



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشاذلي بن جديد الطارف - Université Chadli Bendjedid d'El Tarf

كلية علوم الطبيعة و الحياة - Faculté des Sciences de la Nature et de la vie

قسم البيولوجيا - Département de Biologie

MÉMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

THEME

IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LA SÉCHERESSE
EN ALGÉRIE (CAS DES ZONES CÉRÉALIÈRES)

Spécialité : Agro-environnement et bio-indicateurs

Présenté par : Bekiri Lilia

Arif Wiem

DEVANT LE JURY

Président : Mme Kechour L (Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf)

Directeur de mémoire : Mr Malkia R (Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf)

Examineur : Mr Rouag R (Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf)

Année universitaire : 2022- 2023

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère mère et mon père qui m'ont toujours encouragée de poursuivre

Mes études, que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

À celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : mon

Fiancé Yasser, et bien sûr à mes deux frères Zinou et Khayrou

À ma binôme Wiem

À mes très chers amis : Sabrina, Khaoula, Rihab, Hiba, Bassouma, Manar, Doua et

Malak.

*À tous les amis qui de près ou de loin ont rendu plus facile la réalisation de ce
travail, je vous dis merci.*

À toute personne chère à mon cœur, à ma famille Bekiri et Nemouchi

Lilia

Dédicace

Je dédie ce travail :

Au deux qui me sont les plus chers.

*À celui qui a sacrifié sa vie pour que je puisse réussir, et qui m'a
fourni Toute la confiance et les conseils durant toutes les
années de ma formation.*

Mon Père.

*À celle qui m'a donnée le courage Et la Lamour et la force, du
fond de son cœur.*

Ma Mère.

À ma sœur Safa.

À mon frère Oussama.

À ma binôme Lilia.

À mes amis : Zineb, Raja, Ferial, Roumaïssa et Norhene.

*À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je
vous dis merci.*

Wiem

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier « DIEU » le tout puissant, qui nous donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur : **Mr Malkia Rabia***

Pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période de travail.

*Nous vifs remerciements vont également aux membres du jury : **Mme Kechour Laila et Mr Rouag Rachid** pour l'intérêt qu'elles ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

Nous tenons à exprimer des reconnaissances à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, une pensée pleine de reconnaissance à tous les Enseignants du département des Sciences biologiques de L'université Chadli Bendjedid El-Tarf pour leurs efforts et leur compréhension durant notre cursus.

Sommaire

Résumé

Liste des abréviations

Liste des tableaux et figures

Introduction générale

Chapitre I : Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

I. 1 Localisation	2
I.1.1. La zone de Sétif	2
I.1.1.1. Présentation géographique	2
I.1.1.2. synthèse climatique	2
I.1.1.3. variation du relief de la région	3
I.1.1.4. couverture pédologique	3
I.1.2. La zone de Bordj Bou Arreridj	3
I.1.2.1. Présentation géographique	3
I.1.2.2. synthèse climatique	4
I.1.2.3. variation du relief de la région	4
I.1.3. La zone de Tiaret	4
I.1.3.1. situation géographique	4
I.1.3.2. synthèse climatique	4
I.1.3.3. variation du relief de la région	5
I.1.4. La zone de Constantine	5
I.1.4.1. présentation géographique	5
I.1.4.2. synthèse climatique	4
I.1.4.3. variation du relief de la région	5

Chapitre II : Caractéristique agricole de la zone d'étude

II.1. La production des céréales en Algérie	7
II.2. Les surfaces occupées par la céréaliculture en Algérie	7
II.3. Production céréalières de la zone d'étude	8

Chapitre III : Les changements climatiques

III.1. Définition	10
III.2. Causes et conséquences des changements climatiques	10
III.2.1. Causes et origines du réchauffement climatique	10
III.2.2. Conséquences du changement climatique sur notre planète	11
III.3. Les modèles de changement climatique	12
III.3.1. Définition	12
III.3.2. Types des modèles climatiques	13
III.4. Changement climatique en Algérie et dans le monde	14
III.4.1. Changement climatique dans le monde	14
III.4.2. Changement climatique en Algérie	15
III.5. Effets des changements climatiques	15

Chapitre IV : La sécheresse

IV.1. Définition de la sécheresse	17
IV.2. Types de sécheresse	17
IV.3. Indices de sécheresse	18
IV.3.1. L'indice standardisé des précipitations (SPI)	18
IV.3.2. Valeurs de l'indice SPI	19
IV.3.3. Avantages et inconvénients	19
IV.4. Adaptation à la sécheresse	21
IV.4.1. Mesures quantitatives	22
IV.4.2. Mesures qualitatives	22

Matériels et méthodes

I.1. Logiciel Drinc (calculateur d'indice de sécheresse)	24
I.1.1. Présentation du logiciel	24
I.1.2. Gestion de données	24
I.2. Indices de sécheresse	26
I.2.1. Paramètres de calcul	26
I.2.2. Précipitations efficaces	27
I.2.3. Caractérisation de la sécheresse	27
I.3. Affichage des données d'entrée	27
I.3.1. Affichage des résultats	28
I.3.2. Copier - exporter	28
I.4. Potentiel évapotranspiration (PET) modulus	29
II. Logiciel Excel	30

Résultats et discussions

I. Variations des précipitations	31
II. Variation de SPI durant les années 2050/2080	44

Conclusion

Résumé :

Dans le but de caractériser l'impact des changements climatiques sur la sécheresse en Algérie (cas des zones céréalières) les données pluviométriques de quatre stations climatiques situées dans les hautes plaines en Algérie ont été utilisées pour calculer SPI actuel et futur selon des scénarios de changements climatiques à l'aide du model DrinC. Le calcul de cet indice nécessite des données pluviométriques mensuelles sur une période d'au moins trente ans. Les résultats obtenus nous permettent de proposer des méthodes d'adaptations aux changements climatiques de la culture du blé qui caractérise cette région.

Most clés : changement climatique, Sécheresse, Zones céréalières, SPI, DrinC software.

Abstract:

In order to characterize the impact of climate change on droughts in Algeria (case of cereal-growing areas), rainfall data from four climate stations located in the high plains of Algeria were used to calculate current and future SPI according to climate change scenarios using the DrinC model. The calculation of this index requires monthly rainfall data over a period of at least thirty years. The results obtained enable us to propose methods of adaptation to climate change for the wheat crop that characterizes this region.

Key words: climate change, Drought, Cereal-growing areas, Drought index, SPI, DrinC software.

ملخص :

من أجل توصيف تأثير تغير المناخ على حالات الجفاف في الجزائر (حالة مناطق الحبوب)، تم استخدام بيانات هطول الأمطار من أربع محطات مناخية تقع في السهول العليا للجزائر لحساب المؤشر المعياري للهطول الحالي والمستقبلي وفقاً لسيناريوهات التغيير. نموذج درينك. يتطلب حساب هذا المؤشر بيانات هطول الأمطار الشهرية على مدى ثلاثين عاماً على الأقل. نتيج لنا النتائج التي تم الحصول عليها اقتراح طرق للتكيف مع تغير المناخ في زراعة القمح الذي يميز هذه المنطقة.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ، الجفاف، مناطق الحبوب، مؤشر، برنامج Spi ، DrinC .

Liste des abréviations

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

SAU : La Superficies Agricole Utilisée

RDT : Revenus Définitivement Taxés

BBA : Bordj Bou Arreridj

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat

MCG: Modèle climatique globaux

MCR: Modèle climatique Régionale

IPCC : Groupe d'experts Intergouvernemental Panel on Climat Change

OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie

SPI : Indice de Précipitation Standardisé

ET : Evapotranspiration

ETP : Evapotranspiration potentiel

MADR : Ministère de l'Agriculture du Développement Rural et de la pêche

ANDI : Agence Nationale de Développement de l'Investissement

Liste des tableaux et figures

Numéros	Titre	Page
Tableau 01	Les valeurs de l'indice SPI selon (OMM, 2012)	13
Tableau 02	Les modèles climatiques	19

Numéros	Titre	Page
Figure 01	Localisations des stations climatiques de la zone d'étude.	2
Figure 02	Evolution des rendements(RDT) du blé dur au niveau de la zone d'étude.	8
Figure 03	La variation de précipitations de la station de Sétif durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 4.5.	31
Figure 04	La variation de précipitations de la station de Constantine durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 4.5.	31
Figure 05	La variation de précipitations de la station de Tiaret durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 4.5.	32
Figure 06	La variation de précipitations de la station de BBA durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 4.5.	33
Figure 07	La variation de précipitations de la station de Sétif durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 8.5.	34
Figure 08	La variation de précipitations de la station de Constantine durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 8.5.	34
Figure 09	La variation de précipitations de la station de Tiaret durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 8.5.	35
Figure 10	La variation de précipitations de la station d'EL BBA durant l'année de 2050 avec l'indice de RCP 8.5.	36
Figure 11	La variation de précipitations de la station de Sétif durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 4.5.	37

Liste des tableaux et figures

Figure 12	La variation de précipitations de la station de Constantine durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 4.5.	38
Figure 13	La variation de précipitations de la station de Tiaret durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 4.5.	38
Figure 14	La variation de précipitations de la station de BBA durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 4.5.	39
Figure 15	La variation de précipitations de la station de Sétif durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 8.5.	40
Figure 16	La variation de précipitations de la station de BBA durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 8.5.	41
Figure 17	La variation de précipitations de la station de Constantine durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 8.5.	42
Figure 18	La variation de précipitations de la station de Tiaret durant l'année de 2080 avec l'indice de RCP 8.5.	43
Figure 19	Variation de SPI de l'année 2050 RCP 4.5 de la zone d'étude	44
Figure 20	Variation de SPI de l'année 2050 RCP 8.5 de la zone d'étude	45
Figure 21	Variation de SPI de l'année 2080 RCP 8.5 de la zone d'étude	48
Figure 22	Variation de SPI de l'année 2080 RCP 4.5 de la zone d'étude	49
Figure 23	Variation de l'indice SPI avec le scénario RCP 4.5	54
Figure 24	Variation de l'indice SPI avec le scénario RCP 8.5	56

A decorative scroll-like frame with a black outline. The frame has a vertical bar on the left side and rounded corners. The word "Introduction" is centered within the frame in a bold, italicized serif font.

Introduction

Introduction

Une sécheresse est définie par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) comme un déficit hydrique, lié à un manque de précipitation, sur une période prolongée. Différents types de sécheresse (météorologique, agricole, hydrologique) sont classiquement identifiés et peuvent être évalués sur différentes profondeurs temporelles selon les domaines d'application. L'OMM a adopté en 2009 un indicateur standardisé universel, pour le suivi des sécheresses liées au déficit de précipitations : le Standardized Precipitation Index (SPI).

L'objectif de ce travail est de caractériser grâce à cet indice les périodes de sécheresse touchant les zones céréalières de l'Algérie en fonction des changements climatiques selon les scénarios RCP 4.5 et 8.5 et selon 11 modèles climatiques.

L'indice SPI (Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., 2015) est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. Pour calculer l'indice SPI, il faut disposer idéalement de relevés mensuels s'étalant sur au moins 20 à 30 ans (Guttman., 1994).

L'évolution de cet indicateur de sécheresse peut tout d'abord être examinée de manière globale sur la zone d'étude en considérant la proportion du territoire affectée par la sécheresse, où l'indicateur est en-dessous d'un seuil donné. L'indicateur standardisé précédemment définis a été calculé tout au long du XXIème siècle. La période 1961- 1990 a été finalement choisie comme référence climatologique conformément aux travaux du GIEC.

L'évolution des sécheresses au cours du XXIe siècle, étudiée à partir des différentes projections climatiques, montre de grandes cohérences dans la tendance temporelle, malgré les incertitudes liées aux modèles climatiques, aux scénarios socio-économiques ou les méthodes de descente d'échelle. Sur la base de 11 modèles et des deux scénarios socio-économiques RCP 4.5 ET RCP 8.5, l'évolution mensuelle des sécheresses hydrologiques est mise en évidence.

Notre travail est structuré de la manière suivante :

Chapitre 1 : Caractéristique climatique de la zone d'étude

Chapitre 2 : Caractéristique agricole de la zone d'étude

Chapitre 3 : Les changements climatiques

Chapitre 4 : La sécheresse

En dernier l'ensemble du travail est sanctionné par une conclusion et les références bibliographiques.

Chapitre I

Caractéristique climatique de la zone d'étude

Chapitre I : Caractéristique climatique de la zone d'étude**I.1. Localisation**

La zone d'étude touche la principale région de la production céréalière d'Algérie. Elle est représentée par les wilayas de l'Est vers l'ouest par Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj et Tiaret (figure 01)



Figure 01. Localisations des stations climatiques de la zone d'étude

I. 1.1. La zone de Sétif**I.1.1.1. Présentation géographique**

La wilaya de Sétif est dans l'Est Algérien, elle est située à environ 300 km au sud-est d'Alger dans la région des hauts plateaux, à 1100 m d'altitude. Elle s'étend sur une superficie de 6.549 km². Elle est limitée au nord par les wilayas : Jijel et Bejaïa, à l'est la wilaya de Mila, à l'ouest la wilaya de Bordj Bou Arreridj et au sud par les wilayas de Batna et Msila (Andi, 2013).

I.1.1.2. Synthèse climatique

La région de Sétif est caractérisée par un climat semi-aride, avec des étés chauds et des hivers rigoureux. La moyenne des précipitations annuelles est d'environ 434 mm pour l'ensemble de la wilaya. La zone nord est la plus humide avec une précipitation annuelle de 700 mm. Les températures dépassent souvent les 40° en été et descendent en dessous de zéro en hiver, avec des chutes de la neige et des gelées fréquentes. Les vents prépondérants sont ceux venant de l'ouest et du nord-ouest (ANDI, 2013).

I.1.1.3 Variation du relief de la région

La région de Sétif est formée des hautes plaines où trois types de zones existent. Une zone montagneuse qui occupe plus de 40% de la superficie totale. Elle est constituée de trois masses montagneuses.

- Les montagnes de la région nord « les Babors » s'étendent sur une centaine de kilomètres avec une altitude maximale de 2004 m, les montagnes des Bibans, dans l'extrémité orientale, couvrent le nord-ouest de la wilaya et les montagnes du Hodna, qui s'étalent sur le sud et le sud-ouest, où l'altitude atteint à Djebel Boutaleb (1890 m) (ANDI, 2013).
- La zone des hautes plaines qui est une immense étendue, occupant 50% de la superficie totale de la wilaya, relativement plate, dont l'altitude varie de 900 à 1200 m.
- La zone de dépression sud et sud-est est située dans le sud et le sud-est de la wilaya avec une altitude qui dépasse rarement les 900 m. Cette zone pratiquement plate couvre une superficie de 10% de l'espace total et se caractérise par la présence des 'chotts' ou dépression salées.

I.1.1.4. Couverture pédologique

Chaque zone citée ci-dessus se caractérise par un type du sol.

- La zone montagneuse c'est des sols calcaires et alluviaux.
- Dans les hautes plaines, on trouve une dominance des sols calciques et calcaires dont la qualité est variable d'un lieu à un autre. Les uns s'amincissent et deviennent caillouteux.
- La frange sud-est est couverte par les sols salins avoisinant les chotts et les sebkhas (Zeroug, 2012).

I.1.2. La zone de Bordj Bou Arreridj**I.1.2.1. Présentation géographique**

La wilaya de Bordj Bou Arreridj occupe une place stratégique au sein de l'Est Algérien. Elle se trouve à mi-parcours du trajet séparant Alger de Constantine. Le Chef-lieu de la wilaya est situé à 220 km à l'est de la capitale, Alger. La wilaya de Bordj Bou Arreridj s'étend sur une superficie de 3 921 km² La wilaya est située au Nord- Est du pays sur les Haut-Plateaux.

Elle est limitée par les wilayas suivantes : Au nord : Bejaia, à l'est : Sétif, au sud : Msila, et à l'ouest par Bouira.

I.1.2.2. Synthèse climatique

La wilaya de Bordj Bou Arreridj se caractérise par un climat qui offre des températures chaudes en été et très froides en hiver. C'est une région caractérisée par des températures les plus basses en Algérie. La pluviométrie annuelle varie de 300 à 700 mm (ANDI 2013).

I.1.2.3. Variation du relief de la région

La wilaya est constituée de trois zones géographiques qui se succèdent

- une zone montagneuse, avec au nord, la chaîne des Bibans.
- une zone de hautes plaines qui constitue la majeure partie de la wilaya.
- une zone steppique, au sud-ouest, à vocation agropastorale.

L'altitude varie entre 302 m et 1885 m.

I.1.3. La zone de Tiaret**I.1.3.1. Situation géographique**

Située au nord-ouest du pays à 340 km de la capitale Alger au nord-ouest du pays, la wilaya de Tiaret se présente comme une zone de contact entre le Nord et le Sud. Le territoire de la wilaya est constitué de zones montagneuses au Nord, de hautes plaines au centre et des espaces semi arides au Sud. Tiaret occupe une superficie de 20.086,62 km². Elle couvre une partie de l'Atlas tellien au Nord et les hauts plateaux au centre et au Sud. Elle est limitée par les wilayas suivantes

- au nord Chlef, Tissemsilt et Relizane
- au sud Laghouat et El-Bayad
- à l'ouest Mascara et Saida
- à l'est Djelfa.

I.1.3.2. Synthèse climatique

La wilaya de Tiaret se trouve à 1150 m d'altitude, son climat se caractérise par 02 périodes à savoir : un hiver rigoureux et un été chaud et sec avec une température moyenne de 37,2°C. Un été chaud et sec avec une température moyenne de 24°C. (ANDI Tiaret 2014).

Selon une étude faite par (Nouar, 2015) ; L'étage bioclimatique montre que le climat de la région de Tiaret est de type méditerranéen pour les deux périodes : pluvieux en hiver et sec en été.

La sécheresse estivale prolongée et l'irrégularité des précipitations sont autant des facteurs pour le secteur agricole.

I.1.3.3. Variation du relief de la région

D'une manière globale le relief est caractérisée par le versant méridional du chaînon de l'Atlas tellien (Ouarsenis) qui constitue sa limite septentrionale, au Sud-ouest par les monts de Frenda. La caractérisation des différentes zones a été synthétisée à partir d'une étude récente portant rapport sur les ressources naturelles et évaluation des terres établie en 1995 par l'Institut Technique des Grandes Cultures, Algérie Au vu de son étendue, le relief de la Wilaya qui est hétérogène, est matérialisé par

- Une zone de montage au Nord.
- Des hautes plaines au Centre.
- Des espaces semi-arides au Sud ; (ANDI Tiaret 2014).

