

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Abbès Laghrour Khenchela



N° d'ordre :.....

Série :.....

Faculté de Sciences de la Nature et de la Vie  
Département d'Ecologie et Environnement

MEMOIRE FIN D'ETUDE  
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER  
EN ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT  
OPTION : Ecologie Fondamentale et Appliqué

## THEME

*Contribution à l'étude du changement climatique dans le sous  
bassin de Garaat Et Tarf (Nord-est Algérie)*

Présenté et soutenu par :

TIR Oumaima

Nmer Wissem

Devant le jury :

Mr. OUANAS Mayada

MCB. Président

Université de Khenchela

Mr. AOUIDANE Laiche

MCB. Encadreur

Université de Khenchela

Mr. MEZHOUD Amel

MCB. Examineur

Université de Khenchela

Année universitaire 2020/2021

# *Remerciement*

*En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, tout puissant, qui nous a donné le courage, la force et la Patience d'achever ce travail.*

*Nous remercions très sincèrement notre encadreur, Monsieur **Laiche Aouidane**, pour sa confiance, sa patience, ses judicieux conseils, ainsi que l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer. Nous disons merci.*

*Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement tous nos enseignants, sans vous nous sommes convaincues que nous n'aurons jamais pu obtenir notre diplôme.*



# *Dédicace*

## *Louange à dieu*

*Je tiens à dédicacer ce modeste travail à ma famille :*

*A Mon père et ma très chère mère,*

*A mes frères Chakib et Ishak.*

*A mes soeurs Lamis et Wissal.*

*Qui ont toujours su trouver les mots justes pour  
m'encourager, exprimer leur soutien et leur amour  
profond qu'ils ont pour moi.*

*Je tiens également à le dédier à ma chère cousine ,*

*Rayane pour son aide précieuse.*

*A mon binnome Wissem .*

*A mes collègues et tous mes professeurs*

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

*tir*

# *Dédicace*

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste  
travail :

## **A mes chers parents**

pour leurs amour, leur efforts et leurs sacrifices durant  
toute ma vie, leurs  
encouragements et soutiens pour persévérer jusqu'à  
l'aboutissement de ce travail.

## **A mes belles soeurs et mes beaux frères**

des bons moments, j'espère de tout mon coeur que notre  
amitié durera éternellement

**A toute ma famille du plus grand au plus petit.**

**Toutes les personnes proches que je n'ai pas citée.**

<b>figure n°</b>	<b>Liste des Figures</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Carte simplifiée les climats mondiaux	5
<b>2</b>	Les domaines bioclimatiques de l'est Algérien	9
<b>3</b>	La variation de la température et tendance de réchauffement dans le monde et en Afrique	14
<b>4</b>	Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale source : GIEC	16
<b>5</b>	Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000)	18
<b>6</b>	Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000)	18
<b>7</b>	Processus de l'effet de serre naturel et les gaz18	19
<b>8</b>	Préversion de changement des précipitations et températures annuelles à l'horizon	20
<b>9</b>	Situation géographie de bassin versantGaraat El Tarf	22
<b>10</b>	Le relief du bassin de Garaat El Tarf	22
<b>11</b>	Carte géologique du sous-bassin versant Garaat El Tarf	23
<b>12</b>	Carte de sol de la zone d'étude	29
<b>13</b>	Carte d'occupation des sols de bassin versant Garaat El Tarf	30
<b>14</b>	Carte présentative des reliefs et la répartition des stations climatiques de Garaat Et Tarf	33
<b>15</b>	Variation des valeurs de précipitation dans les six stations de la zone d'étude (1958 à 2020)	38
<b>16</b>	Changement des précipitations dans les six stations de la zone d'étude (1958 à 2020)	40
<b>17</b>	Répartition spatiale des précipitations moyennes de vicennal du sous bassin versant de Garaat Et Tarf pour la période (1958-1977, 1978-1997, 1998-2020 et prédiction de 2060)	41
<b>18</b>	Variation des températures moyennes mensuelles dans les deux stations Oum Elbouaghi et Ain Elbaida (1958 à 2020)	43
<b>19</b>	Variation des températures moyennes mensuelles de deux stations Remila et Kais (1958 à 2020)	44
<b>20</b>	. Variation des températures moyennes mensuelles de deux stations Baghai et Yabous (1958 à 2020)	45

<b>21</b>	Evolution de bilan hydriques dans les deux stations Ain Elbaida et Oum Elbouaghi (1958 à 2020)	47
<b>22</b>	. Répartition spatiale des températures moyennes de vicennal du sous bassin versant de Garaat Et Tarf pour la période (1958-1977, 1978-1997, 1998-2020 et prédiction de 2060)	49
<b>23</b>	Evolution des résultats de diagramme Ombrothermique de deux stations Oum Elbouaghi et Ain Elbaida (1958 à 2020)	48
<b>24</b>	Evolution des résultats de diagramme Ombrothermique de deux stations Remila et Kais (1958 à 2020)	51
<b>25</b>	Evolution des résultats de diagramme Ombrothermique de deux stations Baghaïet Yabous (1958 à 2020)	52
<b>26</b>	Evolution de l'indice de l'aridité de Martonne dans les six stations de la zone d'étude (195 à 2020)	53
<b>27</b>	Répartition spatiale de l'indice de l'aridité de Martonne du sous bassin versant de Garaat Et Tarf calculé pour la période (1958-2020 et prédiction de 2060)	55
<b>28</b>	Présentation de l'indice de précipitation avec classification pour les six stations (1958 à 2020)	56
<b>29</b>	Présentation des valeurs de l'indice de sécheresse dans les six stations de la zone d'étude (1958 à 2020)	58
<b>30</b>		59
<b>31</b>	Evolution de bilan hydriques dans les deux stations Kais et Baghai (1958 à 2020)	61
<b>32</b>	Evolution de bilan hydrique dans les deux stations Remila et Yabous (1958 à 2020)	62
<b>33</b>	Répartition spatiale de bilan hydrique calculé du sous bassin versant de Garaat Et Tarf calculé pour les vicennales (1958-1977, 1978-1997, et 1998-2020)	63
<b>34</b>	Répartition spatiale de bilan hydrique calculé du sous bassin versant de Garaat Et Tarf calculé pour les vicennales (1958-1977, 1978-1997, et 1998-2020)	64

# *Liste des tableaux*

<b>N° Tableau</b>	<b>Le titre de tableau</b>	<b>Page</b>
<b>1</b>	Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de Précipitation Standardisé.	12
<b>2</b>	La situation géographique des stations climatiques retenues (Coordonnés UTM).	32
<b>3</b>	Synthèse des données climatiques de six stations de la zone d'étude (1985-2020).	34

# *Table de Matière*

Remerciement	
Dédicace	
Liste des Figures	
Sommaire	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Table de Matière	
Introduction générale	1
<b>Chapitre1 : Les changements climatiques</b>	
1. La définition de climat	3
2. Système climatique	4
3. La classification climatique	4
3.1. Climat equatorial	4
3.2. Climat de mousson	5
3.3. Climat océanique	5
3.4. Climat aride	6
3.5. Climat montagnard	6
3.6. Climat tropical	6
3.7. Climat méditerranéen	7
3.8. Climat chinois	7
3.9. Climat continental	7
3.10. Climat polaire	8
4. Le climat en Algérie	8
5. Analyse climatique	8
5.1. Les tendances des paramètres climatiques	9
5.1.1. Précipitation	9
5.1.1.1. L'indice de précipitations standardisé (SPI)	10
5.1.2. Evaporation et humidité	12
5.1.3. Température	12
6. Le changement climatique	13
6.1. Les causes du changement climatique	13
6.1.1. Les processus naturels	13
6.1.2. Les Activités anthropiques	13
6.2. Les indicateurs de changement climatique	14
6.2.1. À l'échelle globale	14
6.2.1.1. L'augmentation de la température de surface sur la Terre	14

