



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABBES LAGHROUR DE KHENCHELA  
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Département d'Ecologie et Environnement

N° de série : .....

## Mémoire de fin d'études

*Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)*

**Spécialité : Ecologie Fondamentale et Appliquée**

*Impact des changements climatiques sur  
les ressources en eau Cas de la plaine  
f'kirina*

*Présenté et soutenu publiquement par :  
Salah Eddine MALAH & Haythem BOUALI*

Le : 19/06/2023

*Membres de jury :*

*Président du jury : Aroua Khaoula. M.C.B, Université abbes laghrour khenchela -algerie*

*Examineur : Mezhoud Amel. M.A.A, Université abbes laghrour khenchela -algerie*

*Encadreur : Ouanes Miyada. M.C.A, Université abbes laghrour khenchela -algerie*

*Année universitaire : 2022/2023.*

# Résumé

Le changement climatique, comme les climats extrêmes tels que les périodes de sécheresse, nuisent aux ressources en eaux souterraines ; cette recherche vise à explorer l'étendue spatiale et le schéma temporel des sécheresses historiques et leurs résultats. Les séries mensuelles de précipitations  $P$  (mm) et de températures  $T$  ( $^{\circ}$  C) ont servi de base à ce travail. Les données enregistrées de 1987 à 2020 ont été obtenues auprès de la station météorologique de l'Agence d'Ain Beida, située à la frontière nord de la plaine de F'kirina. L'indice standardisé des précipitations (SPI), l'indice de sécheresse de reconnaissance (RDI), l'indice standardisé d'évapotranspiration des précipitations (SPEI), l'évapotranspiration potentielle annuelle (PET) ont été calculés et utilisés pour décrire l'importance des événements climatiques ainsi que leur variabilité géographique et temporelle. Selon les résultats, la sécheresse est cyclique. Elle se produit presque tous les 4 à 5 ans. Qu'il y a une différence significative. L'IDR n'a pas suivi une tendance similaire à celle de l'IPS. Nous remarquons que SPI et RDI n'ont pas les mêmes classes de sécheresse chaque année à des échelles de temps différentes, trois mois et 12 mois. SPI et SPEI montrent que SPEI dépend de la variation de SPI et ETP ; les périodes de sécheresse s'expliquent par une insuffisance de l'équilibre hydrologique-sèche-météorologique (une augmentation de la température et une légère augmentation des précipitations) sur la période d'étude. Le changement climatique, donc une faible recharge "sécheresse hydrologique".

## ملخص

تغير المناخ حيث تؤثر المناخات المتطرفة مثل فترات الجفاف سلبيًا على موارد المياه الجوفية ، يهدف هذا البحث إلى استكشاف المدى المكاني والنمط الزمني للجفاف التاريخي وتأثيراته. كانت السلسلة الشهرية لهطول الأمطار P (مم) ودرجة الحرارة T (درجة مئوية) بمثابة أساس لهذا العمل. تم الحصول على البيانات المسجلة في الفترة من 1987 إلى 2020 من محطة الأرصاد الجوية التابعة لوكالة عين البيضاء الواقعة على الحدود الشمالية لسهل فكرينة. تم حساب المؤشر المعياري لهطول (SPI) ، ومؤشر التعرف على الجفاف (RDI) ، ومؤشر التبخر النتح المعياري (SPEI) ، والتبخر المحتمل السنوي (PET) واستخدامها لوصف أهمية الأحداث المناخية بالإضافة إلى تقلبها الجغرافي والزمني. وفقًا للنتائج ، فإن الجفاف دوري بطبيعته ويحدث كل 4-5 سنوات تقريبًا. نلاحظ أن IPS و IPS ليس لديهما نفس فئات الجفاف لكل عام على نطاقات زمنية مختلفة (3 أشهر ، 12 شهرًا). يتم تفسير فترات الجفاف من خلال عدم كفاية توازن الأرصاد الجوية الهيدرولوجية والجافة (زيادة في درجة الحرارة وزيادة طفيفة في هطول الأمطار) خلال فترة الدراسة. وفقا لتغير المناخ ، وبالتالي انخفاض التغذية "الجفاف الهيدرولوجي".

# Abstract

Climate change, like extreme climate such as drought periods, hurt Groundwater resource; this research is to explore the spatial extent and temporal pattern of historical droughts and their results. The monthly rainfall series P (mm) and temperature series T ( $^{\circ}$  C) were the foundation for this work. Recorded from 1987 to 2020 were obtained from the Agency Meteorological station of Ain Beida, located on the northern border of F'kirina Plain. The Standardized Precipitation Index (SPI), the Reconnaissance Drought Index (RDI), and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), The annual potential evapotranspiration (PET) was calculated and used to describe the significance of climate events as well as their geographical and temporal variability According to the results; drought is cyclical. It occurs almost every 4 to 5 years. That there is a significant difference. The RDI did not follow a trend similar to SPI. We notice that SPI and RDI do not have the same drought classes each year at different time scales, three months and 12 months. SPI and SPEI show that SPEI depends on the variation of SPI and ETP; the periods of drought are explained by an insufficiency of the hydrological-dry-meteorological balance (an increase in temperature and a slight increase in precipitation) over the study period. Climate change, thus a low recharge "hydrological drought."

# Dédicace

“

*Je dédie ce modeste travail :*  
*Aux êtres les plus chers à mon cœur, ceux qui ont*  
*sacrifié leur vie Pour ma réussite*  
*Ceux qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à*  
*mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je*  
*puisse atteindre mes objectifs Ma Mère et Mon Père,*  
*que Dieu les garde et les protège*  
*A ma sœur, Ouissal*  
*A mon frère, Mehdi*  
*A mon collègue Bouali Heythem*  
*À tous ceux qui m'ont vivement encouragé à réaliser ce*  
*travail*

”

**- Salah Eddine**

# Dédicace

“

*Je dédie ce modeste travail :*  
*Aux êtres les plus chers à mon cœur, ceux qui ont*  
*sacrifié leur vie Pour ma réussite*  
*Ceux qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à*  
*mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je*  
*puisse atteindre mes objectifs Ma Mère et Mon Père,*  
*que Dieu les garde et les protège*  
*A ma sœur, Hadjer*  
*A mes frères, Kamal , Ayoub , louay , mohamed lamine*  
*A mon collègue Malah Salah Eddine*  
*À tous ceux qui m'ont vivement encouragé à réaliser ce*  
*travail*

”

*- haythem*

# Remerciements

“

*Avant tout nous remercions notre bon dieu le tout puissant pour le courage et la force et la volonté qui nous a accordé pour accomplir ce travail.*

*Nous remercions bien sincèrement notre promoteur Mme OUNES Miyada votre compétence, votre accueil et votre encadrement ont toujours suscité notre profond respect. Nous vous remercions pour nous avoir suivis dans l'élaboration de ce travail et pour toute la confiance qu'elle a su nous témoigner durant cette étude.*

*Nous tenons aussi à exprimer nos plus grands respects et nos vifs remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu examiner ce travail.*

*Nous remercions vivement Si tayeb Khalida et Laalaouna Rania, nous leur souhaitons le meilleur dans leur carrière scientifique, ainsi que Nous nous remercions beaucoup pour ce travail que nous avons accompli sans problème les uns avec les autres.*

*Nos remerciements les plus chaleureux et les plus profonds s'adressent à nos familles pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs patiences.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près de loin à réaliser ce travail.*

”

# Table des matières

Résumé . . . . .	I
<b>II</b> . . . . .	ملخص
Abstract . . . . .	III
Dédicace . . . . .	IV
Remerciements . . . . .	VI
Liste des abréviations . . . . .	XI
Introduction générale . . . . .	1
<b>1 Recherche bibliographie . . . . .</b>	<b>3</b>
1 Introduction . . . . .	4
2 Le climat et les changements climatiques . . . . .	4
2.1 Le changement climatique . . . . .	4
2.2 Les effets du changement climatique . . . . .	5
3 La sécheresse . . . . .	6
3.1 Définition de la sécheresse . . . . .	6
3.2 Les types de sécheresse . . . . .	6
3.3 Les différents types de sécheresse . . . . .	7
3.3.1 La sécheresse météorologique . . . . .	7
3.3.2 La sécheresse agricole ou sécheresse des sols . . . . .	7
3.3.3 La sécheresse hydrologique . . . . .	7
3.3.4 La sécheresse socio-économique . . . . .	8
3.4 Conséquences et impact de la sécheresse . . . . .	8
3.4.1 Les principales conséquences de la sécheresse sont : . . . . .	8
3.4.2 Les principaux impacts de la sécheresse sont : . . . . .	9
4 Conclusion . . . . .	9
<b>2 Matériels et méthodes. . . . .</b>	<b>10</b>
1 La situation géographique et administrative . . . . .	11
2 Calcul automatique des indices de sécheresse . . . . .	13
2.1 Logiciel Drinc . . . . .	13
2.1.1 Entrée des données . . . . .	13
2.1.2 Processus de calcul. . . . .	14
2.1.3 Tableaux des données d'entrée et des résultats . . . . .	15

## Table des matières

---

3	Source et analyse des données climatiques . . . . .	16
3.1	Les facteurs climatiques . . . . .	17
3.1.1	La Précipitation . . . . .	17
3.1.2	La température . . . . .	18
3.1.3	Synthèse climatique . . . . .	19
3.2	Indices de sécheresse . . . . .	21
3.2.1	Indice standardisé des précipitations (SPI) . . . . .	22
3.2.2	Indice de sécheresse de reconnaissance (RDI) . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Résultat et Discussion.</b> . . . . .	<b>27</b>
1	Resultat . . . . .	28
2	L'application de l'indice standardisé des précipitations (SPI) . . . . .	29
3	Discussion . . . . .	35
	<b>Conclusion</b> . . . . .	<b>36</b>
4	Conclusion . . . . .	37
	<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>38</b>

# Table des figures

1	Les différents types de sécheresse. . . . .	8
2	Carte de la situation géographiques et administratif de la plaine de f'kirina.	12
3	Les données d'entrée les précipitations température pour calculer le PET, SPI , RDI. . . . .	14
4	Processus et paramètres pour le calcul des indices de sécheresse. . . . .	15
5	les résultats du calcul <archive meteo oum el bouagh>. . . . .	16
6	La distribution spatial de précipitation de la période d'étude (1987-2020) .	17
7	La distribution spatial de précipitation de la période d'étude (1987-2020) .	18
8	La température annuelle moyenne observée au cours de la période (1987 à 2020) . . . . .	19
9	présentation d'Indice d'aridité annuel de Martonne . . . . .	20
10	Indice d'aridité annuel de Martonne . . . . .	21
11	précipitation de la zone d'étude (1987/2019) . . . . .	28
12	Le climat de la zone d'étude (semi-aride) . . . . .	28
13	Variation des valeurs de la série temporelle annuelle de l'indice SPI pour F'kirina. . . . .	29
14	Variation des valeurs de la série temporelle annuelle de l'indice SPI pour F'kirina. . . . .	30
15	Comparaison des séries temporelles annuelles de SPI et RDI pour F'kirina.	30
16	SPI et RDI sur trois mois appliqués à la région de F'kirina pour la période.	31
17	Variations de l'ETP à F'kirina. . . . .	32
18	Variations interannuelles de l'indice SPEI à F'kirina : à 3 mois. . . . .	33
19	Variations interannuelles de l'indice SPEI à F'kirina :12 mois. . . . .	33
20	corrélation SPI et SPEI calculée sur 3 mois. . . . .	34
21	corrélation SPI et SPEI calculée sur 12 mois. . . . .	34

# Liste des tableaux

- 1 les coordonnées géographiques de la station d'Oum El Bouaghi (Ouanes, 2020). . . . . 16
- 2 Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI (Olivier et al., 2017) 23
- 3 Classification des sécheresses selon les valeurs de RDI(Olivier et al., 2017). 25
- 4 Classification des sécheresses selon les valeurs de SPEI (Tao et al., 2014). . 26

# Liste des abréviations

**RDI** Reconnaissance Drouaght Index

**SPI** Standard Precipitation Index

**SPEI** Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

**PDAU** Plan Directeur d'Aménagement Urbain

**ETP** Equivalent Temps Plein

# Introduction générale

L'eau est un élément naturel indispensable à la vie. C'est une richesse nécessaire à toute activité humaine, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur les ressources en eaux existantes ainsi que sur leur qualité. (Mohammedi, 2015)

En Algérie, l'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en Irrigation et l'industrie.

L'eau (en latin aqua), est un corps liquide à la température et à la pression normale, incolore, inodore et insipide, dont les molécules sont composées d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogènes, sa formule chimique est représentée par H<sub>2</sub>O et sa masse moléculaire est de 18g. L'eau se présente dans la nature sous trois états, liquide, solide et gazeux, les changements de phase de l'eau dépendent essentiellement de la température et de la pression. (Allouche, 2011)

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés et l'utilisation intensive des engrais chimiques en agriculture. Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités. De nombreux travaux se sont aussi rapportés sur l'étude des différents effets des rejets industriels et urbains sur l'évolution de la qualité et la pollution des eaux. (Reggam et al., 2015)

La problématique de l'eau est un problème de quantité et de qualité, c'est-à-dire de ressources et de pollution. La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que l'exploitation désordonnée des ressources en eau.

Ces derniers produisent une modification chimique de l'eau et la rendent propre aux usages souhaités. (Kettab et al., 2008)

Les sécheresses font partie d'un phénomène dangereux global. Comme le reste du monde, l'Algérie connaît une situation de sécheresse en raison du manque de précipitations imposée par les conditions climatiques.

Ce travail porte sur une étude d'application portant sur plusieurs indices de sécheresse avec des applications sur des séries hydro-pluviométriques de la région. Ces indices correspondent à différents types de sécheresse, y compris les sécheresses météorologiques et hydrologiques. En effet les logiciels de calcul des indices de sécheresse comme Drinc soft-

ware. Le calcul des indices climatiques comme l'indice standardisé de précipitation (SPI) et l'indice de sécheresse de reconnaissance (RDI) à différents échelles (annuelle, saisonnière et mensuelle) montre que la région f'kirina était affectée par une sécheresse sévère.

L'adaptation d'une méthode simplifiée par indices de sécheresse a facilité la caractérisation de la sécheresse pour divers utilisateurs et institutions. Les indices de sécheresse aident actuellement à la conduite de diverses opérations incluant l'avertissement hâtif de la sécheresse et son suivi, ainsi que la planification des contingences.

Le présent travail est composé de deux parties principales une présentation du logiciel de calcul des indices de sécheresse Drinc software et les différentes données qui seront utilisées, dans la seconde partie du chapitre qui représente une application et l'interprétation des indic pour la détermination de la sécheresse SPI et RDI et SPEI dont l'objectif est de faire une étude temporelle de la sècheresse dans la zone d'étude.

