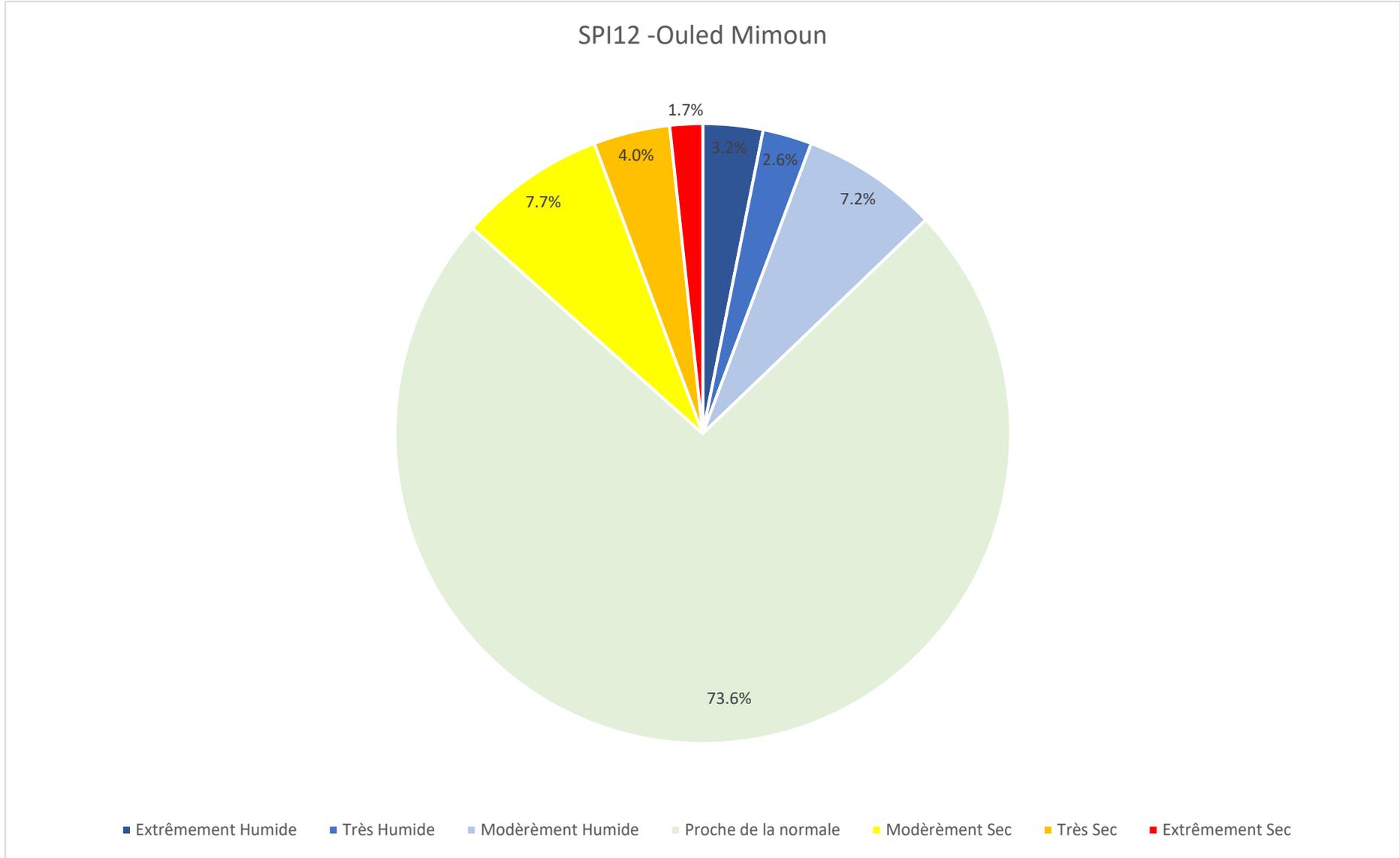


Figure III.27 Fréquence des SPI-12Mois St « Ouled Mimoun »

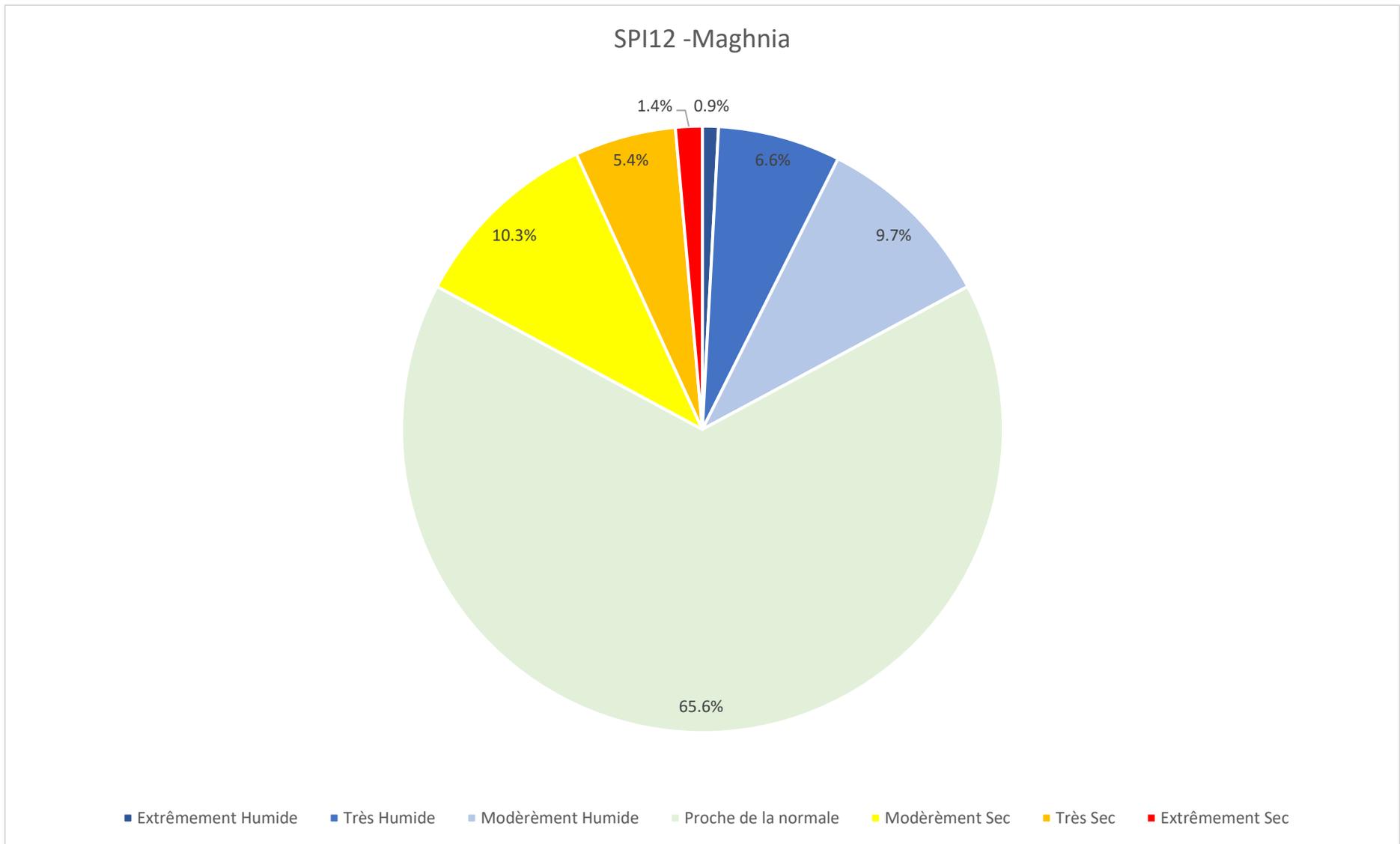


Figure III.28 Fréquence des SPI-12Mois St « Maghnia »

Interprétation des fréquences SPI-12mois :

- Station pluviométrique Pierre du chat :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Pierre du chat montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 72.8%, on observe aussi que nous avons 14.6% de sécheresse dont 3.7% est extrême et 12.6% d'années humides dont 2% est extrême.