6.2.1.2. La température des océans	15
6.2.1.3. La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques	15
6.2.1.4. Le recul des glaciers continentaux	15
6.2.1.5. Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland	15
6.2.1.6. Le niveau moyen des océans	16
6.2.2. A l'échelle régionale (Algérie)	16
6.2.3. Les indicateurs biologiques	17
6.3. Les effets du changement climatique	17
6.3.1. L'effet de serre	17
6.3.1.1. Les principaux gaz à effet de serre et leurs sources	17
7. L'impact de changement climatique sur les ressources en eau	20

## **Chapitre 2: Présentation de la zone d'étude**

1. Situation de la zone d'étude	21
2. Le relief	21
3. Le cadre géologique	23
3.1. Lithostratigraphie du bassin de Garaat El Tarf	24
3.2. Trias	24
3.3. Crétacé	24
3.3.1. Crétacé Inférieur	24
3.3.1.1. Barrémiensupérieur	24
3.3.1.2. Aptien marneux (inférieur)	24
3.3.1.3. Aptien supérieur	25
3.3.2. Albien (Crétacémoyen)	25
3.3.3. Crétacé supérieur	25
3.3.3.1. Cénomaniens inférieurs	25
3.3.3.2. Turonien basal	25
3.3.3.3. Turonien « moyen et supérieur	26
3.3.3.4. Coniacien	26
3.3.3.5. Santonien	26
3.3.3.6. Campanien	26
3.3.3.7. Maestrichtien inférieur	26
3.3.3.8. Maestrichtien supérieur	26
3.3.4. Eocène	27
3.3.4.1. Montien	27
3.3.4.2. Yprésien et Thanétien	27
3.3.5. Miocène	27
3.3.5.1. Miocène inférieur	27
3.3.5.2. Miocène supérieur	27
3.3.6. Pliocène continental	27
3.3.7. Quaternaire	28
4. Les sols	28
5. Couvert végétal	30
6. Agriculture dans la zone	30

## **Chapitre 3 : Évaluation du changement climatique du sous bassin de Garaat Et Tarf**

Introduction	32
1 Matériel et methods	33
1.1 Collecte des données	33
1.2 Méthodes d'analyse des données	33
1.2.1 Analyse descriptives des paramètres climatique	33
1.2.2 Synthèse climatique	34
2 Résultat et discussion	35
2.1 Etude des paramètres climatique	37
2.2 Les precipitations	37
2.3 Description de la pluviométrie	37
2.4 Evolution des precipitations	39
2.5 Répartition spatial des precipitation	41
2.5.1 La temperature	42
2.5.1.1 Description destempératures	42
2.5.1.2 Evolution des temperatures	46
2.5.1.3 Répartition spatial destempératures	48
2.5.2 Le vent	49
2.6 Synthèse climatique	50
2.6.1 Diagramme Ombrothèrmique	50
2.6.2 Indice de l'aridité	50
2.6.3 Indice de precipitation	57
2.6.4 Indice de sècheresse	57
2.6.5 Bilan hydrique	60
Conclusion	65
Conclusion générale	66
Références bibliographiques	67

## **Résumé**

La variabilité climatique dont les causes sont difficiles à cerner, peut se manifester par de longues périodes de sécheresse avec conséquences des effets négatifs sur le cycle hydrologique, l'environnement et les activités socio-économiques. Un des enjeux majeurs des recherches sur un phénomène complexe comme la variabilité climatique, est de quantifier les changements climatiques et son impact sur l'environnement, qui peut différer d'une région à une autre. C'est la raison pour laquelle nous avons entrepris une étude de la variabilité climatique sur le sous bassin de Garaat Et Tarf en considérant certains paramètres de quelques stations.

Le climat de cette région est caractérisé par une forte variabilité dans le temps et l'espace et travers les études que nous avons réalisées sur les données de six stations, il nous est apparu clairement que le changement climatique dans cette région est très important, car nous avons constaté une augmentation progressive de l'aridité, accompagné par diminution des précipitations et augmentation des températures. Surtout pour cette région qui a été dominé par un climat semi-aride, et tende de plus en plus vers l'aridité et cela a répercuté sur le bilan hydrique qui passe d'un état déficitaire à un état plus déficitaire avec le temps.

**Mots clés:** Garaet Et Tarf, Changement climatique, Température, précipitations, cartographie.

## **Abstract**

Climate variability, the causes of which are difficult to pinpoint, can manifest itself in long periods of drought with negative effects on the hydrological cycle, the environment and socio-economic activities. One of the major challenges of research on a complex phenomenon such as climate variability is to quantify climate change and its impact on the environment, which may differ from one region to another. This is the reason why we undertook a study of climate variability in the Garaat Et Tarf sub-basin by considering certain parameters of a few stations.

The climate of this area is characterized by high variability in time and space and through the studies that we carried out on the data of six stations; it became clear to us that climate change in this region is very important, because we have observed a gradual increase in aridity, accompanied by decrease in precipitation and increase in temperatures. Especially for this region which was dominated by a semi-arid climate, and tends more and more towards aridity and this has had repercussions on the water balance which changes from a deficit state to a more deficient state over time.

**Key word:** Garaet Et Tarf, Climate change, Temperature, precipitation, mapping

## ملخص

يمكن أن تتجلى تقلبية المناخ ، التي يصعب تحديد أسبابها ، في فترات طويلة من الجفاف مع آثار سلبية على الدورة الهيدرولوجية والبيئة والأنشطة الاجتماعية - الاقتصادية. يتمثل أحد التحديات الرئيسية للبحث حول ظاهرة معقدة مثل تقلب المناخ في تحديد تغير المناخ وتأثيره على البيئة ، والتي قد تختلف من منطقة إلى أخرى. هذا هو السبب في قيامنا بدراسة التغير المناخي في الحوض الفرعي لقارة وطرف من خلال النظر في معلمات معينة في عدد قليل من المحطات. يتميز مناخ هذه المنطقة بتقلبات عالية في الزمان والمكان ومن خلال الدراسات التي أجريناها على بيانات ست محطات اتضح لنا أن التغير المناخي في هذه المنطقة مهم للغاية ، لأننا لاحظنا زيادة تدريجية في الجفاف مصحوبة بانخفاض في هطول الأمطار وزيادة في درجات الحرارة ، خاصة في هذه المنطقة التي كان يسودها مناخ شبه جاف ، ويميل أكثر فأكثر نحو الجفاف وهذا أثر على التوازن المائي الذي يتغير من حالة عجز. إلى حالة أكثر ضعفاً بمرور الوقت.

الكلمات المفتاحية: قرعة الطرف - تغير المناخ - درجة الحرارة - هطول الأمطار - رسم الخرائط.

## **Introduction générale**

Le climat terrestre est naturellement sujet à des variations. Au cours de son évolution, la terre a connu régulièrement des périodes de réchauffement et de refroidissement, qui faisaient partie des cycles climatiques naturels. Les diverses régions du monde réagissent différemment aux effets des changements climatiques. Il est important de souligner que les pays les moins développés sont moins armés pour atténuer ces effets négatifs (EL Mahi et al., 2011).

Un des points majeurs est l'importance de l'impact du climat et de ses variations sur la ressource naturel. Les impacts du changement climatique sur les écosystèmes ont été bien documentés (I.P.C.C., 2007). Bien qu'il y ait de plus en plus de preuves du changement climatique, les gestionnaires des ressources naturelles ont eu du mal à développer des réponses de gestion et de planification au changement climatique. L'une des raisons de cette lenteur de réponse est qu'il existe relativement peu d'outils pour traduire les simulations de pointe de la science du climat et des modèles climatiques sous une forme avec laquelle un gestionnaire peut travailler à l'échelle locale ou régionale (C.C.S.P., 2008).