I.1.4. La zone de Constantine

I.1.4.1. Présentation géographique

La wilaya de Constantine se situe entre la latitude 36.23 et la longitude 7.35 en plein centre de l'est Algérien, précisément à 245 km des frontières Algéro-tunisiennes à 431 km de la capitale Alger vers l'ouest, à 89 km de Skikda (la méditerranée) vers le nord et à 235 km de Biskra vers le sud (le Sahara) (Dinanderie, 2013). Constantine est délimitée par : la wilaya d'Oum El Bouaghi au Sud, la wilaya de Guelma à l'Est, la wilaya de Mila à l'Ouest et la wilaya de Skikda au Nord.

I.1.4.2. Synthèse climatique

Selon le climagramme d'Emberger, le climat de la wilaya de Constantine se situe dans un seul étage bioclimatique : le semi-aride à hiver frais. La pluviométrie moyenne, elle est de 520 mm/an et les températures des moyennes des maxima et minima sont respectivement de 34.2°C et 2.4°C avec une moyenne annuelle de 18°C.

I.1.4.3. Variation du relief de la région

La wilaya est constituée de trois zones géographiques

- La zone montagneuse, située au nord de la wilaya qui constitue le prolongement de la chaîne tellienne. Elle dominée par le mont de Chettaba et le massif de Djebel Ouahch. À l'extrême Nord de la wilaya, le mont Sidi Driss culmine à 1 364 m d'altitude.

- Les bassins intérieurs, sont constitués d'une série de dépressions qui s'étend de Ferdjioua (wilaya de Mila) à Zighoud Youcef et limitée au Sud par les hautes plaines ; cet ensemble est composé de basses collines entrecoupées par les vallées du Rhummel et de Boumerzoug.
- Les hautes plaines sont situées au Sud-Est de la wilaya entre les chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien, elles s'étendent sur les communes de Aïn Abid et Ouled Rahmoune.

Chapitre II

Caractéristique agricole de la zone d'étude

Chapitre II : Caractéristique agricole de la zone d'étude**II.1. La production des céréales en Algérie**

La culture des céréales représente un secteur économique important. La situation de la céréaliculture est liée à l'évolution des superficies, des productions et par conséquent des rendements obtenus (FAO, 2020).

La culture des céréales occupe une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Djermoun, 2009). Elle occupe annuellement selon (Malki et al. 2000) presque 50% en moyenne de la superficie céréalière agricole utile (SAU) cette superficie emblavée est dominée par le blé dur qui conserve la première place avec 43%, suivi de l'orge qui représente 34%, le blé tendre 20 % et enfin l'avoine avec 2,8%.

En Algérie, les céréales constituent l'alimentation de base de la population. Elles couvrent environ 80% des terres cultivées, malheureusement la production reste faible et les rendements oscillent aux grés des aléas climatiques (Benniou et al, 2018).

La culture des céréales toujours semble-t-il occupé en Algérie une superficie territoriale importante par rapport aux autres spéculations agricoles qui est estimé à 6 millions d'hectares, soit la superficie totale des céréales. Chaque année 3 à 3,5 millions d'hectares sont emblavés, le reste étant consacré à la jachère. Quant à la production, elle reste faible, ceci ne couvre pas les besoins estimés à 100 millions de quintaux pour l'an 2000 (Belaid, 1986 ; Feliachi, 2002 ; Ben Belkacem, 2003).

Dans les hautes plaines constantinoises, l'une des grandes régions céréalières d'Algérie, Fenni (2003), signale 254 espèces réparties en 161 genres et 34 familles botaniques. La moitié de ces familles ne sont représentées que par un ou deux genres, et la plus part des genres par une ou deux espèces. Les familles botaniques les mieux représentées sont respectivement les Asteraceae, les Fabaceae et les Poaceae, ces familles renferment à elles seules près de 42 % de l'effectif (Fenni, 2003).

II.2. Les surfaces occupées par la céréaliculture en Algérie

Les potentialités des différentes espèces de céréales d'automne varient en fonction des conditions édapho-climatiques de chaque région (Boulal et al, 2007).

Les emblavures totales en céréales se situent annuellement entre 2.900.000 et 3.500.000 hectares. Un peu moins d'un tiers de ces emblavures sont localisées dans des zones agro-

écologiques recevant une pluviométrie moyenne supérieure à 450 mm/an. Le climat, notamment la pluviométrie, reste le facteur prédominant qui conditionne fortement les récoltes (Feliachi, 2000).

Selon Feliachi (2000), la céréaliculture est pratiquée dans quatre grandes zones agro-climatiques :

- un espace à faible potentialité : localisé dans le sud des Hauts Plateaux (zone agro-pastorale), 1.800.000 ha, pluviométrie inférieur à 450 mm et rendement de 5-6 qx/ha.
- un espace steppique : pratiquée dans un écosystème fragile, avec une surface de 300.000-800.000 ha.
- un espace au niveau des zones sahariennes qui se subdivisent en deux catégories : la première est représentée par le système traditionnel, occupe une surface de 35.000 ha, la deuxième qui occupe une surface de 10.000ha concerne la céréaliculture sous pivot, localisée en zones arides et semi-arides.
- un espace à haute potentialité : localisé entre les plaines littorales et sud- littorales et le nord des Hauts Plateaux, occupe une superficie de 1.200.000 ha, pluviométrie entre 450 et 800 mm, rendement moyen de 10-15 qx/ha.

II.3. Production céréalières de la zone d'étude

Les hautes plaines sont représentées par les régions suivantes : Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, et Tiaret. La production des céréales notamment le blé dur au niveau de notre zone d'étude dépend des apports pluviométriques et représente environ 60% de la production nationale (MADR, 2016).

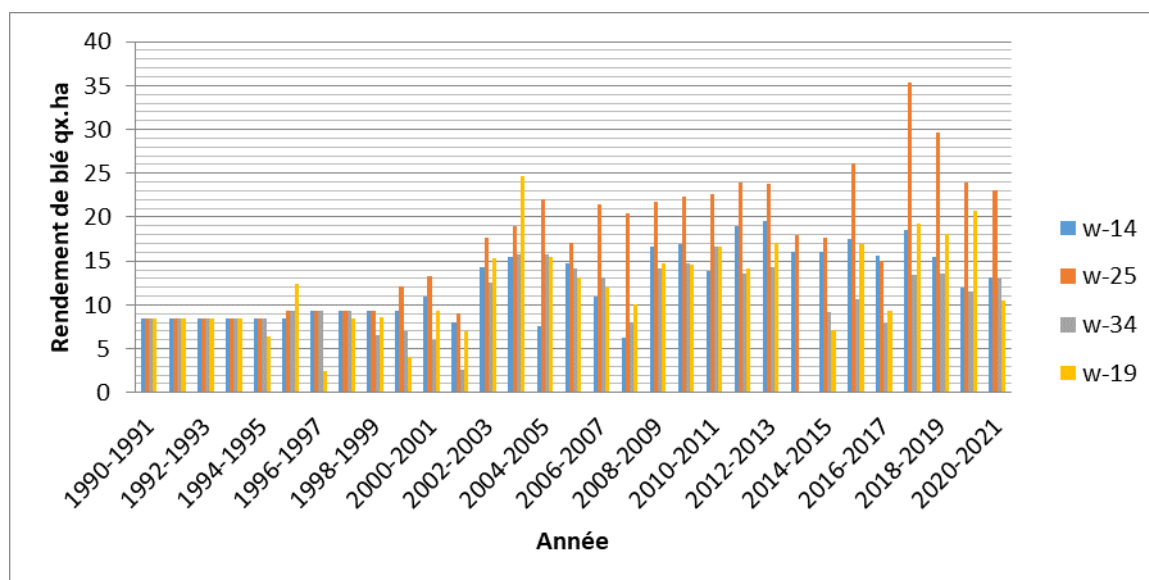


Figure 02. Evolution des rendements(RDT) du blé dur au niveau de la zone d'étude (W-14= Tiaret, w-34= BBA, w-25= Constantine, w-19= Sétif)

La figure ci-dessus représente l'évolution des rendements du blé dur dans la zone d'étude représenté par quatre wilayas (Sétif, Tiaret, BBA, et Constantine) sur une période de temps estimée à 31 ans de 1990 à 2021. On remarque que le rendement moyen en blé dur de la zone d'étude varie entre 10.18 qx/ ha à Bordj Bou Arreridj et 15.68 qx /ha à Sétif.

D'après la figure on note que le rendement de blé dur à Tiaret est faible et ne dépasse pas 9,3 qx/ha sur la période 1990-2000. Le rendement commence à augmenter progressivement avec des valeurs faibles durant la période 2000-2001 pour atteindre la valeur la plus élevée en 2012-2013 estimée à 19,50 qx/ha. Ces dernières années, le rendement de blé dur A décline.

A Constantine on note que le rendement de blé dur est faible et ne dépasse pas 9,4 qx/ha sur la période 1990-99. Le rendement commence à augmenter progressivement avec des valeurs faibles durant la période 1999-2000 pour atteindre la valeur la plus élevée en 2017-18 estimée à 35.4 qx /ha. La récolte a diminué à un faible taux au cours des trois dernières années. La wilaya de Constantine reste en tête des wilayas pour la production de blé.

Dans la wilaya de Bordj Bou Arreridj, on note que le rendement de blé dur est faible et ne dépasse pas 9,4 qx/ha sur la période 1990-2002. Le rendement commence à augmenter progressivement avec des valeurs faibles dans la période 2002-2010. Pour qu'atteigne sa valeur la plus élevée en 2010-2011 avec une valeur estimée à 16.6 qx /ha. Puis le rendement de blé dur recommence à décliner.

À Sétif le rendement du blé est volatil et faible, avec une valeur comprise entre 2,4 et 15,3 qx/ha dans la période 1999-2003. Puis le rendement de blé atteint sa valeur la plus élevée pendant l'année 2003-2004 avec une valeur estimée de 24,7 qx/ha.

En conclusion nous pouvant dire que cette fluctuation des rendements est en relation directe avec l'irrégularité des précipitations et l'absence de l'irrigation de complément.

Chapitre III

Les changements climatiques

Chapitre III : Les changements climatiques**III.1 Définition**

Les conditions atmosphériques changent en permanence, la science qui étudie ces modifications à court terme (quelques jours) est la météorologie. Elle étudie les variations des phénomènes atmosphériques (nuages, dépressions, précipitations, etc.) en utilisant des données de terrain précises comme la température, l'humidité, etc. La climatologie, elle, étudie la succession de ces conditions météorologiques sur le long terme, grâce à des statistiques basées sur au moins 30 ans de mesures. Cela permet de définir le climat d'une région (p.ex. continental, tropical humide, etc.).

Le climat global de la Terre et les climats régionaux sont déterminés par le "système climatique". Ce dernier est une machine extrêmement complexe, à l'échelle de la planète, constituée de toute une série d'interactions entre différents éléments :

- l'atmosphère (interactions entre les vents, la composition de l'atmosphère, etc.)
- la lithosphère (position des continents, albédo, etc.)
- l'hydrosphère (courants océaniques, températures et composition des océans, mers et lacs, etc.)
- la cryosphère (création de courants océaniques froids profonds, albédo, etc.)
- la biosphère (influence sur la composition de l'atmosphère et des océans)

On parle de changement climatique lorsque le climat global de la Terre ou l'ensemble des climats régionaux subissent une modification durable (au minimum sur une durée de dix ans). Un climat étant défini par de nombreuses variables, un changement climatique ne peut pas être réduit a priori à un simple changement de la température moyenne. Il comprendra très probablement aussi une modification de la valeur moyenne ou de la variabilité des précipitations, des vents, de l'humidité du sol, ... (GIEC, 2007).

III.2. Causes et conséquences des changements climatiques**III.2.1. Cause et origines du réchauffement climatique**

Lorsque l'on évoque le réchauffement climatique, c'est rarement pour parler de cause naturelle. Il est souvent lié aux activités humaines, ce qui implique une origine anthropique. Le GIEC a établi les causes du réchauffement climatique : aujourd'hui, nous savons que ce sont les gaz à effet de serre d'origine anthropique qui ont un réel impact sur le climat. Ils proviennent de différentes sources :

- la production d'énergie (électricité, chauffage)
- la production de carburant pour les transports (principalement les voitures, mais aussi en partie l'aviation ou le transport maritime)
- la déforestation
- l'agriculture
- l'élevage.

De plus, la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est directement liée à la température globale moyenne de la Terre. Le gaz le plus abondant dans l'atmosphère est le dioxyde de carbone (CO₂) et provient majoritairement de la combustion d'énergies fossiles.

III.2.2. Conséquences du changement climatique sur notre planète

En utilisant le terme de « réchauffement climatique », on comprend qu'il est question d'augmentation de température. Mais au-delà de la définition du changement climatique, les effets du réchauffement sont conséquents et concernent tous les pays.

- **Sur la biodiversité**

Tous ces bouleversements ont un effet direct sur les écosystèmes, les plantes et les animaux qui voient leur milieu de vie drastiquement changer. Ainsi, ce sont les cycles de modifications et les cycles migratoires qui sont perturbés allant même jusqu'à l'extinction d'espèces.

C'est tout un équilibre qui est perturbé et ce sont des phénomènes qui concernent la planète entière en s'intensifiant. Il faut donc protéger l'environnement dès maintenant.

- **Sur les océans**

La montée des eaux

A votre avis, de combien de centimètres le niveau des océans s'est levé en un siècle ? La réponse : 20 cm ! Cela est en partie lié à la fonte des calottes glaciaires qui entraîne la hausse du niveau de la mer à un rythme élevé (un siècle !).

Selon les estimations, la mer s'élèvera à un mètre d'ici 2100, deux mètres pour 2300 mais une part d'incertitude demeure, ce qui ne nous empêche pas d'atteindre deux mètres en 2100. Et qui dit avancée de la mer sur la terre dit aussi disparition de certaines habitations et commerces, ce qui touche finalement beaucoup de pays. Une disparition de terre en somme.

L'acidification des océans

Cependant, on sait que l'acidification des océans pourrait limiter la production d'oxygène effectuée par la mer, ainsi que le stockage de CO₂. Ce qui aggraverait encore le réchauffement climatique.

- **Sur les hommes**

L'homme est directement touché par ces changements climatiques. On peut par exemple citer les conflits liés à la raréfaction de certaines ressources (naturelles comme l'eau, énergétiques, alimentaires, halieutiques...). Par ailleurs, l'élévation du niveau de la mer entraîne le déplacement de populations. D'après les estimations, en 2050, ce serait 250 millions de réfugiés climatiques. Et sans citer les catastrophes telles que les canicules, les tempêtes, les sécheresses et les inondations.

III.3. Les modèles de changement climatique

Dans le but de connaître l'évolution spatio-temporelle du climat de la planète ou de savoir ce qui pourrait se passer dans l'avenir, le seul moyen dont dispose la communauté scientifique pour répondre à cette question, sont les modèles climatiques. Mais ces modèles se heurtent à de sérieuses difficultés, à savoir la complexité du système climatique et l'imprévisibilité du futur comportement humaine qui influence considérablement le climat de la terre au point même de le changer. A cet effet, la communauté scientifique du climat a donc élaboré un certain nombre de modèles climatiques qui sont utilisés pour étudier le changement et la variabilité du climat, et pour comprendre les divers processus qui gouvernent celui-ci. Ils sont également utilisés pour faire des projections quantitatives concernant le changement climatique futur à long terme (à partir de divers scénarios de forçage de gaz à effet de serre et d'aérosols) et, de plus en plus, pour faire des prédictions climatiques initiales sur des échelles de temps allant d'une saison à plusieurs décennies. On trouvera une brève description de ces modèles dans les prochains paragraphes.

III.3.1 Définition

Un modèle climatique est un logiciel très complexe, dont le but est de reproduire aussi fidèlement que possible le comportement du climat terrestre. Ce sont des programmes informatiques complexes qui calculent l'état du système (climatique) à chaque instant en se basant sur les lois de la physique, telles que la conservation de la masse, de l'énergie, et de la quantité de mouvement. La théorie de la mécanique des fluides qui représente de manière réaliste les écoulements complexes s'applique aussi bien à cette modélisation. Les lois régissant l'écoulement atmosphérique sont très complexes et nécessitent beaucoup de temps de calculs pour leur résolution. Car il faut bien choisir les conditions aux limites, les schémas d'intégration, les coordonnées, la discrétisation des équations et faire des simplifications et d'hypothèses afin de les faciliter (Forloul et Bouzid, 2015).

III.3.2 Types des modèles climatiques

Il existe deux types de modèles climatiques ; le premier est les MCG (Modèle Climatiques Globaux) avec une résolution spatiale et horizontale de 300 Km qui simulent la dynamique des climats de la planète. Le deuxième est le MCR (Modèle Climatique Régionale) avec une résolution horizontale beaucoup plus fine que les MCG de 50 Km. Ces modèles sont basés sur les mêmes équations physiques, mais ils diffèrent peu dans les contenus. Ils ont été élaborés par des équipes pluridisciplinaires (Forloul et Bouzid, 2015).

Nom du modèle	Nationalité	Centre de modélisation
MIROC-ESM MIROC-ESM-CHEM	 <u>Japon</u>	Agence japonaise pour les sciences et technologies marines et terrestres, Institut de recherche sur l'atmosphère et les océans (Université de Tokyo) et Institut national d'études environnementales
CNRM-CM5	 <u>France</u>	Centre National de Recherches Météorologiques / Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique
CanESM2	 <u>Canada</u>	Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique ⁴
FGOALS-s2	 <u>Chine</u>	LASG, Institut de physique atmosphérique, Académie chinoise des sciences
BNU-ESM	 <u>Chine</u>	Collège du changement global et des sciences du système terrestre, Université normale de Pékin
MIROC5	 <u>Japon</u>	Atmosphere and Ocean Research Institute (Université de Tokyo), National Institute for Environmental Studies et Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
GFDL-ESM2G GFDL-ESM2M	 <u>États-Unis</u>	Laboratoire de dynamique des fluides géophysiques de la NOAA
MRI-CGCM3	 <u>Japon</u>	Institut de recherche météorologique, Agence météorologique japonaise
bcc-csm1-1	 <u>Chine</u>	Centre climatique de Pékin, Administration météorologique chinoise

Tableau 01. Les modèles climatiques

III.4. Changement climatique en Algérie et dans le monde

III.4.1. Changement climatique dans le monde

De nos jours, l'homme se rend compte de l'effet de ses actes sur la disparition de la biodiversité et sur le réchauffement du globe. Cela se manifeste dans l'accroissement des températures moyennes mondiales de l'atmosphère et de l'océan, la fonte généralisée de la neige et de la glace, et l'élévation du niveau moyen mondial de la mer (GIEC, 2007). D'après l'histoire, le climat de notre planète n'a jamais été statique. Il subit un phénomène cyclique de succession de réchauffement et de refroidissement. Ce phénomène obéit aux lois physiques de « la tendance vers l'équilibre » qui régissent le fonctionnement de tous les écosystèmes naturels. Mais depuis deux décennies, plus précisément à partir de la révolution industrielle, on assiste à une hausse anormale de la température de l'ordre de 0.6 à 1°C entre 1850 et 2000 (GIEC, 2007).