- Station pluviométrique Sebdu :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Sebdu montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 70.8%, on observe aussi que nous avons 16% de sécheresse avec une absence totale de la sécheresse extrême et 13.2% d'années humides dont 4.9% est extrême.

- Station pluviométrique Ouled Mimoun :

L'indice pluviométrique standardisé à la station d'Ouled Mimoun montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 73.6%, on observe aussi que nous avons 13.4% de sécheresse avec 1.7% de sécheresse extrême et 13% d'années humides dont 3.2% est extrême.

- Station pluviométrique Maghnia :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Maghnia montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 65.6%, on observe aussi que nous avons 17.1% de sécheresse dont 1.4% est extrême et 17.2% d'années humides dont 0.9% est extrême.

III.2.5 Fréquences SPI-24mois :

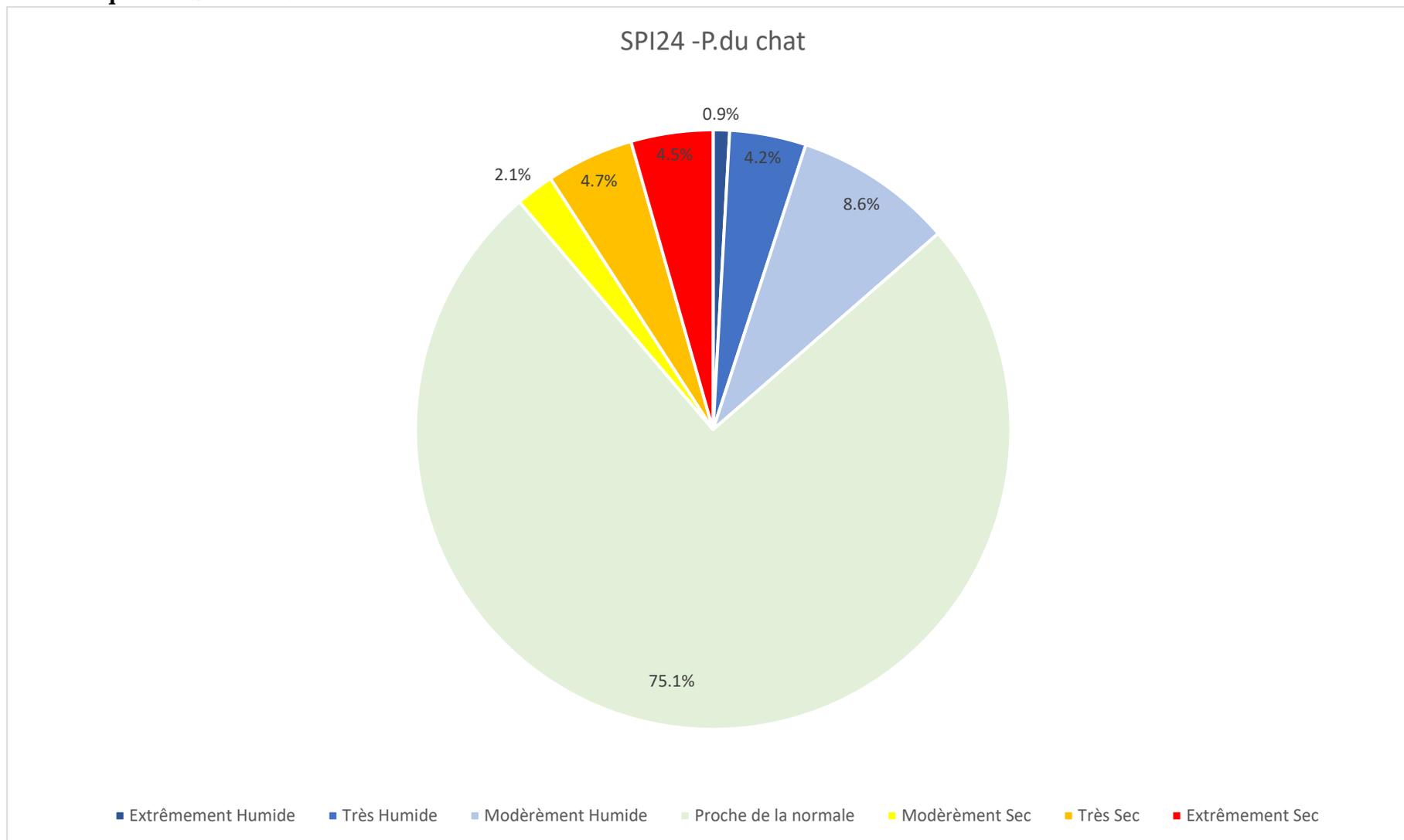


Figure III.29 Fréquence des SPI-24Mois St « P. du chat »