De plus, comme la ressource en eau est au cœur de vitalité des écosystèmes naturels et d'un grand nombre des activités socio-économiques de notre pays, toute modification dans la variabilité du climat pourrait avoir un impact sérieux sur la disponibilité et la qualité de cette ressource. A cet égard, nous estimons qu'il est important d'insister sur le fait qu'une saine gestion des ressources en eau en Algérie est impensable sans tenir compte du climat et de ses variations.

L'apparition de nombreux phénomènes climatiques récents de grande ampleur aussi bien spatiale que temporelle, ont fait l'objet de plusieurs études et ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs impacts sur les ressources en eau. Parmi eux, on peut citer le phénomène de sécheresse qui affecte les pays du Maghreb, et l'Algérie en particulier, depuis les années 1970 (Laborde, 1993 ; Meddi, 2001 ; Meddi et Hubert, 2003 ; Ketrouti et al., 2004 ; Talia et al., 2004 ; Meddi et al, 2007).

Dans ce contexte notre étude se focalise sur le sous bassins de Gareat EtTarf, se caractérise par deux type de climat : le Sud, trop influencé par les courants d'air froid et humides en provenance des Aurès ou l'altitude dépasse les 2000 m, rassemble d'un climat tempéré. En outre, le nord de la zone d'étude, qui est une vaste plaine ou l'altitude décent jusqu'à moins de 850 m est couvert par un climat semi-aride. L'objectif de cette étude est principalement axé sur la collecte des données climatiques, remédier à la discontinuité de ces mêmes données, rechercher des

données climatiques (températures, précipitations,...) et enfin les homogénéiser vu l'existence de plusieurs sources. Ces étapes sont fondamentales pour que le travail d'analyse de la situation climatologique présente et passée puisse se faire. Ainsi, dans ce travail, les données de température et de précipitations des six dernières décennies (1958 à 2020) de six stations ont été analysées afin d'évaluer l'ampleur de leurs changements statistiquement et spatialement. Plus précisément, la tendance, la variabilité et les schémas spatiaux des températures moyennes, et des précipitations annuelles.

## **Chapitre 1 : Les changements climatiques**

Les changements climatiques représentent l'un des plus grands défis du XXI<sup>e</sup> siècle. À l'ordre du jour des agendas internationaux depuis la première conférence mondiale sur le climat, à Genève en 1979, les changements climatiques ont d'abord été l'objet d'étude des sciences naturelles. Âgée d'à peine une décennie, l'entrée des sciences sociales en ce domaine de recherche a grandement modifié la façon d'envisager cette problématique et les manières d'y répondre (Alliouche, 2016).

### **1. La définition de climat**

Le mot climat apparaît en français au XII<sup>e</sup> siècle, dérivant du latin cliamtis. Pourtant son origine est grecque : le climat est l'inclinaison d'un point de la terre au soleil. Cette notion ce « klimat » y est très éloignée du concept moderne de climat (Tebeaud, 2008).

En 1910, Hann a défini le climat comme étant « l'ensemble des éléments métrologique qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère au-dessus d'un lieu » (Scarwell & Roussel, 2010). Ainsi au cours du 1987 Gibbs a proposé une définition plus dynamique « La probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée »(Christian, 2002).

Autrement dit le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période donnée. Il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, ainsi que sur la base des données atmosphériques locales : Température, précipitations, ensoleillement, humidité, vitesse du vent (Baghdadli, 2014).

Le climat global de la terre et les climats régionaux sont déterminés par le "système climatique". Ce dernier est un mécanisme 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 qui influence sur la composition de l'atmosphère et des océans.

On considère souvent, à tort, que l'atmosphère est le compartiment prédominant en ce qui concerne les phénomènes climatiques. Pourtant les autres compartiments jouent un rôle tout aussi important dans la constitution et la régulation du climat de la planète. On parle de changement climatique lorsque le climat global de la terre ou l'ensemble des climats régionaux subissent une modification durable (Bourahla, 2015).

## **2. Système climatique**

Le système climatique de la terre se compose d'éléments en interaction complexe. L'élément moteur est le soleil, dont l'énergie se réchauffe la terre. Cette énergie est à l'origine de la circulation atmosphérique et océanique ainsi que des processus d'évaporation et de précipitation qui font partie du cycle de l'eau. En plus de l'atmosphère et des océans, le système climatique englobe les eaux douces, les plantes, les animaux, les couvertures de glace et de neige, les masses terrestres et même la croûte terrestre (Baghdadli, 2014).

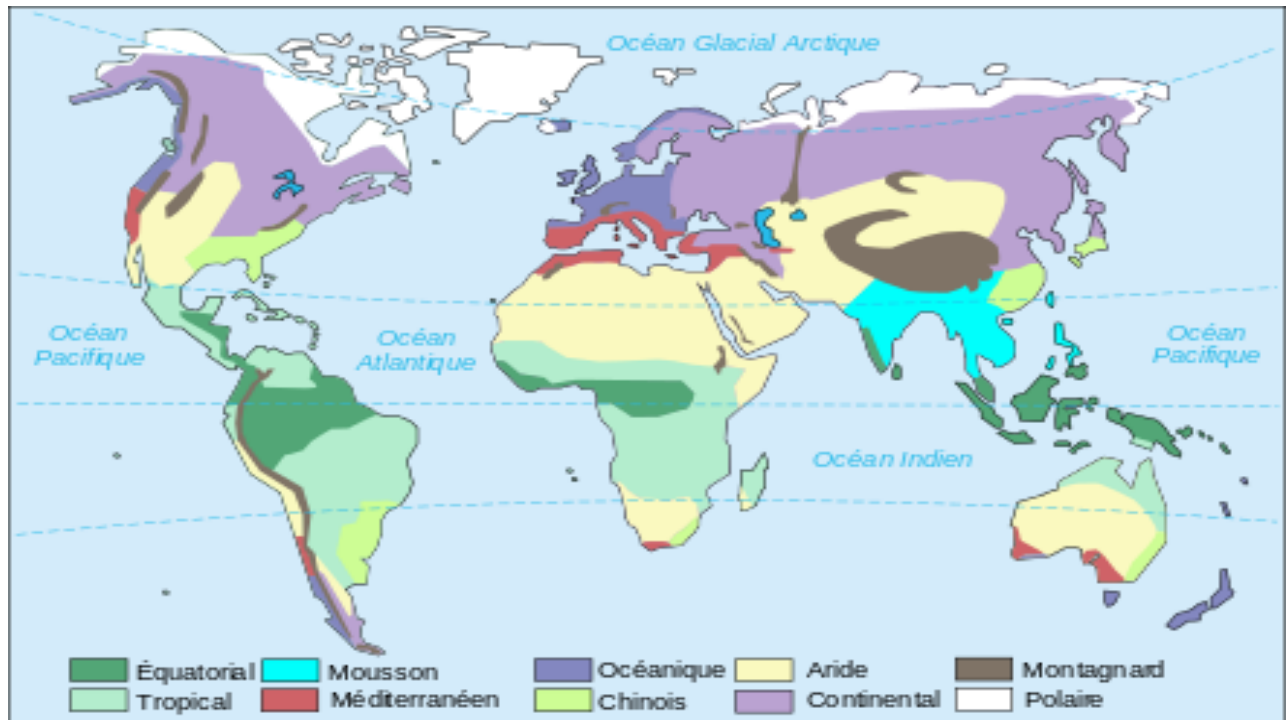
## **3. La classification des climats**

La classification des climats est fondée d'une part sur la température et d'autre part sur l'importance des précipitations, aussi la latitude, l'influence maritime ou continentale, l'altitude, les vents, les courants marins, la période de l'année permettent de définir les grandes zones climatiques (Rhissa, 2017). En effet, les différents types de climat sont : Équatorial, Mousson, Océanique, Aride, Montagnard, Tropical, Méditerranéen, Chinois, Continental, Polaire comme le montre (Fig.1).