Les effets du changement climatique et les conséquences du réchauffement de la terre sont désastreux : sécheresse, inondations, perte de biodiversités, catastrophes naturelles (IPCC, 2001).

Les pays qui contribuent le moins aux causes du changement climatique sont les plus touchés et les plus vulnérables à ses impacts. Aussi est venu le concept de « pollueur payeur ».

Ce changement climatique est dû à de nombreux facteurs : astronomique, géologique, océanique, atmosphérique ainsi qu'à l'action anthropique. Ce dernier facteur est l'un des plus importants à l'échelle de la durée de vie de l'homme.

Une des principales causes avancées à l'heure actuelle de ce réchauffement de la terre est la croissance du taux des gaz qui ont le pouvoir d'emmagasiner les rayons solaires réfléchis par la terre dans l'atmosphère et qu'on appelle les gaz à effet de serre (CO₂, NH₄, N₂O...). Ces gaz sont d'origines diverses, mais l'action de l'homme y est très importante (Razakavololona, 2011).

En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées (Farah, 2014). L'étude de l'évolution historique des facteurs du climat (1931 - 1990) met en évidence, pour ces dernières décennies :

-Une hausse de température moyenne sur l'ensemble du pays, ainsi une hausse nette des températures minimales et maximales sur l'ensemble des stations de l'Algérie du Nord depuis la décennie 70 et prolongeant jusqu'à nos jours.

- Une baisse de précipitations sur l'ensemble du pays
- Une occurrence plus grande de phénomènes extrêmes comme les inondations et les sécheresses (Boucetta, 2018).

III.4.2. Changement climatique en Algérie

En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées (Farah, 2014). L'étude de l'évolution historique des facteurs du climat (1931 - 1990) met en évidence, pour ces dernières décennies :

- Une hausse de température moyenne sur l'ensemble du pays, ainsi une hausse nette des températures minimales et maximales sur l'ensemble des stations de l'Algérie du Nord depuis la décennie 70 et prolongeant jusqu'à nos jours.
- Une baisse de précipitations sur l'ensemble du pays
- Une occurrence plus grande de phénomènes extrêmes comme les inondations et les sécheresses (Boucetta, 2018).

III.5 Effets des changements climatiques

Les changements climatiques peuvent impacter de diverses manières l'agriculture. Au-delà de certains seuils de température, les rendements agricoles peuvent diminuer, car l'accélération du processus de croissance s'accompagne d'une moindre production de grains. De plus, l'augmentation de la température modifie la capacité des plantes à retenir et utiliser l'humidité. L'évaporation du sol s'accélère et les feuilles des plantes perdent plus d'humidité, un double effet appelé « évapotranspiration ».

Comme le réchauffement planétaire peut provoquer des précipitations plus importantes, l'impact net de la hausse des températures sur la disponibilité d'eau dépend du rythme d'augmentation de l'évapotranspiration et des précipitations. En général, c'est l'évapotranspiration qui augmente le plus vite (William, 2008).

Seguin et Lefèvre (2015) considèrent que les impacts du changement climatique sur les formations végétales se traduisent par des processus éco physiologiques qui peuvent être schématisées ainsi :

- L'augmentation du CO₂ va stimuler la photosynthèse des couverts végétaux et créer des conditions permettant d'augmenter potentiellement la production de biomasse jusqu'à 20% pour certaines espèces.
- L'accélération du calendrier phénologique va réduire la durée des cycles de culture, et donc le temps de fonctionnement de l'usine photosynthétique pour les végétaux à cycle déterminé (cultures annuelles), ou au contraire.
- Augmenter cette durée du cycle de végétation pour des arbres fruitiers ou forestiers. Elle va aussi modifier le phasage des stades avec les facteurs du climat (gel de printemps, sécheresse estivale notamment).
- Des températures plus élevées peuvent être plus favorables pour la plupart des processus physiologiques, à condition de ne pas dépasser l'optimum au-delà duquel les valeurs deviennent excessives.
- Enfin, les modifications de pluviométrie peuvent s'avérer totalement déterminantes, surtout en cas de renforcement des sécheresses. Dans la mesure où ces différentes composantes conduisent à des conséquences extrêmement variables, les effets résultant sur l'agriculture et la forêt peuvent être tantôt positifs, tantôt négatifs, suivant les productions et les régions.

Chapitre IV

La sécheresse

Chapitre IV : La sécheresse

IV.1. Définition de la sécheresse

La sécheresse est un phénomène qui se manifeste quand les précipitations sont considérablement en dessous des niveaux normaux enregistrés et qui provoque des déséquilibres hydrologiques graves qui nuisent aux systèmes de production des ressources en terres (Rissag, 2017).

IV.2. Types de sécheresse

Les sécheresses sont habituellement classées par type (météorologique, agricole, hydrologique et socio-économique).

- **La sécheresse de type météorologique** est généralement définie par un seuil correspondant à un certain déficit de précipitations sur une période de temps déterminée. Le seuil choisi (par exemple 75 % de la normale) et la durée de la période (par exemple six mois) varient d'un endroit à l'autre selon les besoins des utilisateurs ou les applications concernées. La sécheresse de type météorologique est un phénomène naturel dû à des causes multiples, qui varient d'une région à l'autre. Pour les autres types de sécheresse (agricole, hydrologique et socio-économique), l'accent est davantage mis sur les aspects humains et sociaux du phénomène, de façon à souligner les relations réciproques entre les caractéristiques naturelles de la sécheresse de type météorologique et les activités humaines qui sont tributaires des précipitations pour assurer un approvisionnement suffisant en eau, répondant ainsi aux besoins sociétaux et environnementaux (OMM, 2006).

- **La sécheresse de type agricole** se définit plus volontiers par la présence dans le sol d'une quantité d'eau suffisante pour assurer la croissance des cultures et du fourrage que par l'écart des précipitations par rapport à la normale sur une période de temps déterminée. Il n'y a pas de relation directe entre la hauteur de précipitation et l'infiltration des précipitations dans le sol. Le taux d'infiltration varie en fonction des conditions d'humidité antérieures, de la pente, de la nature du sol et de l'intensité des précipitations. Les sols ont aussi des caractéristiques variables : certains ont une faible capacité de rétention d'eau et sont donc plus sujets à la sécheresse de type agricole.

- **La sécheresse de type hydrologique** a encore moins à voir avec l'insuffisance des précipitations par rapport à la normale, puisqu'elle est généralement définie comme l'écart

de l'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine par rapport à certaines conditions moyennes à différents moments. Comme dans le cas de la sécheresse de type agricole, il n'y a pas de relation directe entre la hauteur de précipitation et le degré d'approvisionnement en eau de surface et en eau souterraine des lacs, réservoirs, aquifères et cours d'eau, parce que ces divers éléments du système hydrologique sont utilisés à des fins multiples et rivales (irrigation, activités récréatives, tourisme, maîtrise des crues, transports, production d'énergie hydroélectrique, alimentation en eau des ménages, protection des espèces menacées, gestion et préservation de l'environnement et des écosystèmes, etc.).

- **La sécheresse de type socio-économique** diffère fortement des autres types de sécheresse du fait qu'elle reflète la relation entre l'offre et la demande de certaines denrées ou de certains biens économiques (eau, fourrage pour le bétail, énergie hydroélectrique, etc.) qui sont tributaires des précipitations. L'offre varie annuellement en fonction des précipitations ou de l'eau disponible; la demande varie également et est souvent associée à une évolution positive due, par exemple, à une augmentation de la population, au développement ou à d'autres facteurs (OMM, 2006).

IV.3 Indices de sécheresse

La sécheresse peut être caractérisée par plusieurs indices. Ces indices sont fonction de certains paramètres climatiques notamment les précipitations et les températures. Parmi ces indices on note le SPI.

IV.3 .1. L'Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

L'indice SPI (McKee et al., 1993, 1995) est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs.

Pour calculer l'indice SPI, il faut disposer idéalement de relevés mensuels s'étalant sur au moins 20 à 30 ans, mais de préférence sur 50 à 60 ans, voire plus, ce qui constitue la période optimale (Gutmann, 1994).

Les climatologues préféreraient travailler sur des séries de données complètes, c'est-à-dire des séries ne comportant aucune donnée manquante.

IV.3.2. Valeurs de l'indice SPI

2.0 et plus	Extrêmement humide
De 1.5 à 1.99	Très humide
De 1.0 à 1.49	Modérément humide
De -0.99 à 0.99	Proche de la normale
De -1.0 à -1.49	Modérément sec
De -1.5 à -1.99	Très sec
-2 et moins	Extrêmement sec

Tableau 02. Valeurs de l'indice SPI selon (OMM, 2012)

- Étant donné que l'indice est normalisé, il est possible de représenter de la même manière les climats humides et les climats arides ; l'indice SPI permet donc d'assurer aussi une surveillance des périodes humides. Il faut souligner toutefois que l'on ne peut se servir de l'indice SPI dans l'analyse des changements climatiques, puisque la température n'est pas un paramètre pris en compte.
- L'indice SPI a été conçu pour quantifier le déficit de précipitations à différentes échelles de temps.
- Ces échelles de temps traduisent les incidences de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau, ce qui était l'intention première des scientifiques qui ont conçu l'indice.
- La période sur laquelle porte l'indice SPI variera donc en fonction du type de sécheresse faisant l'objet des analyses et applications envisagées : on prendra par exemple l'indice SPI sur 1 à 2 mois pour une sécheresse météorologique, sur 1 à 6 mois pour une sécheresse agricole et sur 6 à 24 mois, voire plus pour une sécheresse hydrologique (OMM, 2012).

IV.3.3. Avantages et inconvénients

Il est possible de résumer les avantages et les inconvénients que présente l'indice SPI comme suit :

➤ **Avantages**

- 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 par exemple, l'indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la 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 (OMM, 2012).

➤ **Inconvénients**

- L'indice SPI ne repose que sur les relevés de précipitations.
- 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).
- Le laps de temps pour lequel il est possible de calculer l'indice SPI varie de 1 à 72 mois. D'un point de vue statistique, une période allant de 1 à 24 mois représente le champ d'application présentant la meilleure utilité pratique (Gutmann, 1994, 1999). Le seuil de 24 mois est basé sur la recommandation formulée par Gutmann quant à la nécessité de disposer d'une série de données couvrant 50 à 60 ans environ. À moins d'avoir à sa disposition des données s'étalant sur 80 à 100ans, la taille de l'échantillon est trop petite et le degré de confiance statistique à accorder aux estimations de probabilités correspondant aux traînes des distributions (extrêmes humides et secs) devient faible au-delà de 24 mois. En outre, le fait de ne disposer que d'une série de données sur 30 ans, soit la durée minimale (ou moins), diminue la taille de l'échantillon et affaiblit le degré de confiance. Il est techniquement possible de calculer l'indice SPI à partir de données portant sur moins de 30 ans, à condition toutefois de garder à l'esprit les limites statistiques et l'affaiblissement de la confiance dont on vient de parler.

- **Indice SPI sur 1 mois**

Une carte de l'indice SPI calculé sur 1 mois (SPI-1) ressemble beaucoup à une carte représentant le pourcentage de la normale des précipitations pour une période de 30 jours. Il établit une comparaison entre le total mensuel des précipitations du mois en cours et les totaux mensuels des précipitations du même mois de toutes les années pour lesquelles on dispose de données. Aussi le SPI-1 qui représente des conditions à courte échéance, permet de suivre les sécheresses météorologiques, l'humidité du sol et le stress hydrique subi par les cultures, en particulier au cours de la période végétative.

- **Indice SPI sur 3 mois**

L'indice SPI sur 3 mois (SPI-3) 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. Ainsi, un SPI-3 qui se termine en

septembre expose les conditions de sécheresse et d'humidité de la période allant de juillet à septembre. De ce fait, il fournit une indication sur les conditions d'humidité à courte et moyenne échéances et une estimation des précipitations sur une saison.

- **Indice SPI sur 6 mois**

L'indice SPI sur 6 (SPI-6) mois établit la comparaison entre les précipitations sur la période de six mois examinée et les totaux des précipitations pour cette même période de six mois de toutes les années pour lesquelles on dispose de relevés. Le SPI-6 fournit une indication sur les tendances des précipitations sur une saison et jusqu'à moyenne échéance. Un SPI-6 peut se révéler très performant pour mettre en évidence les précipitations sur des saisons bien précises. À titre d'exemple, un SPI-6 se terminant fin septembre fournirait une très bonne indication des quantités de précipitations observées du début de la saison humide (avril) à septembre, qui revêt une grande importance pour les pays sahéliens et parties nord de ceux du Golfe de Guinée. À partir de 6 mois, on peut aussi commencer à associer l'information que fournit un indice SPI avec les anomalies du débit des cours d'eau et des niveaux des réservoirs, selon la région et la période de l'année considérées.

- **Indice SPI sur 9 mois**

L'indice SPI sur 9 mois (SPI-9) fournit une indication sur les régimes de précipitations inter saisonniers, à moyenne échéance. Ainsi, un SPI-9, terminant en septembre fournirait une très bonne indication des quantités de précipitations observées du début de l'année (janvier) à septembre, qui revêt une grande importance pour les parties sud des pays du Golfe de Guinée. Un SPI-9 présentant des valeurs inférieures à -1,5 est habituellement un bon indicateur de conditions sèches aux conséquences sérieuses pour l'agriculture et pouvant affecter d'autres secteurs également. C'est à partir de 9 mois qu'on commence à établir le lien entre une sécheresse saisonnière de courte durée et une sécheresse à plus long terme pouvant se transformer en sécheresse hydrologique ou en sécheresse s'étalant sur plusieurs années (OMM, 2012).

IV.4. Adaptation à la sécheresse

En Algérie, des pratiques d'adaptation sont déjà utilisées, car les épisodes de Sécheresse, d'inondation, d'augmentation anormale de température de l'air se manifestent Continuellement. Ces actions doivent être intégrées dans une politique globale d'adaptation du pays, du fait que les initiatives d'adaptation qui seront prises dans ce secteur auront des conséquences importantes dans plusieurs autres secteurs (Agoumi A., 2003).

Les principales mesures quantitatives, qualitatives et de gestion prises par l'Algérie et celles en cours de développement peuvent être décrites comme suit.

IV.4.1. Mesures quantitatives

- Recours aux techniques d'économie d'eau en particulier en agriculture tel que l'irrigation du goutte à goutte et de l'aspiration contrôlée ainsi le choix de cultures moins consommatrices d'eau.
- Mobilisation des eaux conventionnelles non mobilisées à ce jour.
- Valorisation des eaux usées traitées à travers leur utilisation maîtrisée pour l'arrosage de certaines cultures et le développement des activités industrielles.
- construction de barrages et retenues colinéaires.
- Lancement de programmes de forage supplémentaires et réhabilitation de certains forages abandonnés.
- Réglementation du prélèvement d'eau au niveau des nappes souterraines.
- Réhabilitation des réseaux de distribution d'eau.
- Amélioration de modes de gestion d'eau industrielle (recyclage, réutilisation).
- Construction d'usines de désalinisation et de traitement des eaux usées.
- Diminution de l'évaporation sur les lacs des barrages-réservoirs ou sur les lacs collinaires (plusieurs expériences ont été menées mais n'ont pas eu un grand succès).
- Reprise de la technique de «la pluie provoquée» fin d'accroître le rendement en eau précipitée à partir des nuages.
- Application des techniques de recharge artificielle des nappes aquifères dans les régions du Sud.

Ces techniques, appliquées en Hollande, en Californie et en Floride (Arrus R. et Rousset N., 2006), et qui nécessitent un transfert de technologies en Algérie, consistent à stocker, en hiver, dans les nappes phréatiques, l'eau des rivières pour les utilisées en été, par pompage, pour l'irrigation ou la consommation urbaine.

IV.4.2. Mesures qualitatives

Parmi ces mesures, on peut citer :

- Dépollution des systèmes hydriques et épuration des eaux usées avant rejet.
- Protection des eaux contre la pollution (agricole, industrielle et humaine).

- Renforcement des systèmes de surveillance des ressources en eau.
- Amélioration de la qualité des eaux de consommation humaine par déminéralisation et par élimination des risques de contamination au niveau des transports, du stockage et de distribution.
- Protection des zones humides en tant que lieu d'habitat des espèces faunistiques locales et migrantes. En Algérie, des mesures préventives, pour lutter contre les effets néfastes des phénomènes extrêmes, sont aussi au centre des préoccupations de l'état depuis l'adoption de la loi relative aux risques naturels et technologiques majeurs (loi 04-20 du 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable) (Meddi M. et Hubert J., 2002

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and a horizontal strip at the top, both ending in small circular curls.

Matériels et méthodes

Matériels et méthodes

I.1. Logiciel DrinC (calculateur d'indice de sécheresse)

I.1.1. Présentation du logiciel

Le logiciel DrinC vise à fournir une interface conviviale pour le calcul de plusieurs indices de sécheresse. Les indices suivants sont actuellement inclus dans DrinC :

- Indice de précipitations standardisé (SPI)
- Indice de sécheresse de reconnaissance (RDI)
- Indice de sécheresse fluviale (SDI)
- Indice agricole normalisé des précipitations (SPI)
- Indice de sécheresse de reconnaissance efficace (RDI)
- Déciles de précipitations (PD)

La caractéristique commune des indices ci-dessus est qu'ils nécessitent un nombre relativement faible de paramètres de données et que les résultats peuvent être facilement interprétés et utilisés dans la planification stratégique et les applications opérationnelles. En utilisant des paramètres de calcul appropriés, ces indices sont appropriés pour la caractérisation et l'analyse de la sécheresse météorologique, hydrologique et agricole. De plus, DrinC comprend un module de calcul de l'évapotranspiration potentielle (PET) à l'aide de méthodes basées sur la température, adaptées au calcul RDI et RDI.

I.1.2. Gestion de données

- Les principaux composants de la fenêtre "Gestion des données" sont :
 - Emplacement du fichier : sélectionnez les fichiers d'entrée (seules les données requises doivent être définies).