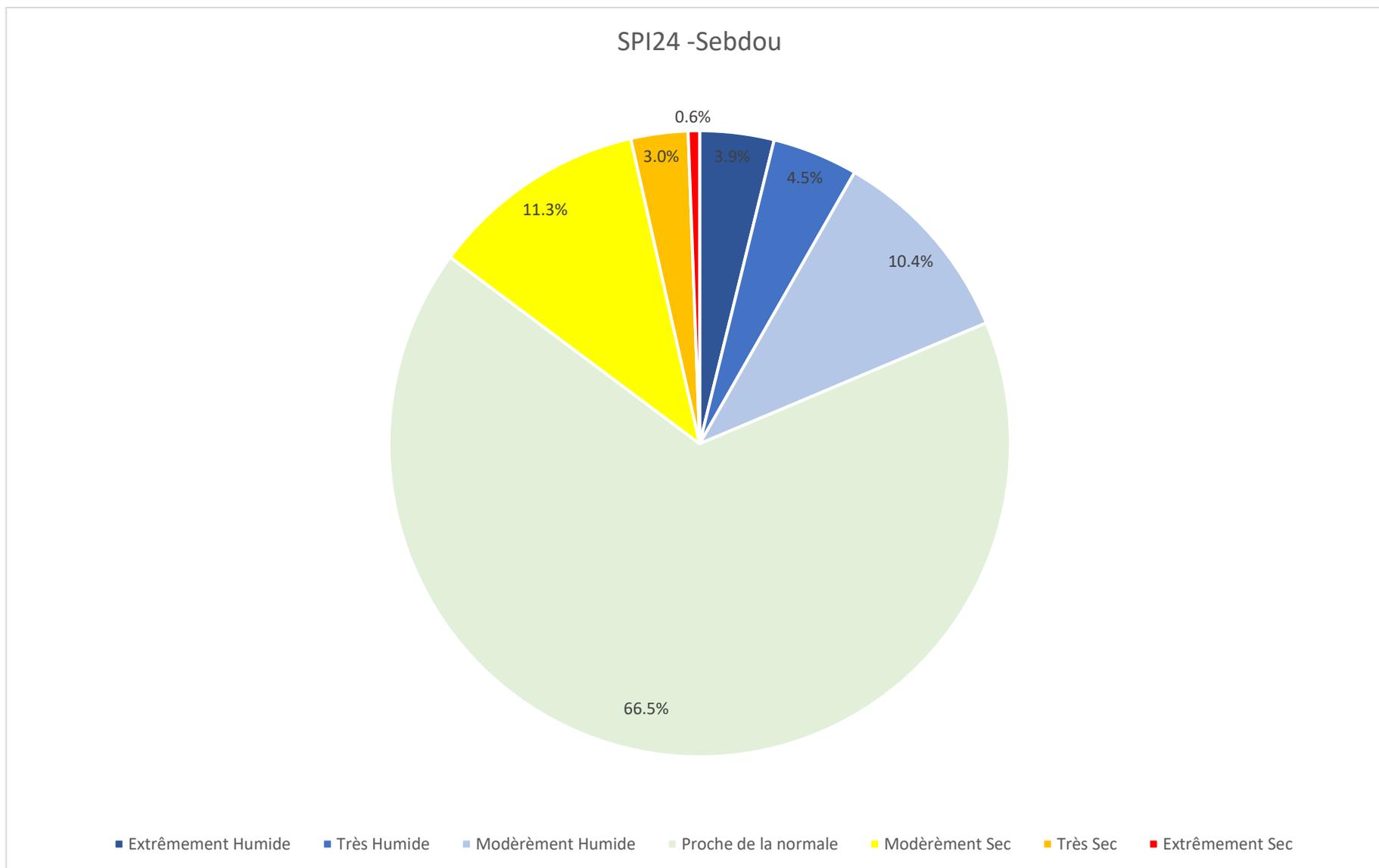


Figure III.30 Fréquence des SPI-24Mois St « Sebdou »

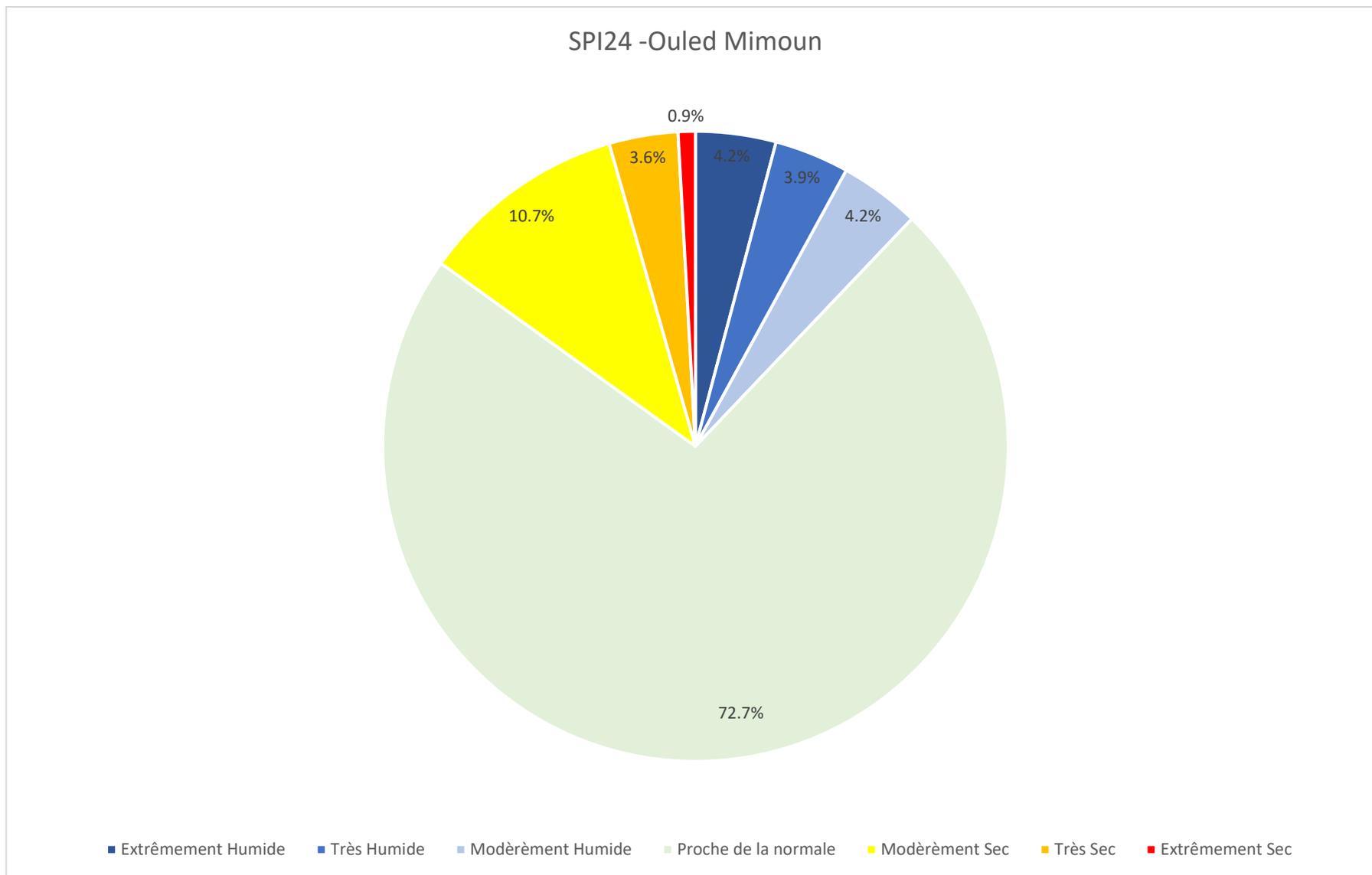


Figure III.31 Fréquence des SPI-24Mois St « Ouled Mimoun »