### **3.1. Climat équatorial**

Il règne sur les basses latitudes, les rayons du soleil sont proches de la verticale et chauffent donc beaucoup la terre, le soleil passe au zénith à l'équateur au moment des deux équinoxes de mars et septembre ce qui explique les maxima de température à ces dates. Son températures est voisines de 25°C, l'amplitude thermique annuelle est environ 2°C. Les précipitations sont abondantes de 2000 à 4000 mm/an et fréquentes, ses saisons sont peu marquées, il a des forêts denses (Rhissa, 2017).

- Exemples de régions à climat équatorial : Amazonie, Congo, Indonésie.



**Figure 1.** Carte simplifiée les climats mondiaux (Niazi, 2007).

### 3.2. Climat de mousson

C'est une variante du climat tropical, il est connue d'une température entre 20 à 40°C, son amplitude thermique annuelle est moyenne, on passe de la sécheresse à la pluie diluvienne. On peut aller jusqu'à trouver 800mm d'eau en quatre mois, ses saisons sont trois (Rhissa, 2017) :

- Novembre à mars : températures douces (20°C),
- Avril à juin : températures très élevées (de 30 à 40°C),
- Juillet à octobre : températures élevées (25°C) et pluies très abondantes, il a des forêts denses, tel que la savane

Exemples des régions à climat de mousson : Sud -est asiatique, Inde.

### 3.3. Climat océanique

Ce climat est modérées et peu contrastées : elles s'écartent peu de la moyenne annuelle de 11°C, son amplitude thermique annuelle est faible, Il est répartie tout au long de l'année (entre 800 et 1000 mm, 2 jours sur 3) avec un maximum en hiver, ses saisons sont peu marquées : hiver doux, gel et neige rares ; été frais, les vents sont violents, fréquents et de direction changeante. Il a une forêt à feuilles caduques, lande, prairie (Belai, 2015).

Exemples de régions à climat océanique : côte atlantique de l'Europe, côte Pacifique de l'Amérique du Nord.

### **3.4. Climat aride**

On l'appelle également climat tropical sec, ou encore climat désertique. On le trouve de part et d'autre des tropiques. Sa températures est très élevées (jusqu'à 46°C), son amplitude thermique annuelle est forte (36°C) et amplitude thermique diurne également forte. Il est connu par sa faiblesse pluviométrique et irrégulière entre 100 à 400 mm. Ses deux saisons sont connues par :

- été de 36°C à 46°C, saison sèche
- hiver de 10°C à 15°C, saison humide
- Exemples de régions à climat tropical sec : Afrique, Australie, Arabie (Bourahla, 2015).

### **3.5. Climat montagnard**

C'est un climat propre aux diverses régions de montagne, indépendamment de la zone climatique où elles se situent. Il se caractérise par des hivers froids et des étés frais et humides, sa température diminue avec l'altitude (1°C tous les 100 mètres), son amplitude thermique annuelle est forte, sa précipitation est très importante, sous forme de neige avec l'altitude. Leur végétation est plus on monte en altitude moins il y a de végétaux (Christian, 2002)

- Le premier étage dit montagnard (de 600 à 1500 m d'altitude) On trouve des forêts de pins sylvestres, de sapins et de hêtres...
- Le deuxième étage dit subalpin (de 1500 à 2200 m d'altitude) On trouve des forêts de conifères (mélèze, épicéas, pins...). On trouve aussi des fleurs résistantes (crocus...).
- Le troisième étage dit alpin (de 2200 à 3500 m d'altitude). Il n'y a plus de forêts ni même de buissons. On n'y trouve que des pelouses rocailleuses et des rochers. Il y a toutefois des fleurs qui y poussent (edelweiss, génépis...).
- Le quatrième étage dit nival (plus de 3500 m d'altitude). C'est l'étage des neiges éternelles, rien n'y pousse, il n'y a que de la neige, de la glace...

### **3.6. Climat tropical**

Il se retrouve de part et d'autre de la zone équatoriale, sa température est élevée et contrasté, son amplitude thermique annuelle est voisine de 10°C, son précipitation est variables de 500 à 1500 mm par an. Ses deux saisons sont : L'été, saison fraîche et humide (environ 23°C), et l'hiver saison chaude et sèche (environ 35°C). Les vents sont permanents : les alizés, ses forêts moyennement denses et savane selon l'humidité (Daif, 2017).

Exemples de régions à climat tropical : Brésil, Amérique centrale, Antilles, Venezuela.

### **3.7. Climat méditerranéen**

Ce climat sa températures connue par la contrastassions, son amplitude thermique annuelle est forte d'environ 15°C, ses précipitations sont irrégulières ; il y a moins de 100 jours de pluie par an et elles tombent surtout sous forme d'averses brutales, ses saisons sont caractérisés par ; un été chaud et sec, et un hiver doux pluies violentes au printemps et en automne. Les vents sont violents : tramontane, mistral. Leur forêts sont clairsemée, garrigue, maquis (Rhissa, 2017).

Exemples de régions à climat méditerranéen : Afrique du Nord, Espagne, sud de la France, Italie, Chili central, Californie, région du Cap (Afrique du Sud), sud-ouest de l'Australie (Farah, 2014).

### **3.8. Climat chinois**

Également appelé climat subtropical humide désigne dans le langage courant le climat supra tropical humide. Ses températures peuvent augmenter ou chuter très brutalement. C'est une zone climatique caractérisée par des étés chauds et humides ainsi que des hivers frais. Il est difficile de délimiter ce climat précisément, car il constitue en fait une combinaison du climat continental par la possibilité de ses coups de froid en hiver et du climat tropical par la moiteur de ses étés et ses phénomènes violents (tornades, typhons, ouragans). Il est aussi variable selon la latitude, dans l'hémisphère nord la dominance continentale au nord laissant place à des caractères de plus en plus tropicaux vers le sud (C.C.S.P., 2008)

Exemple de régions à climat subtropical humide : côte est des USA, l'est de la Chine et de l'Australie.

### **3.9. Climat continental**

Sa température est très contrasté : de -20°C en hiver à 30°C en été. Son amplitude thermique annuelle est forte. Les précipitations sont faibles moins de 400 mm par an. Elles tombent sous forme de neige en hiver et de pluies d'orage en été. Ses saisons sont : Hiver long et très rigoureux (t <0°C ; gel) et connue aussi par la violence des vents, un été chaud et pluvieux, un printemps très court, et un automne sec (Khaldi, 2005).

Exemple de régions à climat continental : Russie...

### **3.10. Climat polaire**

Sa température est très souvent négative. La moyenne mensuelle ne dépasse pas 10°C. Son amplitude thermique annuelle est très forte. Les précipitations sont peu abondantes et ils tombent uniquement sous forme de neige. Ses vents sont très forts « blizzard ». Leurs forêts c'est des toundras (Khaldi, 2005).

*Exemples de régions à climat polaire : Alaska, nord du Canada, Groenland, Sibérie, Antarctique.*

#### **4. Le climat en Algérie**

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-Africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est de type méditerranéen au type saharien. Au nord, les hivers sont pluvieux et froids, les étés chauds et secs. Le climat, le long de la côte, est adouci par la présence de la mer (Baghdadeli, 2014).

L'est algérien est une région plus pluvieuse que l'ouest ; entre 600 et 800 de pluie par an et des sommets enneigés d'octobre à juillet. Le pied sud de l'Atlas tellien marque la limite du climat aride : sec et tropical, avec de grands écarts de températures en hiver : la température moyenne est de 36°C le jour et 5°C la nuit (Fig. 2) (Alliouche, 2016).

