

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministre de l'Enseignement Supérieure de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Université de M'Hamed Bougara, Boumerdes
جامعة محمد بوقرة- بومرداس

Faculté des Sciences
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Biologie
Domine : SNV Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : Biodiversité et Environnement

Thème

**Contribution à l'étude des variations spatio-temporelles de
l'Aridité en Algérie**

Présenté par :

M^{elle} : Ghodbane Fatma Zohra

M^{elle} : Berrached shahrazade.

Soutenu publiquement le 19/11/2020, devant le jury composé de :

Mr BELLOUT Y.	Maître assistant à l' UMBB	Président
Mr BENSEGHIR L.	Maître assistant à l' UMBB	Examineur
Mr LATRECHE Kh.	Maître de conférences à l' UMBB	Promoteur

Année universitaire 2019/2020

Remerciement

- Je remercie Allah qui m'a donné la force et la sagesse pour achever ce modeste travail. J'adresse tous mes respects et mes remerciements à ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de cette étude et particulièrement à nous tiens à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur Mr LATRECHE d'avoir encadré dans notre travail.
- Nous souhaitons remercier également chacun des membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Merci d'une part à BELLOUT Yacine d'avoir accepté de présider le jury de ce mémoire et d'autre part à Mr BENSEGHIR Louaï de nous avoir fait l'honneur d'être examinateur.
- Nos remerciements vont également à tous les enseignants de notre spécialité qui ont contribué à notre formation.

Merci

Dédicace

Fatima

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, de reconnaissance et d'amour à : □Ma chère maman, pour son amour, ses sacrifices, son soutien et pour tous.

- *Mon cher père pour ses encouragements, son soutien moral et matériel*
- *Mes frères et sœurs : lamine ; Badderedine, Hamza, Ghozlane et Habiba.*
- *A Mon promoteur Mr LATRECHE Kh.*

Un spécial dédicace à :

- *Ma collègue, mon ami, mon binôme : Shahrazade.*
- *A toutes les meilleures personnes qui m'aiment et qui m'aident dans ma vie. a toute personne de près ou de loin qui m'a souhaité que la réussite et une carrière professionnelle au futur.*

Aussi toute la promotion d'Ecologie 2020.

Shahrazade

A mes très chers parents pour tous les efforts qu'ils ont entrepris et leurs encouragements au fil de mes années d'études. Je leur dédie ce travail comme symbole de m'affection et de ma reconnaissance pour les sacrifices consentis. Que Dieu les protèges et leur accorde une longue vie pleine de bonheur et de santé.

Je dédie ce mémoire à ma chère sœur : Zineb □A mes chères frères : Ayoub et Abdou.

- *A Mon promoteur Mr LATRECHE Kh.*
- *A mon binôme Fatima Zohra avec qui j'ai tous partagé durant la réalisation.*
- *A mes meilleures copines et A tous ceux qui me sont chers et proche.*

Tous les étudiants d'Ecologie, et en particulier la promotion.

Résumé

Le présent travail a pour but de cartographier le niveau d'aridité dans les différentes régions de l'Algérie et de mettre en exergue les éventuelles variations climatiques et les zones ayant une tendance à l'aridification. Pour y arriver, l'indice d'aridité de De Martonne, a été calculée durant la période 2010 - 2019 pour toutes les stations météorologiques de référence de l'Algérie, et utilisé pour l'acquisition des cartes par le Quantum GIS. L'analyse des résultats obtenus décèle deux gradients d'aridité très nets. Le premier gradient s'accroît du Nord vers le Sud et le deuxième de l'Est vers l'Ouest. En effet, les valeurs enregistrées montrent que le littoral algérien, notamment de l'Est, possède un climat subhumide, voire humide dans les régions d'altitude alors que les régions sahariennes possèdent un climat nettement aride et hyper aride. Les résultats obtenus montrent aussi que la région de l'Oranais et le Sud-oranais, bien que proche du littoral, possède un climat semi-aride, voire aride. L'analyse des variations interannuelles de l'indice d'aridité de E. De Martonne, décèle une fluctuation de l'indice dans cette région en fonction des régimes pluviométriques. L'année 2019, était particulièrement sèche. **Mots clés :** Climat, aridité, précipitations, températures, Algérie indice d'aridité de Martonne.

ملخص

لهدف من هذا العمل هو رسم خريطة لمستوى الجفاف في مناطق مختلفة من الجزائر وتسهيل الضوء على الاختلافات المناخية المحتملة والمناطق التي تميل إلى الجفاف. ولتحقيق ذلك، تم حساب مؤشر الجفاف De Martonne خلال الفترة 2010 - 2019 لجميع محطات الأرصاد الجوية المرجعية في الجزائر، واستخدم للحصول على الخرائط بواسطة Quantum GIS. كشف تحليل النتائج المتحصل عليها عن تدرجين واضحين جداً للجفاف. يزيد التدرج الأول من الشمال إلى الجنوب والثاني من الشرق إلى الغرب. في الواقع، تشير القيم المسجلة إلى أن الساحل الجزائري، وخاصة في الشرق، يتمتع بمناخ شبه رطب حتى رطب في المناطق المرتفعة، في حين أن المناطق الصحراوية تتميز بمناخ جاف وشديد الجفاف. تظهر النتائج أيضاً أن منطقة وهران وجنوب وهران، على الرغم من قربها من الساحل، تتمتع بمناخ شبه جاف وحتى جاف. تحليل الاختلافات بين السنوات لمؤشر الجفاف بواسطة E. De Martonne، يكشف عن تذبذب في المؤشر في هذه المنطقة اعتماداً على أنماط هطول الأمطار. كان عام 2019 جافاً بشكل خاص. **الكلمات المفتاحية** المناخ، الجفاف، هطول الأمطار، درجات الحرارة، الجزائر.

Abstract

The aim of this work is to map the level of aridity in the different regions of Algeria and to highlight possible climatic variations and areas with a tendency to acidification. To achieve this, the De Martonne aridity index was calculated during the period 2010 - 2019 for all the reference meteorological stations in Algeria, and used for the acquisition of maps by the Quantum GIS. Analysis of the results obtained reveals two very clear aridity gradients. The first gradient increases from north to south and the second from east to west. Indeed, the recorded values show that the Algerian coast, especially in the east, has a subhumid, even humid climate in the high altitude regions, while the Saharan regions have a distinctly arid and hyper arid climate. The results obtained also show that the region of Oran and South Oran, although close to the coast, has a semi-arid, even arid climate. The analysis of interannual variations in the aridity index by E. De Matron, detects a fluctuation of the index in this region depending on the rainfall patterns. The year 2019 was particularly dry.

Keywords: Climate, aridity, precipitation, temperatures, Algeria.

Table des matières

Résumé

Abstract

Liste des figures

Liste des tableaux

Page

Introduction

1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I-1 Climat.....	2
I-2 Classification du climat.....	3
1-3-Les éléments du climat.....	4
1-3-1- La température	4
1-3-2- Les précipitations	4
1-3-3- Les vents	4
1-3-4- L'humidité	4
1-4 Le changement du climat.....	5
1-4-1- Les indicateurs de l'évolution climatique.....	5
1-4-2- Les causes des changements climatiques.....	6
1-5 La Sécheresse	7
1-5-1- Les types de Sécheresse.....	8
1-5-1-1- la sécheresse météorologique	8
1-5-1-2- la sécheresse hydrologique	8
1-5-1-3- la sécheresse agricole	8
1-5-2- Les indices de sécheresse	9

Chapitre II : cadre physique de la zone d'étude

2-1-Aperçu géographique de la zone d'étude.....	10
2-1-1 Les caractéristiques climatiques de l'Algérie.....	11
2-1-2 Les tendances climatiques en Algérie.....	11
2-1-3 L'impact de l'aridification climatique en Algérie.....	13

Chapitre III : Matériels et méthodes

3-1- Les stations d'études	14
3-2-Acquisition et traitement des données climatiques.....	15
3-3-Analyse et cartographie des données	16

Chapitre IV : Résultat et discussion

4-1	Résultats
.....	18
4-1-1 Répartition spatiale des zones arides en Algérie.....	18
4-1-2 Etude des variations interannuelles des indices d'aridités En Algérie	22
4-2	Discussion
.....	26
4-2-1	26
Autocritique : inconvénients et avantages.....	26
Conclusion	27
Références bibliographiques	28

Liste des figures

Figure 1 : schéma explicatif de l'effet de serre	7
Figure 2 : Sécheresse intense observée sur un terrain	8
Figure 3 : Carte géographique de l'Algérie. (Fao.2015)	10
Figure 4 : Evolution des températures moyennes annuelles (A) et des totaux annuels de précipitations (B) de l'Algérie entre 1901-2000.....	12
Figure 5 : Evolution des températures (A) et précipitations (B) de l'Algérie (1981-2010).....	12
Figure 6 : Interfaces du software QGIS 3.14 présentant une carte vectorielle de l'Algérie.....	16
Figure 7 : Interfaces du software QGIS 3.14 .A : représenté l'importation des données climatiques sous forme de texte délimité : texte délimité forme csv contient des données climatiques.....	17
Figure 8 : Carte synthétique de l'Algérie représente l'Aridité moyenne de 2010-2019.....	19
Figure 09 : Séries des cartes d'aridité interannuelles de territoire algérien de la décennie 2010 jusqu'à 2019.	23
Figure 10 : Détail de la figure 9 montrant les variations du climat dans les stations du Nord Algérien durant les années 2015 ; 2016 ; 2017 ; 2018 et 2019.	24

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification du climat selon Koppen (types des climats)	3
Tableau 2 : Manuel des indices de sécheresse (l'organisation mondiale météorologiques).....	9
Tableau 3 : Les trois ensembles géo climatiques de l'Algérie.....	11
Tableau 4 : l'impact des changements climatiques.	13
Tableau 5 : les différentes stations ; leurs coordonnées géographiques et leurs types de climat	14
Tableau 6 : Récapitulation des différents indices d'aridité enregistrés en Algérie durant la période 2010 – 2019	20

Introduction

Introduction

Le changement climatique est un phénomène qui fait largement parler de lui compte tenu des fluctuations qui touchent le climat terrestre et leurs conséquences sur le mode de vie de toutes les espèces, y compris la nôtre. Les problèmes liés à ce changement occupent une importante place parmi les préoccupations majeures contemporaines. Ils sont considérés, à l'heure qu'il est, comme des problèmes majeurs du développement à l'échelle locale et régionale, voire même à l'échelle globale.

La principale problématique qui en est ressortie réside dans la tendance à l'aridification de certains écosystèmes naturels, comme il a été bien constaté dans la région méditerranéenne et plus particulièrement sa rive sud qui est considérée comme très vulnérable à ce phénomène (Pachauri 2017 /et al). En effet, l'Algérie comme tous les pays du Maghreb, est très exposée aux phénomènes de la sécheresse et de la désertification. Ces dernières années, ces phénomènes se sont manifestés d'une manière préoccupante, sévère, persistante et avec une intensité remarquable (Pachauri, et al.2007).