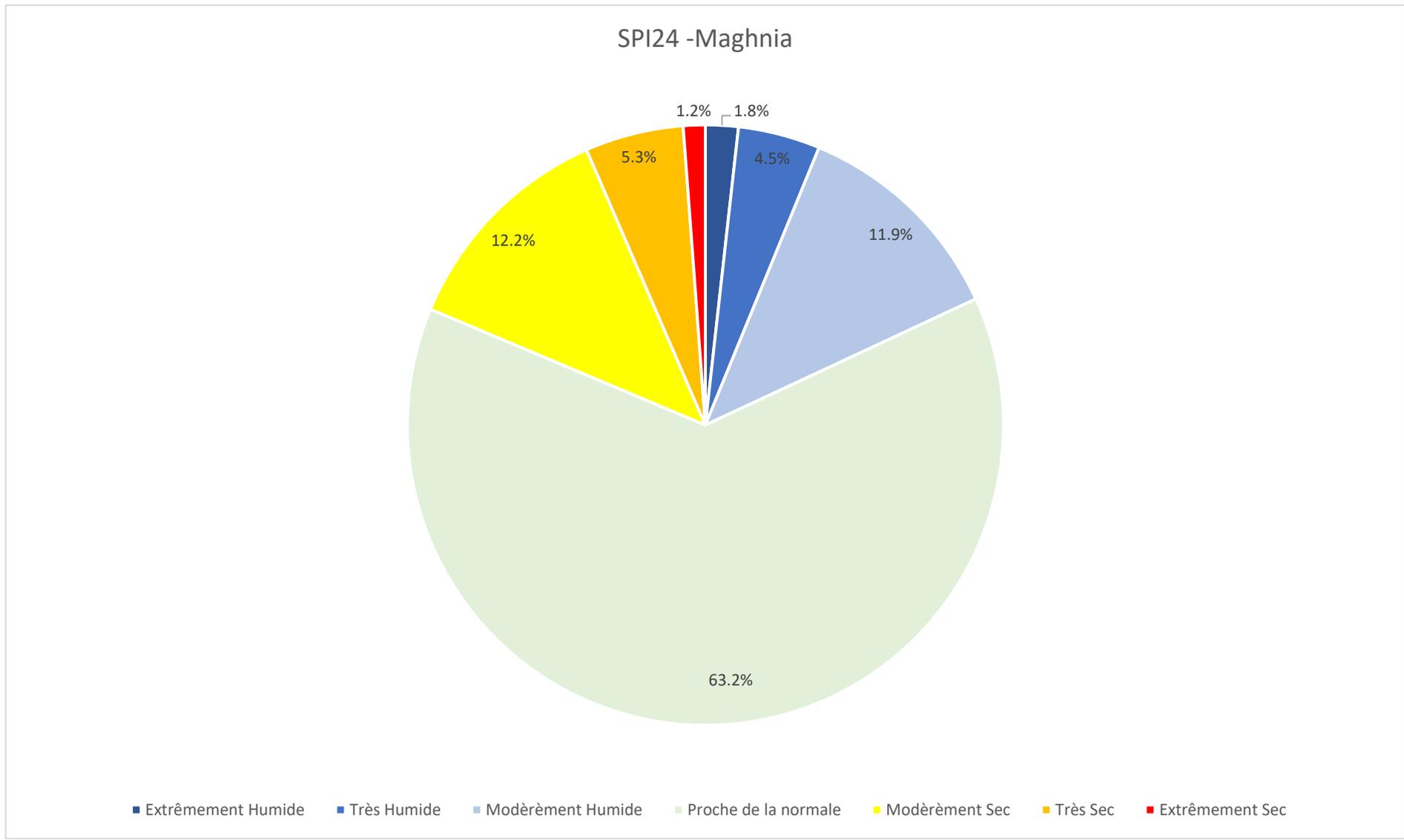


Figure III.32 Fréquence des SPI-24Mois St « Maghnia »

Interprétation des fréquences SPI-24mois :

- Station pluviométrique Pierre du chat :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Pierre du chat montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 75.1%, on observe aussi que nous avons 11.3% de sécheresse dont 4.5% est extrême et 13.7% d'années humides dont 0.9% est extrême.

- Station pluviométrique Sebdu :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Sebdu montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 66.5%, on observe aussi que nous avons 14.8% de sécheresse avec 0.6% de sécheresse extrême et 18.7% d'années humides dont 3.9% est extrême.

- Station pluviométrique Ouled Mimoun :

L'indice pluviométrique standardisé à la station d'Ouled Mimoun montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 72.7%, on observe aussi que nous avons 15.2% de sécheresse avec 1.2% de sécheresse extrême et 18.2% d'années humides dont 1.8% est extrême.

- Station pluviométrique Maghnia :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Maghnia montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 63.2%, on observe aussi que nous avons 18.6% de sécheresse dont 1.2% est extrême et 18.2% d'années humides dont 1.8% est extrême.

III.2.6 Fréquences SPI-48mois :

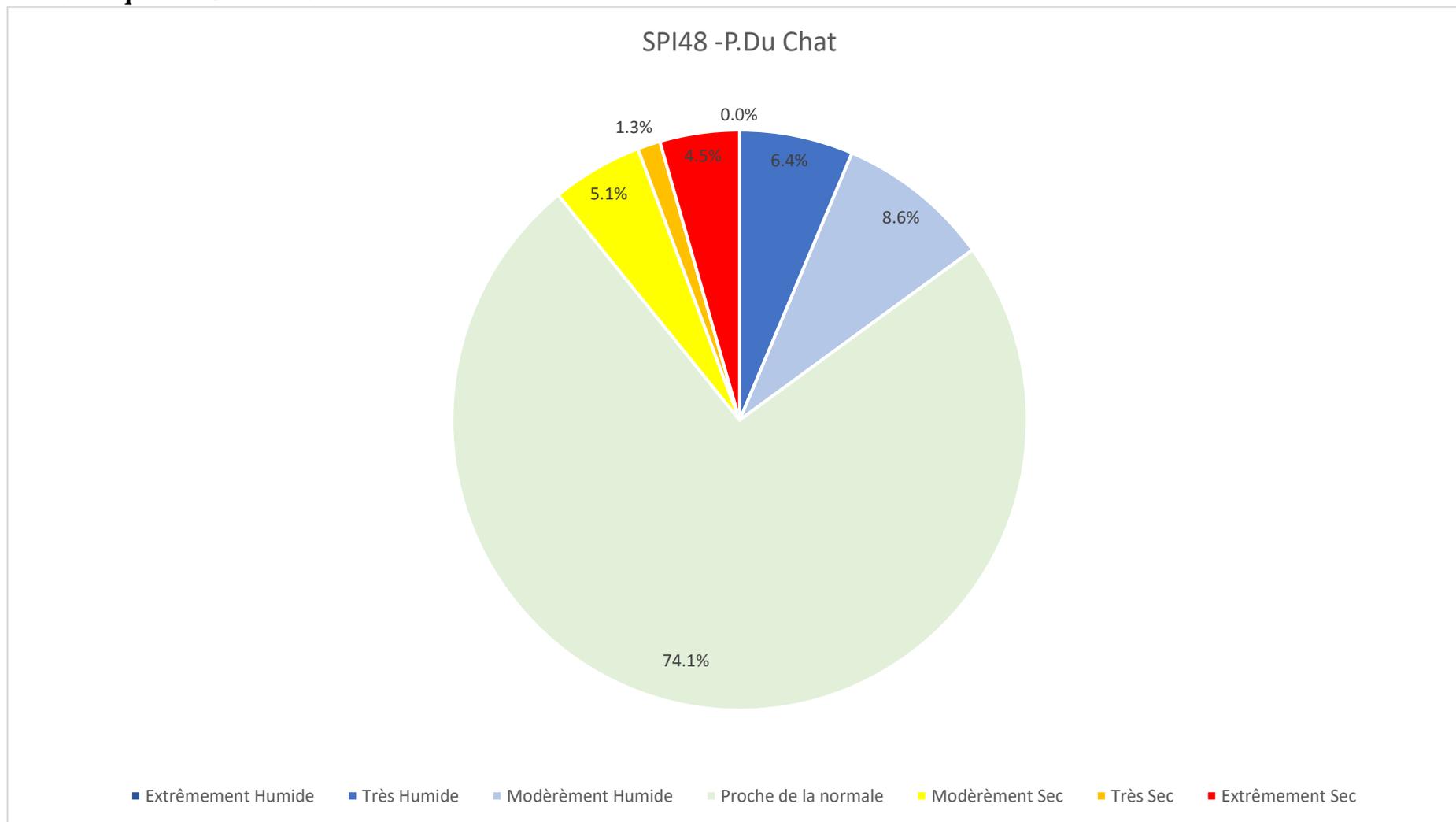


Figure III.33 Fréquence des SPI-48Mois St « P. du chat »