Le Nord, est un pays de hautes terres : est essentiellement méditerranéen avec un contrepond continental, dû au barrage opposé par les chaînons côtiers aux influences maritimes. La combinaison des traits méditerranéens avec les caractéristiques continentales se développe d'avantage au fur et à mesure que l'on avance à l'intérieur des hautes terres. L'hiver y est alors rigoureux et l'été chaud et sec. Les pluies insuffisantes et irrégulièrement réparties sont absentes en été et assez fréquentes en hiver dans le Tell, et au printemps dans les hauts plateaux. Elles sont abondantes dans le Tell oriental et dans les hautes plaines constantinoises, tandis qu'elle est plus rare au sud des Aurès, et dans les hautes plaines oranaises (Alliouche, 2016).

Le Sud, un désert dominé par le Hoggar : La région est connu par ses précipitations inférieures de 58 à 130 mm par an, et les températures très élevées le jour et très basses la nuit (0°C) et l'aridité des sols est extrême (Alliouche, 2016).

#### **5. Analyse climatique**

L'analyse de l'évolution du climat impose de disposer d'observations globales de toutes les composantes du système climatique (atmosphère, océans, terres émergées et glaces), sur de longues périodes. C'est seulement depuis le milieu des années 1970 que les programmes d'observations par satellites, complétés par des systèmes d'observation in situ, permettent

d'obtenir un ensemble de données climatiques échantillonnées régulièrement dans l'espace et le temps. A l'échelle globale, on a déjà noté (Baghdadli, 2014) :

- Une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan.
- Une élévation du niveau moyen de la mer.
- Une fonte massive de neige et de glace.

Plus particulièrement, les années entre 1995 et 2006 sont les années les plus chaudes jamais enregistrées depuis que les températures de la surface du globe sont mesurées en 1850.

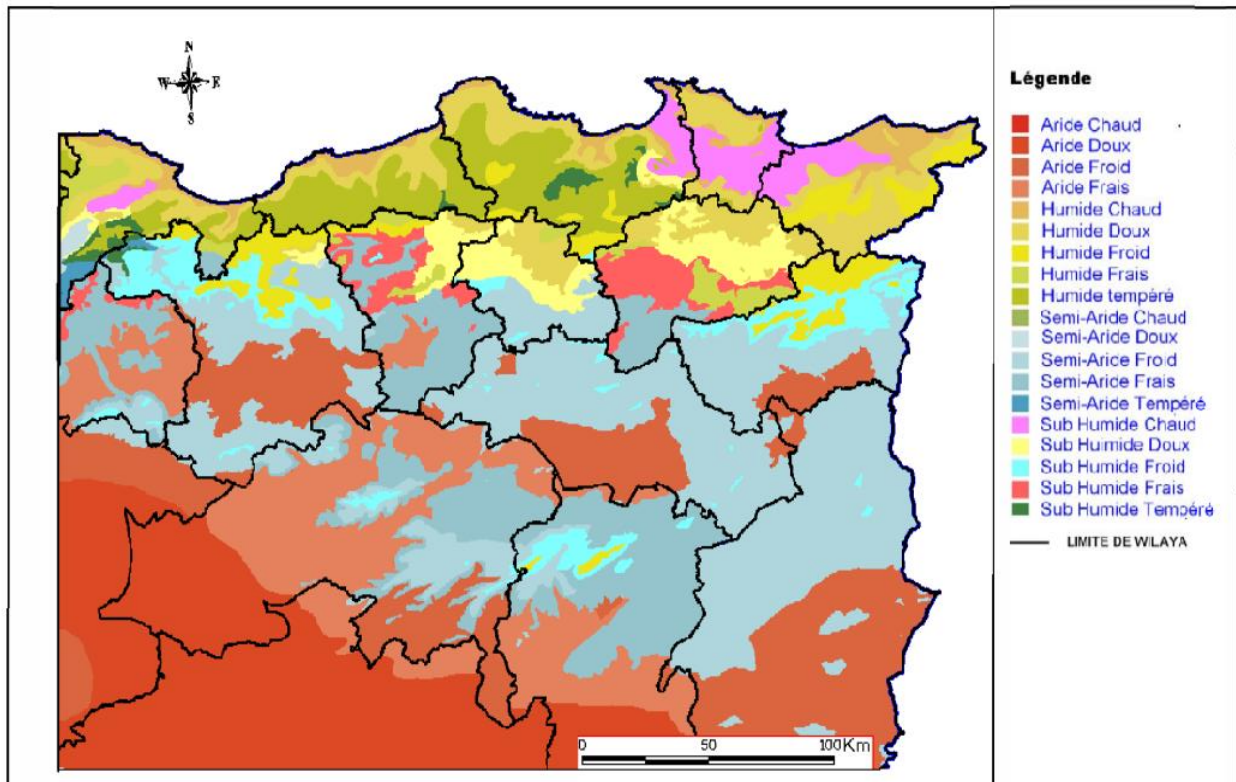


Figure 2. Les domaines bioclimatiques de l'est Algérien (BNEDER, 2007).

## 5.1. Les tendances des paramètres climatiques

### 5.1.1. Précipitation

Les tendances des précipitations sur les terres ont été analysées grâce à plusieurs ensembles de données provenant du réseau mondial, de données climatologiques anciennes, du centre mondial de climatologie, des précipitations et de l'unité de recherche climatologique. Les précipitations sur les terres ont généralement augmenté durant le XXe siècle entre 30°N et 85°N; néanmoins, des baisses importantes se sont produites au cours de ces 30 à 40 dernières années entre 10°S et 30°N. Les diminutions de la salinité dans l'Atlantique nord et au sud de 25°S suggèrent de changements identiques des précipitations au-dessus de l'océan. Les

précipitations ont sensiblement augmenté entre 10°N et 30°N dans les années 1900 et 1950, mais elles ont diminué après 1970 (Baghdadli, 2014)

### ***L'indice de pluviosité ( $I_p$ )***

Est la méthode du cumul de l'écart proportionnel à la moyenne. C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation (Alliouche, 2016)

$$I_p = P_i / P_m$$

D'où :

$P_i$ : la pluie annuelle de l'année  $i$

$P_m$ : la pluie moyenne annuelle

L'intérêt de cette méthode est d'identifier les séquences sèches et leurs caractérisations. Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1. Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne ( $I_{pm}$ ) qui diffère de l'indice de pluviosité en soustrayant 1 de cet indice (Alliouche, 2016)

$$I_{pm} = I_p - 1$$

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des indices croît, il s'agit d'une tendance humide. La tendance est de type « sèche », dans le cas contraire. Lorsque la hauteur moyenne annuelle présentée est calculée sur une période assez longue, et que la distribution n'est très loin de la loi normale on peut utiliser le rapport à la normale au lieu de la moyenne (Alliouche, 2016).

### ***L'indice de précipitations standardisé (SPI)***

L'indice de précipitations standardisé (SPI, Standardized Precipitation Index), quant à lui, est un indice statistique de type probabiliste. Il a été mis au point par l'université du Colorado au début des années 90 (McKee, 1993). Il était développé dans le but d'identifier et gérer les sécheresses locales. Il permet aussi de vérifier bien les périodes/cycles humides que les périodes/cycles sec (Tommy, 2009).

Le SPI est un indice simple et robuste à la fois basé sur les données pluviométriques. Hayes et ses collaborateurs (1999) ont répertorié un certain nombre d'avantages en faveur de l'utilisation SPI, qui sont (Alliouche, 2016) :

- Sa grande simplicité. En effet, il n'est basé que sur les précipitations, les calculs sont rapides et intuitifs

- Le SPI est versatile : on peut aisément adapter l'échelle temporelle en fonction du type d'évaluation ;
- Les résultats sont cohérents dans l'espace en raison des caractéristiques de la loi normale sur laquelle il est basé.
- Ainsi, une sécheresse extrême à la même probabilité d'occurrence sous nos latitudes que dans les régions arides ou semi-arides ;
- Il est efficace tant l'hiver que l'été, et n'est pas affecté par l'effet de la topographie puisqu'il ne prend pas en compte l'eau dans le sol.