Au vu de ces circonstances, et pour préserver ces écosystèmes vulnérables, il serait judicieux d'établir une étude climatique de cette région et d'analyser les éventuelles variations et tendances à l'aridification. Dans ce travail, nous allons donc cartographier, via Quantum GIS, les zones climatiques de l'Algérie pour mettre en évidence les régions arides et celles qui présentent une tendance.

Pour y arriver, l'indice d'aridité de Martonne, a été choisi. Ce dernier est considéré comme un très bon indicateur quantitatif du degré du déficit d'eau présent à un endroit donné (Oliver 2006). Les données météorologiques utilisées sont réelles et récentes(entre 2010 et 2019) et proviennent des différentes stations de références de l'Algérie.

Le manuscrit est structuré en quatre chapitres : après une introduction, le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique sur le climat et le changement climatique. Le deuxième traite le cadre physique de la zone d'étude ; alors que le troisième chapitre évoque le matériel ainsi que la démarche scientifique et méthodologique suivie pour la réalisation de ce travail. Quant au dernier chapitre, il est consacré aux principaux résultats dégagés ainsi leur discussion.

Chapitre I
Synthèse
Bibliographique

Synthese Bibliographique

1-1- Le climat

L'étude des variations climatiques du globe terrestre est l'un des principaux objectifs de la climatologie, car l'impact de ces changements sur l'environnement biophysique et sociétal ne cesse de s'amplifier.

La climatologie étudie donc les familles de conditions météorologiques susceptibles d'affecter les différentes régions sur de longues périodes de temps. Cette science fait appel aux diverses disciplines de la nature : géographie, géologie, physique, chimie... Sous le nom de climat, on distingue deux notions différentes. La plus classique, celle apprise dans les cours de géographie, résulte d'une approche spatiale : la Terre est découpée en zones climatiques en fonction des conditions météorologiques qui y règnent aux différentes saisons. L'autre acception du mot climat correspond à une approche temporelle globale : on s'intéresse aux modifications des conditions météorologiques intégrées sur l'ensemble du globe et sur le long terme (30 ans) (le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, 2013)

Définition

Le climat se définit comme étant l'ensemble des séries d'états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle. L'étude du temps à court terme dans des zones ponctuelles est le domaine de la météorologie. La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes établies à partir de mesures statistiques annuelles et mensuelles sur des données atmosphériques locales : température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent, etc. (Hunt 2001)

1-2- Classification du climat

La classification des climats a fait l'objet de très nombreuses études depuis la fin du XIXe siècle. On distingue, classiquement, les classifications de type statistique (Koppen, 1900 et 1901 ; De Martonne, 1942 ; Viers, 1968; etc.) des classifications génétiques (Föhn, 1969 ; Alissow, 1954 ; Pédelaborde, 1957 ; etc.). Parmi les classifications des climats, celle de Koppen, est l'une des plus célèbres et utilisées dans le monde. Elle a été mise au point en 1900 à partir des cartes mondiales de la végétation disponibles à l'époque. (Dubreuil, 2017). Depuis, cette classification a subi de nombreuses modifications et améliorations. Le tableau ci-après récapitule les différentes zones climatiques selon Koppen (tableau 1)

Synthese Bibliographique

Tableau 1. Classification du climat selon Koppen (types des climats) (Claude.2001)

Code	Type	Description
A	Climat tropical	<ul style="list-style-type: none">▪ Température moyenne de chaque mois est supérieure à 18°C.▪ Pas de saison hivernale▪ Fortes précipitation annuelles (supérieure à l'évaporation annuelle)
B	climat sec	<ul style="list-style-type: none">▪ Evaporation annuelles supérieure aux précipitations annuelles▪ Aucun cours d'eau permanent
C	Climat tempéré chaud	<ul style="list-style-type: none">▪ Températures moyennes des 3 mois les plus froids comprises entre -30°C et 18°C.▪ Température moyenne du mois le plus chaud est supérieure à 10°C▪ Les saisons été et hiver sont bien définies.
D	Climat tempéré froid	<ul style="list-style-type: none">▪ Température moyenne du mois le plus froid est inférieurs à -3°C▪ Température moyenne du mois le plus chaud est supérieur à 10°C.▪ Les saisons été et hiver sont bien définies
E	Climat polaire	<ul style="list-style-type: none">▪ Température moyenne du mois le plus chaud est inférieur à 10°C.▪ La saison d'été est très peu marquée.

Synthese Bibliographique

1-3-Les éléments du climat

Ce sont les éléments météorologiques qui composent le climat et permettent de le caractériser, il s'agit de :

1-3-1- La température

La température est considérée comme une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. La température est la manifestation, à l'échelle macroscopique, du mouvement des atomes et molécules. Le régime thermique d'un milieu est la variation des températures enregistrée en ce milieu. L'amplitude thermique annuelle est la différence de température entre les mois les plus chauds et les mois les plus froids au cours d'une année. La température varie avec les saisons, l'altitude, la latitude et la proximité de la mer.

1-3-2- Les précipitations

C'est l'ensemble des différentes formes et états sous lesquelles l'eau atmosphérique : solide (neige), liquide (pluie) et gazeuse (brouillard, rossé), se déplace à la surface du globe. Les pluies ont pour origine la vaporisation des eaux terrestres, qui après condensation, se transforment en liquide au niveau de l'atmosphère, puis tombent sous forme de pluies.

1-3-3- Les vents

Le vent est le paramètre physique représentatif des mouvements de l'air. Il naît principalement de la différence de pression atmosphérique entre les latitudes et la rotation de la terre. Le vent se déplace donc des hautes pressions (anticyclones) vers les basses pressions (dépressions). La direction et la vitesse du vent s'observe grâce à la girouette ou un manche à air, et sont des grandeurs mesurables dont la connaissance est nécessaire à l'étude de la dynamique des masses d'air.

1-3-4- L'humidité

L'humidité représente la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, sans compter l'eau liquide et la glace. On doit distinguer l'humidité relative et l'humidité absolue : L'humidité relative n'est pas réellement une mesure de la quantité de vapeur d'eau dans l'air mais plutôt un ratio entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air et sa capacité. En général, quand on parle de mesure d'humidité, on fait allusion à l'humidité relative exprimée en%. (Vincent Luyet, 2010)

1-3- Le changement du climat

Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou encore à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres. On notera que la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), dans son Article 1, définit les « changements climatiques » comme étant des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours des périodes comparables. (Daif 2017)

1-4-1- Les indicateurs de l'évolution climatique

Selon le 4^{ème} rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) publié en 2007, les principaux indicateurs d'un changement climatique peuvent être résumés comme suit:

- ✚ L'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre. Selon le même rapport, la nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours des cents dernières années (1906-2005) est de 0,74°C en moyenne (0,56 à 0,92°C). Cette valeur est plus grande que celle calculée au moment du troisième rapport pour la période 1901-2000, soit 0,6 °C.
- ✚ L'augmentation du niveau moyen des océans. Ce dernier, qui était mesuré par des marégraphes le long des côtes continentales et de quelques îles, en moyenne annuelle sur toute la planète, s'est élevé à un rythme de 0,7 mm/an entre 1870 et 1930 et d'environ 1,7 mm/an après 1930
- ✚ La variation des précipitations : entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le nord de l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970 (OMM, 2007).

Synthese Bibliographique

- ✚ Les indicateurs biologiques tels que les déplacements de populations animales terrestres ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières, montrent aussi la survenue d'un réchauffement climatique.
- ✚ Les évènements climatiques extrêmes comme les inondations, les sécheresses et les vagues chaleurs.
- ✚ Une diminution dans la masse des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique
- ✚ Augmentation de la température des océans, et aussi du contenu d'énergie thermique de l'océan.
- ✚ Modification de la fréquence des évènements extrêmes

1-4-2-Les causes des changements climatiques

On peut distinguer deux principales causes de ce changement :

- D'abord des facteurs naturels externes au système climatique tel que la production solaire et l'activité volcanique primordiaux qui agissent sur la quantité d'énergie solaire reçu.
- D'autre part on a l'influence des activités humaines telles que l'utilisation de combustibles fossiles, l'exploitation des forêts tropicales et l'élevage du bétail. Ces derniers exercent une influence croissante sur le climat et la température de la terre en libérant d'énormes quantités de gaz à effet de serre, qui viennent s'ajouter à celles naturellement présentes dans l'atmosphère, renforçant ainsi l'effet de serre et le réchauffement de la planète (figure 1).

Un grand nombre de ces gaz sont naturellement présents dans l'atmosphère, mais l'activité humaine accroît les concentrations de certains d'entre eux dans l'atmosphère, en particulier :

- Le dioxyde de carbone (CO_2) : Les études isotopiques montrent que l'origine de cette augmentation est due pour plus de la moitié à la combustion des combustibles fossiles, le reste aux déboisements massifs et pour une faible part à la production de ciment.
- Le méthane (CH_4) : (dû notamment aux fermentations diverses, aux fuites de gaz naturels et à la fonte du pergélisol).
- .- Le protoxyde d'azote (N_2O) : dû en grande partie aux activités agricoles (dont la biodégradation des nitrates agricoles dans les milieux souterrains anoxiques), sa concentration a augmenté de 20 % sur la même période.

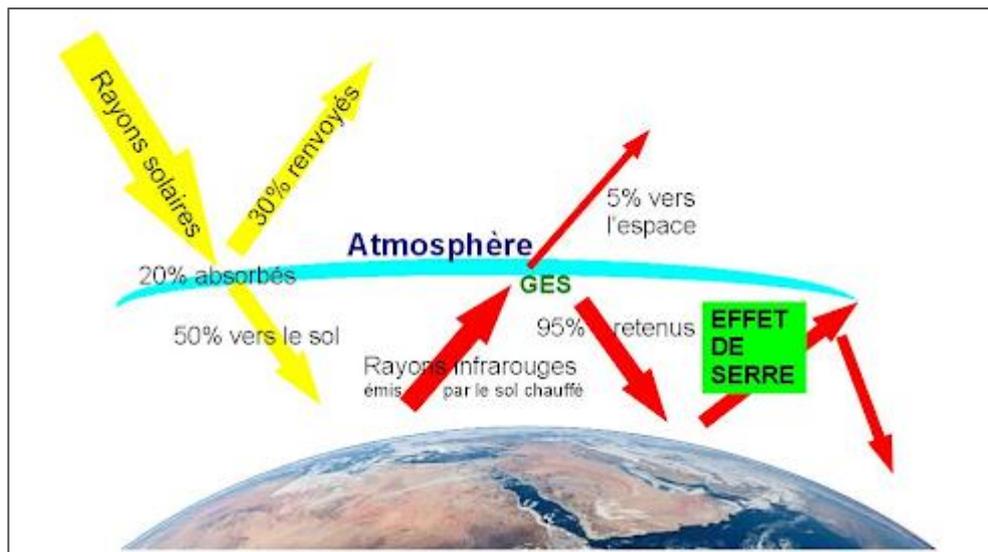


Figure 1: schéma explicatif de l'effet de serre

1-5-La Sécheresse

Les processus extrêmes du système terrestre ont continué à se manifester, notamment en termes de risques naturels dont les impacts sont ressentis par l'ensemble de la planète avec des conséquences particulièrement néfastes pour l'humanité. La sécheresse, étant l'un de ces processus physique extrêmes, est souvent décrit comme un risque naturel dont les impacts sont complexes et se répercutent sur de nombreux secteurs de l'économie tels que les ressources en eau, l'agriculture et les écosystèmes naturels.