# Chapitre 1

## Recherche bibliographie

# 1 Introduction

Le changement climatique affecte la quantité et la qualité de l'eau en Algérie (Negm et al., 2020a, b). L'Algérie, comme plusieurs pays dans le monde, augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec l'augmentation des précipitations, Selon certains scientifiques, l'Algérie connaîtrait une diminution de 5 à 15% des précipitations en 2025 et une augmentation de la température entre 0,5% et 1,0%, avec 2 à 4°C supplémentaires dans les 100 années suivantes. L'Algérie est la nation la plus vulnérable lorsque tous les facteurs de risque sont pris en compte (Redjem et al., 2020)

Cette étude se concentre sur la plaine de F'kirina dans l'est de l'Algérie et se base sur des variables climatiques telles que la température et les précipitations ainsi que sur l'impact des sécheresses sur les principales sources d'eau et de nourriture de la région (SPI.RDI, SPEI)

## 2 Le climat et les changements climatiques

Le climat est la mesure moyenne de la température, du vent, de l'humidité, de la neige et de la pluie dans un endroit au fil des ans. Le climat est comme la météo, mais le climat mesure une longue période de temps, Le concept de changement climatique fait référence aux nouveaux modèles qui apparaissent sur le climat au cours d'une période et peuvent durer de nombreuses années qui peuvent atteindre des centaines, des milliers ou des millions d'années, et ce phénomène est l'un des phénomènes très anciens pour la planète, et les scientifiques ont pu identifier plusieurs épisodes de changement climatique dans l'histoire géologique de la Terre, mais il n'était pas aussi dangereux qu'il l'est maintenant, car de nombreuses raisons ont contribué à l'augmentation de l'étape du changement climatique, qui comprend divers facteurs météorologiques Tels que les températures, les vents, les taux de précipitations, etc. (Faci, 2021)

### 2.1 Le changement climatique

Le changement climatique fait référence aux changements à long terme dans les régimes de température et de temps. Ces changements peuvent être naturels, en raison de changements dans l'activité du soleil ou de grandes éruptions volcaniques. Mais depuis le XIXe siècle, les activités humaines ont été le principal moteur du changement climatique, principalement en raison de la combustion de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz. (Bourque, 2000)

La combustion de combustibles fossiles produit des gaz à effet de serre qui entourent la Terre comme un couvercle, emprisonnant la chaleur solaire et augmentant la température de la planète.

Le dioxyde de carbone et le méthane sont les principaux gaz à effet de serre responsables du changement climatique. Ils sont produits, par exemple, lors de la combustion de charbon ou d'essence pour chauffer un bâtiment. Le dioxyde de carbone peut également être libéré lors du défrichage et de la déforestation. Les principales sources d'émissions

de méthane sont le pétrole, le gaz et l'agriculture. Les principales industries contribuant aux émissions de gaz à effet de serre sont l'énergie, l'industrie, les transports, la construction, l'agriculture et l'utilisation des sols. (Arnaud et al., 2005)

### 2.2 Les effets du changement climatique

- L'élévation du niveau de la mer et ses effets sur les zones côtières : Dans un monde où le changement climatique est présent, la vitesse du vent peut augmenter. Le "vent du nord" est plus fréquent que d'habitude dans la région du golfe Persique et double les effets de l'élévation du niveau de la mer liée aux tempêtes sur les villes des Émirats arabes unis. L'augmentation de la production pétrolière et gazière en mer pourrait avoir un impact sur la main-d'œuvre en raison de l'augmentation du nombre de jours d'arrêt. En outre, les variations de la pression atmosphérique et de la température peuvent être provoquées par les vents du nord et le changement climatique. La surface de la mer, la géographie côtière, le risque plus important d'inondations et de catastrophes.
- Les effets fondamentaux du changement climatique sur la biodiversité marine : Biodiversité marine et côtière Elle est due à l'augmentation des températures, de l'acidité et de la salinité, ainsi qu'aux conséquences de l'élévation du niveau de la mer. L'un des risques les plus importants pour la température de l'eau de mer est l'augmentation de la fréquence et de la durée de l'élévation de la température de l'eau de mer. Les récifs coralliens sont en contact direct les uns avec les autres, et les taux de mortalité dus au blanchiment des coraux ont entraîné une perte de 20 % en une seule année. Les coraux ont poussé sur les coraux sous-marins en 0221, détruisant de nombreuses colonies. Le dernier épisode de blanchissement a eu lieu en 2002, et les communautés coralliennes ne se sont pas rétablies. Les épisodes de blanchissement des années 1990 sont très éloignés de cela.
- Compte tenu de la biodiversité terrestre. Le climat. Les conditions climatiques, ainsi que d'autres exigences, sont sans doute les plus cruciales. En outre, de nombreuses plantes sont déjà assez résistantes pour s'adapter aux changements dus à une sécheresse extrême. Toutefois, les espèces qui vivent dans des environnements secs ont atteint les limites de leur endurance physiologique. Les futures générations de plantes pourraient avoir besoin de conditions différentes de celles qui permettent la croissance des plantes actuelles. Par conséquent, alif Le changement climatique à venir rendra difficile la culture des zones touchées et la restauration des espèces disparues. En outre, la situation actuelle pourrait s'aggraver en raison du surpâturage et d'autres changements dans l'utilisation des terres provoqués par de nombreux effets du changement climatique.
- Santé et qualité de vie : Le changement climatique affecte tous les aspects environnementaux et sociaux importants, y compris l'eau propre, l'air pur, les aliments sains et une nutrition suffisante, et a un impact significatif et fondamental sur la santé publique. En raison de l'apparition de vagues de chaleur, des dizaines de milliers de personnes meurent chaque année à cause du changement climatique. En

outre, d'autres phénomènes météorologiques violents, des épidémies de maladies infectieuses, les conséquences de la faim et la pollution de l'environnement sont autant de facteurs de risque pour la santé publique.(Bedoum et al., 2014)

### 3 La sécheresse

Une sécheresse est une période prolongée de mois ou d'années au cours de laquelle une région remarque une pénurie de son propre approvisionnement en eau. En général, cela se produit lorsque la région reçoit constamment des précipitations inférieures à la moyenne. Cela peut avoir un impact significatif sur l'écosystème et le système agricole de la zone touchée. Bien que les sécheresses puissent durer plusieurs années, des sécheresses graves et courtes peuvent causer de graves dommages à l'économie locale.(Spittler, 1993)

#### 3.1 Définition de la sécheresse

La pénurie d'eau résulte de périodes prolongées de faibles précipitations (pluies, chutes de neige ou fonte des neiges). Le manque d'accès à l'eau pour la boisson, l'assainissement et les cultures peut entraîner une insécurité alimentaire, la propagation de maladies, la malnutrition et la famine, ainsi que des migrations et des pertes financières au sein des communautés. La production d'électricité, les transports et les besoins commerciaux ou industriels peuvent tous souffrir de la sécheresse.(Charre, 1977)

#### 3.2 Les types de sécheresse

- Le volume et la durée de la sécheresse tout au long de la saison sèche sont considérés comme résistants à la sécheresse. Elle est due à des conditions atmosphériques changeantes qui provoquent des déficits de précipitations dans différentes régions.(Jean, 2011)
- La sécheresse dans l'agriculture et la production alimentaire sont les principales victimes de la sécheresse agricole. Lors de la plantation, un manque d'humidité dans la couche arable peut empêcher la germination, réduisant ainsi les populations de plantes. Le faible niveau des nappes phréatiques ou des réservoirs, le manque de précipitations et la sécheresse agricole ont tous ces effets. (Robic et al., 1982)
- Sécheresse scientifique L'impact d'une pluviométrie insuffisante sur l'approvisionnement en eau est appelé sécheresse hydrologique. Dans les systèmes de stockage hydrologique tels que les réservoirs et les rivières, l'eau est fréquemment utilisée pour diverses raisons, notamment la lutte contre les inondations, l'irrigation, les loisirs, la navigation, l'hydroélectricité et l'environnement pour la faune et la flore. Lors d'une sécheresse, la concurrence pour l'eau dans ces systèmes de stockage s'intensifie et les conflits entre les utilisateurs de l'eau augmentent considérablement.(Ed-Daoudi and Me, 2014)

- Examen sociétal et économique. En raison de son lien avec les conditions météorologiques et la disponibilité de l'eau, la sécheresse socio-économique survient lorsque la demande d'un bien est supérieure à l'offre et qu'il y a pénurie. (Charre, 1977)

### 3.3 Les différents types de sécheresse

Il existe plusieurs types de sécheresse. D'importantes réserves d'eau souterraine n'empêchent pas les plantes d'avoir soif en été lorsqu'il ne pleut pas, et les sols secs ne sont pas toujours le signe d'une absence de pluie. *figure01* (Lod, 2012)

#### 3.3.1 La sécheresse météorologique

Le type de sécheresse le plus courant et le plus facile à détecter est la sécheresse météorologique : elle se produit lorsqu'il n'y a pas de pluie pendant une période prolongée. Le déficit hydrique est calculé en fonction des précipitations moyennes, ce qui rend la sécheresse météorologique relative. Par conséquent, si trois semaines sans pluie n'indiquent pas nécessairement une sécheresse dans la région méditerranéenne, c'est le cas en Bretagne. Comme la végétation reste en sommeil tout au long de l'hiver, la sécheresse météorologique qui se manifeste en été peut passer inaperçue. Pourtant, même en hiver, elle a des effets néfastes puisqu'elle empêche les nappes phréatiques de se reconstituer. (Jouilil et al., 2013)

#### 3.3.2 La sécheresse agricole ou sécheresse des sols

Un manque d'eau en surface de 1 à 2 mètres de profondeur est appelé sécheresse du sol. En hiver, lorsque la végétation est en sommeil, l'absence de pluie n'entraîne pas nécessairement une sécheresse du sol, car les racines absorbent relativement peu d'eau. Cependant, ce type de sécheresse est lié à l'absence de précipitations et de végétation. En revanche, le sol s'assèche plus rapidement au printemps ou en été lorsque la plante est active et prélève l'eau du sol pour la rejeter dans l'atmosphère par évapotranspiration. (Balaghi et al., 2007)

#### 3.3.3 La sécheresse hydrologique

Il y a sécheresse hydrologique lorsque les nappes phréatiques, les lacs, les rivières et les ruisseaux sont bas. Cette sécheresse peut être causée par plusieurs facteurs, notamment le manque de précipitations et l'infiltration de l'eau en profondeur dans le sol jusqu'à la nappe phréatique. Elle peut se produire soit parce que l'eau de pluie ruisselle au lieu d'être absorbée par le sol (sol imperméable, sol compacté), soit parce qu'elle est captée par la végétation avant d'atteindre le sous-sol.

Par arrêté préfectoral, les usages de l'eau peuvent être restreints (interdiction de remplir les piscines, d'arroser, de laver les voitures) lorsqu'une sécheresse hydrologique est constatée (par opposition à une sécheresse météorologique). (Bergaoui and Alouini, 2002)

### 3.3.4 La sécheresse socio-économique

la sécheresse socio-économique survient lorsque la demande en eau dépasse l'offre pour un bien particulier (usage domestique, agriculture, pêche, énergie). Ceci est le résultat des variations d'utilisation à la fois climatiques et humaines.

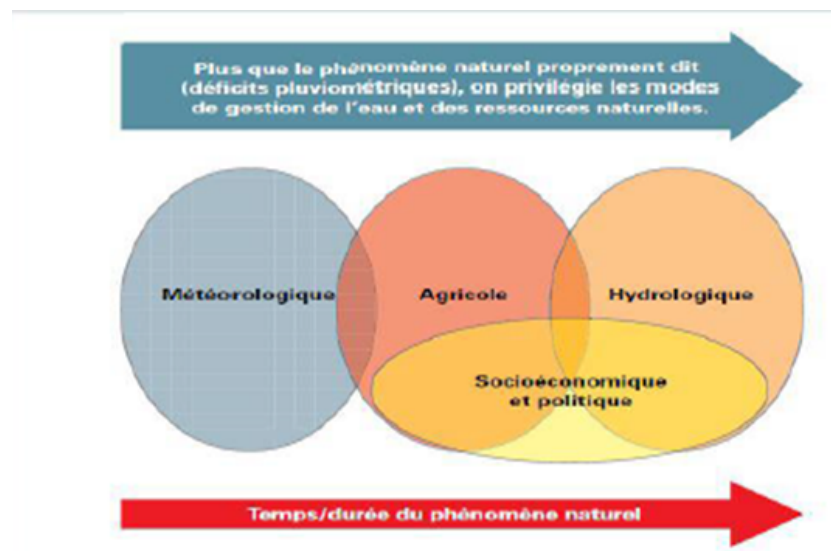


FIG. 1 : Les différents types de sécheresse.

## 3.4 Conséquences et impact de la sécheresse

### 3.4.1 Les principales conséquences de la sécheresse sont :

- En ce qui concerne la population en général : Les enfants et les personnes âgées sont particulièrement sensibles au stress thermique parce qu'ils n'ont pas la réaction et la motivation nécessaires pour boire afin d'éviter une déshydratation fatale.
- En ce qui concerne la faune, une pénurie d'eau a un impact sur les animaux qui s'abreuvent aux sources d'eau et sur les poissons qui vivent dans l'eau, selon la population.
- En ce qui concerne les forêts : la sécheresse entraînera une déshydratation accrue des arbres, ce qui pourrait conduire à leur disparition. De plus, l'aridité de la végétation favorisera la propagation des incendies.
- En ce qui concerne l'agriculture : En raison de la faiblesse des réserves d'eau, la sécheresse a des répercussions sur l'irrigation des terres agricoles (comme le blé en France).
- En ce qui concerne les sols : En automne, les sols arides ne pourront pas absorber la pluie et devront être réapprovisionnés en eau, ce qui entraînera des inondations et des glissements de terrain.

- En ce qui concerne l’approvisionnement en eau potable : En raison du niveau relativement bas des rivières et des nappes phréatiques, l’approvisionnement en eau domestique et l’évacuation des eaux usées doivent être adéquats. Dans certaines zones rurales, l’eau est rationnée ou coupée.
- En ce qui concerne la production d’électricité : Comme certaines centrales nucléaires doivent être refroidies à l’eau, elles doivent s’arrêter pendant les périodes de sécheresse et les vagues de chaleur, alors même que la demande d’électricité augmente : les réfrigérateurs, les ventilateurs et d’autres appareils qui consomment beaucoup d’électricité. (Rognon, 1994)

### 3.4.2 Les principaux impacts de la sécheresse sont :

- Déclin de la production et de la croissance des cultures agricoles et diminution du développement de l’élevage
- L’émergence de nombreux problèmes tels que la malnutrition, la famine, le chômage, la pauvreté et la migration
- Endommager la beauté de la nature et la gâcher, et diminuer la production d’électricité en raison de la pénurie d’eau.
- Le déclenchement de grands incendies.
- Détruire l’habitat d’origine de l’animal et le rendre vulnérable à l’extinction, et le faire migrer de ses terres.
- Désertification des terres et érosion due aux vents, aux infestations d’insectes et à la propagation de maladies des plantes.
- Préjudice pour le secteur du tourisme, car les touristes ne se rendent pas dans les zones touchées par la sécheresse. (Debaeke and Bertrand, 2008 ; Meisser et al., 2018 ; El Khorchani et al., 2007)

## 4 Conclusion

Incontestablement, les tendances actuelles du changement climatique sont à la hausse. Les émissions de gaz à effet de serre dues à l’activité humaine sont probablement le principal facteur à l’origine du réchauffement observé au cours des cinquante dernières années. Les prévisions indiquent que ces tendances se poursuivront et s’intensifieront tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle.

Le changement climatique a déjà des effets mesurables sur de nombreux systèmes naturels et humains. Nous prévoyons que ces effets s’étendront et s’aggraveront à mesure que les températures augmenteront. Certaines mesures d’adaptation ont déjà été prises et d’autres seront nécessaires pour faire face aux conséquences prévues. Les limites de l’adaptabilité existent toujours, et des mesures d’atténuation seront également nécessaires pour réduire la gravité des effets du changement climatique.