- Disponibilité des données : [a] définir la séquence des mois dans le fichier d'entrée (option fixe dans la version actuelle - le premier mois doit être octobre) ; [b] définir la première année de l'ensemble de données ; [c] définir le nombre total d'années ; [d] si l'option 'série synthétique' est cochée, la première année n'est liée à aucune date précise.
- Charger les ensembles de données : les fichiers sélectionnés peuvent être chargés pour un aperçu. Il ne s'agit pas d'une action requise avant le calcul de l'index ; les jeux de données requis sont chargés lorsque l'indice sélectionné est calculé.
- Calculer le PET : le module PET peut éventuellement être utilisé pour calculer le PET avec des méthodes basées sur la température.
- Options de chargement des données : cochez cette option pour afficher des paramètres supplémentaires pour chaque type de données.
- Valeurs : les valeurs des données peuvent être mensuelles ou annuelles/saisonnnières.
- Sens de chargement : Selon le format des données, le sens de chargement est sélectionné.
- Commencer le chargement à partir de : Définissez la position dans le fichier (ligne et colonne) à partir de laquelle le chargement commencera. La lettre à côté du numéro de colonne indique la lettre de colonne correspondante dans les feuilles de calcul Excel. L'option 'Détection automatique' est utilisée pour localiser automatiquement la position des données dans le fichier.
 - En raison de la structure des indices, il est recommandé d'utiliser des séries chronologiques de données de 30 ans ou plus, pour garantir une analyse fiable.

❖ **Données d'entrée requises**

Selon l'indice de sécheresse sélectionné, les données requises sont :

- Indice Standardisé des Précipitations (SPI) : précipitations
- Reconnaissance Drought Index (RDI) : précipitations, PET (ou température, voir ici)

- Indice de sécheresse fluviale (SDI) : flux fluvial
- Indice agricole standardisé des précipitations (aSPI) : précipitations
- Effective Reconnaissance Drought Index (RDI) : précipitations, PET (ou température, voir ici)
- Déciles de précipitations (PD) : précipitations
 - Le calcul des indices de sécheresse dans DrinC est principalement basé sur des données mensuelles (valeurs mensuelles cumulées). Dans certains cas, des données annuelles ou saisonnières (valeurs annuelles ou saisonnières cumulées) peuvent être utilisées.

I.2. Indices de sécheresse

La fenêtre des indices de sécheresse comprend les options de calcul pour chaque indice. Un fichier de sortie peut éventuellement être sélectionné pour l'index sélectionné ; si aucun fichier de sortie n'est défini, les résultats ne sont affichés qu'en interne. Selon l'indice sélectionné.

I.2.1. Paramètres de calcul

Un problème critique dans le calcul des indices de sécheresse est la sélection des paramètres appropriés concernant la période de référence (échelle de temps) et le pas de temps (intervalle de temps de calcul), en fonction du but et des objectifs de l'analyse de la sécheresse.

Période de référence (échelle de temps) :

Inclut quatre options prédéfinies et une option définie par l'utilisateur. Les options prédéfinies (12 mois, 6 mois, 3 mois, 1 mois) sont disponibles uniquement pour le pas de temps annuel et utilisent l'échelle de temps correspondante, en référence au premier mois chargé des données d'entrée (option fixe dans la version actuelle : octobre). Par exemple, si le premier mois chargé est octobre, selon la sélection de la liste déroulante correspondante [Tous, 1, 2, ...], les périodes de référence sont :

- 12 mois : Oct.-Sept
- 6 mois : [1] Oct-Mar, [2] Avr-Sep, [Tous] Toutes les périodes précédentes sont incluses (2 semestres)
- 3 mois : [1] Oct.-Déc., [2] Jan-Mar, [3] Avr-Mai, [4] Juin-Sep, [Tous] Toutes les périodes précédentes sont incluses (4 trimestres)
- 1 mois : [1] Oct., [2] Nov., [3] Dec, ... [11] Aug, [12] Sep, [All] Toutes les périodes précédentes sont incluses (12 mois)

I.2.2. Précipitations efficaces

Le concept de précipitation effective est utilisé pour le calcul de SPI et du RDI, visant à identifier plus précisément les événements de sécheresse agricole. Dans ce contexte, les précipitations efficaces sont définies comme la partie des précipitations totales qui peut être utilisée de manière productive par les plantes, directement ou indirectement.

I.2.3. Caractérisation de la sécheresse

Les résultats de chaque indice peuvent être interprétés pour caractériser les événements de sécheresse, sur la base des classes de sécheresse. La classification de la sécheresse peut varier en fonction des impacts réels de la sécheresse sur des systèmes spécifiques et de plusieurs facteurs liés à chaque application, aux objectifs de l'étude, à l'emplacement, etc.

I.2. Affichage des données d'entrée

Les données d'entrée utilisées pour le calcul de l'indice sont affichées dans la fenêtre 'Données d'entrée'. Les données peuvent également être chargées avant le calcul de l'index pour l'aperçu.

L'indicateur par défaut pour les données manquantes est -99.

- Si aSPI ou eRDI est sélectionné, les données de précipitations chargées sont transformées en précipitations effectives. Dans un tel cas, les valeurs transformées sont affichées et la légende correspondante sous le type de données est "Précipitations effectives".

I.3.1. Affichage des résultats

Après le calcul de l'indice, les résultats sont affichés dans la fenêtre 'Résultats'. Si plusieurs périodes de référence sont sélectionnées pour le calcul (par exemple, 6 mois, [Tous]), la période correspondante est sélectionnée dans la liste déroulante "Période d'affichage" (par exemple, [1] : premier semestre ; [2] deuxième semestre). Il en va de même si le pas de temps mensuel est sélectionné, soit 12 périodes, selon l'échelle de temps choisie (ex. échelle de temps de 9 mois : [1] Oct.-Jun, [2] Nov.-Jul, ... [12] Sep- Peut).

- Si une période comprend des données manquantes, la valeur d'index correspondante est également signalée comme manquante (-99). Dans les fichiers de sortie, ce drapeau est remplacé par un astérisque (*).

I.3.2. Copier - exporter

Les données d'entrée et les résultats peuvent être copiés et exportés (collés) vers d'autres applications (par exemple MS Excel).

- Copy selected cells : La zone de données sélectionnée est copiée ('Ctrl+C' peut également être utilisé).

- Copy entire sheet : Toute la feuille de données est copiée (y compris les légendes | années).

I.4. Potentiel évapotranspiration (PET) modulus

Les données d'évapotranspiration potentielle (PET) sont nécessaires pour le calcul de RDI et eRDI. Bien que la méthode Penman-Monteith de la FAO soit idéalement recommandée pour l'estimation de la TEP, en raison de ses exigences élevées en matière de données, les méthodes basées sur la température (Hargreaves, Blaney-Criddle, Thornthwaite) sont également considérées comme appropriées pour les calculs RDI et eRDI.

Selon la méthode PET choisie, les données de température requises sont :

- Hargreaves : max. température (moyenne mensuelle des températures quotidiennes maximales) ; min. température (moyenne mensuelle des températures minimales quotidiennes) température moyenne (moyenne mensuelle des températures quotidiennes moyennes) [si ce dernier n'est pas disponible, il y a la possibilité d'être approché comme $(T_{max}+T_{min})/2$]
- Blaney-Criddle : température moyenne (moyenne mensuelle des températures moyennes journalières)
- Thornthwaite : température moyenne (moyenne mensuelle des températures moyennes quotidiennes).

De plus, la latitude de l'emplacement (degrés décimaux ou degrés - minutes) doit être utilisée.

- SI la méthode Hargreaves est sélectionnée et que l'option 'Détection automatique' n'est pas cochée, le point de données de départ doit être le même dans tous les fichiers de température (T_{max} , T_{min} et T_{mean}).

II. Logiciel Excel

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le logiciel Excel comme un outil essentiel pour la gestion, l'analyse et la présentation de données

Le logiciel Excel, développé par Microsoft, est une application de tableur polyvalente et largement utilisée dans de nombreux domaines professionnels et académiques. Il permet aux utilisateurs de créer, organiser et analyser des données de manière efficace. Avec une interface conviviale et des fonctionnalités puissantes, Excel permet la création de feuilles de calcul structurées en utilisant un système de lignes et de colonnes.

Excel offre une gamme étendue de fonctionnalités, notamment la saisie et la modification de données, l'application de formules mathématiques et logiques pour effectuer des calculs, la création de graphiques et de visualisations pour représenter les données de manière claire et compréhensible, ainsi que des fonctionnalités avancées telles que les tableaux croisés dynamiques, les macros et la gestion de données volumineuses.

Grâce à sa flexibilité, Excel peut être utilisé pour une variété de tâches, telles que la gestion de budgets, l'analyse financière, la création de rapports, la planification de projets, la gestion des stocks, l'organisation de données statistiques, et bien plus encore. Il offre également des fonctionnalités avancées pour l'automatisation des tâches répétitives, ce qui permet d'économiser du temps et d'accroître l'efficacité dans le traitement et l'analyse des données.

En résumé, Excel est un outil essentiel pour la manipulation, l'analyse et la présentation de données, offrant aux utilisateurs la possibilité de gérer et d'exploiter leurs données de manière rapide et précise.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and a horizontal strip at the top, both featuring rounded ends and small loops at the corners.

Résultats et discussion

I. Variation des précipitations

I.1. Variation des précipitations de l'année 2050 selon l'indice RCP 4.5

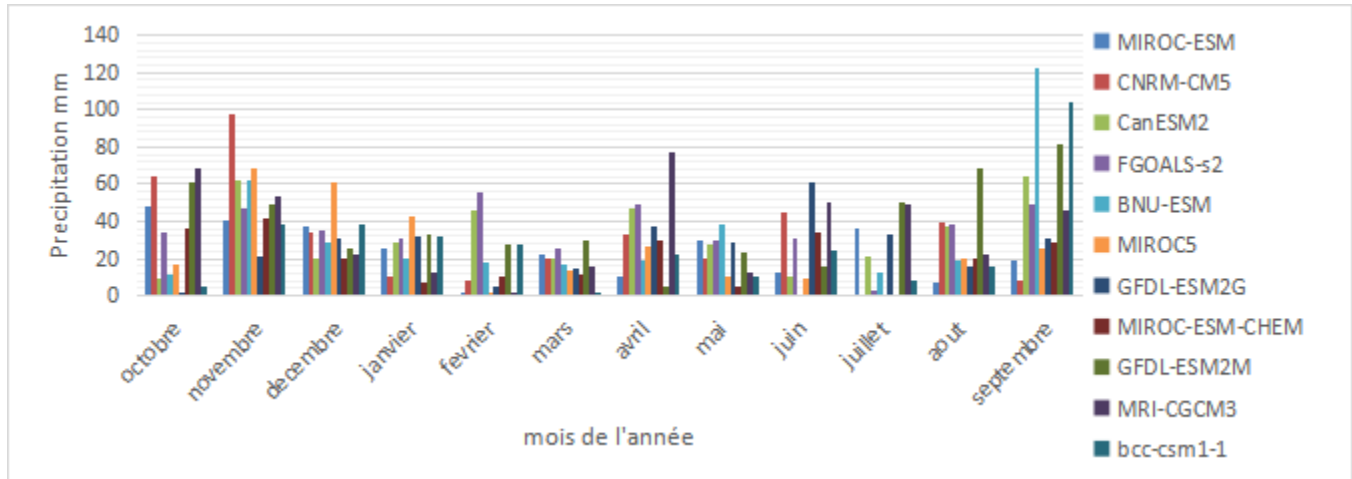


Figure 03. Variation des précipitations de la station de Setif durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 4.5

La figure 03. Représente la variation des précipitations ou niveau de la station de Setif au cours de l'année 2050, selon l'indice RCP 4.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques.

En note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de septembre selon le modèle BNU-ESM. Elle est estimée à 122.48 mm, alors que la valeur la plus faible et on mois de juin selon le modèle BNU-ESM, est estimée à 1.22 mm

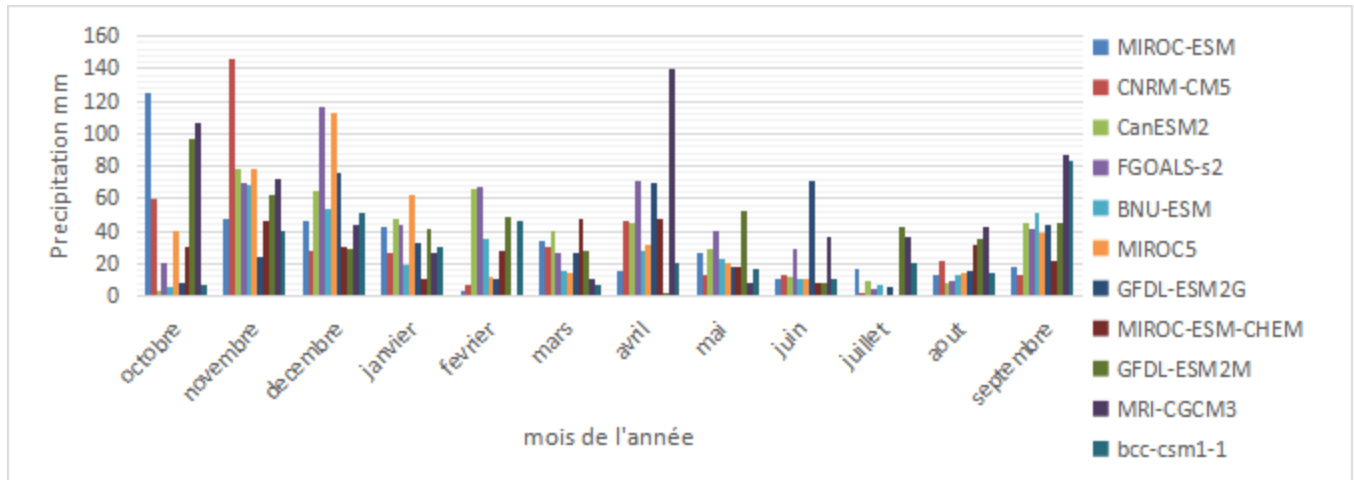


Figure 04. Variation de précipitations de la station de Constantine durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 4.5

La figure ci-dessus représente la variation des précipitations au niveau de la station de Constantine au cours de l'année 2050 selon l'indice RCP 4.5 dans plusieurs modèles de changements climatiques.

En outre, la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de novembre selon le modèle CNRM-CM5. Elle est estimée à 146.49 mm, alors que la valeur la plus faible est au mois de juillet selon le modèle CNRM-CM5, estimée à 0.59 mm.

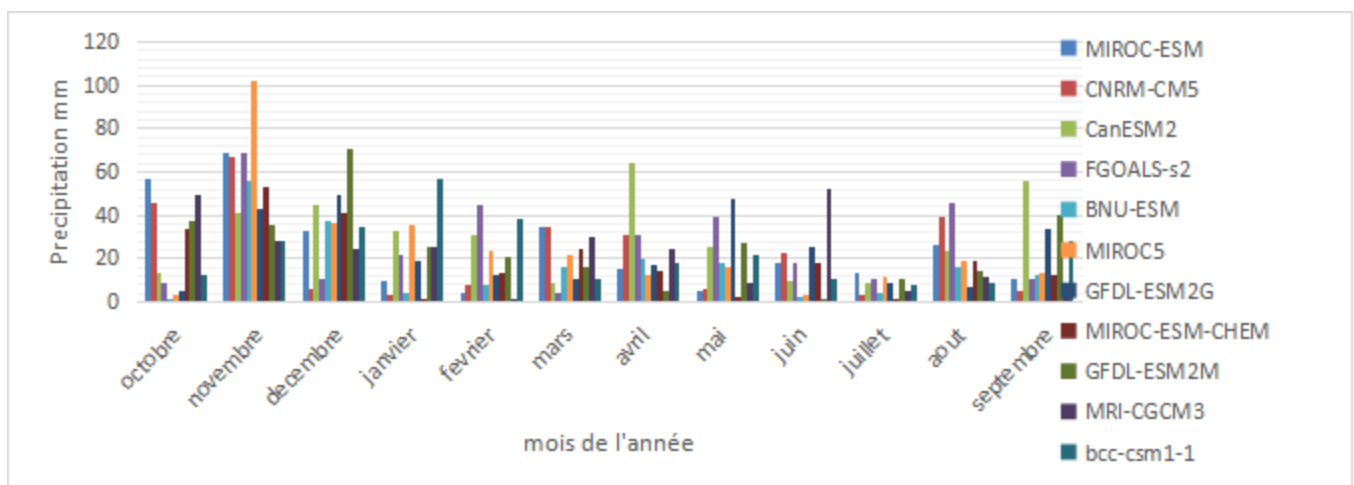


Figure 05. Variation de précipitations de la station de Tiaret durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 4.5

La figure suivante représente la variation des précipitations au niveau de la station de Tiaret au cours de l'année 2050 selon l'indice RCP 4.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques.

En note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de novembre selon le modèle MIROC5. Elle est estimée à 102.36 mm, alors que la valeur la plus faible est on mois de juin selon le modèle GFDL-ESM2M, est estimée à 0.73 mm

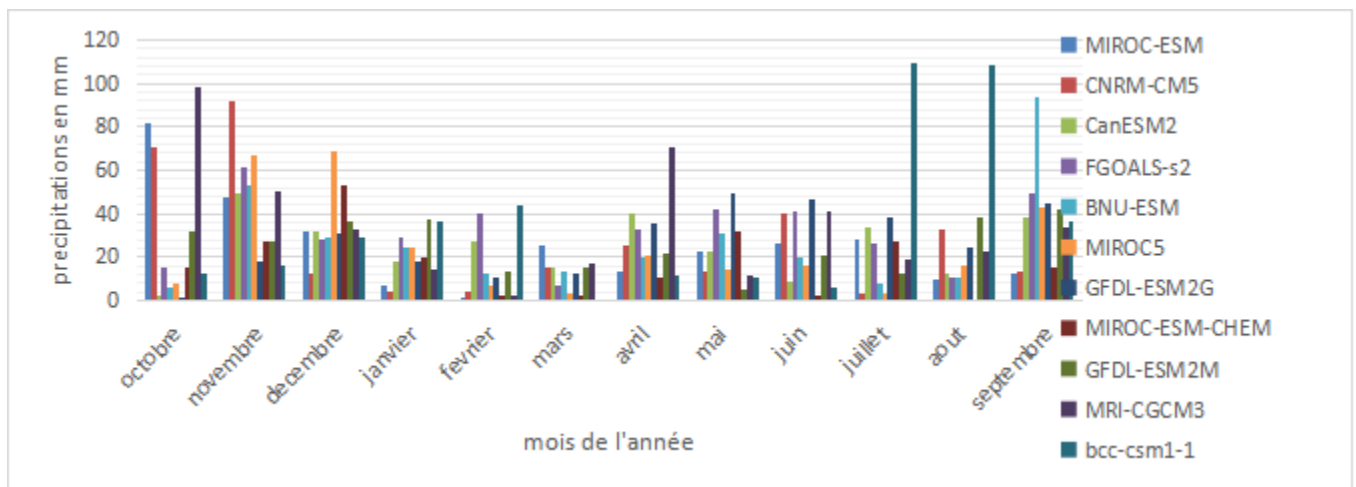


Figure 06. Variation de précipitations de la station de BBA durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 4.5

La figure 06. Représente la variation des précipitations au niveau de la station de BBA au cours de l'année 2050 selon l'indice RCP 4.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques.