L'organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté le *SPI* en 2009 comme instrument mondial pour mesurer les sécheresses météorologiques, aux termes de la « Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse ».

Pour calculer le SPI, il faut au moins des relevés pluviométriques mensuels étalés sur 20 à 30 ans (de préférence, sur 50 à 60ans) (Guttman, 1998). Très souvent, la standardisation consiste à soustraire la moyenne aux données et à diviser le résultat par l'écart-type de la série. Donc le *SPI* est calculé en prenant la différence entre la précipitation et la moyenne des précipitations pour une période de temps particulière qu'on divise par l'écart type de ces valeurs. Il est exprimé de l'expression mathématique suivante (Alliouche, 2016) :

$$SPI = (P_i - P_m) / \sigma$$

D'où :

$P_i$  : Précipitation de l'année  $i$

$P_m$  : Précipitation moyenne

$\sigma$  : l'ecarttype

En plus d'être un indice de sécheresse, ce dernier peut également nous renseigner sur la sévérité de celle-ci. Une échelle de sévérité a été donnée par Mackee et al. (1993). Elle est représenté par le tableau 1(Alliouche, 2016).

**Tableau 1.** Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de Précipitation Standardisé (Mackee et al., 1993).

Valeur du <i>SPI</i>	Classes
----------------------	---------

Plus de 2.0	extrêmement humide
1.5 à 1.99	sévèrement humide
1.0 à 1.49	modérément humide
- 0.99 à 0.99	proches de la normale
-1.0 à -1.49	modérément sèche
-1.5 à -1.99	sévèrement sèche
Moins de -2.0	extrêmement sèche

### 5.1.2. Evaporation et humidité

Une augmentation de la teneur en vapeur d'eau de la troposphère au cours de ces dernières décennies, correspondant au réchauffement constaté et à l'humidité relative quasi constante. La colonne totale de vapeur d'eau a augmenté dans les océans mondiaux de  $1,2 \pm 0,3$  % par décennie de 1988 à 2004 (Belai, 2015).

De nombreuses études montrent des hausses de l'humidité atmosphérique à proximité de la surface, mais il existe des différences selon les régions entre le jour et la nuit. Comme d'autres composantes du cycle hydrologique, les variations interannuelles à décennales sont importantes. Cependant, une nette tendance à la hausse a été relevée dans les océans mondiaux et sur certaines terres émergées de l'hémisphère Nord. La hausse observée de la température de la mer en surface, qui est probablement pour une bonne part d'origine anthropique, laisse penser que l'action de l'homme a contribué à l'augmentation constatée de la vapeur d'eau atmosphérique au-dessus des océans (Belai, 2015)

### 5.1.3. Température

La tendance observée lors de la phase de hausse thermique de la fin du XXe siècle montre que la température augmente presque partout excepté sur quelques secteurs très précis dans les océans de l'hémisphère sud et en quelques points de l'hémisphère nord. La hausse est particulièrement marquée sur le centre de l'Amérique du Nord, le nord-est de l'Europe et l'est de l'Eurasie, mais moins importante dans la zone tropicale (Fig. 3) (Baghdadli, 2014).

Ceci signifie que l'augmentation moyenne observée au niveau planétaire est à nuancer dans l'espace, et qu'elle ne représente pas parfaitement l'évolution thermique de chaque région du globe, puisqu'il existe des différences aux échelles spatiales plus fines (Baghdadli, 2014).

Les températures conditionnent le déficit d'écoulement ainsi que son estimation et jouent un rôle dans le processus de condensation et d'évaporation de l'eau. C'est pourquoi ses études

s'avèrent nécessaire dans l'établissement du bilan hydrologique et la détermination du caractère climatique d'une région (Daif, 2017).

## **6. Le changement climatique**

Le changement climatique est défini comme étant « 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, y compris la température, les précipitations, les vents et d'autres facteurs, ils peuvent varier d'une région à une autre (Farah, 2014).

### **6.1. Les causes du changement climatique**

Le climat peut être influencé par des perturbations soit naturelles soit dues aux activités anthropiques (Bourahla, 2015).

#### **6.1.1. Les processus naturels**

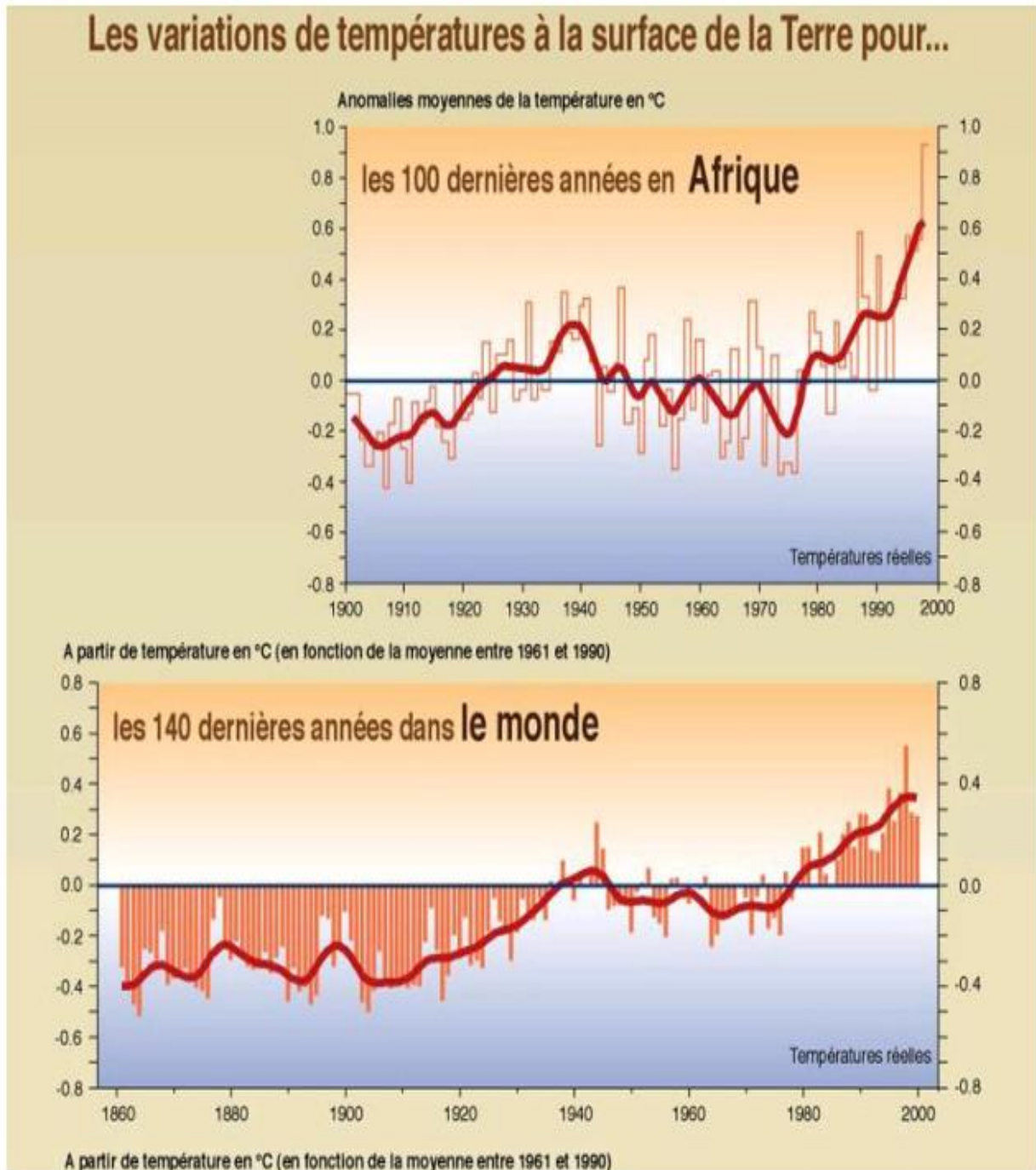
Ces processus naturels agissent d'une manière directe ou indirecte sur les conditions climatiques d'une région précise en citant par exemple (Bourahla, 2015) :

- Les changements relatifs de la position de la terre et du soleil modifient l'énergie solaire reçue par la terre.
- Les changements de l'activité solaire modifient la puissance du rayonnement émis par le soleil.
- Les poussières volcaniques réfléchissent le rayonnement solaire.