Définition

La sécheresse se définit comme un déficit en précipitations inhabituel s'étendant sur de longues périodes, et menant à une pénurie en eau pour un ou différents secteurs d'activités. Techniquement, elle peut être identifiée par un écart aux conditions historiques moyennes de précipitation et/ou de température menant à la diminution du contenu en eau des sols.

En plus d'une diminution des précipitations, une hausse de la température assèche les sols en augmentant à la fois leur évaporation de surface et la quantité d'eau qui leur est soutirée par les végétaux (ce qui correspond à l'évapotranspiration). Ainsi, une sécheresse pourrait survenir en réponse à une hausse de température prolongée sans une baisse notable des précipitations. Une diminution des réserves de neige accumulées à l'hiver et leur fonte plus hâtive peut également limiter la quantité d'eau disponible pour les arbres pour pallier aux stress climatiques de l'été. (Figure 2). (Lajoie, 2016).



Figure 2 : Sécheresse intense observée sur un terrain.

1-5-1- Les types de Sécheresse

La sécheresse est classée selon les différents secteurs qui interagissent avec ses effets. On définit donc une sécheresse du point de vue météorologique, hydrologique, agricole ou socio-économique.

1-5-1-1- la sécheresse météorologique : correspond à un déficit prolongé de précipitations. Elle 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 socioéconomique), 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.

1-5-1-2- la sécheresse hydrologique : se manifeste enfin lorsque les lacs, rivières ou nappes souterraines montrent des niveaux anormalement bas. Elle dépend des précipitations mais aussi de l'état du sol influant sur le ruissellement et l'infiltration. Le réseau hydrographique

Synthese Bibliographique

détermine les temps de réponse aux déficits de précipitations observés sur différentes périodes.

1-5-1-3- la sécheresse agricole : se caractérise par un déficit en eau des sols superficiels (entre 1 et 2 m de profondeur), suffisant pour altérer le bon développement de la végétation. Elle dépend des précipitations et de l'évapotranspiration des plantes. Cette notion tient compte de l'évaporation des sols et de la transpiration des plantes (l'eau puisée par les racines est évaporée au niveau des feuilles). La sécheresse agricole est donc sensible aux précipitations, à l'humidité et à la température de l'air, au vent mais aussi à la nature des plantes et des sols.

1-5-2- Les indices de sécheresse

Les indices sont le plus souvent des représentations numériques de l'intensité des sécheresses, que l'on calcule à partir de valeurs climatiques ou hydrométéorologiques, dont les indicateurs précités. Ils mesurent l'état qualitatif d'une sécheresse à un emplacement donné, pour une période donnée (Soubeyroux, 2012). De nombreux indices ont été mis au point pour évaluer l'intensité de la sécheresse. Le tableau ci-après récapitule quelques-uns en fonction des paramètres climatiques employés dans les expressions algébriques et la difficulté des calculs. (Tableau 2).

Tableau 2. Manuel des indices de sécheresse (OMM, année.2016)

Météorologie	Facilité d'emploi	Paramètres d'entrée
AAI-indice d'aridité anormale	Vert	P, T, EPT, ET
Déciles	Vert	P
SPI – Indice de précipitations normalisé.	Vert	P
AI – Indice d'aridité	Jaune	P, T
DAI – Indice de zone de sécheresse.	Jaune	P
SPEI – Indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé.	Jaune	P, T
ARID – Indice de référence pour la sécheresse agricole.	Rouge	P, T, Mod.
CSDI – Indice de sécheresse par typée culture	Rouge	P, T, Tr, V, Ray., TED, Mod., DC
RDI – Indice de sécheresse du Bureau de Réclamation des Etats-Unis	Rouge	P, T, MN, RS, EF.

Légende

Mod. = valeur modélisée

P = précipitations.

T = température

TED = teneur en eau disponible

Tr = température de rosée ou point de rosée

V = vent

Ray. = rayonnement solaire.

DC = données de culture.

MN = manteau neigeux

EF = écoulement fluvial

RS = réservoir

Chapitre II

Cadre Physique de la
zone d'étude

Cadre Physique de ma zone d'étude

Zones infranationales	Précipitations (mm)	Température (°C)	Evapotranspiration (mm)
Ensemble Tellien et littoral	400 à 1000	Min 2 à Max 30 Moyenne 17.5	Min 30/40 Max 200/240
Ensemble hauts plateaux et steppe	150 à 300	Min -2 Max 38 Moyenne 19	Min 45 Max 250
Ensemble saharien	<100	Min -5 Max 50 Moyenne 19	1500 mm

2-1-1- Les

caractéristiques climatiques de l'Algérie

Le climat de l'Algérie est essentiellement méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers pluvieux avec une irrégularité des précipitations saisonnière et interannuelles. Mais sous ce qualificatif général, on est appelé à distinguer une grande diversité de climats régionaux, déterminés par la situation géographique et par l'orographie de l'Algérie. Celle-ci est bordée au Nord par la Méditerranée, relativement chaude en été, relativement fraîche en hiver, au Sud par le Sahara où la température est élevée en moyenne, mais très variable dans le temps ; il en résulte pour les différentes parties de l'Algérie, soumise à ces deux influences, des écarts de température considérables, et essentiellement variables d'une saison à l'autre (ce qui se traduit par une déformation des courbes isothermes). Les importantes chaînes de l'Atlas tellien et de l'Atlas saharien qui traversent le pays de l'ouest, contribuent pour leur part à différencier les climats qui abaissent la température de l'air, et en augmentant les précipitations aux dépens des régions situées plus au Sud. Cette diversité des climats régionaux et locaux entraîne la bigarrure de la carte agricole de l'Algérie. (Rghissa, 2017/2018)

2-1-2-Les tendances climatiques en Algérie.

L'Algérie a connu, au cours de ces trente dernières années, une variabilité pluviométrique importante dans l'espace et dans le temps. Cette variabilité, caractérisée par un important déficit pluviométrique, a eu un impact négatif sur le régime d'écoulement des oueds, sur l'alimentation de la nappe phréatique et sur le niveau de remplissage des barrages, dont les conséquences sont souvent catastrophiques sur le développement socioéconomique du pays (hebal, 2012.)

Cadre Physique de ma zone d'étude

L'évolution récente du climat en Algérie, montre que le réchauffement est plus important que la moyenne et qu'il se manifeste sous forme d'une sécheresse. En effet sur les 40 dernières années les températures moyennes annuelles (Figure 4 A et 5 A) ont subi une augmentation de 0,5°C, Ainsi les sécheresses de la même période sont encore plus remarquables compte tenu du déficit pluviométrique enregistré un peu partout sur le territoire (Figure 4 B et 5 B), particulièrement à l'Ouest du pays. La baisse de la pluviométrie dans cette période est estimée à environ 10% de la moyenne. Donc le changement climatique en Algérie se présente sous forme d'une sécheresse. (Lakhal, 2018)

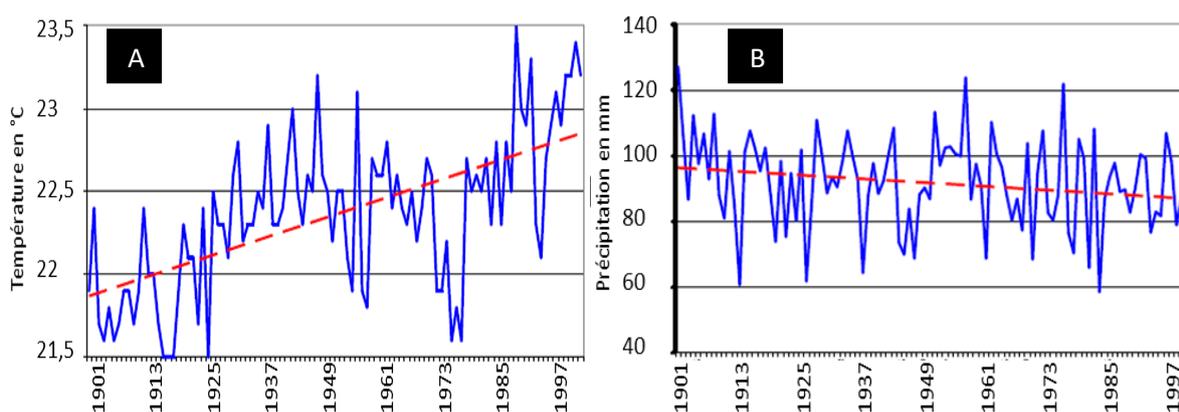


Figure 4. Evolution des températures moyennes annuelles (A) et des totaux annuels de précipitations (B) de l'Algérie entre 1901-2000 (Djellouli, 2008).

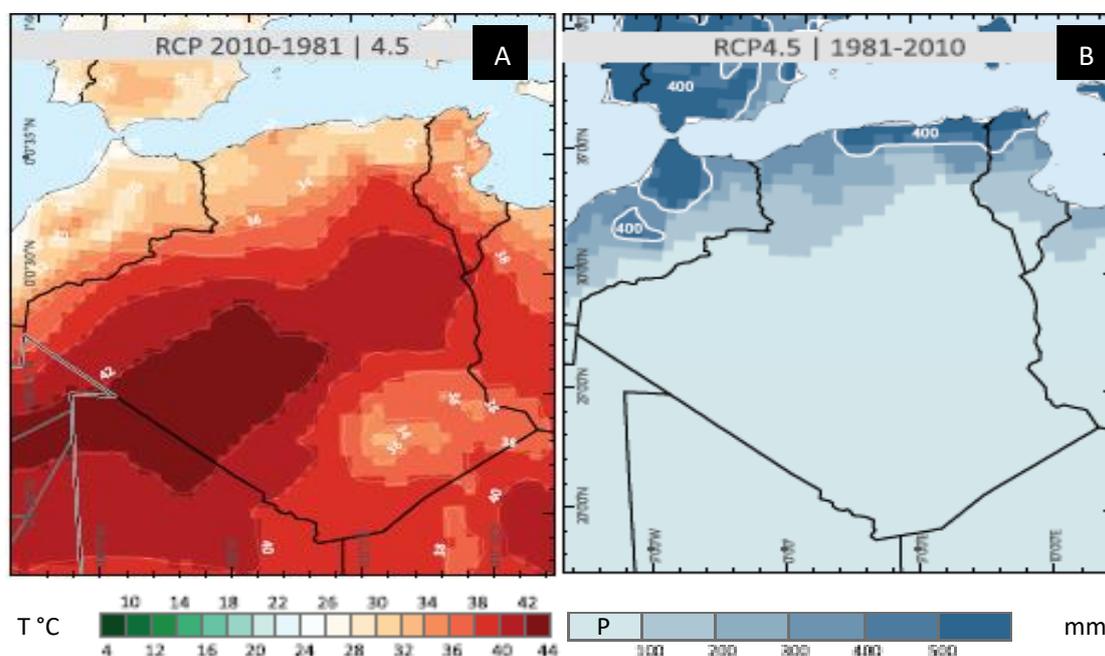


Figure 5. la répartition des températures (A) et précipitations (B) de l'Algérie (1981-20010) (Meer et giz2017).