En note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de juillet selon le modèle bcc-csm1-1. Elle est estimée à 109.07 mm, alors que la valeur la plus faible est on mois de mars selon le modèle bcc-csm1-1, est estimée à 1.05 mm

I.2. Variation des précipitations durant l'année 2050 selon l'indice RCP 8.5

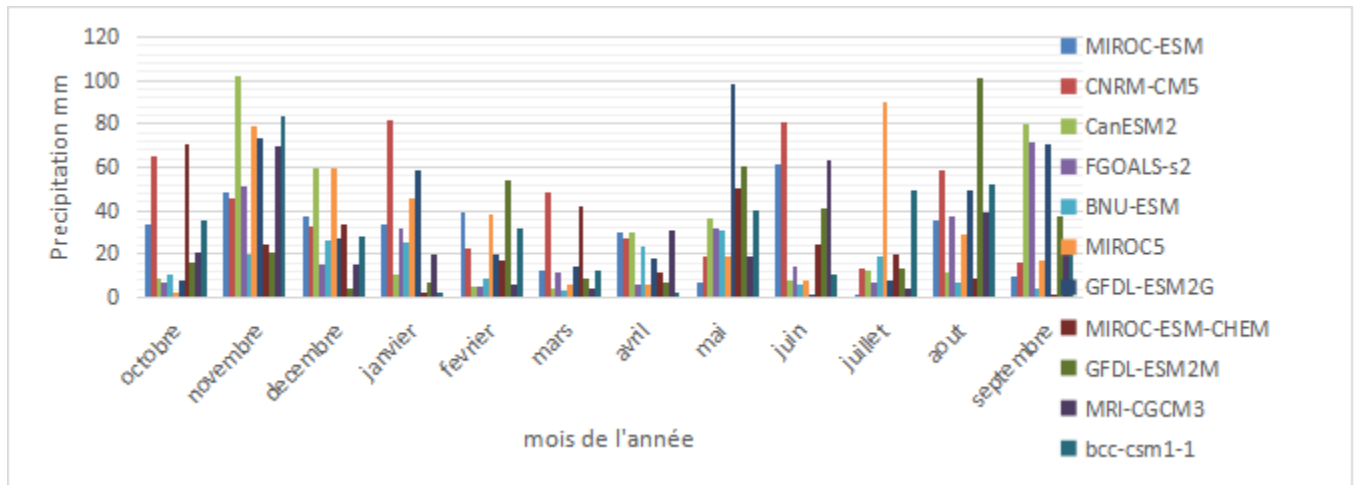


Figure 07. Variation de précipitations de la station de Setif durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 8.5

L'histogramme si dessus représente la variation des précipitations pour la station de Setif au cours de l'année 2050 selon l'indice RCP 8.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques.

En note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de novembre selon le modèle CanESM2. Elle est estimé à 102.06 mm, alors que la valeur la plus faible est on mois de juin selon le modèle GFDL-ESM2G, est estimé à 0.59 mm

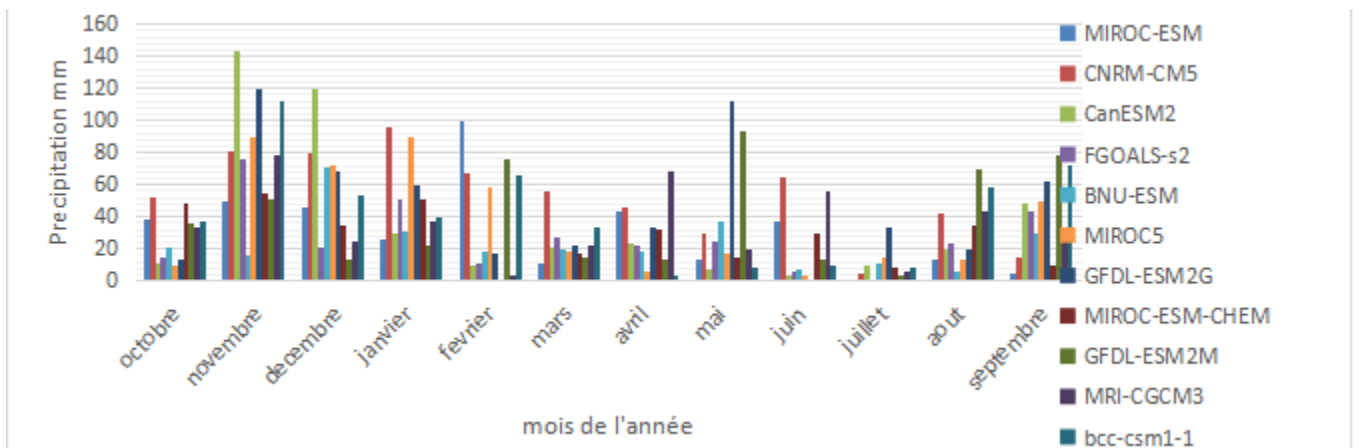


Figure 08. Variation de précipitations de la station de Constantine durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 8.5

La figure 08. Représente la variation des précipitations pour la station de Constantine au cours de l'année 2050 selon l'indice RCP 8.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques.

En note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de novembre selon le modèle CanESM2. Elle est estimée à 143.46 mm, alors que la valeur la plus faible est on mois de juillet selon le modèle FGOALS-s2, est estimé à 1.48 mm

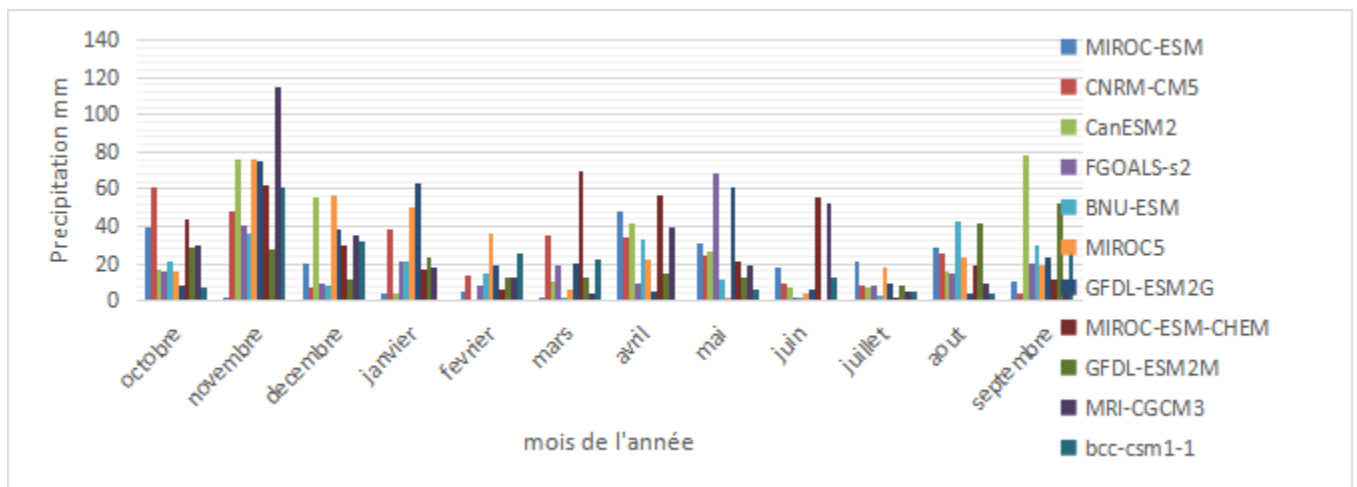


Figure 09. Variation de précipitations de la station de Tiaret durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 8.5

La figure si dessus représente la variation des précipitations pour la station de Tiaret au cours de l'année 2050 selon l'indice RCP 8.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques.

En note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de novembre selon le modèle MRI-CGCM3. Elle est estimée à 114.45 mm, alors que la valeur la plus faible se situe au mois de novembre selon le modèle MIROC-ESM, est estimé à 0.63 mm

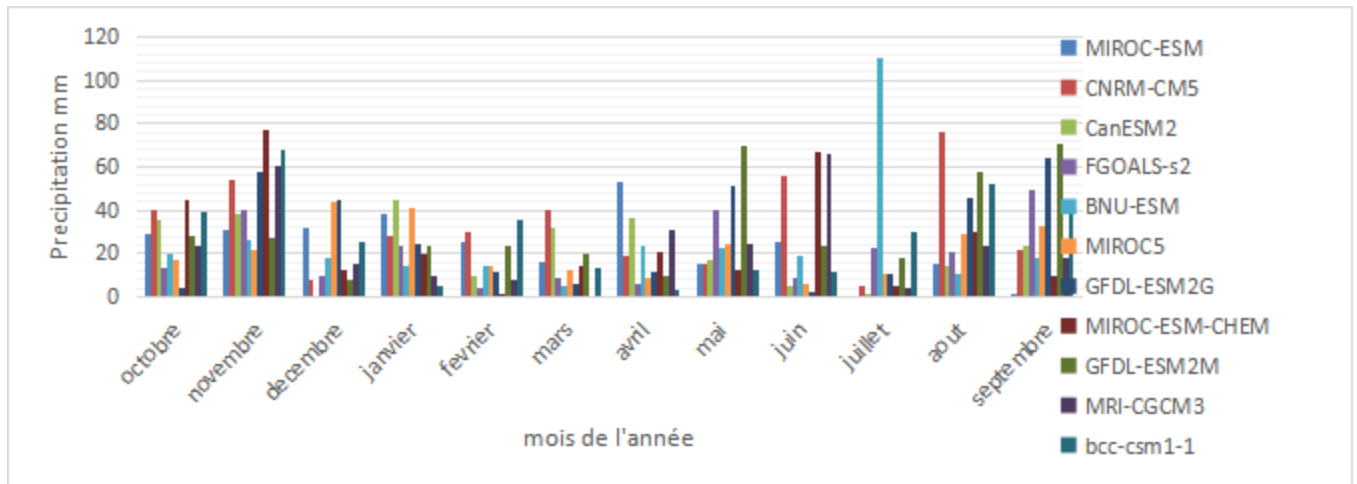


Figure 10. Variation de précipitations de la station de BBA durant l'année de 2050 selon l'indice de RCP 8.5

La figure 10. Représente la variation des précipitations pour la station de BBA au cours de l'année 2050 selon l'indice RCP 8.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques.

En note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de juillet selon le modèle BNU-ESM. Elle est estimée à 110.64 mm, alors que la valeur la plus faible des précipitations se situe au mois de juillet selon le modèle CanESM2, est estimé à 0.53 mm.

I.3. Variation des précipitations de l'année 2080 et RCP 4.5

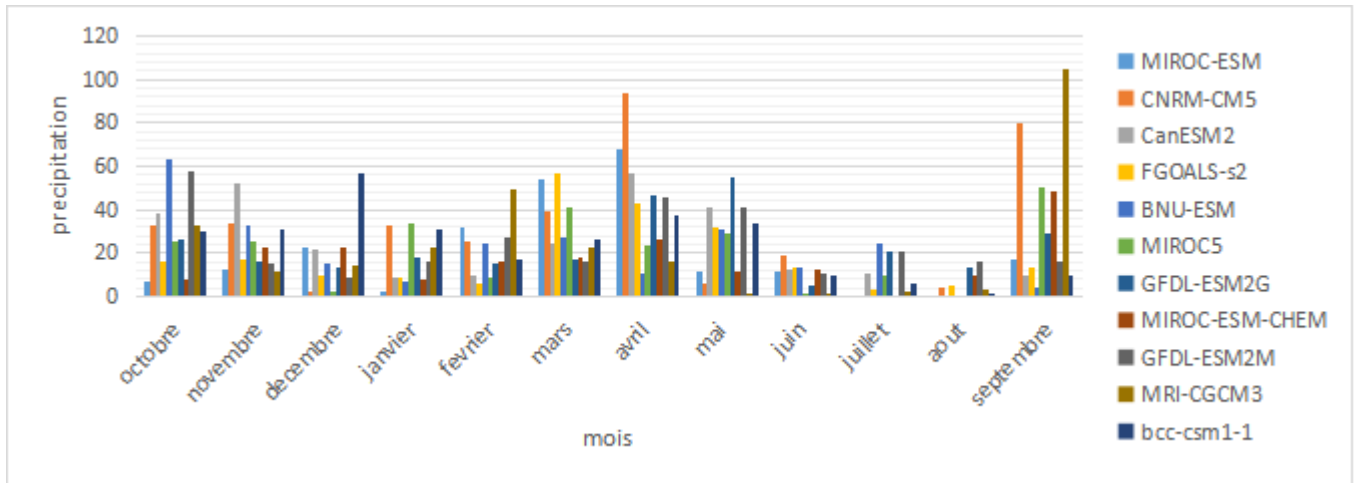


Figure 11. Variation des précipitations de la station de Sétif durant l'année de 2080 selon l'indice de RCP 4.5

La figure 11 représente la variation des précipitations au niveau de la station de Sétif au cours de l'année 2080, selon l'indice RCP de 4.5 selon plusieurs modèles de changement climatique

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de septembre selon le modèle MRI-CGCM3. Elle est estimée à 104,81 mm, alors que la valeur la plus faible, est on mois de juin selon le modèle MRI-CGCM3 est estimée à 0,72mm.

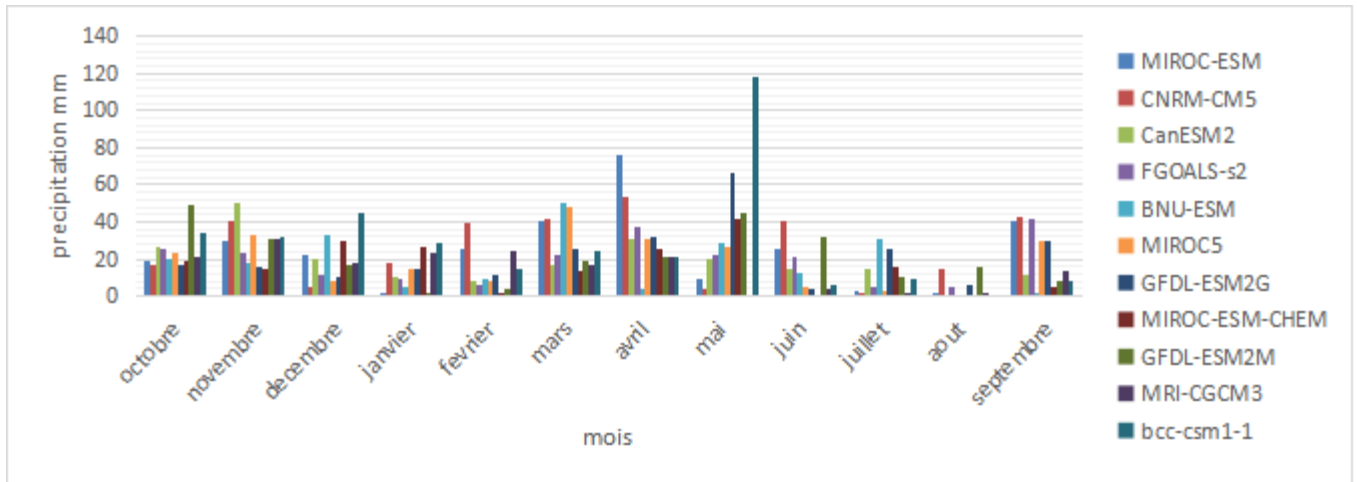


Figure 12. Variation des précipitations de la station de Bordj Bou Arreridj durant l'année de 2080 selon l'indice de RCP 4.5

La figure ci-dessus représente la variation des précipitations au niveau de la station de Bordj Bou Arreridj au cours de l'année 2080, selon l'indice RCP de 4.5 selon plusieurs modèles de changement climatique

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de mai selon le modèle bcc-csm1-1, qui est estimée à 117,94 mm Alors que la valeur la plus faible, est on mois d'aout selon le modèle MRI-CGCM3 est estimée à 0,79 mm

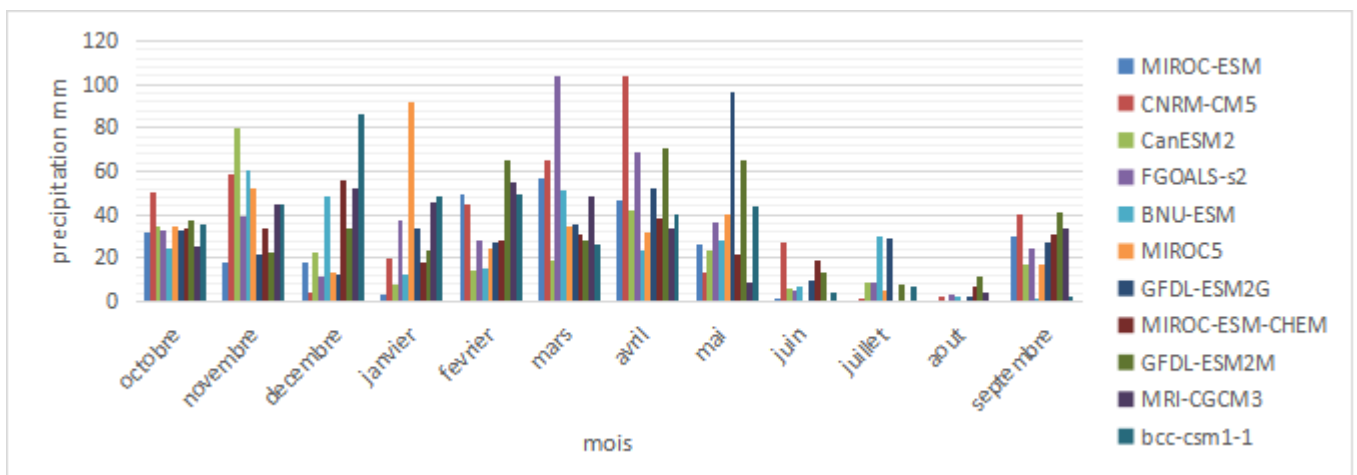


Figure 13. Variation des précipitations de la station de Constantine durant l'année de 2080 selon l'indice de RCP 4.5

La figure 13 représente la variation des précipitations au niveau de la station de Constantine au cours de l'année 2080, selon l'indice RCP de 4.5 selon plusieurs modèles de changement climatique

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois d'avril selon le modèle CNRM-CM5. Elle est estimée à 104,34 mm, alors que la valeur la plus faible, est on septembre selon le modèle BNU-ESM est estimée à 0,67 mm