#### **6.1.2. Les Activités anthropiques**

Les activités humaines ont un effet direct ou indirect considérable sur le changement climatique au niveau régional au global par (Bourahla, 2015) :

- La consommation de combustible (pétrole, charbon, gaz...) augmente l'émission et la concentration des gaz à effet de serre.
- L'émission de très fines particules modifie les échanges par rayonnement, la formation des nuages et de la pluie.
- Certaines productions (mousses, plastiques...) ou installations (climatisations...) émettent des composés chimiques qui augmentent l'effet de serre.
- Les pratiques d'utilisation des sols (agriculture intensive, déforestation...) modifient les échanges d'eau et de chaleur avec la surface, et augmentent la concentration des gaz à effet de serre.



**Figure 3.** La variation de la température et tendance de réchauffement dans le monde et en Afrique (Tabet, 2008).

## 6.2. Les indicateurs de changement climatique

### 6.2.1. À l'échelle globale

Selon le 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC a publié en 2007, que les changements climatiques observés à l'échelle globale peuvent être résumé en :

#### 6.2.1.1. L'augmentation de la température de surface sur la terre

L'augmentation de la température de surface sur la terre est de  $0,8 \pm 0,2$  °C depuis 1870. Elle reste notablement différente pour les deux hémisphères : plus forte au Nord et plus forte aux hautes latitudes. Une variabilité entre continents est également observée. Une forte modulation sur des périodes annuelles et multi décennales est également constatée, avec deux périodes de plus forte augmentation (approximativement de 1910 à 1940 et de 1975 à 2000) encadrées par des périodes de stagnation ou de décroissance (Fig. 4) (Bourahla,2015) .

#### **6.2.1.2. La température des océans**

La température mesurée depuis les années 1950 par les bateaux de commerce ou les navires océanographiques (Jusque vers 700 m de profondeur) et plus récemment par le système de bouées profitantes Argo, montre une augmentation moyenne globale depuis quelques décennies(Bourahla,2015)

#### **6.2.1.3. La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques**

La banquise, dont la fonte ne contribue pas à l'élévation du niveau des océans, est un autre indicateur fort de l'accélération de l'évolution du climat : de 8,5 millions de km<sup>2</sup> stable dans la période 1950-1975, la surface des glaces de mer a connu une diminution très rapide jusqu'à 5,5 millions de km<sup>2</sup> en 2010 (Rhissa, 2017).

#### **6.2.1.4. Le recul des glaciers continentaux**

Le recul des glaciers continentaux est observé de façon quasi généralisée depuis 3 à 4 décennies, avec une nette augmentation au cours des 20 dernières années (Bourahla, 2015 ).

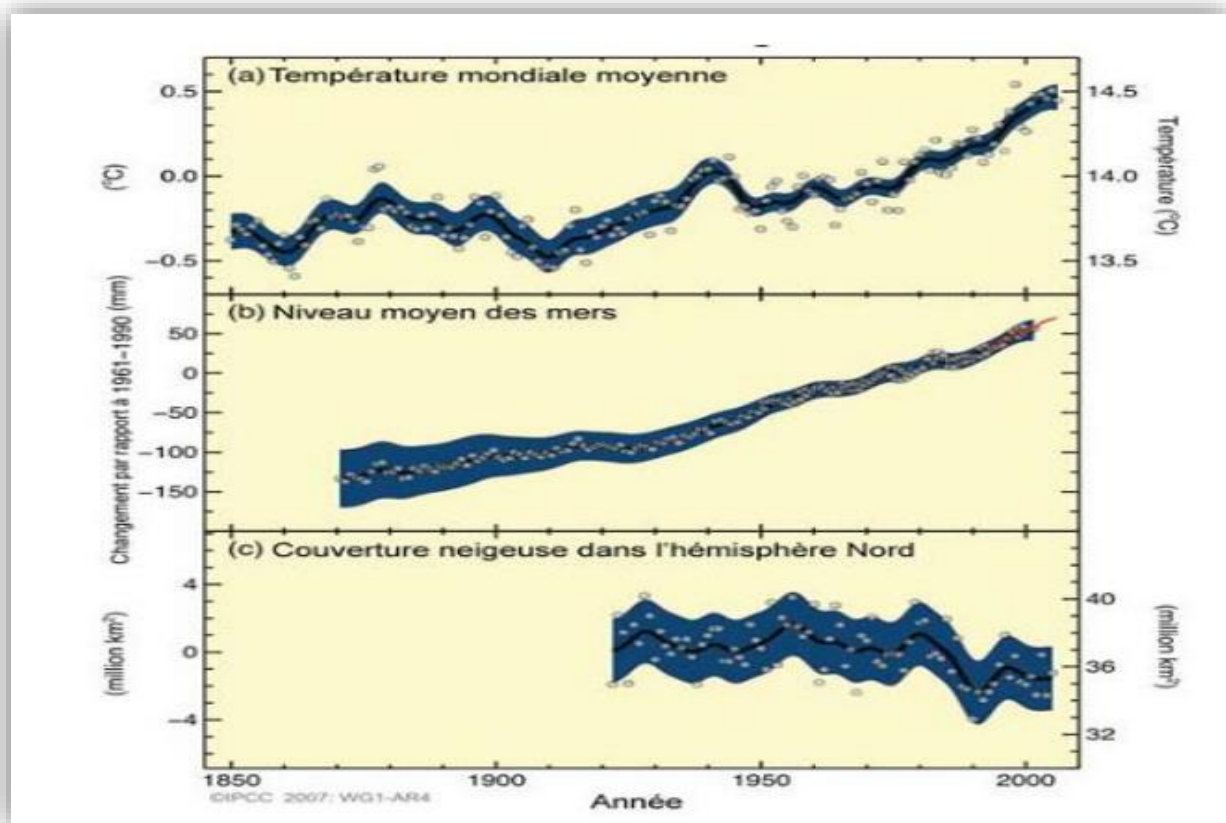
#### **6.2.1.5. Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland**

Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland ont un bilan total de masse négatif depuis une dizaine d'années. Si quelques régions élevées de l'intérieur des calottes, en particulier Antarctique, s'épaississent un peu par suite de précipitations neigeuses accrues, la perte de masse domine. Celle-ci s'effectue dans les zones côtières du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest par écoulement très rapide de certains glaciers vers l'océan et décharge d'icebergs. On pense que le réchauffement des eaux océaniques dans ces régions est la cause majeure des instabilités dynamiques observées (Tabeaud, 2008).

#### **6.2.1.6. Le niveau moyen des océans**

Le niveau moyen des océans est un autre indicateur qui intègre les effets de plusieurs composantes du système climatique (océan, glaces continentales, eaux continentales). Avant 1992, le niveau de la mer était mesuré par des marégraphes le long des côtes continentales et de quelques îles : le niveau des océans, 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. Depuis 1992, les mesures sont effectuées par satellites : la hausse du niveau moyen global de la mer est de l'ordre de 3,4 mm/an. Les contributions climatiques à cette élévation sont dues, pour un tiers à la dilatation de l'océan consécutive au réchauffement et, pour les deux autres tiers, aux glaces continentales à parts quasi égales, fonte des calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique d'une part, et fonte des glaciers continentaux d'autre part (Fig. 4) (Tabeaud, 2008).