Cadre Physique de ma zone d'étude

010).

2-1-3- L'impact de l'aridification climatique en Algérie

L'identification des conséquences des changements climatiques sur l'économie et la société algérienne constitue une priorité, A l'heure actuelle, les chaînes de risques et de vulnérabilité résultant des changements climatiques ont été identifiées pour 6 domaines (eau, pêche, agriculture, forêt, industrie, environnement) en Algérie. (.zerouati.2019)

Tableau 4- l'impact des changements climatiques. (zerouati.2019)

Secteurs	Impacts des CC
Secteur de l'agriculture	<ul style="list-style-type: none">• Désertification• Augmentation de l'érosion• Baisse de la productivité en raison de la perturbation du cycle végétal• Raréfaction des ressources productives : sols.eau.• Dégradation de la sécurité
Secteur de la pêche	<ul style="list-style-type: none">• Baisse de la ressource propre à la consommation.• Variabilités des espèces et contamination de la ressource.
Secteur industriel	<ul style="list-style-type: none">• Perturbation de la performance du secteur de l'énergie.• Augmentation du risque sur la sécurité des installations industrielles
Secteur de l'eau	<ul style="list-style-type: none">• Pénurie de ressources hydriques.• Dégradation de la qualité de l'eau.• Détérioration des infrastructures hydrauliques.
Secteur des forêts	<ul style="list-style-type: none">• Pertes des biens et services forestiers.• Erosion de la biodiversité.• Perte de couvert forestier.
Secteur de l'environnement et de la biodiversité	<ul style="list-style-type: none">• Perturbation des écosystèmes.• Eutrophisation des zones humides• Perte de la biodiversité.• Destruction des habitats naturels.• Migrations des espèces.• Modifications des cycles de vies de la faune et de la flore.

3-1- Les stations d'études

Afin de couvrir au mieux le territoire national et d'avoir une représentation assez réelle de la situation climatique en Algérie, nous avons calculé l'indice d'aridité de Martonne

Pour 59 stations météorologiques différentes. Les stations de référence étudiées ainsi que leurs coordonnées géographiques et leurs types de climat sont récapitulés dans le tableau ci-après

Chapitre III

Matériel et Méthod

Matériel et Méthodes

Tableau 6 : Les stations de référence étudiées

Station météorologique	Latitude X	Longitude Y	Référence de la station	Type de Climat Selon Koppen
JIJEL-ACHOUAT	36° 48' 00'' N	005° 53' 00'' E	60351	CSA
ANNABA	36° 5' 0'' N	007° 49' E	60360	CSA
TARF	36 °45 '00 ' 'N	008° 05' 00'' E	60368	CSA
DAR EL BEIDA	36 °43' N	003° 15' E	60390	CSA
TIZI-OUZOU	36°42'00''N	004°08'00''E	60395	CSA
BEJAIA	36°43'N	005°04'E	60402	CSA
GUELMA	36°28'N	007°28'E	60403	CSA
GUELMA-BOUCHEGOF	36°30'N	007°43'E	60405	CSA
AIN BESSAM	36°17'00N	003°40'00''E	60415	CSA
CONSTANTINE	36°17'N	006°37'E	60419	CSA
OUM EL BOUAGHI	35°53'N	007°07'E	60421	CSA
CHLEF	36°13'N	001°20'E	60425	CSA
MILIANA	36°18'N	002°14'E	60430	CSA
MEDEA	36°16'N	002°45'E	60437	CSA
MOSTAGANEM-VILLE	35°53'N	000°07'E	60457	BSK
BATNA	35°45'00''N	006°19'00''E	60468	BSK
TEBESSA	35°29'N	008°08'E	60475	BSK
KHENCHELLA	35°28'00''N	007°08'00''E	60476	CSB
ORAN ES-SENIA	35°38''N	000°36'W	60490	CSA
RELIZANE	35°45'00''N	000°37'00''E	60492	BSH
MASCARA-GHRISS	35°21'00 ' 'N	000°09'00''E	60507	CSA
TIARET	35°21'00''N	001°28'00''E	60511	CSA/BSK
KSAR CHELLALA	35°10'N	002°19'E	60514	CSA
BOUSAADA	35°20'N	004°12'E	60515	BWK
GHAZAOUAT	35°06'N	001°52'W	60517	CSA
BENI SAF	35°18'N	001°21'W	60518	CSA
SIDI BEL-ABBES	35°12'00''N	000°37'00''W	60520	CSA
MAGHNIA	34°49'N	001°47'W	60522	BSK
BISKRA	34°48'N	005°44'E	60525	BWH
TLEMCEN-ZENATA	35°01'N	001°28'W	60531	CSA
SAIDA	34°52'N	000°09'E	60536	BSK
MECHERIA	33°32'00''N	000°17'00''W	60549	BSK
EL BAYADH	33°40'N	001°00'E	60550	BSK
TOUGGOURT	33°04'00''N	006°05'00''E	60555	BWH
NAAMA	33°16'N	000°18'W	60557	BWK
EL – OUED	33°30'00''N	006°47'00''E	60559	BWH
AIN SEFRA	32°46'N	000°36'W	60560	BWK
HASSIR'MEL	32°56'N	003°17'E	60563	BWH
BECHAR	31°30'00''N	002°15'00''W	60571	BWH
OUARGLA	31°55'N	005°24'E	60580	BWH
HASSI-MESSOUD	31°40'N	006°09'E	60581	BWH
EL GOLEA	30°34'N	002°52'E	60590	BWH
BENI ABBES	30°08'N	002°10'W	60602	BWH
TIMIMOUNE	29°15'N	000°17'E	60607	BWH
AIN AMENAS	28°03'N	009°38'E	60611	BWH
ADRAR	27°49'00''N	000°11'00''W	60620	BWH
ILLIZI	26°30'N	008°25''E	60640	BWH

Matériel et Méthodes

TINDOUF	27°42'00''N	008°10'00''W	60656	BWH
DJANET	24°16'00 ''N	009°28'00''E	60670	BWH

Légende

CSA : climat méditerranéen tempéré .BWH : climat désertiques doux. BWK : climat désertique froid.

3-2-Acquisition et traitement des données climatiques

Les données météorologiques mensuelles utilisées dans cette étude proviennent principalement de l'office national de météorologie Algérien (ONM), de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), et de l'Agence National des Barrages (ANB). D'autres sites de référence à l'image de la NOAA (*National Oceanic and Atmosphérique Administration*), et TUTEIMPO, ont été également sollicités. La série de données climatiques utilisée est assez récente. Elle concerne les 10 dernières années et s'étale sur la période entre 2010 et 2019. Il a été nécessaire dans certains cas de combler les lacunes observées dans certaines séries. Les valeurs manquantes ou erronées d'une station ont été estimées à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique (El jabiet *al.*, 1987, Bermad 2004).

Calcul de l'indice d'aridité de Martonne

Dans ce travail nous allons calculer l'indice de l'aridité (IA) de Martonne. Ce dernier est un très bon indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présent à un endroit donné (Oliver 2006). Il est calculé par la formule de Martonne ci-après

$$\text{Indice d'aridité} = P/T+10$$

Avec : P: précipitation moyenne annuelle (mm).

T: température moyenne annuelle (C°).

Les limites des zones climatiques utilisées lors de la réalisation des cartes d'aridité par QGIS sont celles proposées par Martonne. Les intervalles de classe sont récapitulés dans le tableau ci-après.

l'indice d'aridité (I)	Type de climat
I<5	climat hyperaride
5<I<10	climat Aride
10<I<20	climat Semi-aride
20<I<30	climat subhumide
30<I<50	climat humide

3-3-Analyse et cartographie des données

Choix de software : Quantum GIS (QGIS)

Le QGIS est un logiciel SIG open source qui a débuté en mai 2002. Ce logiciel est utilisable sur la majorité des systèmes d'exploitation (Unix, MacOS et Windows) et se veut être un

Matériel et Méthodes

logiciel SIG simple à utiliser, fournissant des fonctionnalités courantes. Il gère aussi un grand nombre de formats raster et vecteur, avec le support de nouveaux formats facilité par l'architecture basée sur les extensions. L'amélioration permanente de ses fonctionnalités, qui englobe notamment la création de données, l'édition, la manipulation, l'analyse, le stockage et la représentation visuelle, QGIS devient ainsi populaire et connaît une large utilisation par des compagnies privés des organisations à l'échelle mondiale. (Figure 6).

La carte vectorielle de l'Algérie

Le logiciel QGIS permet d'afficher et de superposer des couches de données rasters et vecteurs dans différents formats et projections. Dans ce travail la carte de l'Algérie a été vectorisée à partir du site officiel « *OpenStreetMap* » qui est une base de données géographiques libres sur le monde entier, éditable à partir de données GPS, de photographies aériennes et des connaissances locales du terrain. Le site en question présente également un avantage majeur en permettant de télécharger en quelques clics, avec QGIS, des cartes vectorielles, géoréférencées