## Chapitre 2

### Matériels et méthodes.

## 1 La situation géographique et administrative

La plaine de f'kirina est localisé au Nord-Est de L'Algérie (figure 02) il présent une surface d'environ (650 km<sup>2</sup>) fait partie du sous bassins versant de Gareat Et-Taref leur superficie et de (2430 km<sup>2</sup>) et précisément partie des haute plateaux constantinois qui s'étalant sur une superficie de (9578 km<sup>2</sup>), elle est délimitée par les limites géographiques suivant au nord par la daïra de Ain Beïda au sud la Wilaya de Khenchela à l'est par la daïras de Dalaa et Meskiana et l'Ouest par la Daïras de Oum El Bouaghi .

Géographiquement elle se située aux coordonnées géographiques suivant - "N ; - "E ;  
Altitude moyenne = 800 m.

La région de Fkirina est drainée par deux importants cours d'eau au nord-est de la commune, il s'agit d'Oued Isfer et oued Oulmen dont l'écoulement est endoréique. En plus de ces importants oueds, on note une multitude de chéneaux et de ruisseaux s'écoulant des principaux reliefs et traversant la commune dans toutes les directions.

Ces ruisseaux convergent vers la plaine, et dépendent surtout des conditions climatiques donc, secs pendant presque toute l'année et n'entrent en action que lors des pluies torrentielles d'été et hivernales.

Elle est topographiquement délimité au nord elle insérée entre Djebel El Galaa-Kebira à (1246m) et Djebel el Kef lahmar atteignant (1248m) forme une ligne de partage des eaux au Nord –Est par la ligne des partages des eaux formée Djebel Amamat –el kebir (1337m) Djebel el forn (1184m) , Djebel el Djazia (1192m) et Djebel el bardo (1126m) a l'est par la ligne des partage des eaux formée par Djebel Guen ahmar (1236m) Djebel el-Medjifela (1242m) et Djebel Fedjidjet (1291m) au Sud-Est est insérée entre Djebel el kef –el Aassa (1117m) et Djebel Bou tokhma (1349m) au sud la ligne de partage des eaux formé Tebina (1226m) et à l'ouest une dépression endoréique .

La structure géologique simple se représente dans les montagnes calcaires qui forment la principale ligne du relief, d'altitudes très élevées et variables (supérieur à 1000 m), et de direction générale NE-SW ; dont les mouvements tectoniques sont très forts, elle est entourée par de larges plaines sous forme de plateaux où les interfaces de ruptures fortes qui permettent une grande perméabilité à l'eau, ce qui rend l'émergence de 3 zones : Zone Ouest (une région plat très large) ; zone Est (Cours interrompu par Oued Maskiana) ; et entre les deux régions du mont se compose de la marne et de la chaux.

La plaine, est entièrement recouverte de formations plio-quadernaires (Djoudi et al., 2019), on constate du bas vers le haut, une couverture de terrain constitué essentiellement de calcitep intercalante, des couches plus minces, de marne dure et d'argile ; et plus précisément on distingue :

- Les éboulis à blocs : sont des grosses masses de calcaires situées au piémont des montagnes et qui proviennent des éboulements.
- Les alluvions : forment l'unique et restreinte de l'oued Nini.
- Les sols salés : ils sont dispersés dans la plaine, surtout en allant vers l'Ouest près de Garat Et Tarf.

- Les glacis : on distingue deux types de matériaux constituant les glacis, les uns d'âge récent : couvrant de très vastes surfaces, les autres d'âge ancien formé de croûtes calcaires et sont perchés par rapport aux surfaces précédentes.

Donc en général, la plaine de F'kirina est caractérisé par une géologie complexe et qualifiée de grande tectonique. Les formations secondaires et tertiaires sont localisées à l'extrême Est, au Nord-Est et au Sud de la plaine, elle est recouverte par le Quaternaire.

La région de F'kirina fait partie du domaine des hautes plaines qui un climat rude, souvent semi-aride ou méditerranée steppique avec de fortes amplitudes annuelles, c'est-à-dire des étés chauds et secs souvent accentués par les vents du sud (25°C à 40°C) et des hivers froids (0°C à 4°C) en raison de l'altitude moyenne de 790m ainsi qu'une pluviométrie souvent irrégulière et insuffisante.

Le total pluviométrique varie d'une année à l'autre et le plus souvent, il est compris entre 400mm et 500mm. Les plus fortes précipitations sont enregistrées en hiver et au printemps. L'été est une région sèche et l'on a recours à l'irrigation pour certaines cultures.

Les vents dominants sont du nord vers le sud alors qu'en hiver, F'kirina reçoit les vents d'ouest et les vents du nord. En été la région subit le sirocco plus de 30jours, généralement durant les mois de juillet et d'aout.

Géographiquement elle se située aux coordonnées géographiques suivantes :

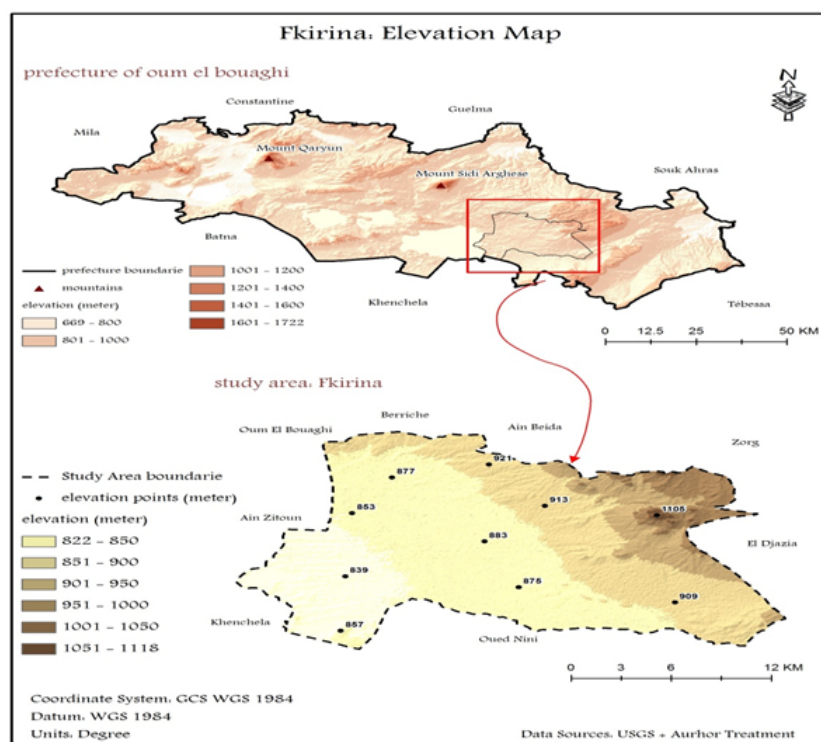


FIG. 2 : Carte de la situation géographique et administratif de la plaine de f'kirina.

La commune de F'kirina caractérisé par une morphologie à faible altitude, et par un couvert végétal maigre qui est le résultat du climat semi-aride de la région, la faible pluviométrie et aussi la forte salinité des eaux de la plaine.

## 2 Calcul automatique des indices de sécheresse

### 2.1 Logiciel Drinc

Drinc est un logiciel PC autonome fonctionnant sous les plates-formes Windows. L'objectif principal du logiciel est de faciliter la procédure de calcul des indices de sécheresse, qui peut être une tâche compliquée, en particulier dans le cas de l'évaluation de la distribution spatiale des indices. Drinc permet de calculer trois indices de sécheresse :

- SPI (Indice de Précipitation Standardisé).
- RDI (Indice de Sécheresse de Reconnaissance).
- Aussi : l'évapotranspiration potentielle avec la méthode de Thornwaite,

Installation du logiciel : La configuration système recommandée pour Drinc est un ordinateur à processeur Pentium 4 avec 128 Mo de RAM et une version de MS Excel (97 ou supérieure) installée. Exécutez l'application « Drinc setup.exe » pour initialiser la configuration du logiciel et suivez les instructions de l'assistant pour terminer le processus d'installation. Le programme Drinc est téléchargeable gratuitement.

#### 2.1.1 Entrée des données

Les données d'entrée sont les précipitations annuelles ou mensuelles pour le calcul des déciles et du SPI, tandis que des données d'évapotranspiration potentielle (PET) sont également nécessaires pour le calcul du RDI. Il est également possible d'utiliser les données de température pour calculer le PET selon la méthode de Thornthwaite. Notons qu'une série de données d'au moins 30 ans doivent être disponible pour obtenir des résultats fiables.

Les fichiers sont au format MS Excel. Pour le calcul des en base annuelle, les données peuvent être annuelles ou mensuelles, tandis que les données mensuelles peuvent être annuelles ou mensuelles.

Guide de démarrage 5 pour les calculs sur une base saisonnière (mensuelle, trimestrielle, semestrielle ou autre pas de temps), les données mensuelles sont utilisées pour les calculs sur une base annuelle. Autre pas de temps), des données mensuelles sont nécessaires.

En ce qui concerne les fichiers de données mensuelles, le logiciel est capable de reconnaître automatiquement la position des données et d'ignorer les autres informations incluses dans le fichier. Le format du fichier doit contenir une ligne avec le nom des mois (au moins la première lettre de chaque mois) de l'année hydrologique (octobre-septembre ou septembre). L'année hydrologique (octobre-septembre ou septembre-août). Les données de chaque année hydrologique sont placées dans des lignes sous le mois correspondant.

Les données annuelles doivent être placées dans une colonne (une valeur par année). Les fichiers de données sont sélectionnés dans la fenêtre Gestion des fichiers (menu > Données > Gestion des fichiers). Dans cette fenêtre, la pluviométrie et l'évapotranspiration

potentielle sont sélectionnées. Evapotranspiration potentielle (PET) sont définis, ainsi que l'année ainsi que l'année hydrologique la première année et l'année Si les données sont annuelles, la cellule où se trouve la valeur de la première année doit également être définie par l'utilisateur (figure 03).

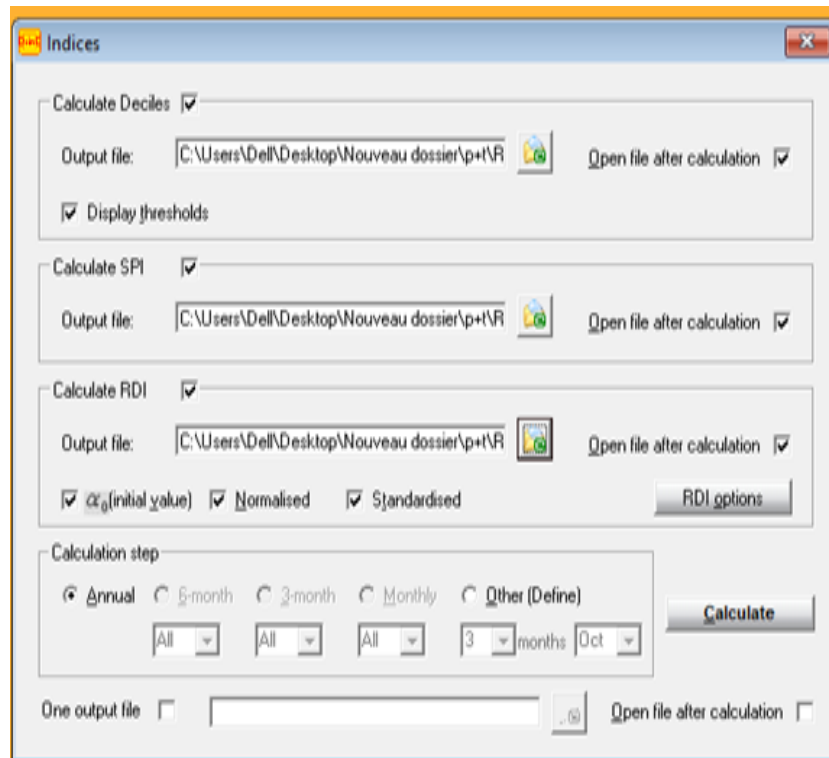


FIG. 3 : Les données d'entrée les précipitations température pour calculer le PET, SPI , RDI.

### 2.1.2 Processus de calcul.

Les paramètres pour le calcul des indices de sécheresse sont définis dans la fenêtre Indices (menu>Processus>Calculer les indices). En cochant les cases correspondantes, chaque indice (ou tous les tous les indices à la fois) sera calculé. Les résultats peuvent être sauvegardés dans des fichiers en définissant le nom des fichiers des fichiers de sortie dans les dans les zones de texte correspondantes, soit dans le même fichier pour tous les indices si l'étape de calcul annuel est dans le même fichier pour tous les indices si l'étape de calcul annuel est l'étape de calcul annuel est sélectionnée et que la case "Un fichier de sortie" est cochée.

Pour chaque indice, il existe différentes options de sortie. Pour les déciles chaque seuil de décile peut être affiché dans le fichier de sortie, alors que pour les déciles, chaque seuil de décile peut être affiché dans le fichier de sortie, pour l'IDR, chacune des différentes formes de l'indice peut être sélectionnée pour la sortie. Différentes formes de l'indice peuvent être sélectionnées pour la sortie. Plusieurs pas de temps sont disponibles pour le calcul : mensuel, trimestriel, semestriel, annuel et défini par l'utilisateur, 6 mois, annuel et défini par l'utilisateur.

Les fichiers de sortie produits sont au format MS Excel, afin de faciliter tout traitement ultérieur. Afin de faciliter tout traitement ultérieur. (figure 04).

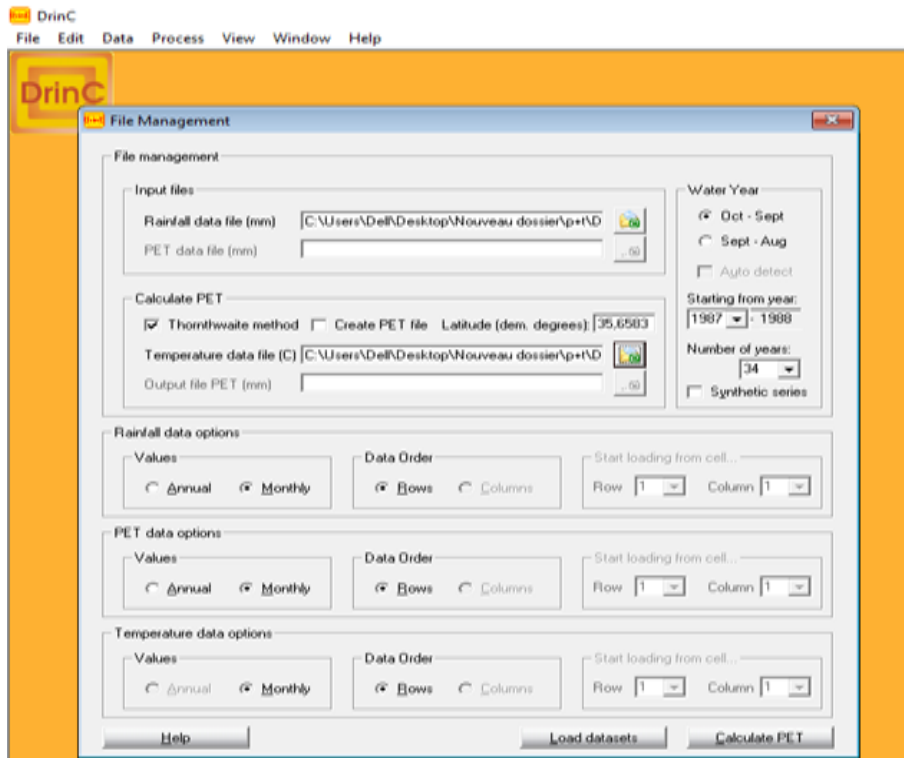


FIG. 4 : Processus et paramètres pour le calcul des indices de sécheresse.