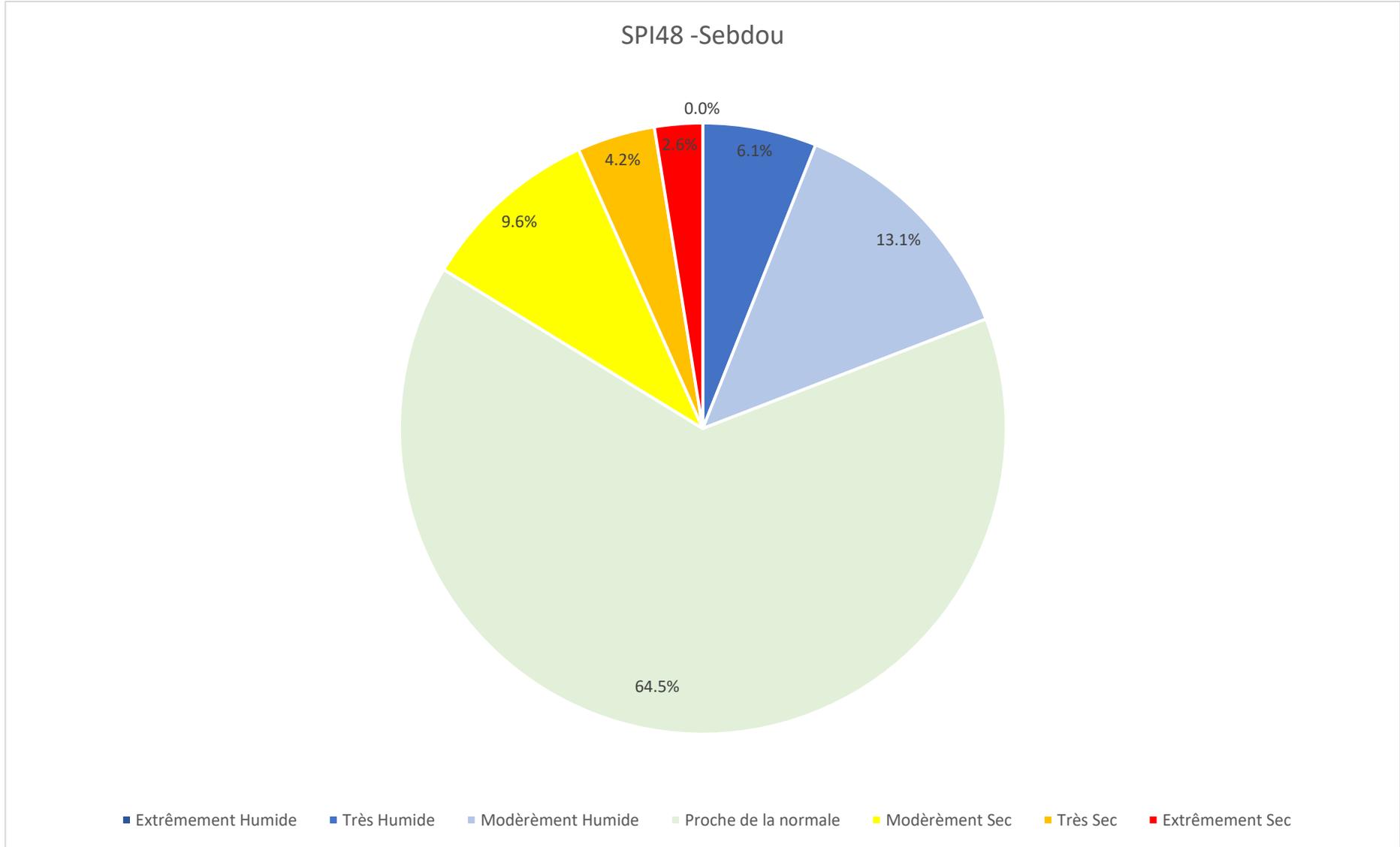


Figure III.34 Fréquence des SPI-48Mois St « Sebdou »