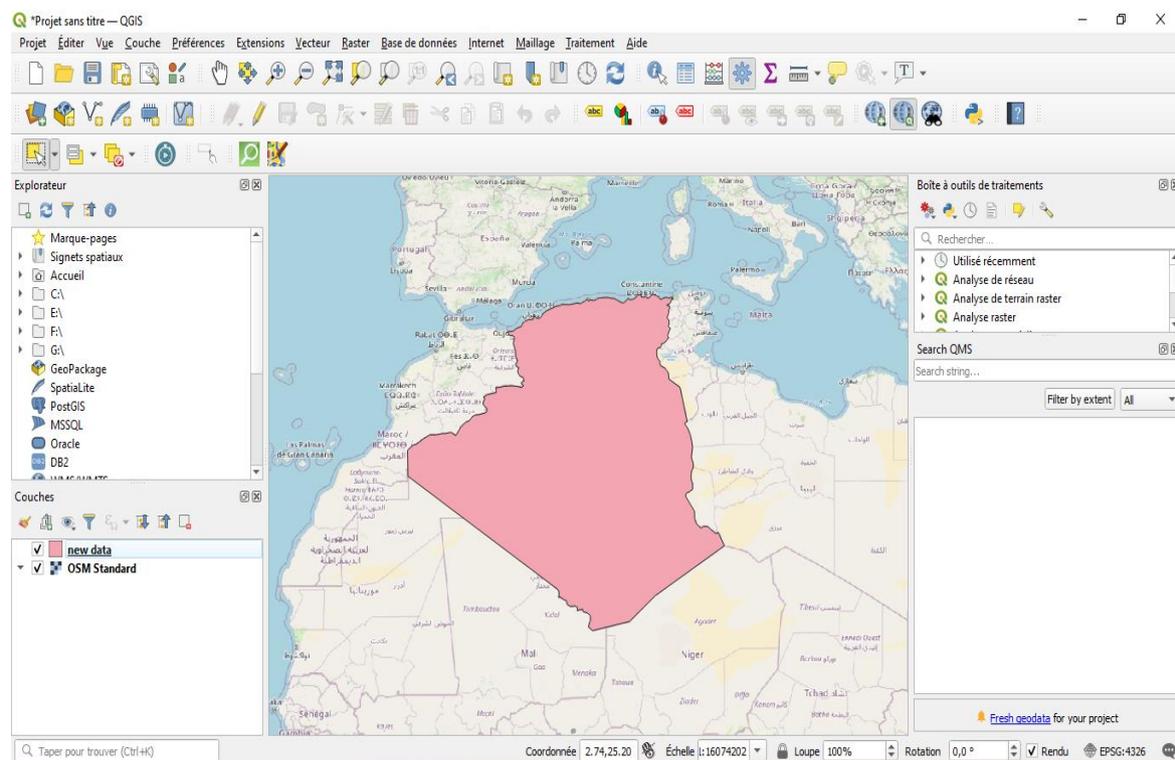


Figure 6. Interfaces du software QGIS 3.14 présentant une carte vectorielle de l'Algérie.

Le système de coordonnées de référence (SCR)

QGIS utilise le sigle SCR qui signifie « Système de Coordonnées de Référence » pour désigner le système de coordonnées utilisé pour superposer les couches afin qu'elles

Matériel et Méthodes

soient cohérentes entre elles. La projection utilisée dans ce travail est celle adoptée par l'Algérie en 2003 à savoir une projection UTM (Universel Transverse Mercator) / géodésie WGS84.

Importation des données climatiques

Après les calculs des indices d'Aridité, les données climatiques (les indices, les moyennes de température et de précipitations), ainsi que les coordonnées géographiques de toutes les stations ont été importées à partir d'un fichier Excel après transformation en format « .CSV ». Le fichier .csv est donc introduit dans le logiciel QGIS en utilisant l'option « Ajouter une couche – Texte Délimité ». Dans la fenêtre qui s'affiche, des informations concernant les paramètres de la couche et la géométrie doivent être définis.

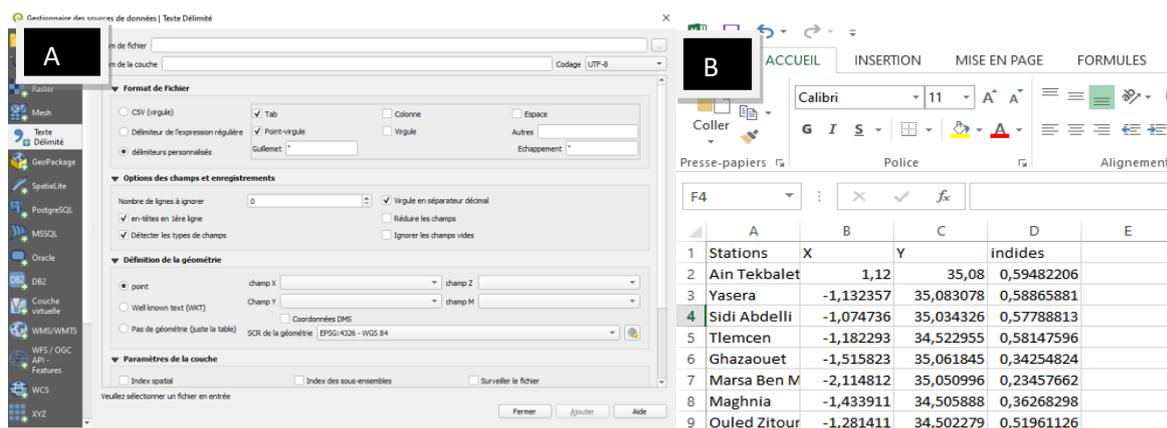


Figure 7 : Interfaces du logiciel QGIS 3.14 .A : représenté l'importation des données climatiques sous forme de texte délimité .B : texte délimité forme csv contient des données climatiques.

Interpolation des données climatiques

Les méthodes d'interpolation sont basées sur le principe de l'auto corrélation spatiale, qui suppose que, plus les points sont proches, plus ils se ressemblent. Le QGIS offre de nombreuses approches d'interpolation dans le volet « Raster - Analyse ». Dans cette étude la méthode d'interpolation locale IDW (l'inverse de la distance pondérée) a été utilisée. Cette dernière est une technique d'interpolation déterministe locale qui calcule la valeur d'un point en effectuant la moyenne des valeurs des points situés dans le voisinage pondérées par l'inverse de la distance au point calculé: plus les points sont proches, plus la pondération affectée est forte. Elle estime que les points plus proches de l'emplacement à calculer auront plus d'influence.

Une échelle d'aridité de 5 classes, allant de l'hyperaride au climat tempéré, a été utilisée dans les cartes établies par QGIS. Ce gradient d'aridité est celui illustré dans la partie « Calcul de l'indice d'aridité de Martonne ».

Chapitre IV

Résultats et Discussion

4-4-Résultats

4-1-1-Répartition spatiale des zones arides en Algérie

Pour l'identification quantitative du degré d'aridité présent dans les 58 stations météorologiques choisies et qui couvrent tout le territoire national ; nous avons calculé l'indice d'aridité de Martonne sur une période allant de 2010 à 2019. Cet indice est très simple, n'exigeant dans son expression que des valeurs de précipitations et de températures.

L'analyse des valeurs moyennes de l'indice d'aridité (IA) obtenues (Tableau 6) montre deux gradients d'aridité très nets. L'un du Nord vers le Sud et l'autre de l'Est vers l'Ouest. En effet, les stations du Nord, présentent des indices supérieurs à 20, indiquant un climat de type humide et subhumide. Il s'agit principalement des stations du littoral Algérien à l'image de Jijel, Annaba, Bejaia, Alger, etc. Les stations les plus humides sont généralement celles situées en altitude. En se déplaçant vers l'intérieur, on rencontre les stations du semi-aride ayant des indices entre 10 et 20 comme M'Sila, Laghouat, Saida etc. il s'agit du type climatique le plus présent et qui caractérise un nombre important de stations. En effet, 25 sur les 58 stations étudiées présente ce type de climat. Les résultats obtenus révèlent également que les stations du Sud-Oranais possèdent un climat de type Aride avec des indices allant de 5 à 10. Il s'agit en l'occurrence de : Ain-sefra, Ksar-chellala, Mecheria, Naama. Quant aux stations du Sud Algérien, elles présentent toutes un climat Hyperaride et affichent les indices les plus bas inférieur à 5. Ce type de climat couvre toute la partie saharienne désertique.

Pour le gradient Est – Ouest, les valeurs enregistrées révèlent en effet, que les stations de l'Est sont les plus humides et possèdent les indices les plus élevés. En revanche les stations de l'Ouest sont caractérisées par un climat semi-aride voire aride notamment dans l'Oranais et le Sud-Oranais. De façon générale, l'analyse des résultats montre qu'une grande partie de l'Algérie est caractérisée par un climat sec (entre semi-aride et hyperaride). En effet, un bon nombre de stations étudiées, soit 46 stations, présentent un climat à tendance aride, ce qui montre la fragilité des écosystèmes de notre pays (figure 8).

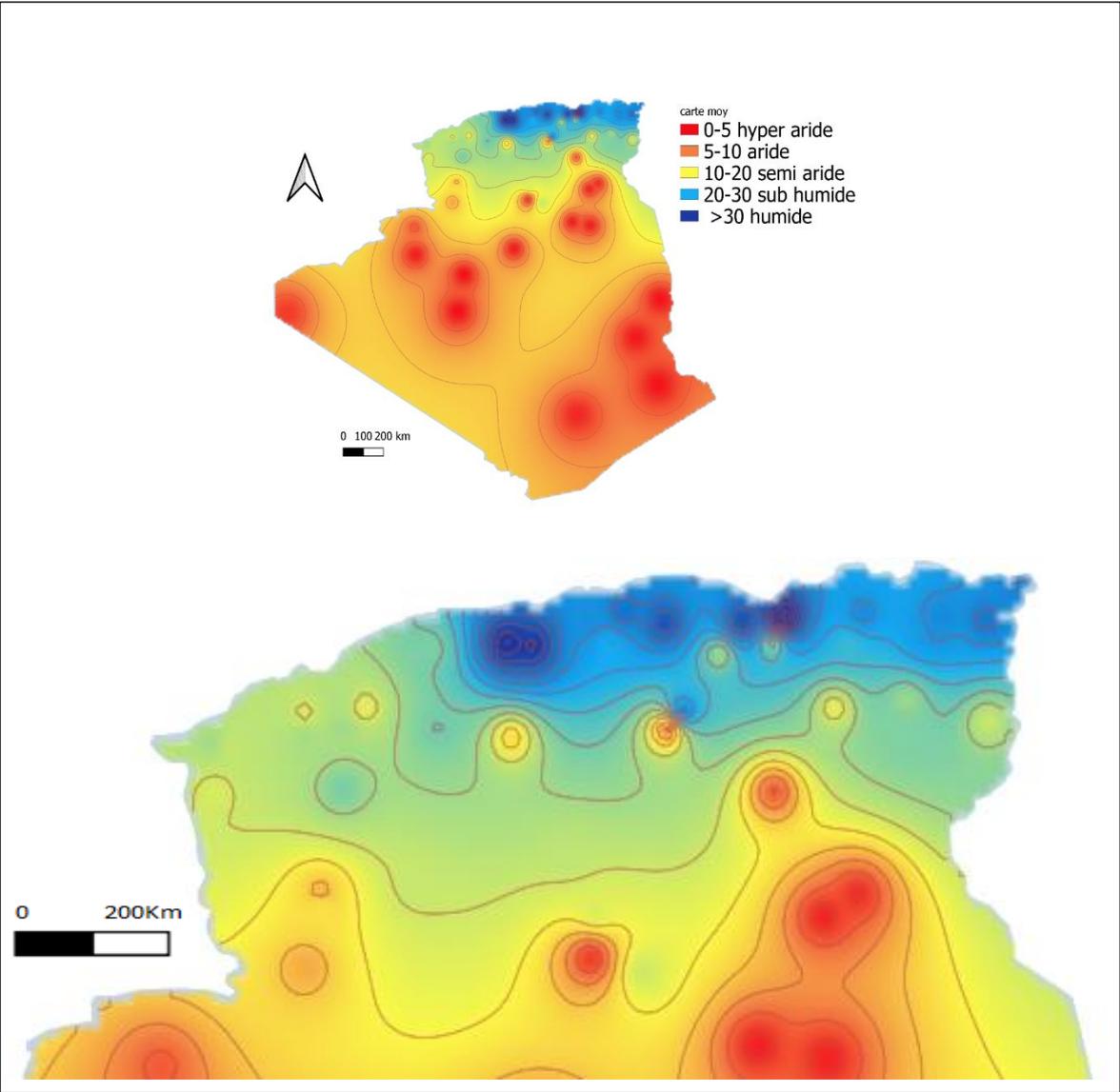


Figure 8 : Carte synthétique de l'Algérie représente l'Aridité moyenne de 2010-2019.