### 2.1.3 Tableaux des données d'entrée et des résultats

Les données d'entrée et les résultats sont présentés dans des tableaux (menu > Process > Tableaux des données d'entrée et tableaux des résultats). Tableaux de données d'entrée et tableaux de résultats), qui peuvent être édités et sauvegardés dans de nouveaux fichiers. (figure 05).

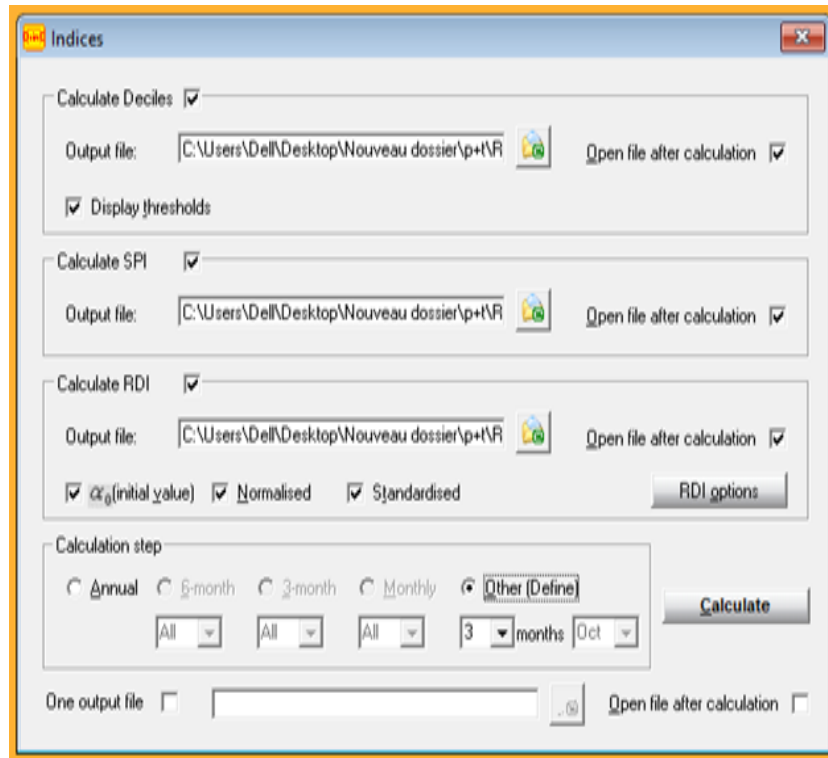


FIG. 5 : les résultats du calcul <archive meteo oum el bouagh>.

### 3 Source et analyse des données climatiques

Pour cette étude, les séries des données d'une période de (2017-avril 2021) qui sont à la base de la détermination de différents paramètres climatiques, ont été collectées auprès de la station pluviométrique d'Oum El Bouaghi, dont Les coordonnées géographiques sont représentées dans le tableau suivant :

TAB. 1 : les coordonnées géographiques de la station d'Oum El Bouaghi (Ouanes, 2020).

Station	Altitude	Latitude	Logitude
Oum El bouaghi	950m	35°N	7°E

L'application des indices climatiques à la plaine de f'kirina I s'est basée sur l'analyse des paramètres pluviométriques de l'étude et la combinaison des moyennes, des maxima et minima et du régime pluviométrique.

Le cycle des eaux souterraines et le climat sont étroitement liés. L'évolution du climat a une influence déterminante sur la variation de l'ensemble des réserves et les fluctuations des nappes phréatiques qui s'alimentent par infiltration directe et s'évacuent par évaporation au cours de la saison dans les pays arides et semi-arides.

Le climat intervient par sa composition hydrique (pluviométrie), qui gouverne fortement le régime des eaux souterraines et de surface, Pour l'Afrique du Nord les études sur le changement climatique indiquent que les précipitations annuelles sont susceptibles de diminuer au cours du 21ème siècle Gibelin, 2003, (Rahal, 2021)

### 3.1 Les facteurs climatiques

#### 3.1.1 La Précipitation

Le climat de F'kirina est un climat en mutation ; les indices climatiques jouent fréquemment un rôle important dans l'analyse du climat. En général, les indices climatiques basés sur les conditions météorologiques moyennes sur une période de temps constituent les indices d'aridité, qui sont définis par un manque d'humidité sans les intégrer tous les deux dans une équation qui capture leur interaction, l'analyse de P et T séparément ne serait pas aussi perspicace. Par conséquent, il peut être plus approprié d'étudier les indices climatiques qui intègrent de nombreux paramètres du climat.

La vapeur d'eau atmosphérique se condense en nuages qui engendrent des précipitations sous forme de pluies, de neige ou de grêles. Les précipitations qui constituent l'origine de presque toutes nos réserves en eau douce, sont variables d'une région à l'autre suivant le climat et le relief qui sont des facteurs essentiels (Chaffaut et al., 1998)

Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sècheresse globale du climat (Le Houerou and Hoste, 1977 ; Sara et al., 2017)

Selon Seltzer (1946), l'origine des pluies en Algérie est plutôt orographique. En effet, les précipitations varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagne et de l'exposition. De ce fait, les versants Nord et Nord-Ouest reçoivent plus de précipitations que les autres expositions. Ainsi les quantités de pluies Augmentent de bas en haut, selon un gradient pluviométrique altitudinal. (figure 06 & figure 07)

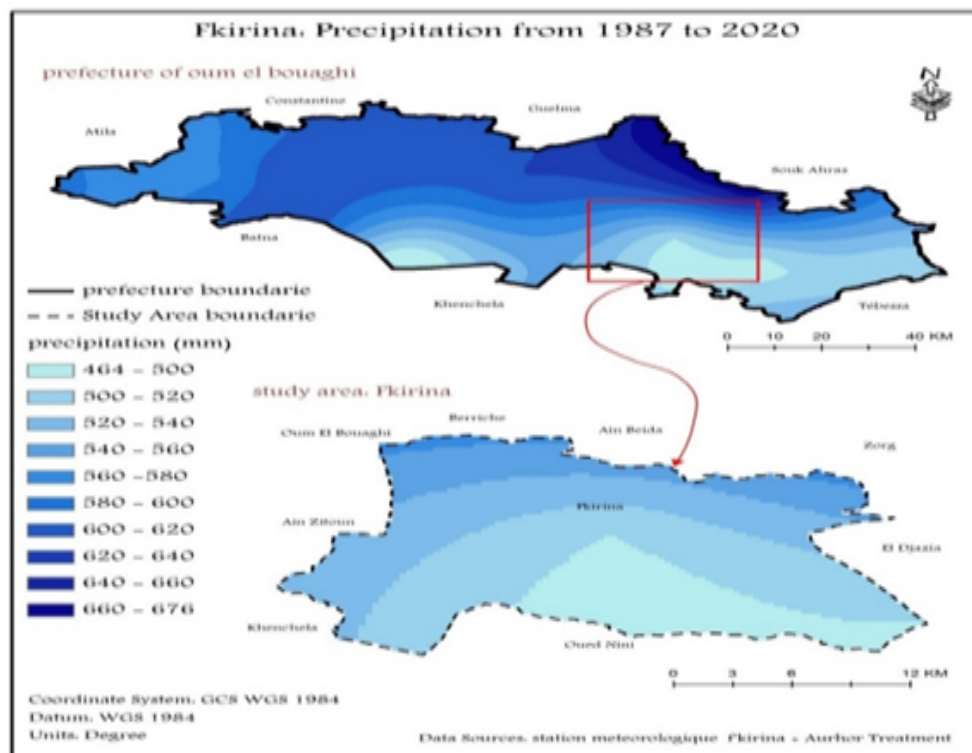


FIG. 6 : La distribution spatiale de précipitation de la période d'étude (1987-2020) .

avec une moyenne mensuelle de 47.49mm, tandis que juillet est le mois le plus sec



FIG. 7 : La distribution spatial de précipitation de la période d'étude (1987-2020) .

avec une moyenne mensuelle de 12.43 mm. Les précipitations moyennes mensuelles de la période (1995- 2020) sont de 664.1 mm.

### 3.1.2 La température

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique. (Salima et al., 2017)

La température est un facteur qui varie dans le temps et dans l'espace. L'effet de cette variation est marqué au niveau de l'amplitude thermique et aussi au niveau des températures minimales et même maximales. (Lakhdari, 2012)

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface (Toumi Nour Elhouda, 2021) La température est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques. (figure 08) (Mekaoussi, 2014).

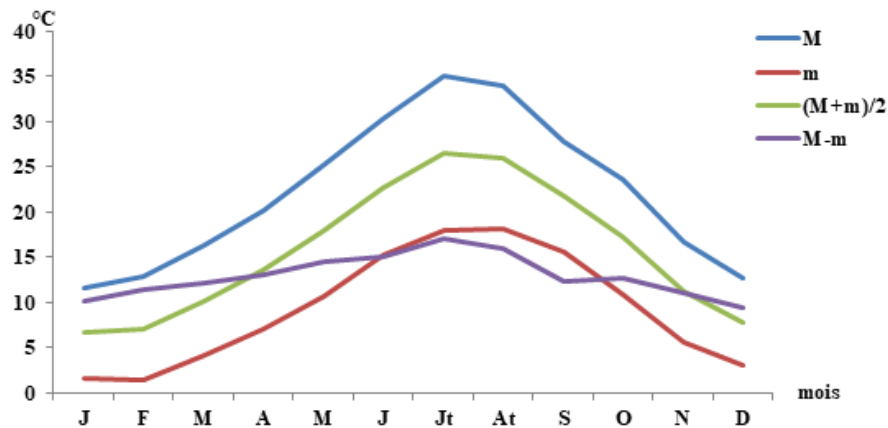


FIG. 8 : La température annuelle moyenne observée au cours de la période (1987 à 2020)

Contrairement aux précipitations, les saisons thermiques semblent bien tranchées (figure 08).

La saison chaude est l'Été avec une moyenne de 25.36°C, alors que la saison froide est l'hiver avec une moyenne de 7.07°C, Le maximum de température est atteint en Juillet, alors que le minimum se situe en Janvier.

### 3.1.3 Synthèse climatique

#### Indice d'aridité et de Martonne (1926)

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, de Martonne a définie comme fonction climatologique nouvelle l'indice d'aridité du climat par le quotient  $I$  ou IDM équivalant à  $P/(T+10)$ . Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température; l'évaporation étant considérée comme une fonction linéaire de la température. Il a été ajouté 10 aux moyennes thermométriques pour éviter les valeurs négatives de l'indice. De fait de sa simplicité, il a été beaucoup utilisé par les géographes.

$I = P \text{ (mm)} / T \text{ (}^\circ\text{C)} + 10$   $P$  : Précipitation annuelle (mm).  $T$  : Température moyenne annuelle ( $^\circ\text{C}$ ).

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Une faible aridité correspondant à des pluies abondantes et/ou des températures basses. De Martonne a proposé six grands types de climats selon les valeurs de l'indice annuel. (Aouidane, 2017)

Suivant les valeurs de (i), de Martonne a établi la classification suivante :

- $I < 5$  : climat Hyperaride;
- $5 < I < 7.5$  : climat désertique;
- $7.5 < I < 10$ : climat steppique;
- $10 < I < 20$ : climat semi-arid;

## Chapitre 2. Matériels et méthodes.

- $20 < I < 30$ : climat Tempéré;
- $30 < I < 45$ : climat humide. (Somaya, 2021)

Le climat de F'kirina est un climat de transition, les indices climatiques jouent souvent un rôle important dans l'analyse climatique. Les indices d'aridité, tels que définis par le manque d'humidité, sont essentiellement des indices climatiques basés sur les conditions climatiques moyennes au cours d'une période donnée.

L'analyse de P et T séparément ne serait pas aussi informative à moins qu'ils ne soient tous deux intégrés dans une équation représentant l'interaction entre eux. Par conséquent, les indices climatiques qui intègrent différents paramètres climatiques pourraient être plus appropriés pour être étudiés. (figure 09 & figure 10).

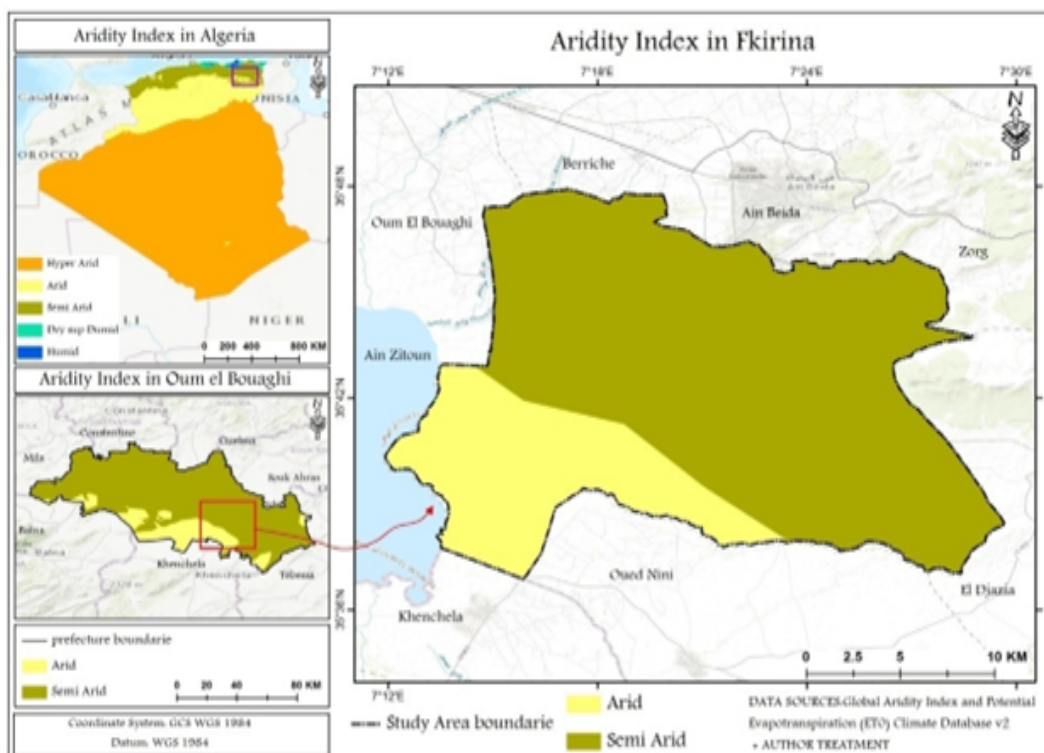


FIG. 9 : présentation d'Indice d'aridité annuel de Martonne .