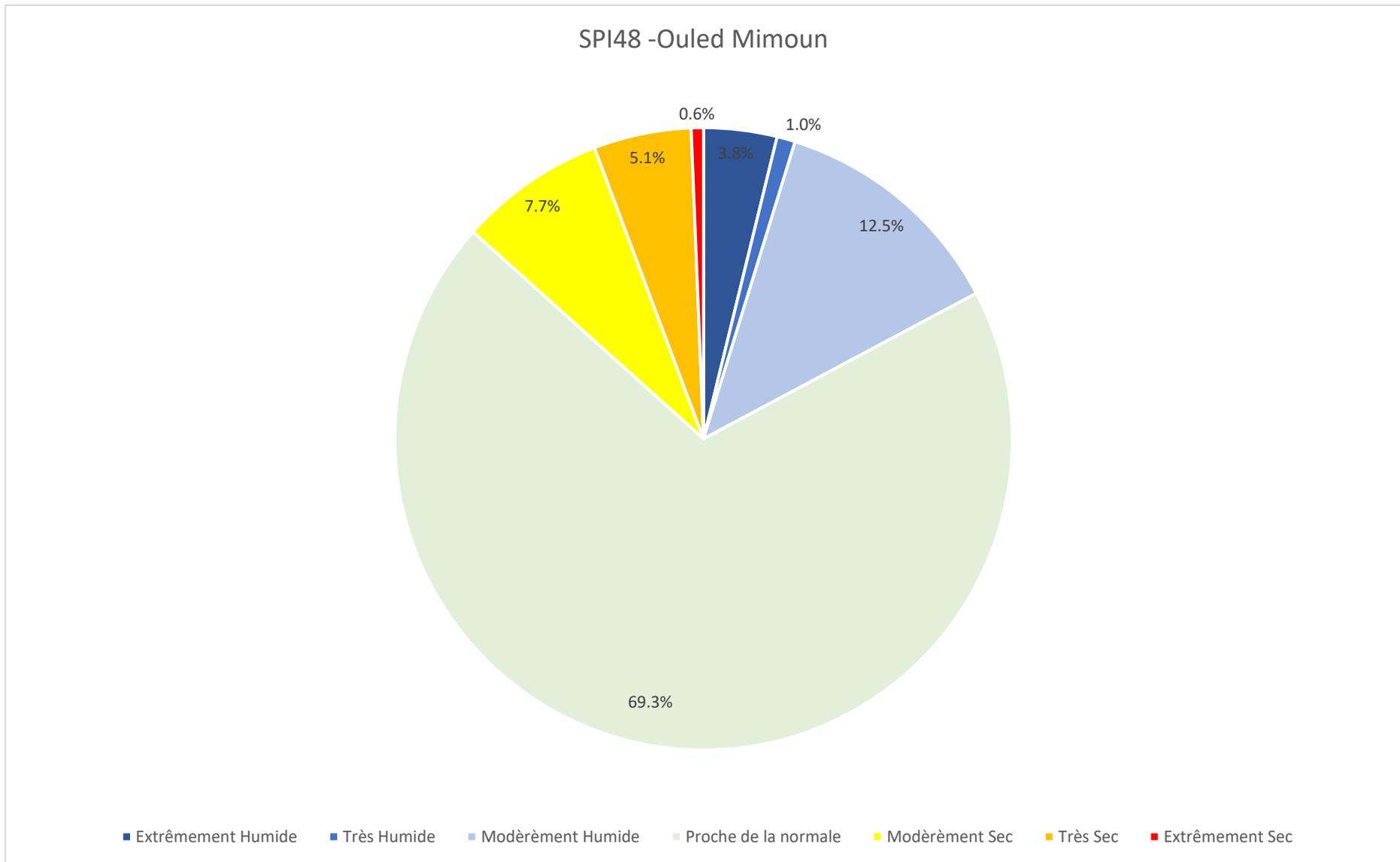


Figure III.35 Fréquence des SPI-48 Mois St « Ouled Mimoun »

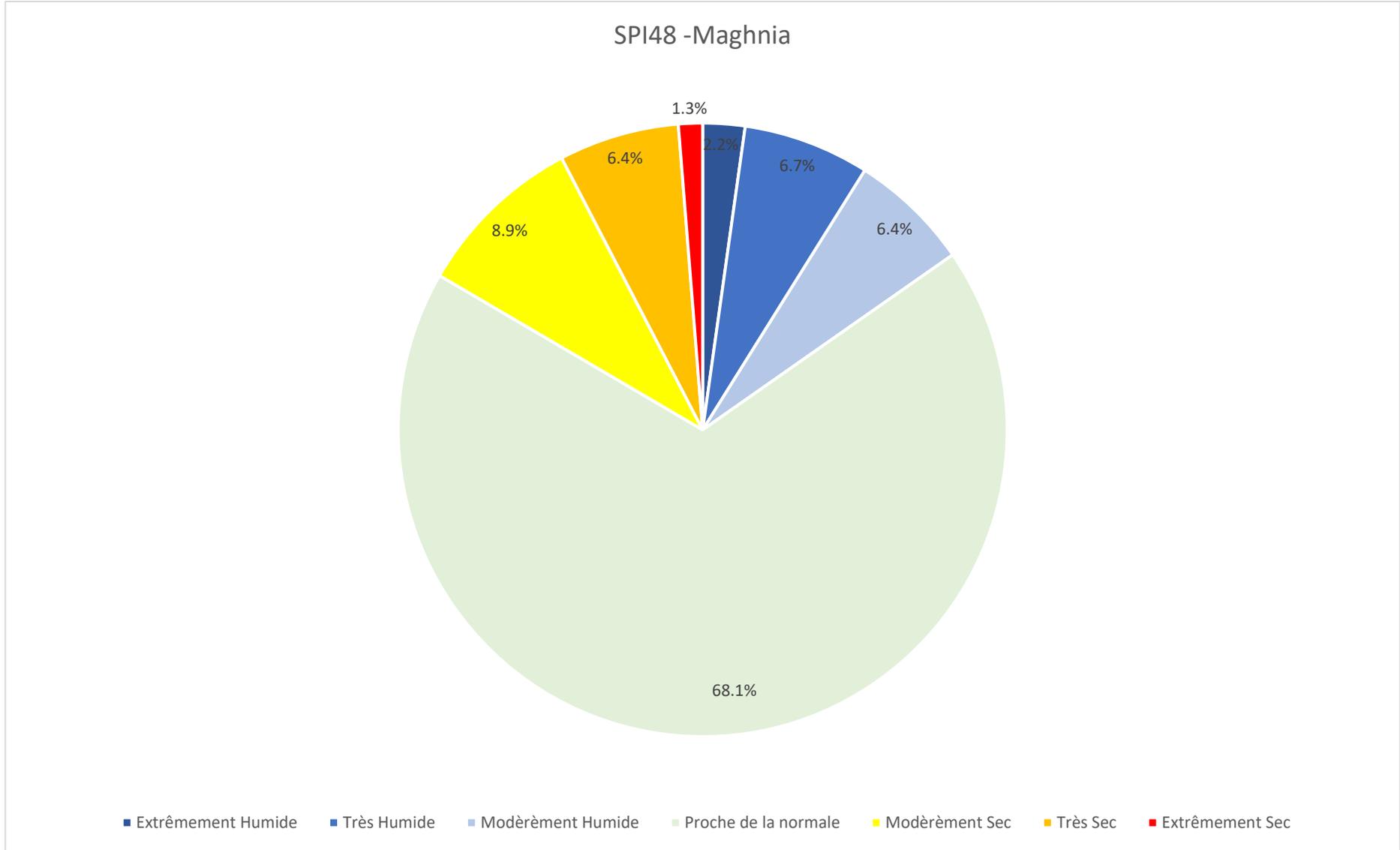


Figure III.36 Fréquence des SPI-48Mois St « Maghnia »

Interprétation des fréquences SPI-48mois :

- Station pluviométrique Pierre du chat :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Pierre du chat montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 74.1%, on observe aussi que nous avons 10.9% de sécheresse dont 4.5% est extrême et 15% d'années humides dont 0% est extrême.

- Station pluviométrique Sebdu :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Sebdu montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 64.5%, on observe aussi que nous avons 16.3% de sécheresse avec sécheresse extrême et 19.2% d'années humides une absence totale d'humidité extrême.

- Station pluviométrique Ouled Mimoun :

L'indice pluviométrique standardisé à la station d'Ouled Mimoun montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 69.3%, on observe aussi que nous avons 13.4% de sécheresse avec 0.6% de sécheresse extrême et 17.3% d'années humides dont 3.8% est extrême.

- Station pluviométrique Maghnia :

L'indice pluviométrique standardisé à la station de Maghnia montre une dominance des années semi-aride (proche de la normale) avec 68.1%, on observe aussi que nous avons 16.6% de sécheresse dont 1.3% est extrême et 15.3% d'années humides dont 2.2% est extrême.

Interprétation générale des fréquences :

Nous avons observé une similitude dans les résultats pour les différents pas de temps SPI que nous avons représenté. Par exemple pour le SPI-1mois nous avons à peu près les mêmes pourcentages qui se répètent pour toutes les stations du bassin versant de la Tafna, cet exemple s'applique aussi sur les autres pas de temps (SPI-3, SPI-6, SPI-12, SPI-24, SPI-48).

Le pourcentage de la sécheresse (sécheresse modérée, sécheresse forte et sécheresse extrême) pour toute les stations et à différentes échelles de temps est compris entre 10% à 20%.

Le pourcentage de l'humidité (humidité modérée, humidité forte et humidité extrême) pour toute les stations et à différentes échelles de temps est aussi compris entre 10% à 20%.