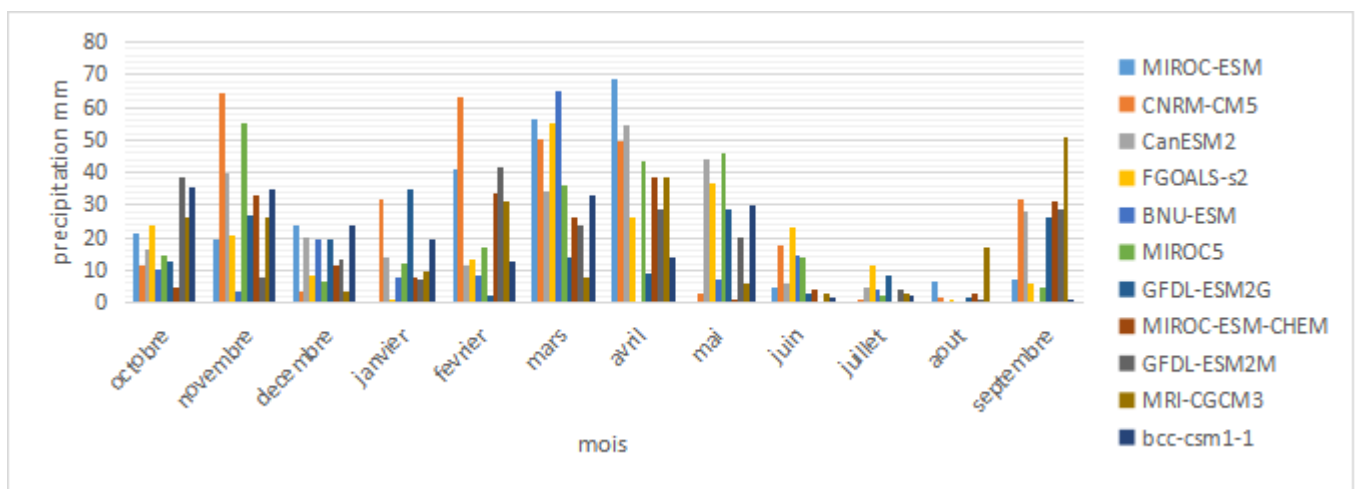


Figure 14. Variation des précipitations de la station de Tiaret durant l'année 2080 selon l'indice de RCP 4.5

La figure ci-dessus représente la variation des précipitations au niveau de la station de Tiaret au cours de l'année 2080, selon l'indice RCP de 4.5 selon plusieurs modèles de changement climatique

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois d'avril selon le modèle MIROC-ESM, Elle est estimée à 68 ,45 mm, alors que la valeur la plus faible, est on mois de mai selon le modèle MIROC-ESM-CHEM est estimée à 0,53 mm

I.4. Variation des précipitations de l'année 2080 et RCP 8.5

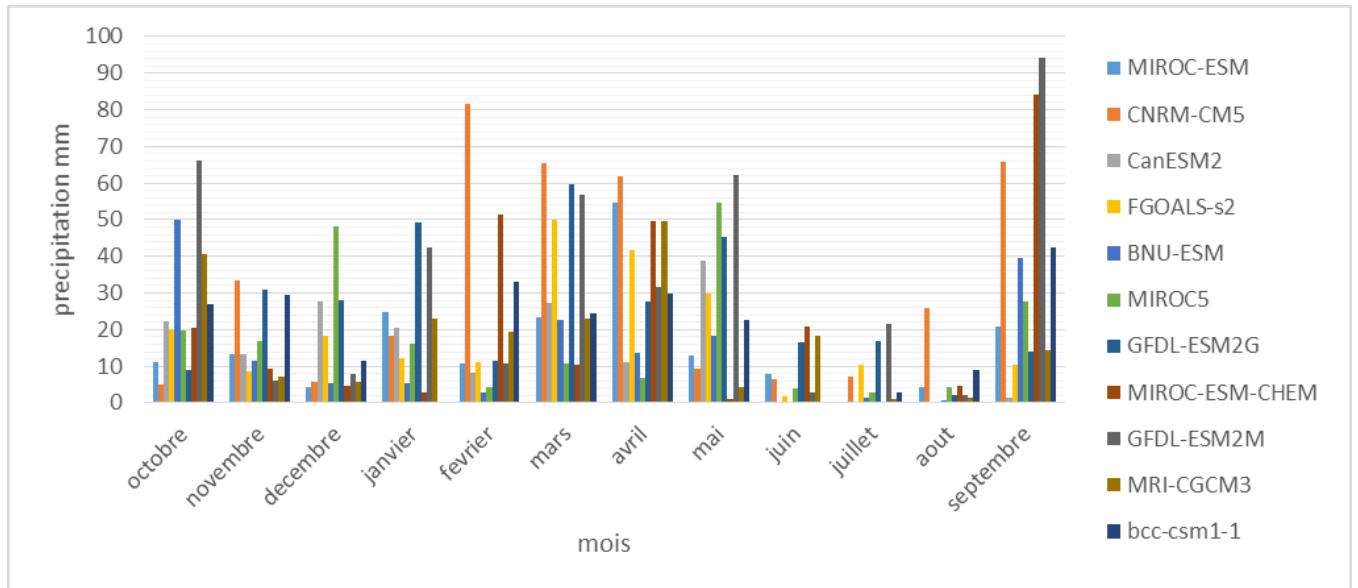


Figure 15. Variation des précipitations de la station de Sétif durant l'année 2080 selon l'indice RCP 8.5

La figure 15 représente la variation des précipitations au niveau de la station de Sétif au cours de l'année 2080, selon l'indice RCP de 8.5 selon plusieurs modèles de changement climatique

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de septembre selon le modèle GFDL-ESM2M. Elle est estimée à 94,39 mm, alors que la valeur la plus faible, est on mois d'Aout selon le modèle BNU-ESM est estimée à 0,6 mm

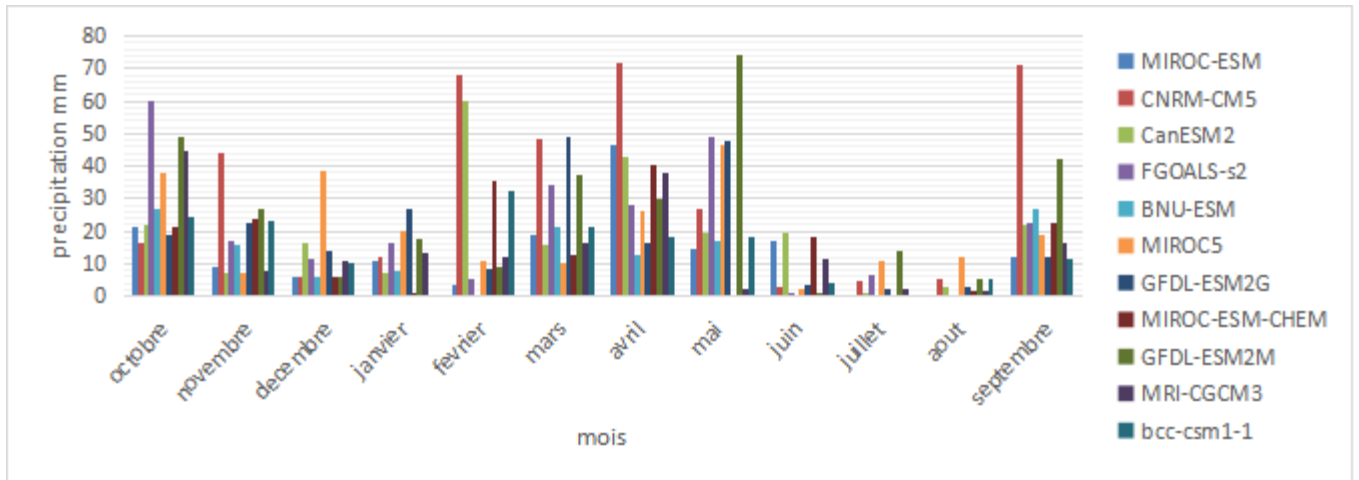


Figure 16. Variation des précipitations de la station de Bordj Bou Arreridj durant l'année 2080 selon l'indice RCP 8.5

La figure ci-dessus représente la variation des précipitations au niveau de la station de Bordj Bou Arreridj au cours de l'année 2080, selon l'indice RCP de 8.5 selon plusieurs modèles de changements climatiques

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de mai selon le modèle GFDL-ESM2M. Elle est estimée à 74,27 mm, alors que la valeur la plus faible, est on moins de juillet dans le modèle canESM2 est estimée à 0,72.

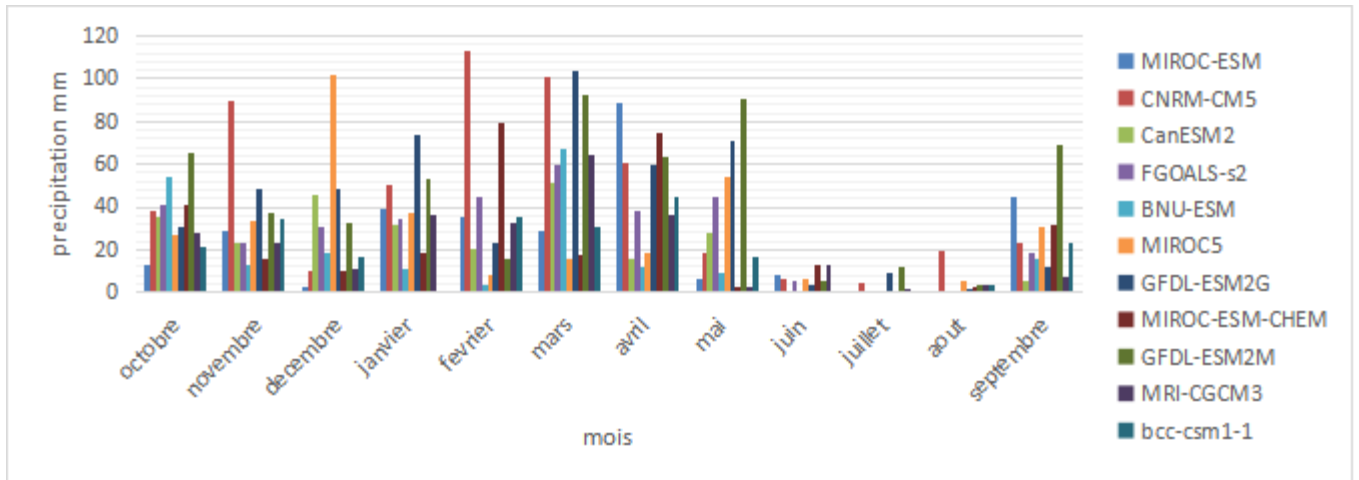


Figure 17. Variation des précipitations de la station de Constantine durant l’année 2080 selon l’indice RCP 8.5

La figure 17 représente la variation des précipitations pour la station de Constantine au cours de l’année 2080, selon l’indice RCP de 8.5 dans plusieurs modèles de mesure des précipitations

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de février selon le modèle CNRM-CM5. Elle est estimée à 113,01 mm, alors que la valeur la plus faible, est on moins de juillet selon le modèle MRI-CGCM3 qui est estimée à 0,55 mm.

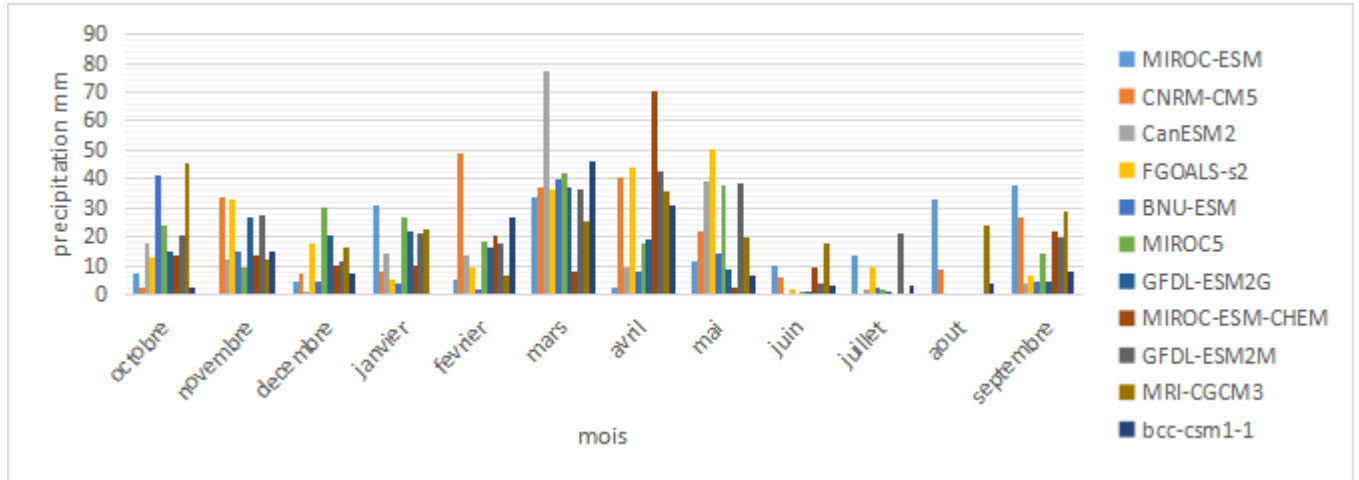


Figure 18. Variation des précipitations de la station de Tiaret durant l'année 2080 selon l'indice de RCP 8.5

La figure 18 représente la variation des précipitations au niveau de la station de Tiaret au cours de l'année 2080, selon l'indice RCP de 8.5 selon plusieurs modèles de mesure de changements climatiques

On note que la valeur la plus élevée des précipitations se situe au mois de mars selon le modèle canESM2. Elle est estimée à 77,13 mm, alors que la valeur la plus faible, est au mois de juin selon le modèle GFDL-ESM2G est estimée à 0,69 mm.