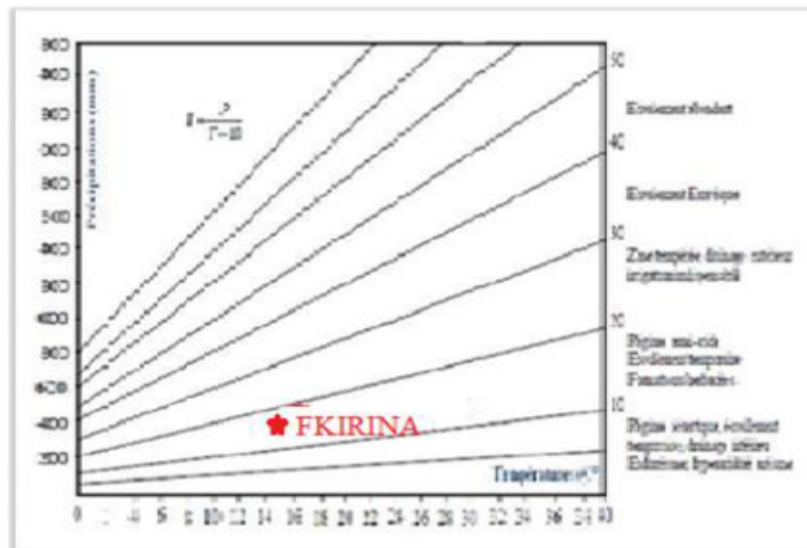


FIG. 10 : Indice d'aridité annuel de Martonne .

### Indice ombrothermique de Gaussen et Bagnouls (1952).

C'est encore à l'heure actuelle l'un des indices les plus utilisés. Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (en mm) et de la température (en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité. Celle-ci est appréciée à travers un indice de sécheresse S (indice ombrothermique) calculé en faisant la différence entre les courbes P et T pour le ou les mois les plus secs. Un mois donné est considéré comme sec quand  $P < 2T$ . Inversement, quand  $P > 2T$ , le mois est considéré comme humide (Dib and Khiari, 2018)

D'après Gaussen (1953), la sècheresse n'est pas nécessairement l'absence totale des pluies, mais elle se manifeste quand les faibles précipitations se conjuguent avec les fortes chaleurs. Le même auteur considère comme mois sec celui où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètres, est égal ou inférieur au double de la température moyenne exprimée en °C (Nedjar and Barkat, 2012).

## 3.2 Indices de sècheresse

Un indice de sécheresse est défini comme un signe apparent qui indique une probabilité les indices sont le plus souvent des représentations numériques de l'intensité des sécheresses, que l'on calcule à partir de valeurs climatiques ou hydrométéorologiques. Ils mesurent l'état qualitatif d'une sécheresse à un emplacement donné pour une période donnée à diverses échelles temporelles.

Afin de caractériser et d'identifier les sécheresses climatique et hydrologique, plusieurs indices ont été utilisés. Dans ce chapitre, on présente quelques méthodes de calcul de ces indices.

### 3.2.1 Indice standardisé des précipitations (SPI)

L'IPS a été défini comme l'indice de sécheresse très populaire utilisé pour identifier la sécheresse météorologique. Le calcul de l'indice SPI est simple car il ne dépend que des données de précipitations. (Jehanzaib et al., 2019) L'indice est principalement approprié pour la comparaison des conditions de sécheresse entre différentes données d'échelle temporelle et des régions avec des conditions météorologiques dissemblables (Bonaccorso et al., 2003; ?) Un événement de sécheresse se produit lorsque les valeurs de l'indice SPI sont continuellement négatives et atteignent une intensité de -1 et moins (McKee et al., 1981; Tefera et al., 2019) et se termine lorsque le calcul de l'indice SPI devient positif.

La probabilité d'occurrence des précipitations est la base de l'indice standard de précipitations (SPI) pour chaque échelle de temps prévue pour le suivi et la détermination de la sécheresse.

Cet indice est calculé pour des échelles de temps de 1, 3, 6, 9, 12, 18, 24 et 48 mois. Selon l'échelle de temps choisie, l'indice SPI permet différentes interprétations. L'IPS à 1 mois reflète le court terme et les conditions de son application peuvent être étroitement liées à l'humidité du sol; l'IPS à 3 mois fournit une évaluation saisonnière des précipitations; les IPS à 6 et 9 mois indiquent la tendance à moyen terme des précipitations. Les IPS à 12 mois et plus reflètent la tendance à long terme. Ils sont généralement liés aux débits des cours d'eau, aux taux de remplissage des réservoirs et même aux niveaux statiques des eaux souterraines (Gallay, 2017) et il est relativement facile et simple à calculer :

$$\mathbf{SPI} = \mathbf{P_i} - \mathbf{P_m} / \sigma \quad (2.1)$$

Où

- **P<sub>i</sub>** est la pluviométrie annuelle (mm)
- **P<sub>m</sub>** la pluviométrie moyenne (mm),
- **σ** l'écart-type

Les critères définis dans le tableau 02 sont utilisés pour classer les années sèches et humides sur la base de cet indice (McKee, 1993).

La série de données de longue durée est ajustée à une distribution de probabilité que l'on transforme ensuite en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen du lieu considéré et pour le laps de temps étudié soit égal à zéro. Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives indiquent des précipitations inférieures à celle-ci. L'indice SPI indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive.

TAB. 2 : Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI (Olivier et al., 2017)

SPI Valeur	Séquence de sécheresse
$\geq +2.0$	Extrêmement humide
+ 1.50 to + 1.99	Très humide
+ 1.00 to + 1.49	Modérément humide
+ 0.99 to - 0.99	Proche de la normale
- 1.00 to - 1.49	Modérément sec
- 1.50 to - 1.99	Très sec
$\leq -2.0$	Extrêmement sec

### A. Les avantages de la méthode SPI

L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation : il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps. Quand il porte sur un laps de temps relativement court (entre 1 et 3 mois), l'indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et évaluer leur gravité.

L'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents. Sa nature probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien à la prise de décision

### B. Les inconvénients de la méthode SPI

Le bilan hydrique du sol n'étant pas pris en compte. L'indice ne permet pas le calcul du rapport : évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP). L'indice SPI ne repose que sur les relevés des précipitations.

### C. Interprétation du SPI pour une période plus ou moins longue

#### Indice SPI sur 1 mois

Une carte de l'indice SPI calculé sur 1 mois ressemble beaucoup à une carte représentant le pourcentage de la normale des précipitations pour une période de 30 jours. L'indice SPI sur 1 mois se terminant fin novembre établit la comparaison entre le total mensuel des précipitations pour novembre de l'année examinée et les totaux mensuels des précipitations en novembre de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. L'indice SPI sur 1 mois représente des conditions à courte échéance. Ses applications sont en rapport étroit avec les sécheresses de type météorologique ainsi qu'avec l'humidité du sol à court terme. Il est possible de mal interpréter l'indice SPI sur 1 mois si l'on ne tient pas compte des caractéristiques climatiques du lieu. Dans les régions où il est normal que les pluies soient faibles au cours d'un mois donné, il est possible d'obtenir des valeurs négatives ou positives importantes alors que l'écart par rapport à la moyenne est relativement faible.

#### Indice SPI sur 3 mois

L'indice SPI sur 3 mois établit la comparaison entre le total des précipitations sur la période de trois mois examinés et les totaux des précipitations pour cette même période de trois mois de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. L'indice SPI sur 3 mois fournit une indication sur les conditions d'humidité à courte et moyenne échéances et une estimation des précipitations sur une saison. Il importe de comparer l'indice SPI sur 3 mois

à des laps de temps plus longs. Il est possible que des conditions relativement normales voire humides se produisent durant trois mois au milieu d'une sécheresse s'étalant sur une durée plus longue. Tout comme l'indice SPI sur 1 mois, l'indice SPI sur 3 mois peut prêter à confusion dans le cas de régions au climat normalement sec durant la période de 3 mois examinée. Des valeurs négatives ou positives importantes de l'indice SPI peuvent être associées à des cumuls de précipitations ne s'écartant que peu de la moyenne.

### **Indice SPI sur 6 mois**

L'indice SPI sur 6 mois établit la comparaison entre les précipitations sur la période de six mois examinés et les totaux des précipitations pour cette même période de six mois de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. L'indice SPI sur 6 mois fournit une indication sur les tendances des précipitations sur une saison et jusqu'à moyenne échéance, on considère que pour cette échelle de temps, il présente encore davantage de sensibilité aux conditions que l'indice Palmer. Un indice SPI sur 6 mois peut se révéler très performant pour mettre en évidence les précipitations sur des saisons bien précises.

### **Indice SPI sur 9 mois**

L'indice SPI sur 9 mois fournit une indication sur les régimes de précipitations inter-saisonniers à moyenne échéance. En général, il faut au moins une saison pour que des conditions de sécheresse s'installent. Un indice SPI établi sur 9 mois et présentant des valeurs inférieures à -1,5 est habituellement un bon indicateur de conditions sèches aux conséquences importantes pour l'agriculture et pouvant affecter d'autres secteurs également.

### **Indice SPI sur 12 mois et jusqu'à 24 mois**

À ces échelles de temps, l'indice SPI fournit une représentation des régimes de précipitations à longue échéance. L'indice SPI sur 12 mois établit la comparaison entre les précipitations sur une période de 12 mois consécutifs et celles enregistrées sur la même série de 12 mois consécutifs de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. Étant donné que ces échelles de temps constituent le cumul de périodes plus courtes pouvant se situer au-dessus ou au-dessous de la normale, les valeurs des indices SPI établis pour une période relativement longue tendent à graviter autour de zéro, à moins qu'une tendance humide ou sèche bien distincte ne se soit installée. Les indices SPI pour ces échelles de temps sont en général associés au débit des cours d'eau, au niveau des réservoirs et au niveau des eaux souterraines à relativement long terme.

### **3.2.2 Indice de sécheresse de reconnaissance (RDI)**

L'indice de sécheresse de reconnaissance (RDI) a été développé par Tsakiris et Vangelis à l'Université technique nationale d'Athènes pour aborder le déficit en eau de manière plus précise, comme une sorte d'équilibre entre entrée et sortie dans un système d'approvisionnement en eau. Cette méthode est basée sur le rapport entre deux quantités agrégées de précipitation et d'évapotranspiration potentielle. Le rôle de l'ETP dans la détection des épisodes de sécheresse a été utile dans le développement d'un nouvel indice d'identification et d'évaluation de la sécheresse de reconnaissance existe de nombreuses équations pour calculer l'évapotranspiration potentielle, parmi ces méthodes : formule de Thornthwaite (1948), formule de Turc (1961), formule de BlaneyCriddle (1950), formule

de Penman-Monteith (1965) et la formule de Hargreaves (1985). Les valeurs RDI sont calculées pour quantifier le déficit de précipitations pour des échelles de temps multiples. Les valeurs RDI positives indiquent des précipitations supérieures à la moyenne et les valeurs négatives indiquent des précipitations inférieures à la moyenne. Les valeurs positives de l'indice RDI indiquent des périodes humides, tandis que les valeurs négatives indiquent des périodes sèches par rapport aux conditions normales de la région. Selon (Tigkas and Tsakiris, 2015) . Cette étude a calculé les valeurs RDI à une échelle de temps. RDI-12 a été utilisé pour évaluer la sécheresse annuelle (1987-2020).

TAB. 3 : Classification des sècheresses selon les valeurs de RDI(Olivier et al., 2017).

RDI Valeur	Séquence de sécheresse
> 2.00	Extrêmement humide
+ 1.50 to + 2.00	Très humide
+ 1.00 to + 1.50	Modérément humide
- 0.50 to + 0.50	Proche de la normale
- 1.50 to - 1.00	Modérément sec
- 2.00 to - 1.50	Très sec
< -2.0	Extrêmement sec

### Les avantages du RDI

Grâce à l'intégration de l'évapotranspiration potentielle, le bilan hydrique global de la région est mieux représenté que dans le SPI, ce qui donne une meilleure idée de l'intensité de la sécheresse. L'indice peut être calculé avec de nombreux pas de temps, comme le SPI (.....).

### Les inconvénients du RDI

Des erreurs peuvent se glisser dans le calcul de l'évapotranspiration potentielle quand l'estimation tient uniquement compte des températures. Aux échelles mensuelles, la réaction de l'indice peut être trop lente dans le cas de phénomènes qui se développent rapidement (.....)

### L'indice standardisé d'évapotranspiration des précipitations SPEI

Nous décrivons ici un indice de sécheresse multiscalair simple (le SPEI) qui combine les précipitations et la température. Le SPEI utilise la différence mensuelle (ou hebdomadaire) entre les précipitations et le PET. Ceci représente un simple bilan hydrique climatique (Thornthwaite1948) qui est calculé à différentes échelles de temps (1-3-6-9-12-24 mois) pour obtenir le SPEI Ce nouvel indice de sécheresse appelé l'indice standardisé d'évapotranspiration des précipitations développé par (Vicente-Serrano et al., 2010) a apporté une solution aux limitations de l'indice de sécheresse multiscalair (SPEI).

Les données sont extraites du moniteur mondial de la sécheresse SPEI : [spei.csic.es](http://spei.csic.es) Ce moniteur offre des informations en temps quasi réel sur les conditions de sécheresse à l'échelle mondiale, avec une résolution spatiale de 0,5 degré et une résolution temporelle mensuelle.

Les résultats obtenus ont suivi la standardisation de la classification proposée par

(Comptour, 2017). Le tableau 04 présente la classification de l'intensité humide et sèche sur la base des valeurs SPEI

TAB. 4 : Classification des sécheresses selon les valeurs de SPEI (Tao et al., 2014).

SPEI Valeur	Séquence de sécheresse
$\geq 2.00$	Extrêmement humide
+ 1.50 to + 1.99	Très humide
+ 1.00 to + 1.49	Modérément humide
- 0.99 to + 0.99	Proche de la normale
- 1.49 to - 1.00	Modérément sec
- 1.99 to - 1.50	Très sec
$\leq -2.00$	Extrêmement sec

## Chapitre 3

### Résultat et Discussion.

## 1 Resultat

Le climat de la zone d'étude est semi-aride. L'histogramme des précipitations mensuelles montre que mai est le mois le plus humide avec une moyenne mensuelle de 44,83 mm tandis que juillet est le mois le plus sec avec une moyenne mensuelle de 12,43 mm. La température maximale moyenne observée pendant la période d'étude était de 29°C et la température minimale de 3,4 °C. (figure 11 & figure 12). Les précipitations se sont concentrées en automne, avec de faibles précipitations mensuelles en été (juillet).