Le pourcentage du climat semi-aride (proche de la normal) pour toute les stations et à différentes échelles de temps est compris entre 60% à 75%.

D'ici on peut dire que les stations de la Tafna sont synchrones, elle donne presque les mêmes résultats et que le climat du bassin est généralement semi-aride selon les résultats que nous avons analysés.

III.3 La duration de sècheresse :

Le tableau suivant représente les résultats de la duration de sècheresse à plusieurs échelles de temps. Ça représente le nombre d'apparition de sècheresse pendant la période d'étude.

Tableau III.2 Duration de sècheresse

SPI/Stations	Mefrouche	P.Du chat	Tlemcen	Lala Setti	Ouled mimoun	Chouly	Beni Bahdel	Maghnia	H.Bougrara	S.Medjahed	Sebdou
SPI-1	179	131	168	161	162	175	171	168	165	170	184
SPI-3	175	164	163	178	163	164	176	183	176	183	168
SPI-6	174	165	162	168	173	169	169	176	176	173	170
SPI-12	177	166	171	171	178	184	168	179	166	182	183
SPI-24	167	156	153	170	175	179	160	172	150	164	177
SPI-48	156	153	120	139	168	147	145	148	127	162	150
Duration de sècheresse											
SPI/Stations	B.Ouassine	Sabra	Hennaya	Zenata	Meurbah	DJ.Chouachi	S.Bounekhla	Barrage izdihar	Khemis	Zaouia S.Beanamar	
SPI-1	136	135	181	180	172	138	162	156	153	134	
SPI-3	178	177	162	175	156	168	163	158	164	146	
SPI-6	174	179	167	170	163	176	181	159	153	155	
SPI-12	178	165	169	164	171	178	191	166	146	147	
SPI-24	180	153	153	162	181	169	181	165	137	154	
SPI-48	151	137	159	156	179	163	137	146	131	133	
Duration de sècheresse											

Duration du Spi1 :

-La duration maximale a été observée au niveau de la station de Sebdou avec une valeur de 184 mois.

- La duration minimale a été observée au niveau de la station P. du chat avec une valeur de 131 mois.

Duration du Spi3 :

-La duration maximale a été observée au niveau de la station de Maghnia et Sidi Medjahed avec une valeur de 183 mois.

- La duration minimale a été observée au niveau de la station de Zaouia Sidi Benamar avec une valeur de 146 mois.

Duration du Spi6 :

-La duration maximale a été observée au niveau de la station de Sidi Bounekhla avec une valeur de 181 mois.

- La duration minimale a été observée au niveau de la station de Khemis avec une valeur de 153 mois.

Duration du Spi12 :

-La duration maximale a été observée au niveau de la station de Sidi Bounekhla avec une valeur de 191 mois.

- La duration minimale a été observée au niveau de la station de Khemis avec une valeur de 146 mois.

Duration du Spi24 :

-La duration maximale a été observée au niveau de la station Sidi Bounekhla avec une valeur de 181 mois.

- La duration minimale a été observée au niveau de la station de Khemis avec une valeur de 137 mois.

Duration du Spi48 :

-La duration maximale a été observée au niveau de la station de Meurbah avec une valeur de 179 mois.

- La duration minimale a été observée au niveau de la station de Tlemcen avec une valeur de 120 mois.

III.4 Ampleur de sécheresse :

Pour l'ampleur de sécheresse qui est la somme des valeurs négatives du SPI (somme des sécheresse) nous avons obtenu les résultats représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.3 Ampleur de sécheresse

SPI/Stations	Mefrouche	P.Du chat	Tlemcen	Lala Setti	Ouled mimoun	Chouly	Beni Bahdel	Maghnia	H.Bouhrara	S.Medjahed	Sebdou
SPI-1	-119.03	-99.4	-110.29	-109.49	-109.13	-114.79	-116.01	-108.58	-109.32	-100.75	-127.87
SPI-3	-141.62	-133.56	-136.06	-140.38	-137.71	-134.96	-140.51	-138.81	-138.42	-133.5	-140.83
SPI-6	-139.66	-137.84	-132.71	-141.29	-142.06	-138.23	-137.72	-142.49	-134.92	-140.09	-139.05
SPI-12	-139.81	-134.98	-131.53	-140.02	-139.7	-135.94	-136.76	-140.99	-138.02	-139.64	-135.01
SPI-24	-142.1	-127.81	-134.37	-140.74	-131.31	-136.23	-138.7	-138.36	-128.44	-135.14	-140.26
SPI-48	-128.66	-118.83	-124.26	-130.73	-128.19	-127.82	-120.92	-123.47	-121.8	-132.48	-129.36
Ampleur de sécheresse											

SPI/Stations	B.Ouassine	Sabra	Hennaya	Zenata	Meurbah	DJ.Chouachi	S.Bounekhla	Barrage izdihar	Khemis	Zaouia S.Beanamar
SPI-1	-93.74	-99.54	-117.2	-118.63	-116.75	-96.78	-109.12	-106.97	-93.94	-91.03
SPI-3	-133.86	-133.24	-140.99	-142.39	-135.79	-134.09	-137.85	-133.74	-121.87	-118.24
SPI-6	-141.01	-143.7	-138.69	-143.68	-132.1	-141.36	-136.41	-126.49	-124.96	-125.18
SPI-12	-139.49	-138.56	-141.09	-134.56	-132.7	-140.71	-138.3	-124.47	-128.04	-121.29
SPI-24	-135.62	-135.98	-142.9	-133.8	-133.28	-136.89	-138.8	-122.95	-121.56	-111.53
SPI-48	-128.9	-132.02	-125.51	-116.97	-123.59	-129.46	-125.54	-111.3	-121.41	-102.7
Ampleur de sécheresse										

-L'ampleur maximale : valeur de sécheresse maximale (la plus grave)

-L'ampleur minimale : valeur de sécheresse minimale (la moins grave)

Ampleur du Spi1 :

-L'ampleur maximale est de -127.87 obtenue à la station de Sebdou

-L'ampleur minimale est de -91.03 obtenue à la station de Zaouia Sidi Benamar

Ampleur du Spi3 :

-L'ampleur maximale est de -142.39 obtenue à la station de Zenata

-L'ampleur minimale est de -118.24 obtenue à la station de Zaouia Sidi Benamar

Ampleur du Spi6 :

-L'ampleur maximale est de -143.7 obtenue à la station de Sabra

-L'ampleur minimale est de -124.96 obtenue à la station de Khemis

Ampleur du Spi12 :

-L'ampleur maximale est de -141.09 obtenue à la station de Hennaya

-L'ampleur minimale est de -121.29 obtenue à la station de Zaouia Sidi Benamar

Ampleur du Spi24 :

-L'ampleur maximale est de -142.9 obtenue à la station de Hennaya

-L'ampleur minimale est de -111.53 obtenue à la station de

Ampleur du Spi48 :

-L'ampleur maximale est de -132.48 obtenue à la station de Sidi Medjahed

-L'ampleur minimale est de -102.7 obtenue à la station de Zaouia Sidi Benamar

III.5 Intensité de sécheresse :

Dans le tableau ci-dessous nous avons présenté les résultats de l'intensité de sécheresse qui est tout simplement la moyenne des sécheresses.