II.1. Variation de SPI durant les années 2050/2080

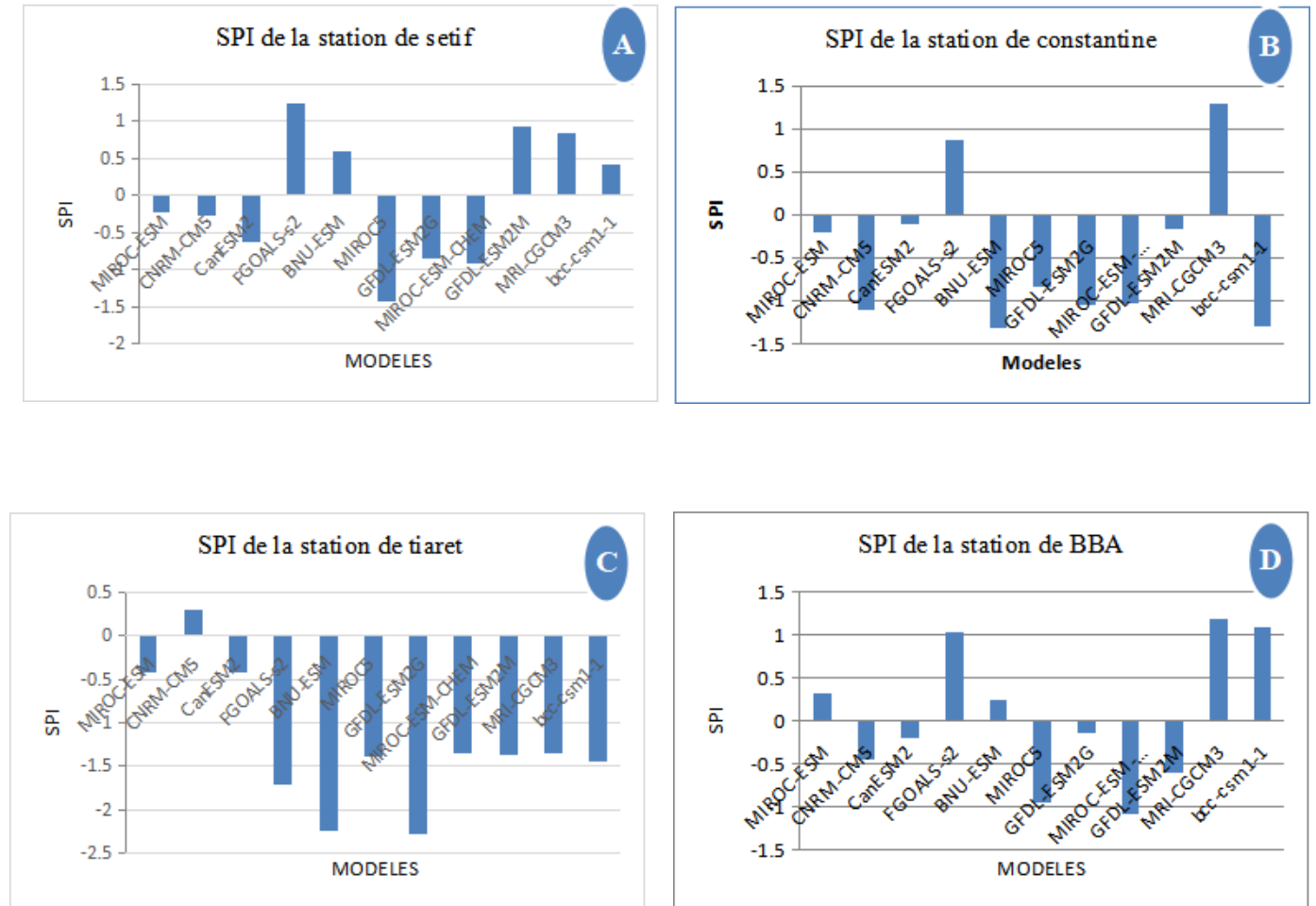


Figure 19. Variation de SPI de l'année 2050 RCP 4.5 de la zone d'étude

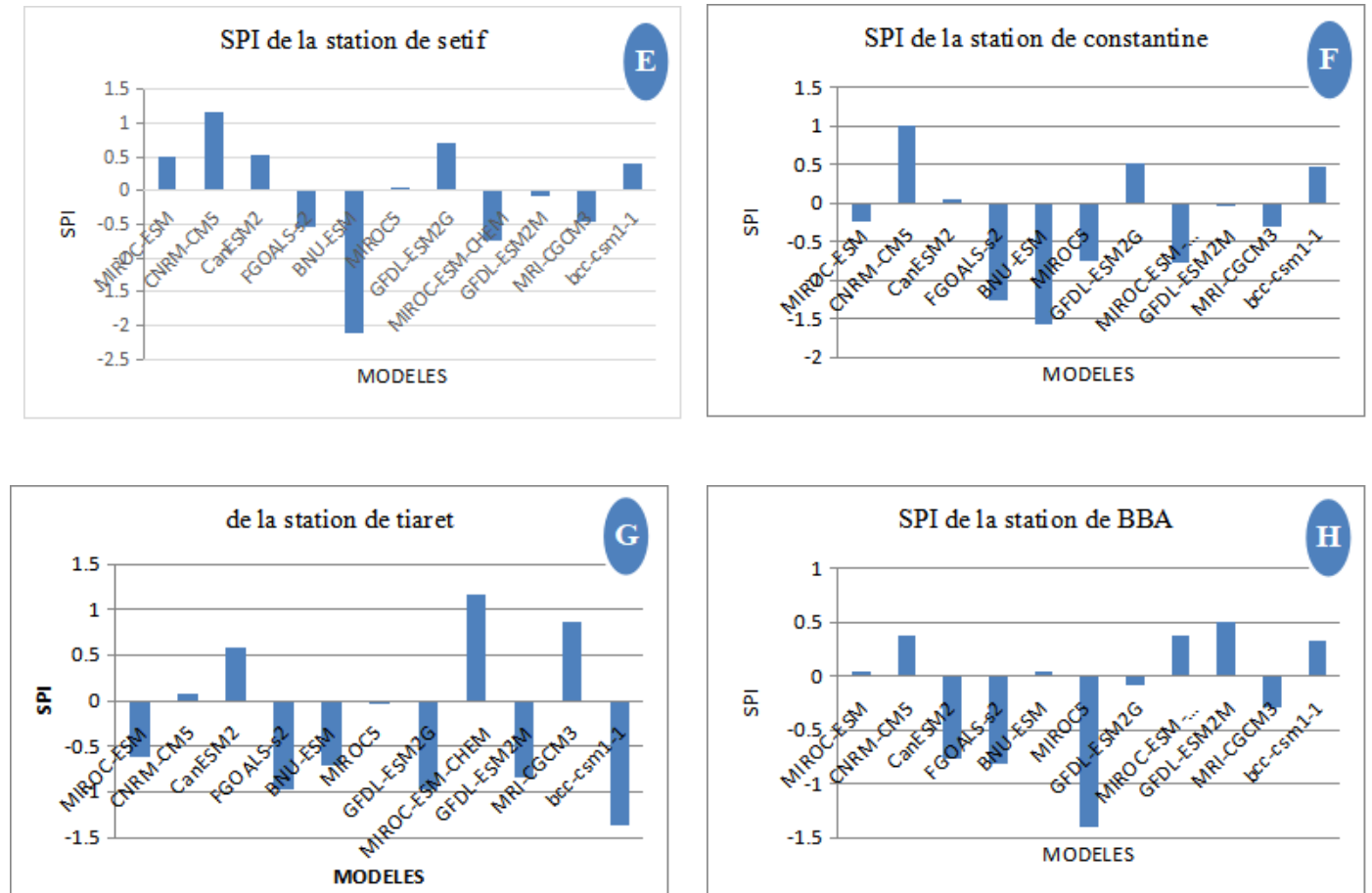


Figure 20. Variation de SPI de l'année 2050 RCP 8.5 de la zone d'étude

Les figures 19 et 20, ci-dessus présentent la variation des valeurs moyennes annuelles de l'indice SPI pour les quatre stations pluviométriques, réparties de façon à peu près homogène sur la zone d'étude durant l'année 2050 ; 2080.

D'après le graphique « A », représentant la station de Setif et à l'aide du tableau 01, on note qu'il y a une sécheresse modérée calculé en fonction de modèle **CNRM-CM5** avec une valeur estimée à -1,43.

Pour la station de Constantine « B », et a l'aide du tableau 01, on note qu'il y a une sécheresse modérée proposée par les modèles (**bcc-csm1-1**, **GFDL-ESM2G**, **BNU-ESM**, **CNRM-CM5**, **FGOALS-s2**, **MIROC-ESM-CHEM**) , avec des valeurs entre (1.03;-1.31).

La station de Tiaret « C », caractérisé par une sécheresse modérée donnée par les modèles (**bcc-csm1-1** , **GFDL-ESM2M** , **MRI-CGCM3** , **MIROC-ESM-CHEM**), avec des valeurs entre (-1.35 ; -1.44) . le modèle **FGOALS-s2** propose une valeur estimé à -1.72 qui correspond a une sécheresse fort. Alors que ces deux modèles (**GFDL-ESM2G** , **BNU-ESM**) en appliquant une sécheresse extrême avec une valeur estimé à (-2.28 ; -2.25).

« D » c'est la station qui présente une sécheresse modérée donnée par le modèle **MIROC-ESM-CHEM**, par une valeur estimé à -1.09.

D'après la figure « **E** », on note que la station de Sétif est caractérisée par une valeur de SPI très faible calculé en fonction de modèle **BNU-ESM**, avec une valeur estimée à -2.1 qui correspond à une sécheresse extrême.

Pour la station de Constantine « **F** », on note qu'il y a une sécheresse modérée donnée par le modèle **FGOALS-s2**, avec une valeur estimée à -1.25. Alors que le modèle **BNU-ESM** applique une sécheresse forte, avec une valeur estimée à -1.58.

C'est la station qui présente une sécheresse modérée, proposée par le modèle **bcc-csm1-1** avec une valeur estimée à -1.37.

D'après la figure « **H** », et à l'aide du tableau 01. On trouve que les valeurs de SPI sur tous les modèles sont proches de la normale, sauf pour le modèle **Miroc 5** qui a marqué une sécheresse modérée, avec une valeur estimée à -1.4.

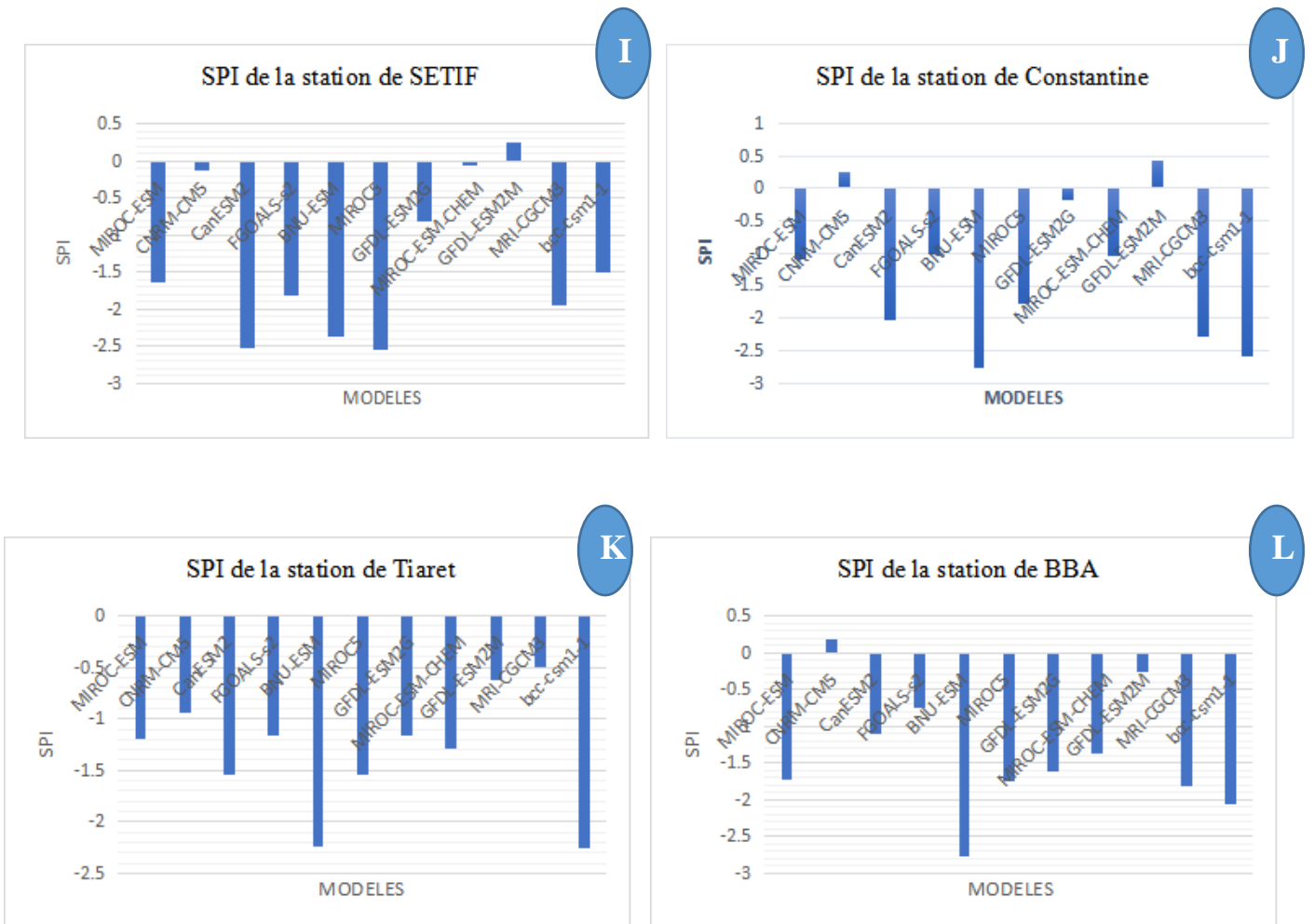


Figure 21. Variation de SPI de l'année 2080 RCP 8.5 de la zone d'étude



Figure 22. Variation de SPI de l'année 2080 RCP 4.5 de la zone d'étude

Les figures 21 et 22, ci-dessus présentent la variation des valeurs moyennes annuelles de l'indice SPI pour les quatre stations pluviométriques, réparties de façon à peu près homogène sur la zone d'étude durant l'année 2080.

D'après la figure ci-dessus « I » et à l'aide de tableau 01, on note qu'il y a une sécheresse extrême située dans les modèles **MIROC5**, **canESM2**, **BNU-ESM**. Avec des valeurs estimées entre (-2,37 et -2,56). et selon les modèles **MRI-CGCM3**, **FGOALS-s2**, **MIROC-ESM**, **bcc-csm1-1** En trouve une sécheresse forte est estimée entre (-1,5 à -1,95). Alors que une sécheresse modérée donnée par les modèles **GFDL-ESM2M**, **CNRM-CM5**, **MIROC-ESM-CHEM** estimée entre (-0,6 et -0,82).

C'est la station « J » et à l'aide de tableau 01, qui présente une sécheresse extrême, donnée par les modèles **BNU-ESM**, **bcc-csm1-1**, **MRI-CGCM3**, **canESM2** avec des valeurs estimée entre (-2,04 et -2,77). Et une sécheresse forte donnée par le modèle **MIROC5** avec une valeur estime à (-1,77).alors que les modèles **MIROC-ESM**, **MIROC-ESM-CHEM**, **FGOALS-s2** en appliquant une sécheresse modérée avec des valeurs estimée entre (-0,18 et -1,77).

Pour la station de Tiaret « K » et à l'aide de tableau 01, on note une sécheresse extrême donnée par les deux modèles **bcc-csm1-1**, **BNU-ESM**, est de (-2,26 et -2,24). Et une sécheresse forte proposée par les modèles **canESM2**, **MIROC5** est estimée a (-1,55 et -1,54). Alors que une sécheresse modérée donnée par les modèles (**MIROC-ESM-CHEM**, **MIROC-ESM**, **FGOALS-s2**, **GFDL-ESM2G**) avec des valeurs estimée entre (-1,29 et -1,17).

D'après la figure « L », est caractérisée une sécheresse extrême donnée par les deux modèles **BNU-ESM**, **bcc-csm1-1** estimée à (-2,77 et -2,06). Et selon les modèles **MRI-CGCM3**, **MIROC5**, **MIROC-ESM**, **GFDL-ESM2G** on note une sécheresse forte est

estimée entre **(-1,82 et -1,61)**. Alors que les valeurs **(-1,1 et -1,37)** donnée par les deux modèles **MIROC-ESM-CHEM, canreESM2**, qui correspond à une sécheresse modérée.

D'après la figure ci-dessus « **M** » et à l'aide de tableau 01, on note qu'il y a une sécheresse extrême située dans le modèle **MIROC5**, estimée a **(-2,2)**. Et selon les modèles **FGOALS-s2, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-ESM2G, bcc-csm1-1** En trouve une sécheresse forte est estimée entre **(-1,81 à -1,5)**. Alors que une sécheresse modérée donnée par les deux modèles **GFDL-ESM2M, BNU-ESM** estimée a **(-1,16 et -1,8)**.

C'est la station « **N** » et à l'aide de tableau 01, qui présente une sécheresse extrême, donnée par le modèle **canESM2** avec valeur estimée a **(-2,13)**. Et une sécheresse forte donnée par les modèles **MIROC5, BNU-ESM, MIROC-ESM** avec des valeurs estimée entre **(-1,81 et -1,57)**. Alors que les modèles **GFDL-ESM2G, MIROC-ESM-CHEM, MRI-CGCM3** en appliquant une sécheresse modérée avec des valeurs estimée entre **(-0,28 et -1,03)**.

Pour la station de Tiaret « **O** » et à l'aide de tableau 01, on note une sécheresse extrême donnée par le modèle **MRI-CGCM3** estimée a **(-2,01)**. Et une sécheresse forte proposée par le modèle **MIROC5** est estimée à **(-1,97)**. Alors que une sécheresse modérée donnée par les modèles **GFDL-ESM2M, MIROC-ESM-CHEM, BNU-ESM, canESM2, FGOALS-s2, GFDL-ESM2G**, avec des valeurs estimée entre **(-1,32 et -1,23)**.

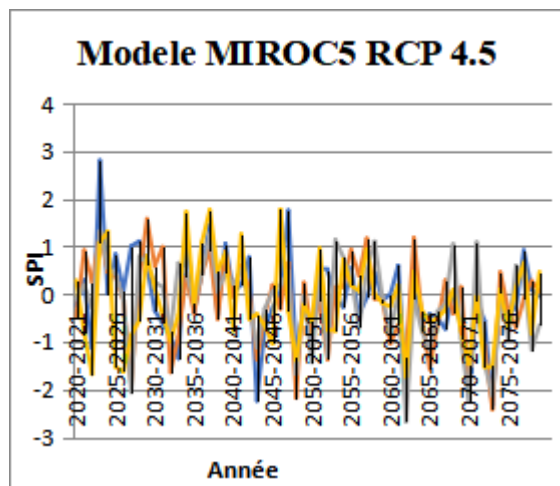
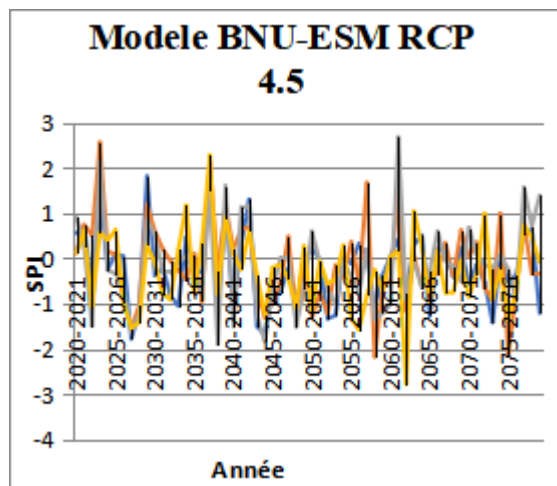
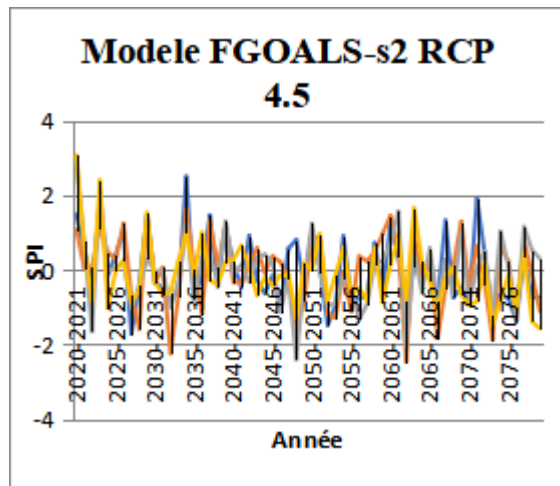
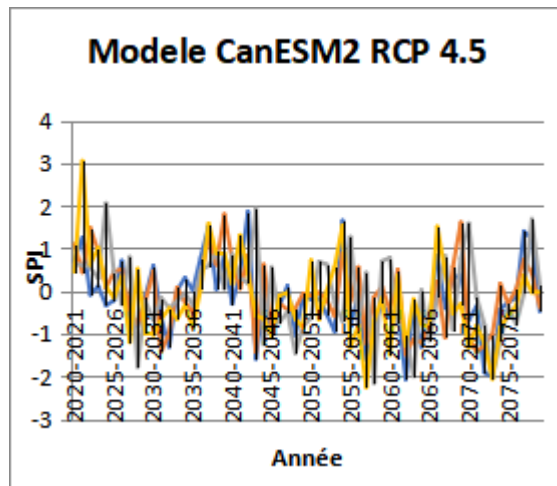
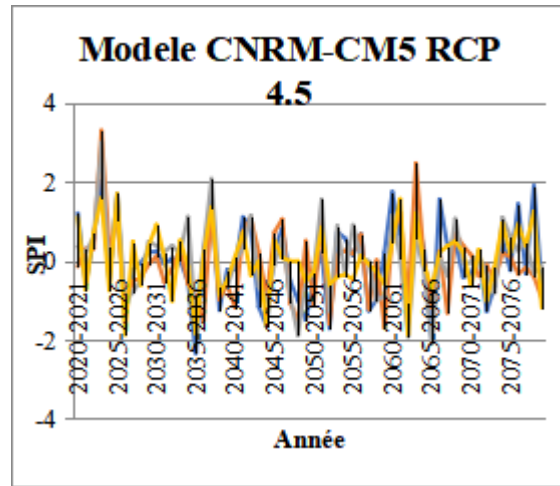
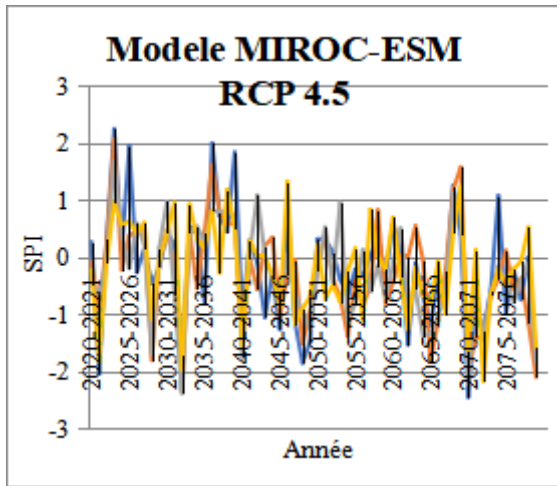
D'après la figure « **P** », est caractérisée une sécheresse extrême donnée par les deux modèles **GFDL-ESM2G, BNU-ESM**, estimée à **(-2,28 et -2,25)**. Et selon le modèle **FGOALS-s2** on note une sécheresse forte est estimée a **(-1,72)**. Alors que une sécheresse modérée donnée par les modèles **bcc-csm1-1, MIROC5, GFDL-ESM2M, MRI-CGCM3** estimée entre **(-1,44 et -1,36)**.