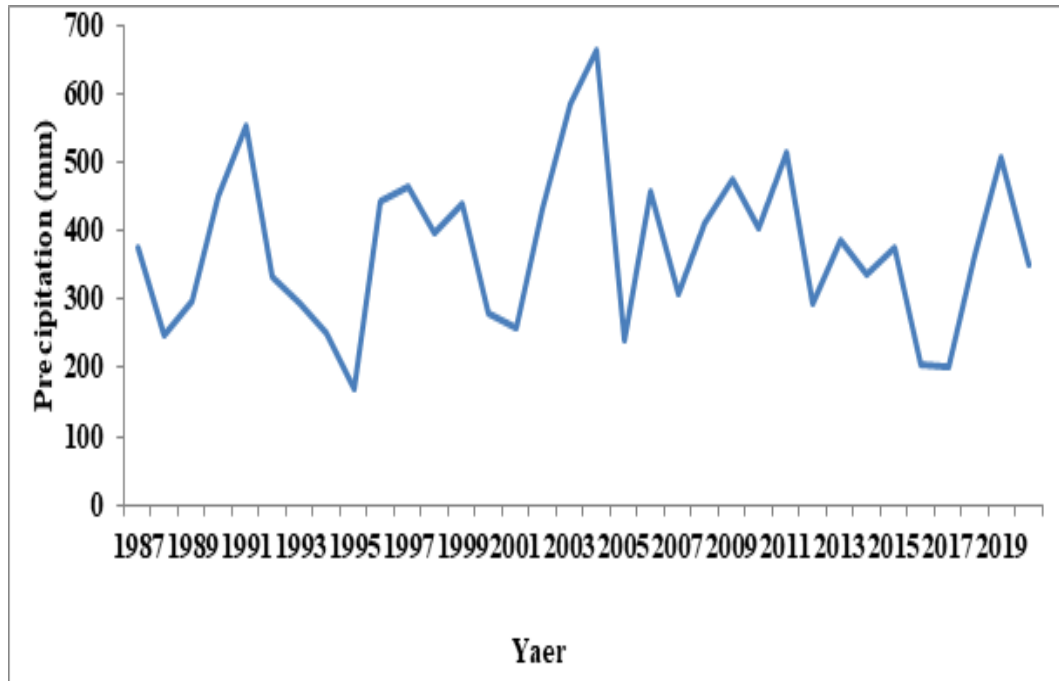


FIG. 11 : précipitation de la zone d'étude (1987/2019) .

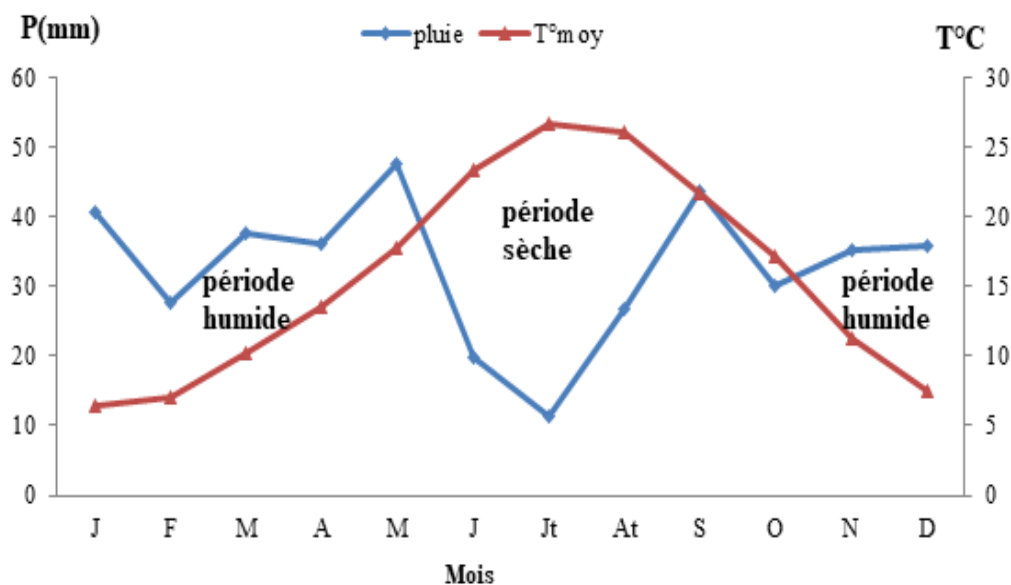


FIG. 12 : Le climat de la zone d'étude (semi-aride) .

Le diagramme ombrothermique de la région de F'kirina montre l'existence de deux saisons :

- Saison sèche et chaude, elle commence de mois de Mai jusqu'au Mois de Aout.
- Saison humide et froide, elle commence de mois de septembre jusqu'au Mois de Avril.
- La superposition des deux courbes [P (mm) et T (°C)] permet ainsi de définir la période sèche.

## 2 L'application de l'indice standardisé des précipitations (SPI)

L'indice de sécheresse de la région de F'kirina par la méthode SPI a montré que parmi les 34 années, sous SPI, une période d'attente, où les précipitations sont au-dessus de la moyenne, l'année 2004 a été l'attente extrême, cependant, pour les 4 années (1991,2003,2011,2019) il a été modérément attendu cette période enregistre un léger déficit avec un excès de précipitations. Une période normale où les précipitations sont sensiblement égales à la moyenne, la classification de la sécheresse de chaque année caractérisée par une précipitation très inférieure à la normale (1987, 1989, 1990, 1992, 1993, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2018, 2020) était proche de la normale (figure.13).

Les années les plus touchées relèvent de la catégorie des sécheresses extrêmes.). Les années les plus touchées se situent dans la catégorie extrêmement sèche (1995), extrêmement sèche en raison de la très faible occurrence des précipitations au cours de cette année avec une moyenne annuelle de 168 mm et sévèrement sèche (2016, 2017), il y a eu une forte occurrence de sécheresses sévères dans toutes les régions et les autres années de sécheresse (1988, 1994, 2001, 2005) étaient dans la catégorie modérément sèche.

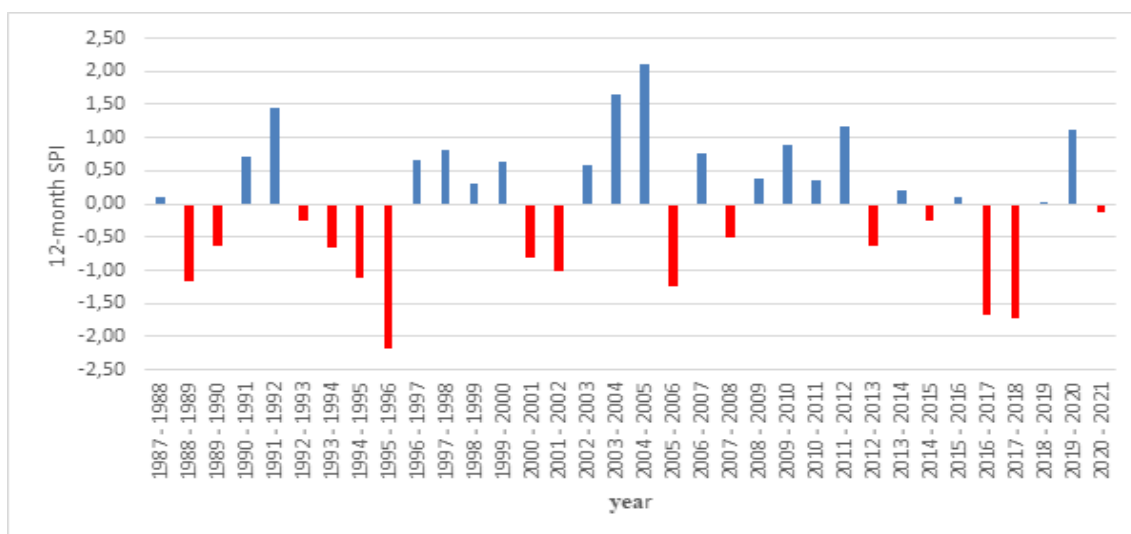


FIG. 13 : Variation des valeurs de la série temporelle annuelle de l'indice SPI pour F'kirina.

### Chapitre 3. Résultat et Discussion.

L'application de l'Indice de Sécheresse de Reconnaissance (IDR) pour l'évaluation des sévérités de la sécheresse, pour 34 ans, période (1987 à 2020) l'IDR n'a pas suivi la tendance similaire à SPI, l'année (2003,2004) la période extrêmement attendue (figure14), pour la période de (1996,1997,1999, 2000,2001,2002,2006,2008,2009,) il a été modérément attendue cette période avec un excès de précipitations. Cependant l'IDR pour l'année (1995, 1998, 2005, 2007, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020) l'a montré comme proche de la normale. Et pour les années 2010, il s'agissait d'une catégorie modérément sèche.

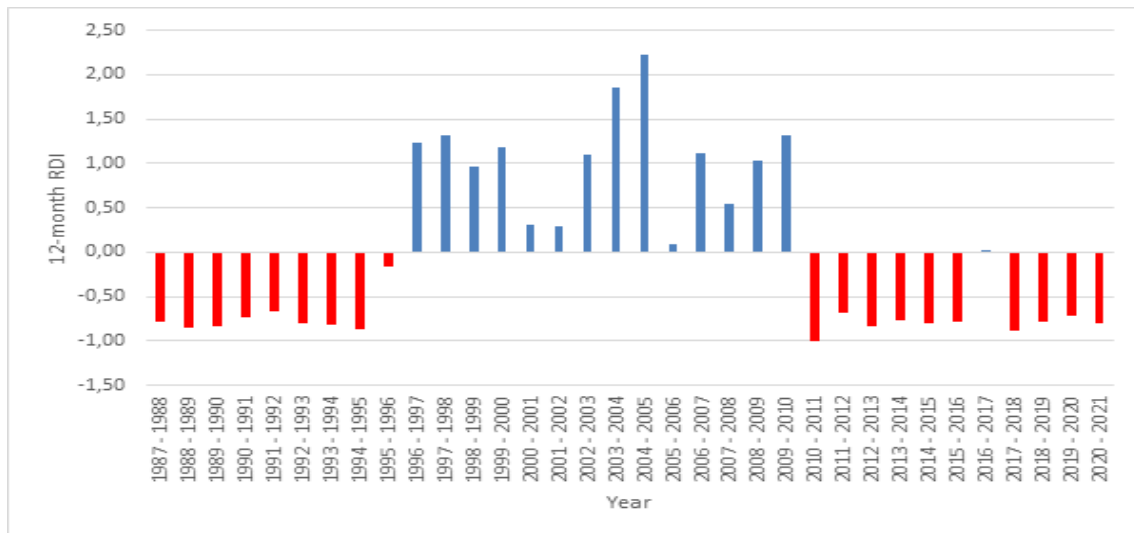


FIG. 14 : Variation des valeurs de la série temporelle annuelle de l'indice SPI pour F'kirina.

Les deux indices météorologiques de sécheresse ont été choisis, l'indice standardisé des précipitations (SPI) et l'indice de reconnaissance de la sécheresse (RDI), afin de déterminer la durée et la gravité de la sécheresse (figure 15).

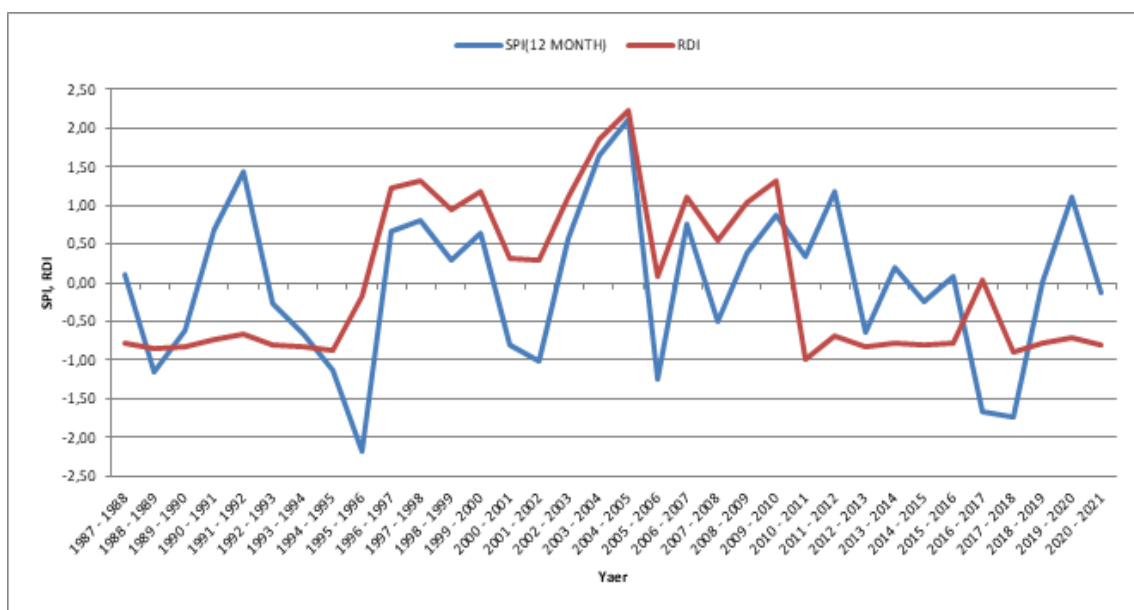


FIG. 15 : Comparaison des séries temporelles annuelles de SPI et RDI pour F'kirina.

L'application de l'indice SPI-3 mois et de l'indice RDI-3 mois permet d'évaluer les tendances et les caractéristiques des précipitations saisonnières.

L'évaluation des tendances et des caractéristiques des précipitations saisonnières par SPI à l'échelle de 3 mois, les années (1989), deux années (1995-1996), une année (2012) ont été identifiées comme des périodes de sécheresse consécutives. Parmi ces années, 1989 et 2012 ont été modérément sèches, tandis que (1995-1996) ont été sévèrement sèches.

A l'échelle saisonnière 3- mois RDI, soixante et une années (1995 - 2010), une année (2017) ont été détectées comme des périodes de sécheresse consécutives. Parmi ces années, 1995 - 1996 - 1997 - 1998 - 1999 - 2000 - 2001 - 2002 - 2003 - 2004 - 2005 - 2006 - 2007 - 2008 - 2009 - 2010 et 2017 ont été modérément sèches. (figure 16) montre que (1995 - 2010) et 2017 ont été des périodes de sécheresse persistantes, modérément sèches ont été détectées comme des périodes de sécheresse consécutives.

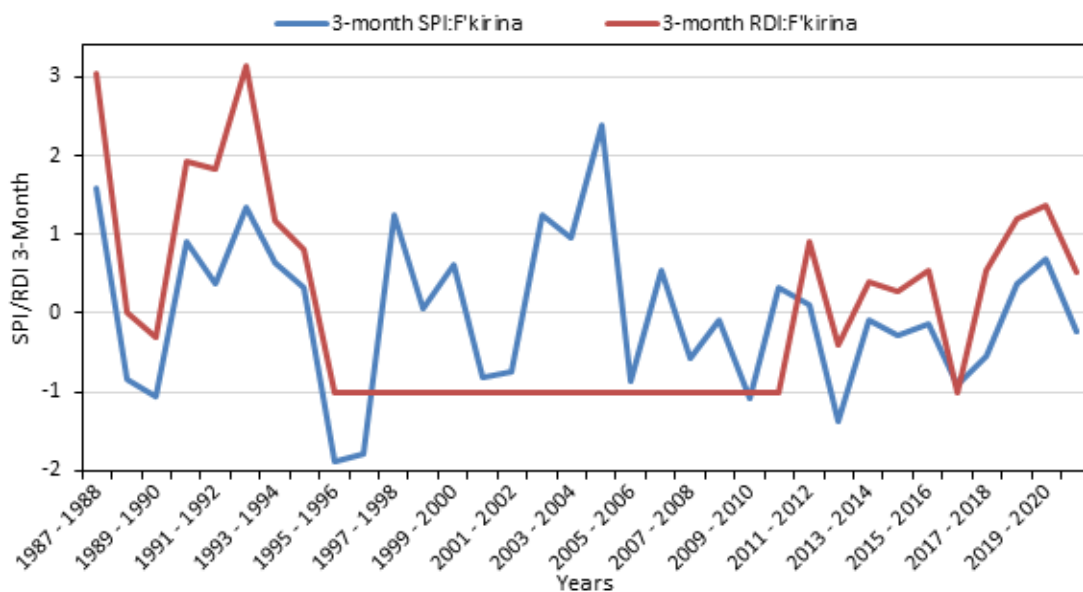


FIG. 16 : SPI et RDI sur trois mois appliqués à la région de F'kirina pour la période.