Tableau III.4 Intensité de sécheresse

SPI/Stations	Mefrouche	P.Du chat	Tlemcen	Lala Setti	Ouled mimoun	Chouly	Beni Bahdel	Maghnia	H.Boughrara	S.Medjahed	Sebdou
SPI-1	-0.665	-0.759	-0.656	-0.680	-0.674	-0.656	-0.678	-0.646	-0.663	-0.593	-0.695
SPI-3	-0.809	-0.814	-0.835	-0.789	-0.845	-0.823	-0.798	-0.759	-0.786	-0.730	-0.838
SPI-6	-0.803	-0.835	-0.819	-0.841	-0.821	-0.818	-0.815	-0.810	-0.767	-0.810	-0.818
SPI-12	-0.790	-0.813	-0.769	-0.819	-0.785	-0.739	-0.814	-0.788	-0.831	-0.767	-0.738
SPI-24	-0.851	-0.819	-0.878	-0.828	-0.750	-0.761	-0.867	-0.804	-0.856	-0.824	-0.792
SPI-48	-0.825	-0.777	-1.036	-0.941	-0.763	-0.870	-0.834	-0.834	-0.959	-0.818	-0.862
Intensité de sécheresse											

SPI/Stations	B.Ouassine	Sabra	Hennaya	Zenata	Meurbah	DJ.Chouachi	S.Bounekhla	Barrage izdihar	Khemis	Zaouia S.Beanamar
SPI-1	-0.689	-0.737	-0.648	-0.659	-0.679	-0.701	-0.674	-0.686	-0.614	-0.679
SPI-3	-0.752	-0.753	-0.870	-0.814	-0.870	-0.798	-0.846	-0.846	-0.743	-0.810
SPI-6	-0.810	-0.803	-0.830	-0.845	-0.810	-0.803	-0.754	-0.796	-0.817	-0.808
SPI-12	-0.784	-0.840	-0.835	-0.820	-0.776	-0.791	-0.724	-0.750	-0.877	-0.825
SPI-24	-0.753	-0.889	-0.934	-0.826	-0.736	-0.810	-0.767	-0.745	-0.887	-0.724
SPI-48	-0.854	-0.964	-0.789	-0.750	-0.690	-0.794	-0.916	-0.762	-0.927	-0.772
Intensité de sécheresse										

Nous avons remarqué que toutes les valeurs obtenues du tableau appartiennent à la classe SPI « Proche de la normale » c'est-à-dire la classe neutre ni humide ni sec et que la moyenne des sécheresses de l'ensemble de la période d'étude nous a donné une sécheresse légère à différentes échelles de temps SPI.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the text.

Conclusion générale

Conclusion générale :

La sécheresse définit l'état de l'environnement confronté à de graves pénuries d'eau à long terme, qui ont un impact sur la flore, la faune et la société. Au cours des dernières années, en raison des activités humaines, la sécheresse s'est imposée aux populations. Elle se produit sur une longue période de temps et à grande échelle, sa sévérité varie avec l'hétérogénéité spatiale des précipitations. Autrement dit, elle peut varier selon les conditions géographiques et climatiques.

Dans la zone climatique semi-aride de l'Algérie, nous avons connu plusieurs sécheresses, qui se caractérisent par de faibles précipitations. Pendant les périodes de sécheresse, les ressources en eau de surface et la capacité de stockage sont considérablement réduites. Il est parfois difficile de répondre à la demande en eau potable et à la demande agricole. Afin de mieux gérer cette situation, l'étude des phénomènes de sécheresse au travers d'indicateurs (tel que le SPI) sont devenues indispensables.

Ce travail avait pour but de caractériser la sécheresse en appliquant l'indice de précipitation normalisé à différentes échelles de temps au bassin versant de la Tafna, cela nous a permis de définir les différents types de sécheresse et de les classer comme normaux, secs ou humides.

Notre étude a montré que la région a passé une sécheresse pendant les années 80 et une humidité les dernières années d'étude 2009-2010, nous avons aussi remarqué un certain synchronisme au niveau des résultats obtenus des différentes stations pluviométriques.

Malheureusement nous n'avons pas eu la chance de faire une étude sur une série plus longue et qui contient des années plus récentes pour obtenir des résultats qui seront plus utiles pour la gestion et la prévision des séquences pluviométriques sèches et humides, mais nos résultats restent toujours fiables et utiles, aussi facile à comprendre grâce à l'utilisation du SIG (logiciel ArcGIS) et des schémas que n'importe quel scientifique est capable de l'analyser.

Références Bibliographiques :

Bouanani A. (2004) : Hydrologie, transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie), Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 250 pages.

Bakreti A (2014) : Modélisation hydrologique du bassin de la Tafna), Thèse de doctorat, Université d'Oran, 178 pages

Dali Youcef N. (2005) : Contribution à l'étude des polluants métalliques dans les sédiments d'oued Tafna. Thèse de doctorat. Université de Tlemcen, 28 pages.

Dubreuil, P., Moreil, M. & Sechet, P. (1975) Comportement et interactions des paramètres physiques des petits bassins versants semi-arides et intertropicaux, *Hydrol*, 13(1), 13-36

Edwards D.C. and McKee T.B. (1997) Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Times Scales. *Atmospheric Science Paper*, 634, 1-30.

Ghenim A & Megnounif A. (2011) : Caractérisation de la sécheresse par les indices spi et ssfi (nord-ouest de l'algérie), Laboratoire "Eaux et Ouvrages dans Leur Environnement". Université de Tlemcen, Faculté de Technologie, 59-77

Giddings L, Soto M. (2005) : Standardized Precipitation Index Zones for México, *Instituto de Ecologia, Xalapa Veracruz*, 33-56.

Hisdal H. & Tallaksen, L.M. (2003) Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics : a case study for Denmark. *J Hydrol* 281, 230–247

Joetzer E : Variabilité interannuelle des sécheresses et leur réponse au changement climatique, Groupe de Météorologie de Grande Échelle et Climat, 38 pages.

McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration at time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17-23, Anaheim CA, 179-186.

Meddi H. & Meddi, M. (2009) Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie, 57-65.

Naresh K, Murthy C, Sesha Saib M. and Royb P. (2009) : On the use of Standardized Precipitation Index (SPI) for drought intensity assessment, Royal Meteorological Society.

Organisation météorologique mondiale WMO. (2012) : Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, Genève Suisse, 25 pages.

Shadeed S. (2013) : Spatio-temporal Drought Analysis in Arid and Semi-arid Regions: A Case Study from Palestine, RESEARCH ARTICLE, 11 pages.

Tinthoin R. (1948) : Les aspects physiques du tell oranais. Essais de morphologie du pays semi-aride. Edition Fouque. Oran, Algérie, 638 pages.

Vicente-Serrano S, Santiago Beguería and Juan I. López-Moreno. (2010) The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

Wilhite A and Glantz H., "Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions" (1985). Drought Mitigation Center Faculty Publications. 2

<https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/subseasonal/atlas/SPI-html/SPI-description.html>, consulté le 05/07/2021.

<https://journals.openedition.org/physio-geo/4388>, consulté le 17/08/2021.