II.2. Variation de l'indice SPI selon les scénarios 4.5 et 8.5

L'analyse statistique nous montre que:

Les figures ci-dessous nous montrent la variation de l'indice SPI selon plusieurs modèles climatique. On remarque une fluctuation des différentes valeurs de cet indice pour l'ensemble des modèles. Tous les modèles présentent des sécheresses extrêmes au début de l'année 2020 et vers l'année 2070. On remarque qu'une sécheresse extrême SPI -3 sera détectée en 2073 selon le modèle bcc-csm1-1 et selon le scénario RCP 4.5.

Les figures ci-dessous nous montrent la variation de l'indice SPI selon plusieurs modèles climatique. On remarque une fluctuation des différentes valeurs de cet indice pour l'ensemble des modèles. Tous les modèles présentent des sécheresses extrêmes au début de l'année 2020 et vers l'année 2070. On remarque qu'une sécheresse extrême SPI -3 sera détectée en deux années. En 2027 selon le modèle MRI-CGCM3, aussi en 2073 selon le modèle GFDL-ESM 2G et selon le scénario RCP 8.



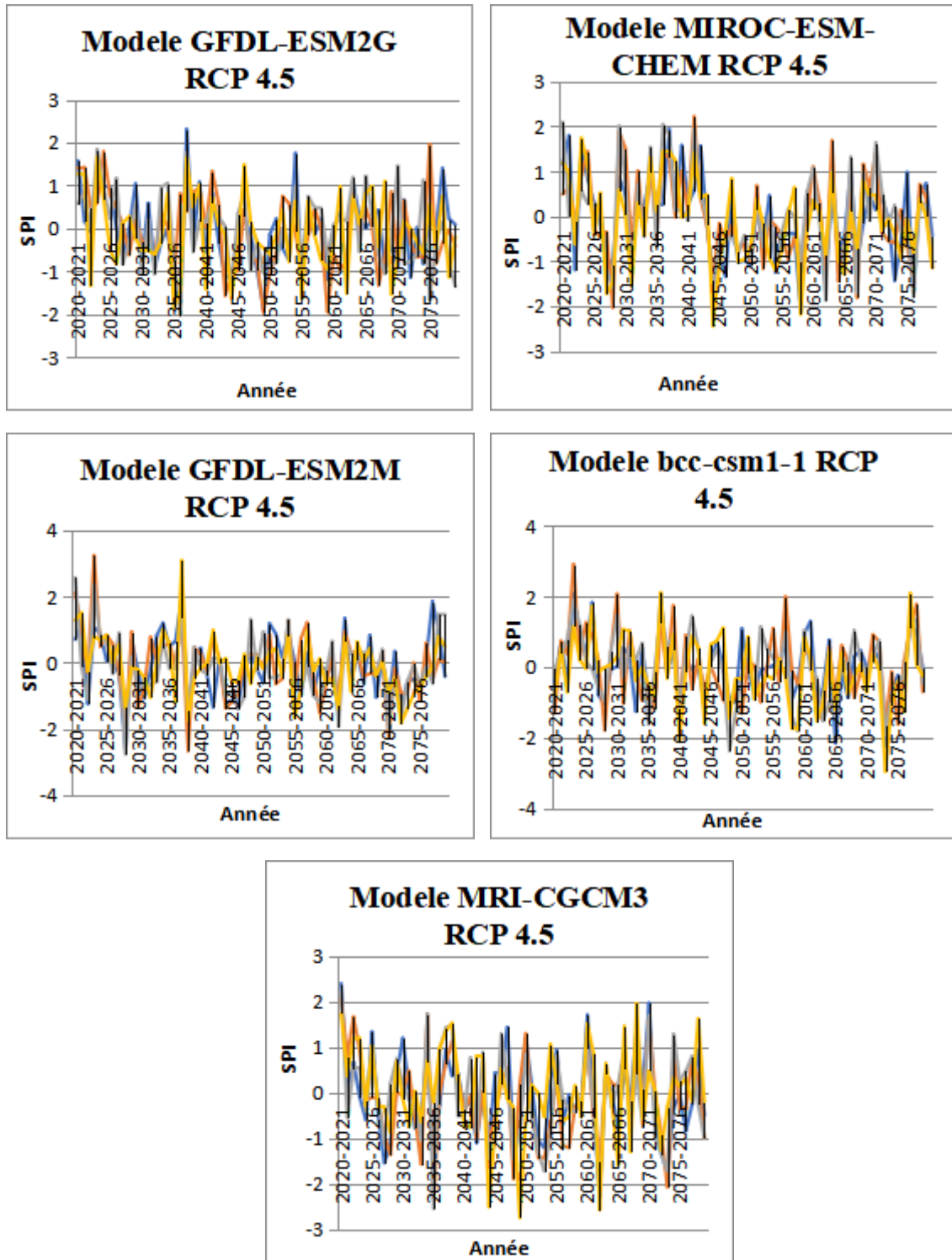
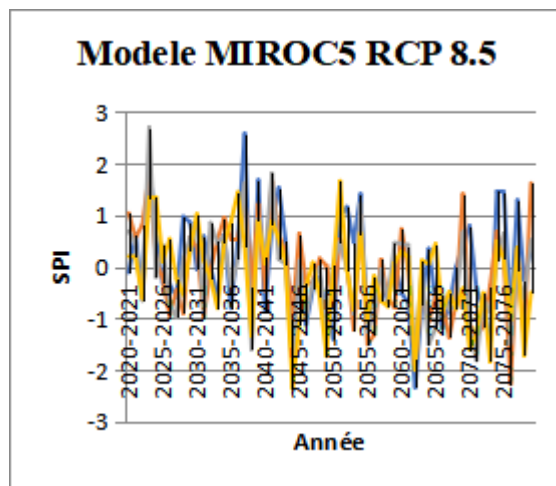
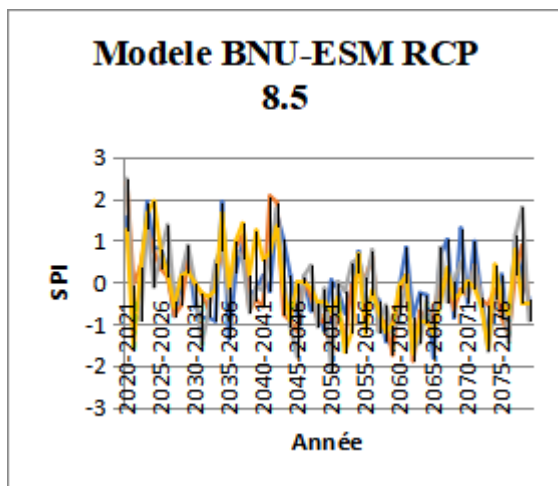
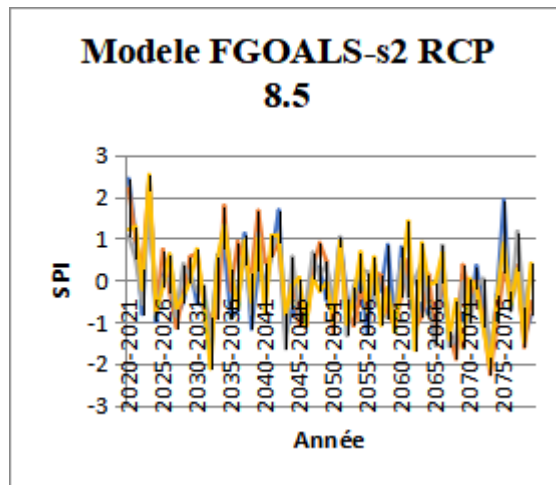
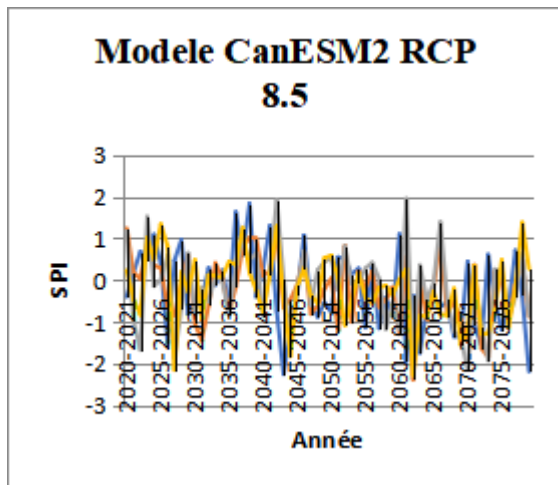
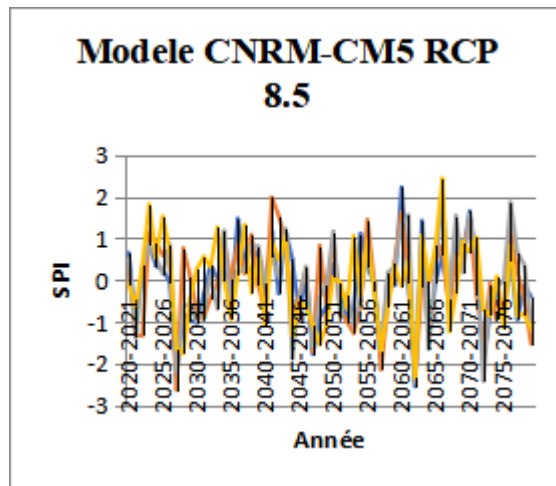
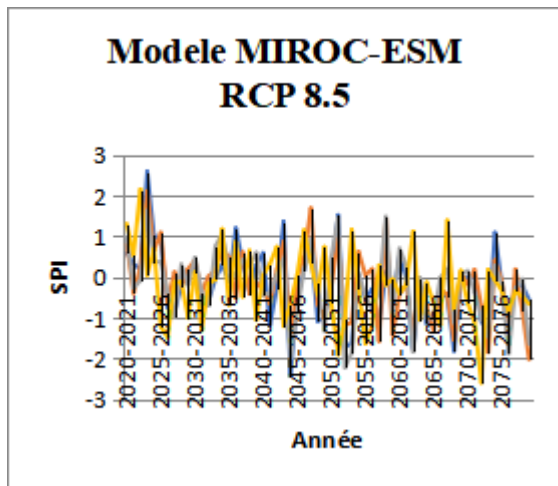


Figure 23. Variation de l'indice SPI selon le scénario RCP 4.5



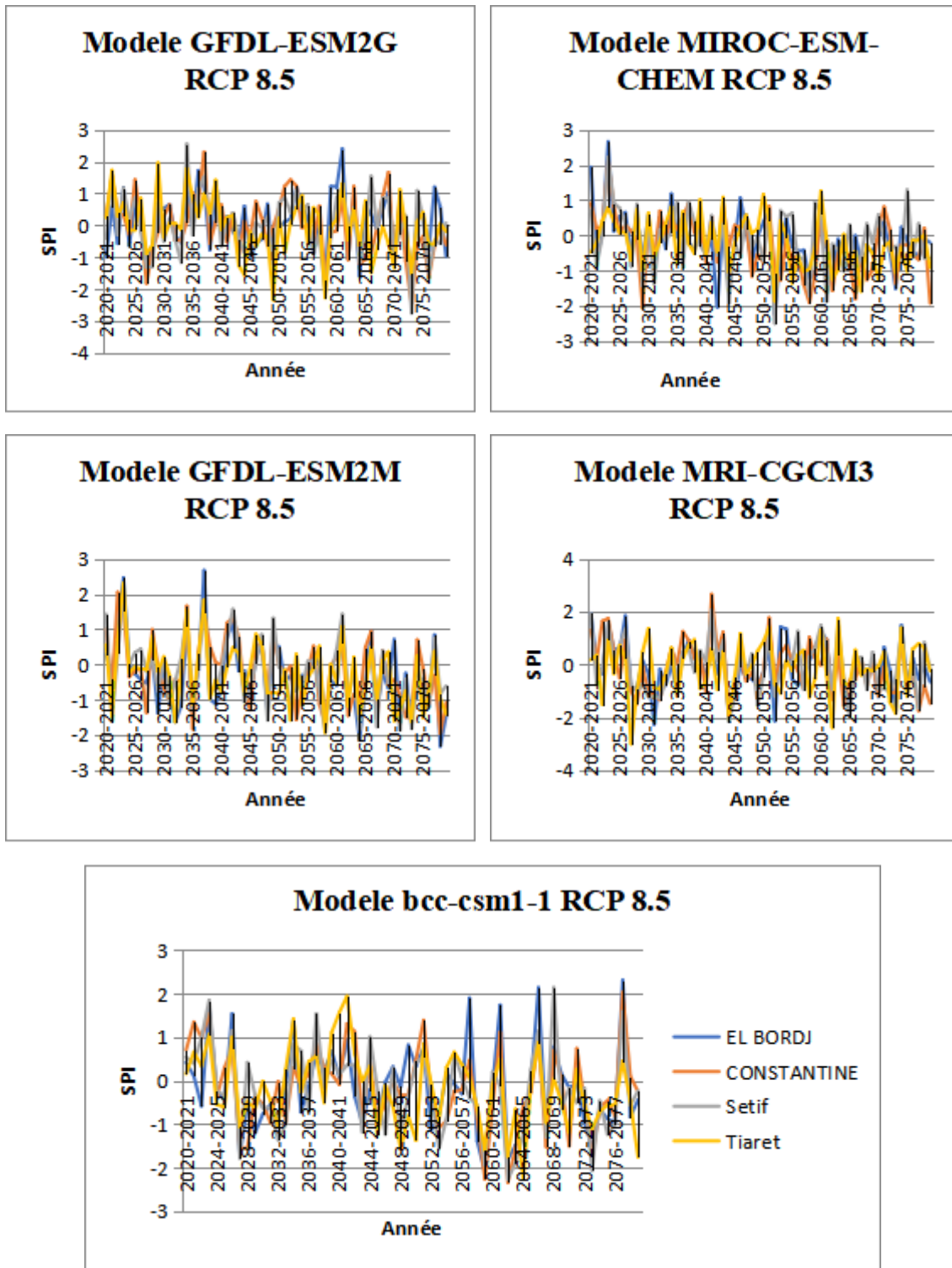


Figure 24. Variation de l'indice SPI selon le scénario RCP 8.5



Conclusion

Conclusion

Dans cette étude la fréquence des épisodes de sécheresse a été calculée en utilisant L'indice de précipitation standardisé (SPI) déterminé à partir du modèle DrinC. Cet indice a été calculé pour les quatre stations proche l'une de l'autre et localisées au niveau des hautes plaines de l'Algérie pour les périodes annuelles, mensuelles, trimestrielles, semestrielles et semestrielles en fonction des changements climatiques selon deux scénarios. Cette zone est considérée comme la première dans la production des céréales notamment du blé dur à l'échelle national. Les résultats obtenus ont montrés l'installation de la sécheresse durant les dernières années au niveau de Tiaret, Sétif et Bordj Bou Arreridj alors qu'au niveau de la station de Constantine une alternance des périodes sèches et humides.

Devant la menace de la sécheresse qui se manifeste périodiquement, la production agricole nécessite des démarches d'adaptations par la réalisation d'un ensemble d'ouvrage de stockage des eaux de surfaces telles que les retenues collinaires qui n'exigent pas de grands moyens pour leurs constructions. Cette eau sera utilisée pour l'irrigation de complément pour combler le déficit hydrique. Une modification de l'itinéraire technique de la culture du blé notamment la date de semis semble évidente pour s'adapter aux changements climatiques. Cette étude mérite d'être compléter en abordant le volet pertes en eau par évapotranspiration en calculant le bilan hydrique mensuel actuel et future de chaque station.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Arrus R. et Rousset N., 2006.- L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique : quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques ? Tripoli, Laboratoire d'Economie de la Production et de l'Intégration Internationale, Groupe Energie et Politiques de l'Environnement, 10p.

Agoumi A., 2003.- Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques. Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre. Maroc, Institut international du développement durable, 14p.

Boucetta, D (2018), Effets des changements climatiques sur les cultures pratiquées et les ressources en eau dans la région de Biskra .Thèse magister. Université Mohamed khider.

Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. et Rezgui S., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.

Djermoun, 2009. Le développement de la filière céréalière en Algérie : une forte dépendance des blés, Revue Des économies nord Africaines, Université Hassibabenbouali de Chlef algerie.

Farhi A., 2014. Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien. Thèse de magistère en écologie et environnement. Université de Constantine1.

FAO, 2020. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Feliachi K., 2000. Programme de développement de la céréaliculture en Algérie ITGC, El-Harrach : Actes du premier Symposium International sur la filière Blé 2000 : Enjeux et Stratégies/ Alger 7-9 février 2000 : 21-27.

Fenni M., 2003. Etude des mauvaises herbes des céréales d'hiver des hautes plaines constantinoises Ecologie, Dynamique, Phénologie et Biologie des Bromes. Thèse Doctorat d'Etat. Dép. biol. Univ. Ferhat Abbas, Sétif, 165 p.

Forloul.S et Bouzid. A, Projection du climat futur sur l'Algérie par les modèles climatiques CNRM_CM et MPI_ESM, 2015, Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem.

Guttman, N.B., 1994: On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climate*, 7(6):1026–1029.

1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2):311–322.

McKee, T.B., N.J. Doesken et J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, du 17 au 22 janvier 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.

1995: Drought monitoring with multiple timescales. In: *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, Dallas, Texas, du 15 au 20 janvier 1995. Boston American Meteorological Society, 233–236.

Meddi M. et Hubert J., 2002.- Changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau. Forum international organisé par ACMAD sur les changements climatiques dans les pays méditerranées et de l'Afrique, Alger : 1-2.

Malki et al, 2000. Produire du Blé dur et/ou conserver l'écosystème : standardisation des politiques, comportement des agricultures et dégradation de l'écosystème. Institut National Agronomique-El-Harrach Alger. Thèse.

Organisation météorologique mondiale, 2012 : Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé (M. Svoboda, M. Hayes et D. Wood) (OMM-N° 1090), Genève.

Organisation météorologique mondiale, 2006 : Suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs (M. Donald Wilhite) (OMM-N° 1006), Genève.

Razakavololona, 2011 : indicateurs de vulnérabilité des exploitations agricoles face aux Variabilités climatique et démographique : applications à la riziculture dans la région du lac alaotra (Madagascar). Pour l'obtention du diplôme de Doctorat. Université d'Antananarivo.

Références bibliographiques

Rissag.B, Etude de changement climatique au nord algérien, 2017, Université Badji Mokhtar
_Annaba

Seguin, B., & Lefèvre, F, 2015 : Les impacts du changement climatique sur l'agriculture et la forêt.

William R. Cline, 2008 : Si rien n'est fait pour diminuer les émissions de carbone, la Productivité agricole va fortement chuter, surtout dans les pays en développement.