Les résultats montrent que les deux indices détectent une sécheresse généralisée entre (1988 - 1990) et (1995 - 2010) et (2013 - 2017) suivie d'un état presque sec, et d'un état humide dans les années 1987 et entre (1991 - 1994). Cependant, il existe des différences marquées entre les deux indices. Les plus évidentes apparaissent en comparant l'indice SPI avec les indices RDI, en particulier dans les périodes (1995 - 2010) et 2017 dans lesquelles l'échelle de temps de 3 mois caractérisée par des quantités d'ETP pertinentes, tandis que dans la période de gravité maximale et de diffusion spatiale de la sécheresse, les différences deviennent plus évidentes entre l'indice SPI et RDI apparaît à la période (1995-2010) et 2017 de la période de sécheresse.

Dans cette période, SPI détecte une condition humide et normale pour toutes les provinces L'explication réside dans les précipitations élevées, tandis que les autres indices RDI montrent des conditions sèches dans cette période, les indices basés uniquement sur les précipitations et l'ETP (figure 17) indiquent la totalité de la période de 3 mois ou 12 mois comme modérée ou sévère humide.

On peut supposer qu'il y a de fortes indications de changement climatique sur une base

annuelle et saisonnière offrant une description trompeuse des conditions hydrologiques réelles de toute la période.

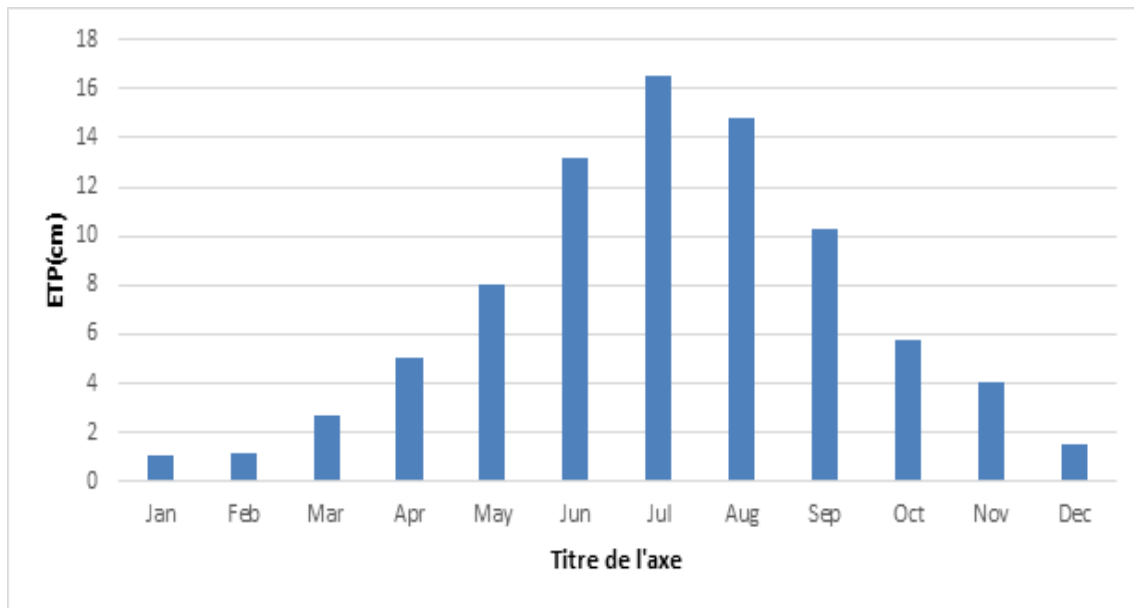


FIG. 17 : Variations de l'ETP à F'kirina.

Identification des événements secs et humides au cours de la période d'étude (1987-2020) afin d'analyser les caractéristiques temporelles des événements secs à grande échelle dans le contexte du changement climatique. L'indice SPEI sur 3 et 12 mois a été choisi pour refléter l'état d'humidité annuel. Si l'indice SPEI est inférieur à - 1, il s'agit d'un état de sécheresse. De même, si l'indice SPEI est supérieur à 1, il s'agit d'un état humide.

L'analyse des figures 16 et 17 montre clairement une tendance à l'augmentation des séquences de sécheresse. Les séries d'indices SPEI sur 3 et 12 mois montrent toutes une tendance à l'assèchement. Sur la base des valeurs SPEI sur 3 ans (1987-1988-1989-1994-1995-1997-1998-2000-2001-2008-2013-2015-2018), la sécheresse a été normale. Toutefois, les années les plus touchées par la sécheresse sont 1993, 2012, 2014, 2016, 2017 et 2020.

Cette sécheresse est beaucoup plus apparente à l'échelle de temps de 12 mois, qui montrent la sécheresse en particulier pour la période (1990, 1993, 1997, 2000, 2006, 2007, 2008, 2013, 2014, 2015, 2018, 2019), la zone d'étude a été principalement caractérisée par des conditions sévères et sèches dans les années (1988, 1989, 1994, 1995, 2001, 2002, 2016, 2017, 2020). Cependant, les sécheresses se sont aggravées au cours de la période (2016, 2017, 2020). (figure 18 & figure 19).

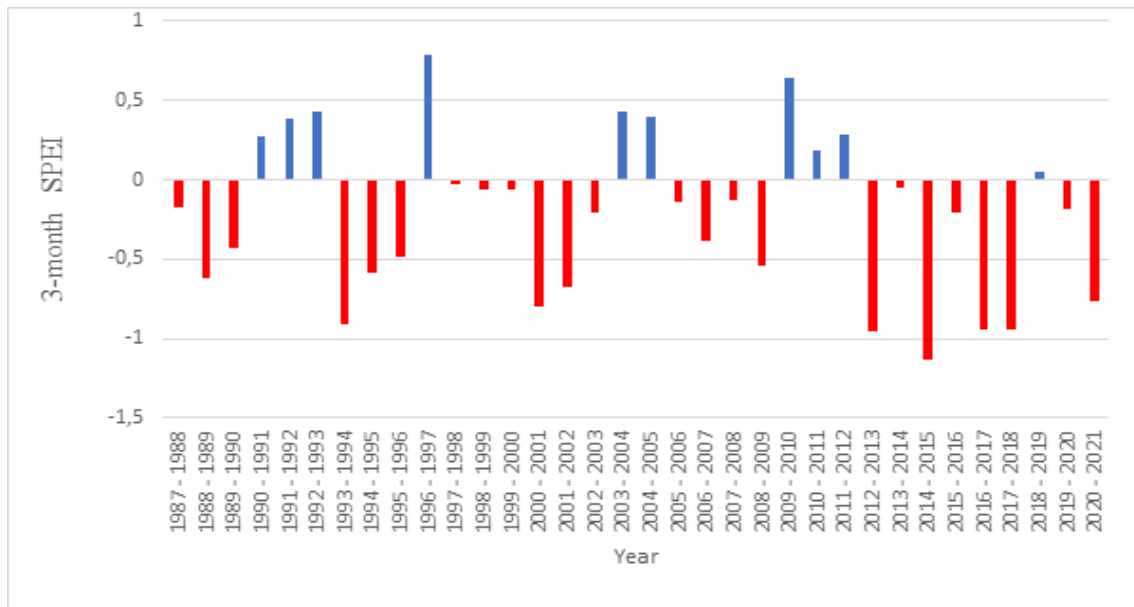


FIG. 18 : Variations interannuelles de l'indice SPEI à F'kirina : à 3 mois.

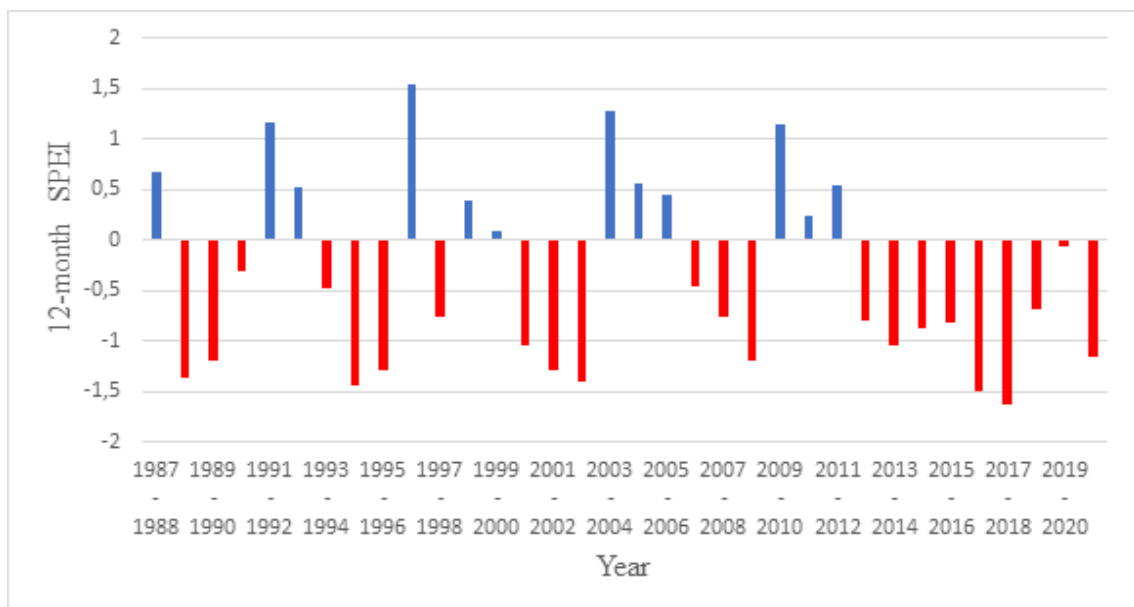


FIG. 19 : Variations interannuelles de l'indice SPEI à F'kirina :12 mois.

L'évolution temporelle des indices SPI et SPEI à l'échelle de 3 et 12 mois est présentée dans (figure 20 & figure 21). Les valeurs SPEI à 3 mois dans la plaine de f'kirina ont montré des occurrences périodiques qui peuvent être attribuées aux saisons intenses modérées et inversement sèches vécues dans ces zones. Lorsque l'on considère la variation temporelle des indices sur une échelle de 12 mois, la périodicité n'est pas plus évidente dans la plaine de F'kirina. Des études ont montré que l'intensité de la sécheresse dans ces zones a tendance à être plus élevée que pendant les saisons sèches. Une analyse statistique avec le logiciel Statistica pour déterminer la corrélation entre SPI et SPEI a été observée. Sur une échelle de 3 mois et de 12 mois, une corrélation hautement significative  $R=0.42$  et  $R= 0.65$  entre SPI et SPEI a été observée.

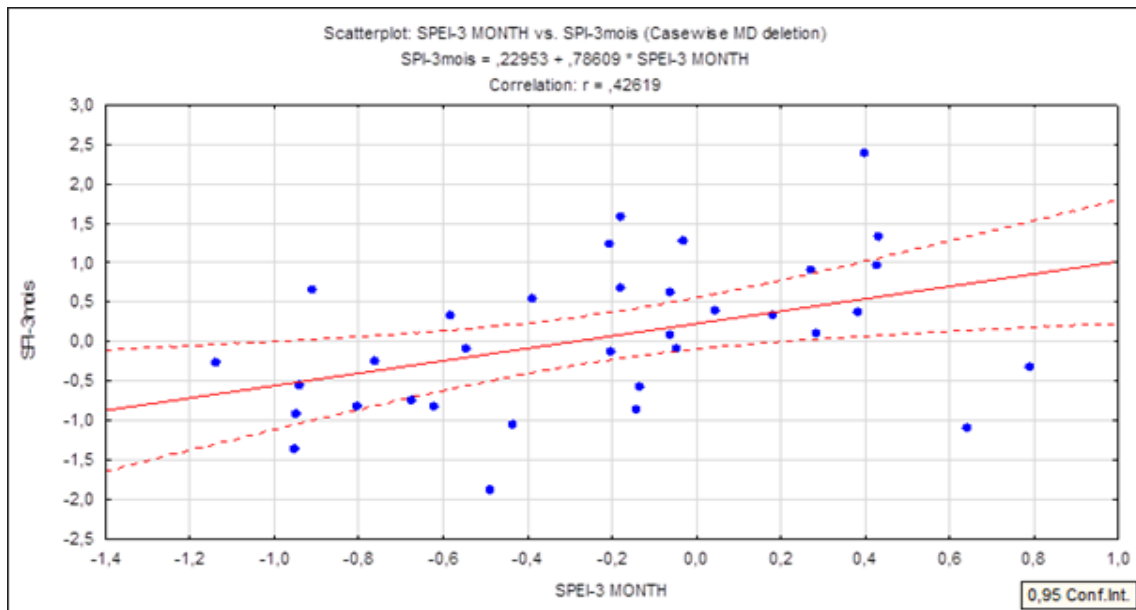


FIG. 20 : corrélation SPI et SPEI calculée sur 3 mois.

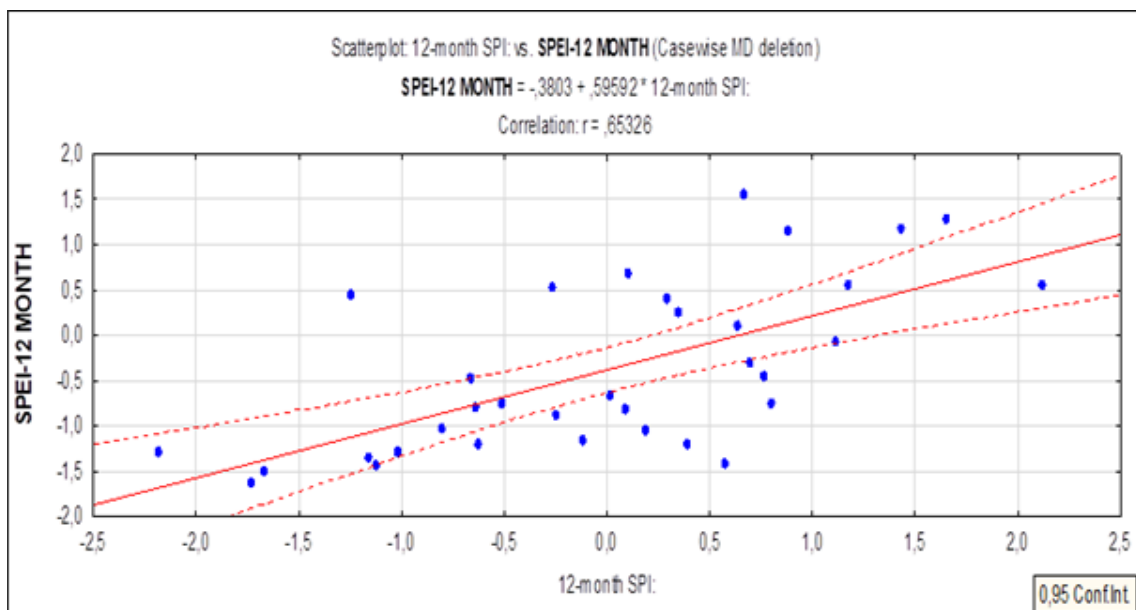


FIG. 21 : corrélation SPI et SPEI calculée sur 12 mois.