Résultats et Discussion

Tableau 7 :Récapitulation des différents indices d'aridité enregistrés en Algérie durant la période 2010 - 2019

Stations	IA_2010	IA_2011	IA_2012	IA_2013	IA_2014	IA_2015	IA_2016	IA_2017	IA_2018	IA_2019	Moy de IA.	Bioclimat
JIJEL-ACHOUAT	37.18	38.57	46.93	48.12	33.64	33.46	32.02	8.60	44.90	32.29	35.57	Humide
MILIANA	34.72	55.60	26.65	33.91	26.33	20.59	29.98	27.30	41.69	25.54	32.23	Humide
MEDEA	24.10	34.85	31.43	30.62	22.40	26.99	30.37	31.04	45.91	27.84	30.56	Humide
SKIKDA	26.94	22.01	20.95	22.48	19.57	46.04	14.17	24.29	19.39	13.01	22.88	Subhumide
ANNABA	20.96	24.09	21.16	25.49	22.05	25.59	15.16	23.73	22.65	32.05	23.29	Subhumide
TARF	21.99	22.68	26.15	29.86	25.26	10.85	17.10	30.47	30.09	33.52	24.80	Subhumide
DELLYS	25.96	28.55	27.42	34.86	23.19	20.16	21.63	23.70	27.35	20.07	25.29	Subhumide
DAR EL BEIDA	23.12	25.33	30.33	32.33	18.84	15.47	19.86	23.86	22.38	15.19	22.67	Subhumide
TIZI-OUZOU	28.68	31.72	24.55	37.13	27.58	24.64	23.40	23.41	32.06	24.91	27.81	Subhumide
BEJAIA	27.55	21.15	35.48	34.69	26.76	17.43	23.86	29.66	28.68	36.71	28.20	Subhumide
GUELMA	22.09	25.65	19.54	23.13	17.97	23.52	16.34	20.04	21.04	26.45	21.58	Subhumide
GUELMA-BOUCHGOF	28.77	5.09	30.26	45.18	7.91	20.23	16.13	17.42	20.59	32.94	22.45	Subhumide
M'SILA	20.80	29.99	23.53	24.30	17.58	21.19	20.98	20.83	32.28	18.07	22.96	Subhumide
AIN BESSAM	17.06	22.54	17.66	22.19	10.57	19.91	21.57	19.02	24.45	23.10	19.81	Semi-aride
BORJ-BOU ARRERIDJ	14.69	18.48	11.43	15.41	10.87	11.44	8.34	11.94	25.49	13.21	14.13	Semi-aride
SETIF	25.19	14.73	15.43	17.75	12.68	15.09	11.47	10.50	18.70	8.36	14.99	Semi-aride
CONSTANTINE	19.27	21.18	15.97	19.19	16.90	23.04	11.53	11.45	17.57	27.04	18.31	Semi-aride
OUM EL BOUAGHI	13.95	20.53	11.34	15.78	12.24	14.15	7.73	9.00	14.88	19.64	13.92	Semi-aride
CHLEF	17.94	19.97	18.07	17.36	14.21	8.98	13.53	13.39	22.08	9.12	15.46	Semi-aride
MOSTAGANEM-VILLE	13.99	15.35	14.32	18.15	17.03	11.33	9.86	11.50	12.07	9.42	13.30	Semi-aride
BATNA	9.91	13.79	7.90	12.56	10.57	13.21	8.06	6.58	12.61	12.53	10.77	Semi-aride
TEBESSA	8.91	16.10	8.95	10.30	11.35	9.74	10.62	11.19	15.14	18.55	12.09	Semi-aride
KHENCHELLA	20.21	22.19	13.04	21.53	12.12	9.82	8.76	9.24	16.11	20.72	15.37	Semi-aride
ORAN ES / SENIA	8.03	17.36	5.96	17.24	9.45	9.67	11.78	5.03	19.42	10.64	11.46	Semi-aride
RELIZANE	10.74	13.28	11.20	9.84	9.38	10.16	10.11	7.62	16.27	9.64	10.82	Semi-aride
MASCARA-GHRISS	15.37	15.40	17.10	21.87	15.29	15.85	14.98	12.32	1.85	10.20	14.02	Semi-aride
EL DJELFA	11.73	12.60	10.33	9.18	10.45	9.65	6.52	6.88	18.92	18.07	11.43	Semi-aride
LAGHOUAT	15.31	14.95	13.21	15.47	15.79	10.54	6.17	9.22	15.95	10.18	12.68	Semi-aride
TIARET	19.03	17.41	16.25	22.22	21.41	11.48	13.71	11.65	14.26	13.31	16.07	Semi-aride

Résultats et Discussion

GHAZAOUAT	19.17	18.83	15.91	19.41	15.94	11.79	8.40	7.69	13.17	8.94	13.93	Semi-aride
BENI SAF	14.91	13.07	13.41	17.29	14.24	13.35	12.57	9.91	9.20	10.09	12.80	Semi-aride
SIDI BEL ABBES	15.45	15.93	12.12	18.17	15.39	12.21	14.33	9.33	14.76	10.89	13.86	Semi-aride
MAGHNIA	12.63	12.62	11.16	12.92	11.03	10.55	4.42	8.66	16.43	14.31	11.47	Semi-aride
TLEMCEN ZENATA	14.27	14.96	14.70	17.41	12.49	7.32	8.90	6.93	14.14	10.69	12.18	Semi-aride
SAIDA	15.07	15.09	18.52	25.70	14.33	15.07	13.47	13.20	17.42	10.15	15.80	Semi-aride
EL BAYADH	11.91	21.04	10.74	11.10	12.18	9.35	11.33	8.00	18.38	9.17	12.32	Semi-aride
GHARDAIA	13.61	12.15	14.00	9.95	8.12	8.62	16.97	9.69	16.97	9.69	11.98	Semi-aride
KSAR CHELLALA	12.03	10.51	8.62	8.77	8.19	7.76	6.88	4.42	15.11	6.87	8.92	Aride
BOUSAADA	5.58	8.77	4.27	4.36	2.89	4.71	5.14	3.48	7.24	4.09	5.05	Aride
MECHERIA	8.42	5.32	7.16	8.48	8.33	4.84	8.38	2.61	12.00	7.17	7.27	Aride
NAAMA	7.17	13.50	13.95	6.05	8.32	5.36	8.13	6.28	14.37	9.23	9.24	Aride
AIN SEFRA	7.63	8.49	6.71	3.87	7.88	4.88	7.70	7.70	8.83	4.39	6.81	Aride
BISKRA	5.72	7.80	1.66	4.28	1.35	3.19	4.42	1.47	3.89	2.82	3.66	Hyperaride
TOUGGOURT	0.62	0.66	0.46	1.45	0.60	0.47	1.03	3.00	0.81	1.41	1.05	Hyperaride
EL OUED	1.45	0.90	0.67	1.96	0.54	1.52	0.96	3.67	0.88	2.24	1.48	Hyperaride
HASSI RMEL	3.25	4.54	0.82	0.79	1.96	1.89	1.82	0.57	2.30	1.24	1.92	Hyperaride
BECHAR	1.69	5.44	6.05	0.97	8.00	2.34	3.38	1.33	4.43	1.61	3.52	Hyperaride
OUERGLA	0.73	0.54	1.00	1.27	0.91	0.93	0.50	2.26	0.62	0.74	0.95	Hyperaride
HASSI MESSOUD	0.47	1.02	0.57	1.54	0.55	0.98	1.51	2.39	0.45	0.68	1.02	Hyperaride
EL GOLEA	0.12	0.32	1.31	0.21	1.53	0.18	1.31	1.93	0.97	0.37	0.83	Hyperaride
BENI ABBES	0.40	1.09	1.84	0.18	1.25	0.52	0.86	0.31	1.43	1.35	0.92	Hyperaride
TIMIMOUN	0.66	0.00	0.32	0.60	0.00	0.10	0.25	0.32	0.46	0.00	0.27	Hyperaride
AIN AMENAS	0.17	1.37	0.27	0.21	0.00	0.87	0.20	0.33	0.47	0.61	0.45	Hyperaride
ADRAR	0.29	0.28	0.25	0.00	0.11	0.19	0.01	0.28	1.04	0.14	0.26	Hyperaride
ILIZI	0.18	0.77	0.66	0.03	0.00	0.36	0.11	0.29	0.55	3.46	0.64	Hyperaride
TINDOUF	2.80	1.14	1.80	0.86	3.23	5.16	1.65	0.20	3.62	1.03	2.15	Hyperaride
TAMANRASSET AGUENNAR	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89	3.72	2.96	1.44	1.87	1.17	1.30	Hyperaride
TIN ZAOUATIN	0.64	0.27	0.44	0.69	1.85	2.00	1.66	0.90	1.29	0.93	1.07	Hyperaride
DJANET	0.62	0.26	0.43	0.68	0.00	0.33	0.36	0.36	0.74	0.69	0.45	Hyperaride

4-1-2-Etude des variations interannuelles des indices d'aridités en Algérie

Pour une meilleure compréhension de l'évolution du niveau d'aridité dans les 58 stations de notre zone d'étude et pour mettre en évidence les éventuelles tendances ; nous avons donc cartographié les valeurs de l'indice d'aridité enregistrées pour toute la plage de données 2010 – 2019. La série des cartes obtenues par quantum GIS (figure 9) visualisent les variations interannuelles de l'indice d'aridité durant cette période. De nombreuses fluctuations climatiques peuvent être constatées (figure 10), ces dernières varient en fonction des années et des régions considérées.