Les corrélations entre SPI et SPEI sont calculées respectivement à l'échelle de 3 et 12 mois. Dans la région de Fkirina, on observe les valeurs de corrélation les plus élevées entre SPI et SPEI. Entre SPI et SPEI, on observe les valeurs de corrélation les plus élevées entre SPI et SPEI. Cette tendance à la hausse pourrait être attribuée à l'effet de réduction de l'évapotranspiration.

### 3 Discussion

Fkirina, a connu une alternance de périodes humides et sèches. Dans ce contexte climatique plus perturbé par les activités naturelles et humaines, il est essentiel d'analyser les épisodes secs dans différents domaines climatiques, à différentes échelles de temps et par différents indices.

Selon l'indice du diagramme ombrothermique qui prend en compte la moyenne mensuelle des précipitations (en mm) et de la température (en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité, la région de F'kirina montre l'existence de deux saisons, la saison sèche et chaude, elle commence à partir du mois de mai jusqu'au mois d'août, la saison humide et froide, elle commence à partir du septième mois jusqu'au mois d'avril. La superposition des deux courbes [P (mm) et T (° C)] permet donc de définir la période sèche.

Indice de sécheresse de la région de F'kirina par SPI 12 mois ces données ont montré que la sécheresse est de nature cyclique et se produit presque tous les 4 à 5 ans une fois de façon répétée, sauf pour certaines périodes où elle s'est produite plus sèche lorsque le SPI a montré une diminution des précipitations autour de (2016,2017), le RDI n'a pas suivi la tendance similaire au SPI On remarque que le SPI et le RDI n'ont pas les mêmes classes de sécheresse dans chaque années (12 mois) ou période.

Les valeurs trimestrielles du RDI étaient respectivement, ce qui indique des tendances négatives insignifiantes à la baisse, Les échelles de temps de l'automne ont eu des magnitudes de tendance à la baisse plus élevées avec des étés chauds et secs et des saisons d'hiver froides.

La corrélation entre SPI et SPEI était plus forte qu'à l'échelle de 12 mois. Cette tendance a également été observée dans le coefficient de régression entre les deux indices. Analyse comparative des tendances de la sécheresse Les résultats obtenus indiquent que les tendances significatives entre SPI et SPEI montrent que SPEI dépend de la variation de SPI et ETP, Les périodes de sécheresse s'expliquent par une insuffisance de l'équilibre hydrologique-sèche-météorologique (une augmentation de la température et une légère augmentation des précipitations) sur la période d'étude. En accord avec le changement climatique, d'où une faible recharge "sécheresse hydrologique".

# Conclusion

### 4 Conclusion

Cette étude de recherche fournit une application de trois indices de sécheresse SPI, RDI, SPEI dans la plaine de f'kirina. L'analyse de la sécheresse à travers ses indices permet de déterminer leur durée et leurs impacts sur les ressources en eau afin d'établir des scénarios d'atténuation en cas de leur récurrence dans le futur.

La dualité climatique a entraîné une augmentation des températures et un changement du régime des précipitations, ce qui a généré des périodes de sécheresse longues et récurrentes. Les indices de sécheresse météorologique SPI et RDI et l'indice de sécheresse hydrologique SPEI ont révélé une performance élevée dans la détection de l'impact du changement climatique, en particulier l'événement de sécheresse en prenant le SPI comme indice de sécheresse de référence.

Il ressort de la comparaison entre l'indice RDI et l'indice SPI que l'indice RDI est légèrement plus performant pour la détection des sécheresses.

Les variations de l'indice SPI sont un outil capable de caractériser les périodes sèches et humides sur le site à différentes échelles de temps (3 et 12 mois) après avoir été mises en relation avec les déficits en eau dans les différentes composantes du cycle hydrologique dans la plaine de f'kirina. Alors que les autres indices RDI montrent des conditions sèches au cours de la période (1995-2010) et 2017, les indices basés uniquement sur les précipitations et l'ETP indiquent la totalité de la période de 3 mois ou 12 mois comme modérée ou sévère humide ou sèche, fournissant une description trompeuse des conditions hydrologiques réelles sur l'ensemble de la période. Il existe une forte corrélation significative entre l'indice SPI et l'indice SPEI à l'échelle de 3 et 12 mois, avec un coefficient de corrélation légèrement plus élevé de 0,42 pour les 3 mois et de 0,65 pour les 12 mois.

Après le calcul des indices climatiques (SPI, RDI, et l'indice hydrologique (SPEI) nous avons pu localiser les séquences de sécheresse dans la Plaine de f'kirina :

L'année la plus sèche est 1995,2016,2017 .

L'année la plus humide est 1992,2006.

La durée maximale de sécheresse modérée est de 5 ans de 1995 à 2010.

Dans la dernière étape, la fréquence des conditions météorologiques critiques est étudiée dans le cadre des scénarios climatiques actuels et futurs. Fournir des scénarios climatiques de la disponibilité future de l'eau de surface pour la plaine de F'kirina en utilisant un ensemble actualisé de simulations RCM à haute résolution au moyen d'un générateur générique de conditions météorologiques.

# Bibliographie

- Allouche, J. (2011). The sustainability and resilience of global water and food systems : Political analysis of the interplay between security, resource scarcity, political systems and global trade. *Food Policy*, 36 (S3–S8).
- Aouidane, L. (2017). *Origines De La Salinisation Des Eaux Et Des Sols D'une Zone À Climat Semi-Aride : Cas De Remila (W. Khenchela)*. PhD thesis, Université Mohamed Khider-Biskra.
- Arnaud, E., De Dominicis, A., Leguet, B., Leseur, A., and Perthuis, C. D. (2005). To widen the action tools against the climatic change by domestic projects. evaluation report ; elargir les instruments d'action contre le changement climatique grace aux projets domestiques. rapport d'évaluation.
- Balaghi, R., Jlibene, M., Tychon, B., and Mrabet, R. (2007). Gestion du risque de sécheresse agricole au maroc. *SÉCheresse*, 18(3) (169–176).
- Bedoum, A., Clobite, B., Mbanghoguinan, A., and Issak, B. L. (2014). Impact de la variabilité pluviométrique et de la sécheresse au sud du tchad : Effets du changement climatique. *Revue Ivoirienne Des Sciences Et Technologies*, 23 (13–30).
- Bergaoui, M. and Alouini, A. (2002). Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : Cas du bassin versant de siliana en tunisie. *Science Et Changements Planétaires/SÉCheresse*, 12(4) (205–13).
- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., and Sutera, A. (2003). Spatial variability of drought : An analysis of the spi in sicily. *Water Resources Management*, 17 (273–296).
- Bourque, A. (2000). Les changements climatiques et leurs impacts. *Vertigo-La Revue Électronique En Sciences De L'environnement*, 1(2).
- Chaffaut, I., Coudrain-Ribstein, A., Michelot, J. L., and Pouyaud, B. (1998). Précipitation d'altitude du nord-chili, origine des sources de vapeur et données isotopiques. *Bulletin De L'institut FranCAis D'Études Andines*, 27(3).
- Charre, J. (1977). A propos de sécheresse. *GÉOcarrefour*, 52(2) (215–226).
- Comptour, M. (2017). *Entre PÊChe, Agriculture Et Commerces, Jouer Avec La Variabilité ÉCologique Et Sociale : Dynamique D'un SystÈMe Social-ÉCologique Dans Les Plaines Inondables Du Fleuve Congo*. PhD thesis, Université Montpellier.

- Debaeke, P. and Bertrand, M. (2008). Évaluation des impacts de la sécheresse sur le rendement des grandes cultures en France. *Cahiers Agricultures*, 17(5) (437–443).
- Dib, D. and Khiari, A. (2018). *Origine Et Caractérisation De La Pollution Des Eaux Dans Le Bassin De Tarf (Ne-Algérien)*. PhD thesis, Université Oum-El-Bouaghi.
- Djoudi, S., Boulabiez, F., Pistre, S., and Houha, B. (2019). Assessing groundwater vulnerability to contamination in a semi-arid environment using drastic and God models, case of Fkirina plain, north of Algeria. *IOSR Journal Of Environmental Science*, 13(7) (39–44).
- Ed-Daoudi, S. and Me, M. S. (2014). Evolutions et changements des extrêmes pluviométriques au niveau de la zone Souss-massa-draa (Maroc) : L'aspect sécheresse. *Mémoire De Fin D'Étude. Master Eau Et Environnement. Département Des Sciences De La Terre. Faculté Des Sciences Et Techniques, Marrakech*.
- El Khorchani, A., Gadbini-Henry, C., Bouzid, S., and Khaldi, A. (2007). Impact de la sécheresse sur la croissance de trois espèces forestières en Tunisie (Pinus halepensis Mill., Pinus pinea L. et Pinus pinaster Sol.). *Sécheresse*, 18(2) (113–121).
- Faci, M. (2021). *Impacts Du Changement Climatique Sur Le Cycle Phénologique Du Palmier Dattier (Cas De Deglet Nour Aux Ziban)*. PhD thesis, Université Mohamed Khider De Biskra.
- Gallay, M. (2017). *Étude De La Dynamique Hydro-Sédimentaire De Fleuves Tropicaux Par Mesures In Situ Et De Télédéttection : Le Cas Du Maroni, De L'Oyapock Et De L'Orénoque*. PhD thesis, Guyane.
- Jean, M. (2011). *Sécheresse, Changements Climatiques Et Vulnérabilité : Le Défi Environnemental De L'Australie*. PhD thesis, Université Laval.
- Jehanzaib, M., Kim, J. E., Park, J. Y., and Kim, T.-W. (2019). Probabilistic analysis of drought characteristics in Pakistan using a bivariate copula model. , pages 151–151.
- Jouilil, I., Bitar, K., Salama, H., Amraoui, A., Mokssit, A., and Tahiri, M. (2013). Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. *Larhyss Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (12).
- Kettab, A., Mitiche, R., and BennaCAR, N. (2008). De l'eau pour un développement durable : Enjeux et stratégies. *Revue Des Sciences De L'eau*, 21(2) (247–256).
- Lakhdari, S. (2012). *Étude De La Qualité Des Eaux De L'aquifère Du Bassin Versant De Foum El Gueiss (Wilaya De Khenchela)*. PhD thesis, Abbes Laghrour University-Khenchela.
- Le Houerou, H. N. and Hoste, C. H. (1977). Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean basin and in the African Sahelo-Sudanian zone. *Rangeland Ecology & Management/Journal Of Range Management Archives*, 30(3) (181–189).
- Lodé, J. (2012). Le désert source de vies. *Le Désert Source De Vies*, pages 1–195.

- Mckee, K. L. (1993). Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution–reciprocal effects? *Journal Of Ecology*, pages 477–487.
- Mckee, T. B., Doesken, N. J., Smith, F. M., and Kleist, J. D. (1981). *Climate Profile For The McCallum Emria Study Area*. PhD thesis, Colorado State University. Libraries.
- Meisser, M., Vitra, A., StÉvenin, L., Mosimann, E., Mariotte, P., and Buttler, A. (2018). Impact de la sécheresse sur le fonctionnement des systèmes herbagers. *Rech. Agron. Suisse*, 9 (82–91).
- Mekouassi, N. (2014). *Comportement Des Elements Chimiques Dans Les Eaux De Surface De Hammam Debagh (Est Algerien)*. PhD thesis, Université De Batna 2.
- Mohammedi, A. (2015). *Impact De La PrÉdation Du HÉron Garde Boeufs (Bubulcus Ibis L.) En Milieux Agricoles Dans La RÉGion De Chlef*. PhD thesis, Ensa.
- Nedjar, Z. and Barkat, D. (2012). Characterization of galena surfaces and potassium isoamyl xanthate (kiax) synthesized adsorption. *Journal Of The Iranian Chemical Society*, 9 (709–714).
- Olivier, K., Wilfrid, V. E., and Jean-Marie, D. (2017). Caractérisation des risques hydro-climatiques dans le bassin versant de l’ouémé à l’exutoire de bétérou au Bénin (Afrique de l’ouest). *European Scientific Journal*, Esj, 13(15) (101).
- Ouanes, M. (2020). *Effet De Changements Climatiques Sur La Qualité Des Eaux Souterraines De La Plaine De F’kirina De La W. D’oum El Bouaghi*. PhD thesis.
- Rahal, O. (2021). *Étude Du Fonctionnement Hydrogéologique Et Hydrogéochimique D’une Ressource En Eau En Zone Semi Aride. Cas De L’aquifère De F’kirina, Wilaya D’oum El Bouaghi Nord-Est AlgÉrien*. PhD thesis.
- Redjem, A., Nouibat, B., and Naghel, M. (2020). Pour des villes résilientes aux inondations : Cas de la ville de m’sila, Algérie. *Sciences & Technologie. D, Sciences De La Terre*, (51) (33–42).
- Reggam, A., Bouchelaghem, H., and Houhamdi, M. (2015). Qualité physico-chimique des eaux de l’oued Seybouse (Nord-Est de l’Algérie) : Caractérisation et analyse en composantes principales. *Journal Of Materials And Environmental Science*, 6(5) (1417–1425).
- Robic, M.-C., Plet, F., Rey, V., and Mathieu, N. (1982). Accident climatique et fonctionnement de la société agricole : La sécheresse de 1976 chez les éleveurs d’un canton de la Nièvre. *L’espace GÉOgraphique*, pages 111–123.
- Rognon, P. (1994). Les conséquences de la sécheresse sur la pédogenèse. *Science Et Changements PlanÉtaires/SÉCheresse*, 5(3) (173–184).
- Salima, D., Belgacem, H., and Others (2017). The hydrochemical characterization of the upper plains aquifers : Case of the plain of f’kirina ain-beda, northeastern Algeria. *Desalination And Water Treatment*, 92 (90–97).

- Sara, H., Mounia, O., and Belgacem, H. (2017). Hydrogeochemical characterization of groundwater in the plateau of mellagou (western area of khenchela, east of algeria). *Research Journal Of Pharmaceutical Biological And Chemical Sciences*, 8(3) (351–360).
- Somaya, S. (2021). *Actualisation Des DonnÉEs HydrogÉologiques Et Hydrochimique De La Nappe Des Sables Du MiocÈNe D’el Malbiod, TÉBessa Ne AlgÉrien*. PhD thesis.
- Spittler, G. (1993). *Les Touaregs Face Aux SÉcheresses Et Aux Famines : Les Kel Ewey De L’aR (Niger), 1900-1985*. Karthala Editions.
- Tao, H., Borth, H., Fraedrich, K., Su, B., and Zhu, X. (2014). Drought and wetness variability in the tarim river basin and connection to large-scale atmospheric circulation. *International Journal Of Climatology*, 34(8) (2678–2684).
- Tefera, A. S., Ayoade, J., and Bello, N. (2019). Comparative analyses of spi and spei as drought assessment tools in tigray region, northern ethiopia. *Sn Applied Sciences*, 1 (1–14).
- Tigkas, D. and Tsakiris, G. (2015). Early estimation of drought impacts on rainfed wheat yield in mediterranean climate. *Environmental Processes*, 2 (97–114).
- Toumi Nour Elhouda, D. F. A. (2021). Niveau des nutriments (phosphate et azote) dans les eaux de la surface de l’oued zenati à l’entrée et à la sortie de la ville.