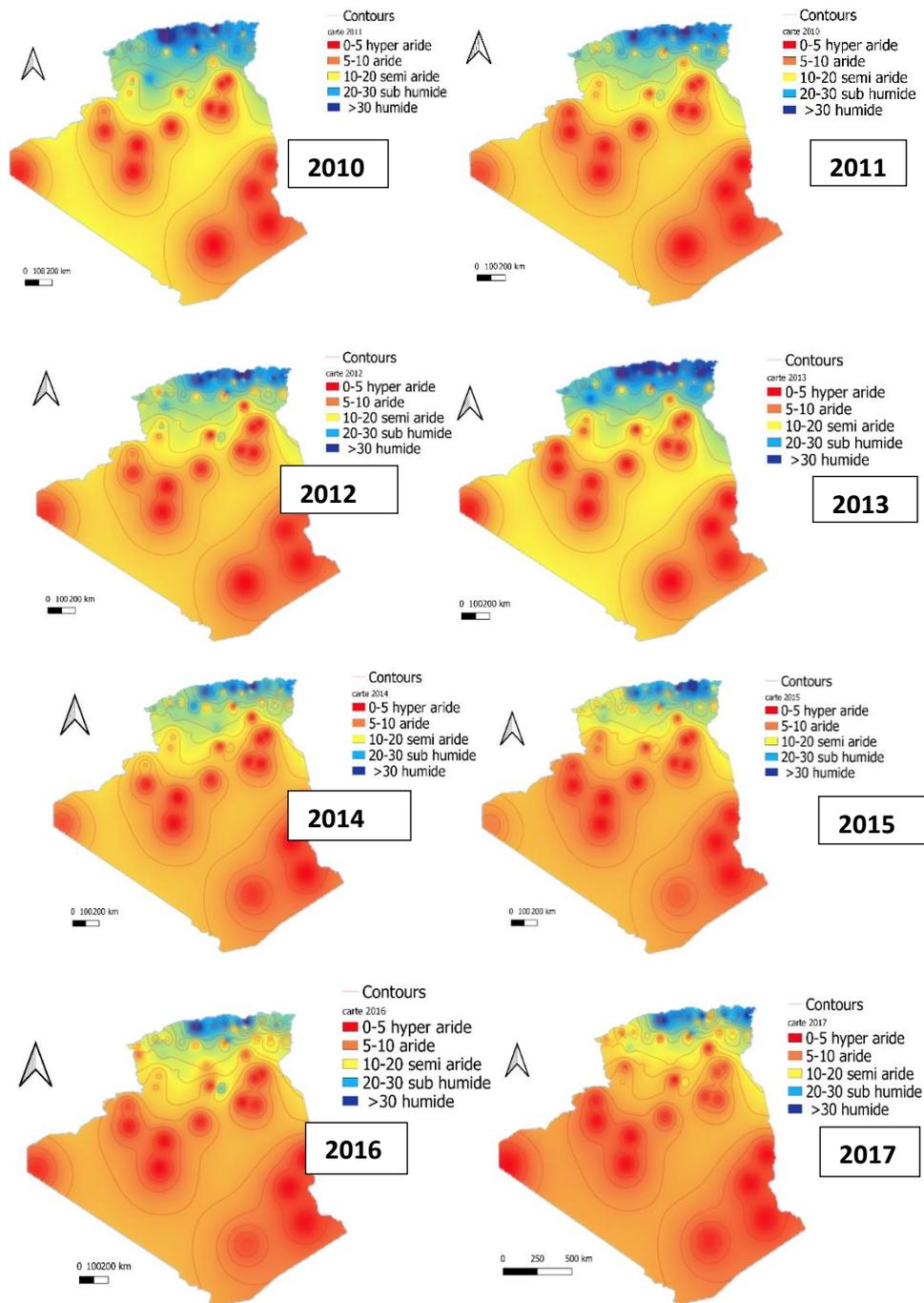
Pour plusieurs stations du littoral Algérien à climat humide et subhumide, notamment celles du centre et de l'Est, les années 2014, 2015, 2016 et 2019 semblent être les plus chaudes et les moins arrosées. Il s'agit principalement des stations de Miliana, Skikda, El-Taref, Dar el Beida et Guelma. Le type climatique de ces dernières balance clairement vers le semi-aride au cours de ces années en affichant des indices d'aridité trop faibles, inférieur à 20. En revanche, les régions de Jijel et TiziOuzou semblent les seules qui n'ont pas été affectées durant cette dernière décennie. En effet, excepté l'année 2017 pour Jijel où on avait enregistré un indice d'aridité trop faible (IA= 8,6), les stations de Jijel et TiziOuzou ont toujours gardé un climat de type humide et subhumide respectivement.

Le deuxième ensemble correspond aux stations des hautes plaines à climat semi-aride. Parmi ces dernières, trois sous-ensembles peuvent être distinguées. Le premier concerne les stations à climat semi-aride typique comme mascara-ghriss, Borj-bou arreridj, Saida, etc. qui ont un climat de type semi-aride, avec une fréquence d'environ neuf années sur dix, voire plus. Le deuxième sous-ensemble regroupe les stations du semi-aride entrecoupé par des années subhumides. Il s'agit des stations de : Ain Bessam, Constantine, Tiaret, etc. Quant au troisième, On trouve dans cette catégorie, les stations à climat semi-aride entrecoupée par des années aride. Ce sont principalement les régions ayant des tendances arides à l'image de Djelfa, Batna et même Es-Senia (Oran).

Quant aux stations de la steppe, le climat est typiquement Aride. Parmi les principales régions on cite : Bousaada, Ksar chellala, Mecheria, Naama, et Ain Sefra. Pour ces dernières, la tendance générale est au aride et plus on se dirige vers l'Ouest, plus le climat subhumide s'estampe et le climat semi-aride et aride s'installe. Cela confirme l'influence du gradient pluviométrique longitudinal (Est-Ouest). Pour le sud du pays, la tendance générale est au Hyperaride. Les stations de Djanet, Illizi, Adrar etc. représentent des exemples de ce type climatique. Il est à noter que la station de Ghardaïa est caractérisée par une oscillation entre le

Résultats et Discussion

climat aride et Hyperaride, cela confirme l'influence directe du climat saharien sur cette station.



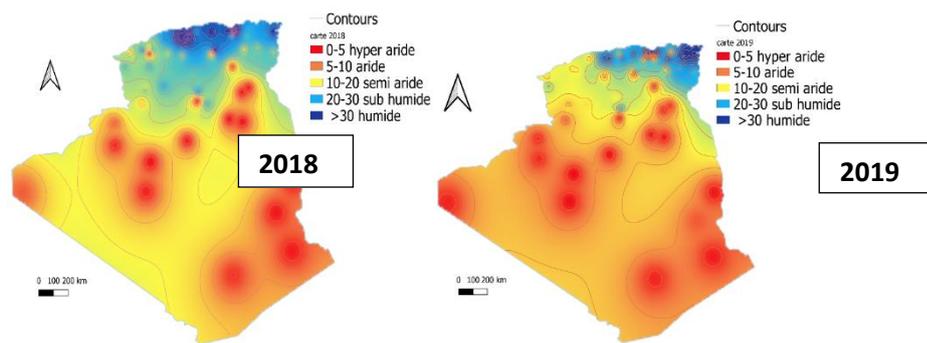
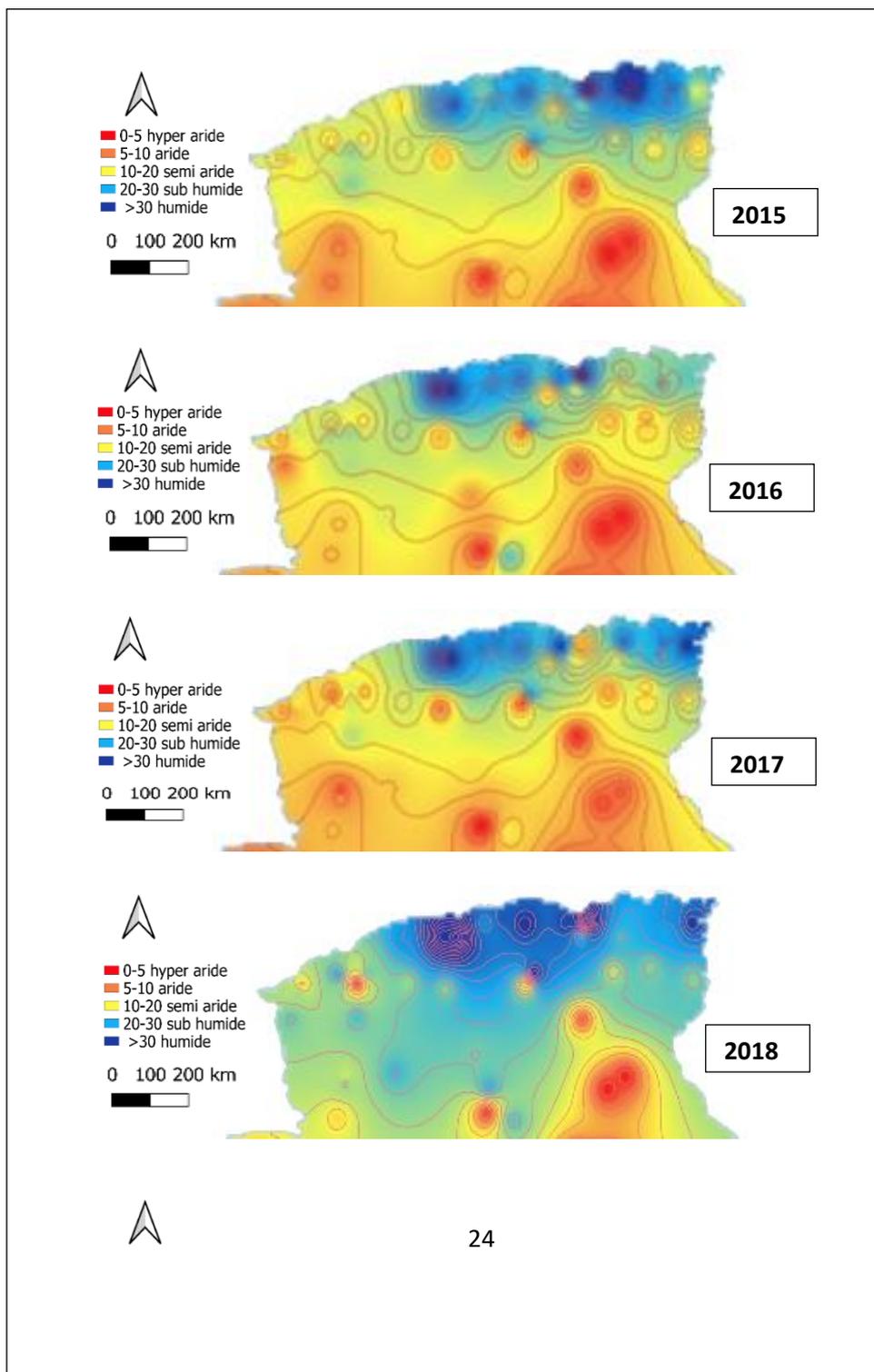


Figure 09: Séries des cartes d'aridité interannuelles de territoire algérien de la décennie 2010 jusqu'à 2019.



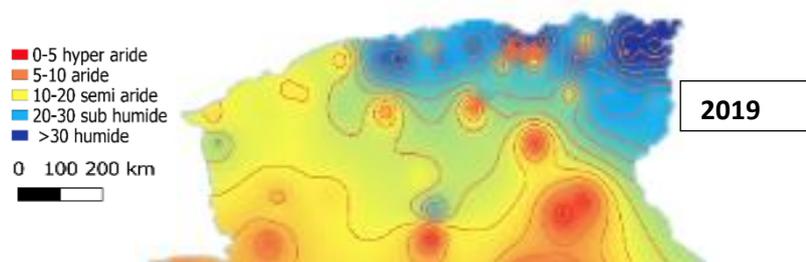


Figure 10. Détail de la figure 9 montrant les variations du climat dans les stations du Nord Algérien durant les années 2015 ; 2016 ; 2017 ; 2018 et 2019

4-2-Discussion

La sécheresse et l'aridification des écosystèmes méditerranéens sont des phénomènes étroitement liées aux changements climatiques. Elles peuvent être définies comme étant un déséquilibre naturel de la disponibilité de l'eau et consistent donc à des précipitations persistantes inférieures à la normale, difficile à prévoir, entraînant une diminution de la disponibilité des ressources en eau (Pereira et al. 2009). Nombreuses études se sont concentrées sur les sécheresses en méditerranée. Basé sur une étude à l'échelle mondiale, Spinoni *et al.* (2014) ont signalé une augmentation significative de la fréquence, de la durée et de la sévérité de la sécheresse dans cette région. Une étude de Giorgi et Lionello (2008) sur les impacts du changement climatique dans le bassin méditerranéen a révélé une diminution évidente des précipitations associée à un réchauffement évident, principalement pendant la saison estivale. En outre, Giorgi et Lionello (2008) ont suggéré que la Méditerranée pourrait être une région très vulnérable aux changements globaux. Par conséquent, il est probable que les sécheresses affecteront beaucoup plus cette région.

De ce fait, nous avons donc réalisé une étude sur toute l'Algérie pour caractériser les différentes zones climatiques au sens de De Martonne et d'analyser les éventuelles variations et tendances à l'aridification dans cette région durant cette dernière décennie. L'indice d'aridité de Martonne est considéré comme un très bon indicateur quantitatif du degré du déficit d'eau présent à un endroit donné (Oliver 2006). Les données météorologiques utilisées sont réelles et récentes (2010 – 2019). Les résultats obtenus décèlent différents niveaux d'aridité en Algérie. Les stations du littoral sont caractérisées par un climat subhumide voire humide dans certaines stations d'altitude. En allant vers le Sud, un gradient croissant d'aridité a été constaté. Les principales raisons sont liées directement à l'éloignement de la mer et la topographie de l'Algérie avec ses deux chaînes montagneuses (l'Atlas Tellien et Saharien) qui forment une barrière naturelle face aux nuages.

Un autre gradient d'aridité Est – Ouest a également été mis en évidence. Les valeurs enregistrées révèlent en effet, que les stations de l'Est sont les plus humides et possèdent les indices les plus élevés. En revanche les stations de l'Ouest sont caractérisées par un climat

semi-aride voire aride notamment dans l'Oranais et le Sud-Oranais. Ceci est dû en grande partie à la topographie qui entoure cette région et l'impact de la chaîne montagneuse du Grand Atlas marocain. En effet, l'analyse spatiale a montré que la longitude, la distance de la Méditerranée et la topographie, sont des facteurs importants influençant la variabilité des précipitations dans l'Algérie en générale et le Nord-Ouest en particulier (Meddi *et al.* 2013). De nombreuses études ont été consacrées sur les régions du Nord-Ouest Algérien. Parmi ces études citons celles de Hamlaoui-Moulai *et al.* (2013) ; Meddi *et al.* (2010) ; Taibi *et al.* (2017); Zeroual *et al.* (2017) qui ont montré une diminution des totaux de précipitations dans le nord-ouest de l'Algérie, ce qui corrobore parfaitement nos résultats. Zeroual *et al.* (2013 et 2017) ont également signalé un réchauffement amplifié et une diminution remarquable des débits moyens mensuels au Nord de l'Algérie, ce qui est une conséquence directe de la baisse des précipitations.

Sur le plan dynamique, les résultats révèlent une variation interannuelle du niveau d'aridité de dans certaines régions notamment celles de l'Oranais et ses alentours. Il semble que 2010, 2013 et 2018 étaient les années les plus arrosées pour tout le Nord Algérien donnant un climat plus humides pour les stations du Nord-Ouest Algérien. En revanche, les indices d'aridité étaient beaucoup plus faibles pour les autres années et particulièrement l'année passée (2019), révélant ainsi une aridité plus élevée.

4-2-1-Autocritique : inconvénients et avantages

- A l'inverse de la délimitation par des intervalles, mentionnés dans le tableau de De Martonne, qui suggère un passage subit d'un type climatique à un autre ; la représentation cartographique de l'indice d'aridité permet de révéler les zones de chevauchement à climat intermédiaire décelant ainsi un passage graduel des niveaux d'aridité.
- Bien que l'indice d'aridité de De Martonne soit un très bon indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présent à un endroit donné (Oliver 2006) et semble donner des résultats satisfaisants qui corroborent les observations du terrain, il reste cependant, de notre point de vue, moins précis ; car cet indice ne tient pas compte dans sa formulation de certains paramètres importants qui influence directement sur le niveau d'aridité d'une région comme : la durée d'exposition, couvert végétal et le taux d'évapotranspiration, ainsi que l'intensité de la durée d'ensoleillement, etc.
- Les inconvénients majeurs qui nous ont confrontés lors de la réalisation de cette étude se résument dans deux points principaux : le premier, est la difficulté d'acquisition des données climatiques. En effet, il était très difficile d'avoir les séries complètes des données climatiques pour toutes les stations de référence de l'Algérie. Les données climatiques étaient : soit inexistantes, soit à accès non libre. Elles sont donc commercialisées et vendues à des prix exorbitants. C'est pour cette raison que nous n'avons pu travailler que sur une série de 10 ans. Une série de 30 ans ou plus, aurait donnée des résultats plus fiables. Le deuxième point réside dans manque flagrant de stations météorologiques de référence. En effet, pour une surface aussi importante que celle de l'Algérie, les 58 stations météorologiques disponibles sont plus qu'insuffisantes. Quand les stations sont éloignées, l'interpolation à l'inverse de la distance ne donne pas de bons résultats. Ce qui a été constaté dans toute la région saharienne où les stations météorologiques sont très éloignées et dispersées parfois par une distance qui dépasse 1000 km. Ce qui donne un climat de type aride voire même semi-aride entre les stations à la place d'un climat de type hyper aride.

Conclusion

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

L'Algérie est caractérisée sur le plan climatique par la transition d'un climat méditerranéen humide, subhumide, doux et tempéré en hiver, chaud et sec en été à un climat semi-aride

Sur les hautes plaines et aride sur les zones désertiques. Au cours de ces trente dernières années, l'Algérie a connu, une variabilité pluviométrique très importante aussi bien dans l'espace que dans le temps. Dans ce travail, nous avons examiné l'évolution du climat de l'Algérie au sens de De Martonne, qui tient compte des deux principaux paramètres climatiques à savoir ; les précipitations, les températures ; et ce sur une période d'observations de dix ans (2010-2019). L'objectif étant de mettre en évidence le niveau d'aridité des différentes régions de l'Algérie et de rechercher les éventuelles tendances ou changements dans les séries temporelles des précipitations et des températures.

Les indices obtenus dévoilent des valeurs très faibles indiquant des niveaux d'aridité importants dans quasiment tout le territoire national, à l'exception du Nord-Est Algérien. Ces résultats montrent à quel point les écosystèmes en Algérie sont fragiles

De l'Est vers l'Ouest, on remarque également une augmentation des températures et une baisse de précipitations plus importantes. Les indices montrent clairement une tendance importante à l'aridité.

De point de vue dynamique, les différentes cartes réalisées révèlent une variation interannuelle du niveau d'aridité de dans certaines régions notamment celles de l'Oranais et ses alentours. Néanmoins, et par rigueur scientifique, une série de 10 ans est insuffisante pour conclure sur l'existence d'une tendance à l'aridification.

Les travaux que nous avons réalisés tout au long de ce mémoire ainsi que les résultats et les discussions qui ont été mises en évidence, nous ont ouvert de nombreuses perspectives de travail. Divers aspects pourraient en effet être approfondis et/ou abordés.

- Il serait pertinent de continuer à analyser et caractériser les différents types du climat des différentes régions algériennes pour avoir une vue plus globale sur le climat de notre pays.
- Elargir la série des données climatiques et confronter les résultats obtenus avec des séries de données plus anciennes et plus longues pour pouvoir déceler les tendances aux changements et avoir une meilleure lecture
- Augmenter le nombre de stations météorologiques pour couvrir au maximum le territoire national ; ceci permet d'avoir une meilleure résolution sur le type de climat.
- Utiliser d'autres indices climatiques plus performants et impliquant plus de paramètres climatiques.

Références bibliographiques

Référence bibliographiques

Références bibliographiques

[1] la Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives. 2013. Le climat concerne les modifications des conditions météorologiques intégrées sur l'ensemble du globe.

[2] **Andry hufty 2001**.son livre l'introduction à la climatologie aout2001 .de Boeck supérieur. Collection astronomie climatologie.

[3]**Vincent dubreuil et al** ; Les types de climats annuels au Brésil : une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. 2017. Neto Echo Géo 41 | juillet 2017/septembre 2017 journal open éditions.

[4] **claud gabriel.be.cours 2001**.de la climatologie appliquée .site de Claude Gabriel

[5] **RHISSA AG BILLAL.2017/2018**. Mémoire fin d'études sur Etude de changement climatique au Nord-est algérien. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA

. [6] **Daif Manel. Avril 2017**. . Mémoire fin d'études sur Etude des quelques variables climatiques du sous bassin de Sebaou (Tizi-Ouzou)

[7] **lakhali Amina 2018**. Mémoire fin d'études sur l'Analyse spatio-temporel des précipitations dans la zone de la Mitidja. Ecole national supérieure d'hydraulique –Arbaoui Abdallah.

[9] : **Lajoie, G., Houle, 2016**. Impacts de la sécheresse sur le secteur forestier québécois dans un climat variable et en évolution. Montréal, Québec : Ouranos, 13 p.

[10] **soubeyroux.2012**.sécheresse des sols en France et changement climatique.la météorologie 78.p.21-30.

[11].manuel des indicateurs et indices de sécheresse.2016.l'organisation météorologique mondiale.

[12]**F atma Zohra zerouati.2019**.plan national climat 2019

[13]**Aziz hebal et boualem remini.2012**. Etude de la variabilité spatiotemporelle des pluies dans le Nord algérien.recherche gate

. [14] **IPCC, 2007**: Climat Change 2007: Synthèses Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [CoreWriting Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzer land, 104 pp.

[15] **Vincent Luyet, 2010** ; Station météo, Edition De Boeck.2010. Les éléments des climats

[16] Ministère de l'environnement et des énergies renouvelables –MEER et . GIZ(2017).recueil des cartes, la vulnérabilité au changement climatique des activités agricoles et pastorales.

[17] Rapport sur la certification de l'éradication de la poliomyélite Algérie.2001.