**Figure 4.** Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale (GIEC) (Tabet, 2008).

### 6.2.2. A l'échelle régionale (Algérie)

En Algérie, l'évolution récente du climat 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 ont subi une augmentation de 0,5°C

du déficit pluviométrique enregistré un peu partout sur le territoire, 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 (Fig. 6) (Belai, 2015).

### 6.2.3. Les indicateurs biologiques

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 (Daif, 2017).

## **1.1. Les effets du changement climatique**

Les effets du changement climatique sont : Le réchauffement climatique, les inondations et sécheresses accrues, les événements météorologiques extrêmes, la montée du niveau de la mer, la disparition de la vie sauvage, la disparition des écosystèmes, les migrations, la prolifération des organismes nuisible, etc... (Tommy, 2009)

### **1.1.1. L'effet de serre**

C'est un phénomène naturel résultant de la réémission, sous forme d'un rayonnement thermique infrarouge, d'une partie du rayonnement solaire incident, par la surface terrestre. L'autre partie est absorbée par l'atmosphère ou par la surface de la Terre et donc transformés en chaleur. Les gaz à effet de serre, que sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitrique, piègent ce rayonnement thermique dans l'atmosphère terrestre et augmentent ainsi la température au sol (Fig. 7) (Derouiche, 2007).

Si l'un des éléments régissant le système climatique subit des modifications considérables, l'équilibre peut être rompu, ce qui entraînerait un changement climatique planétaire qu'il soit temporaire ou permanent (Tabet, 2008).

#### **1.1.1.1. Les principaux gaz à effet de serre et leurs sources**

Il existe un grand nombre de gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère mais dont la concentration varie du fait des activités humaines. Leurs impacts sur le climat dépendent de leur capacité à absorber et émettre du rayonnement infrarouge, de leur concentration dans l'atmosphère et de leur durée de vie. La vapeur d'eau est responsable à elle seule de la grande majorité de l'effet de serre naturel. Elle a également un effet de rétroaction important sur le changement climatique : lorsque la température augmente, l'évaporation augmente et la quantité de vapeur d'eau relâchée dans l'atmosphère aussi, accélérant encore le réchauffement (Daif, 2017).

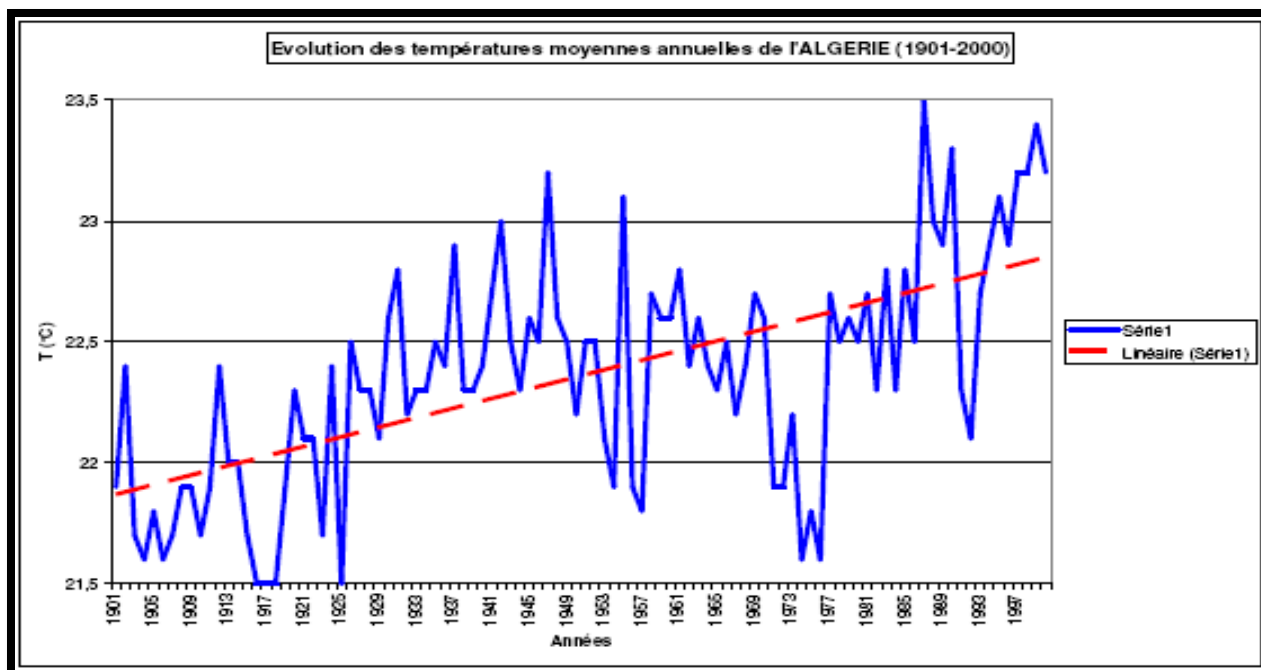


Figure 5. Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000)(Djellouli, 2008).

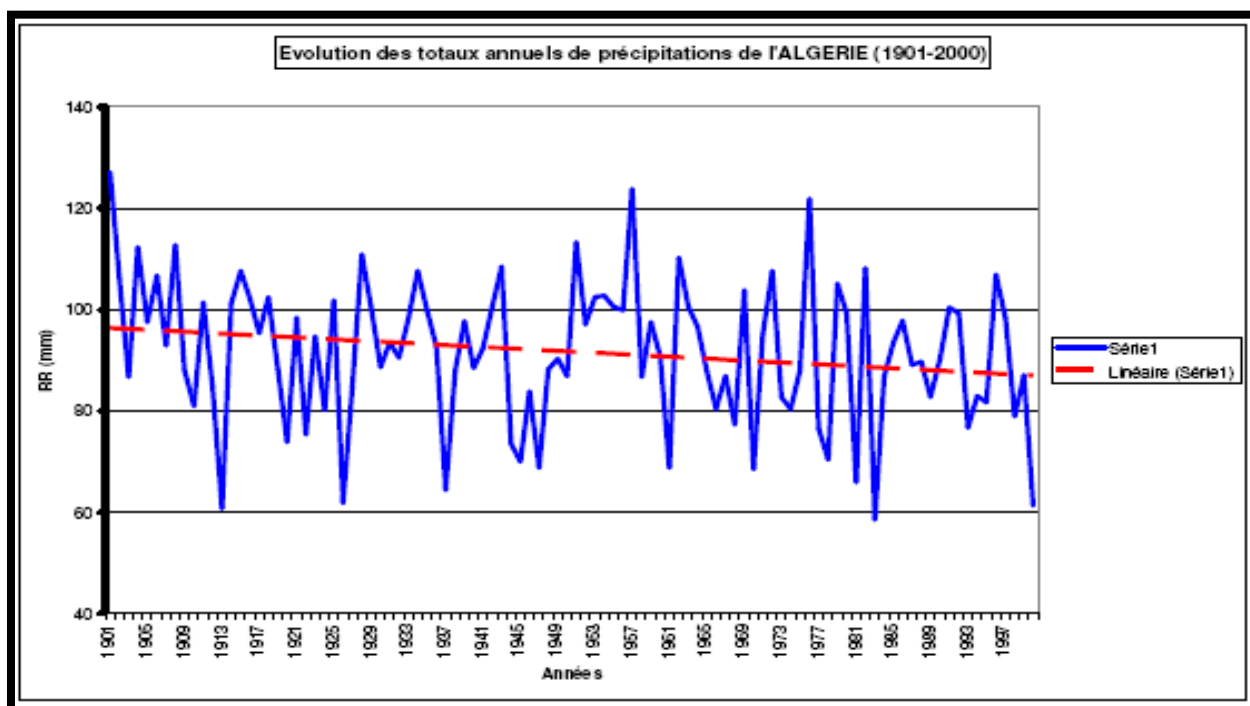
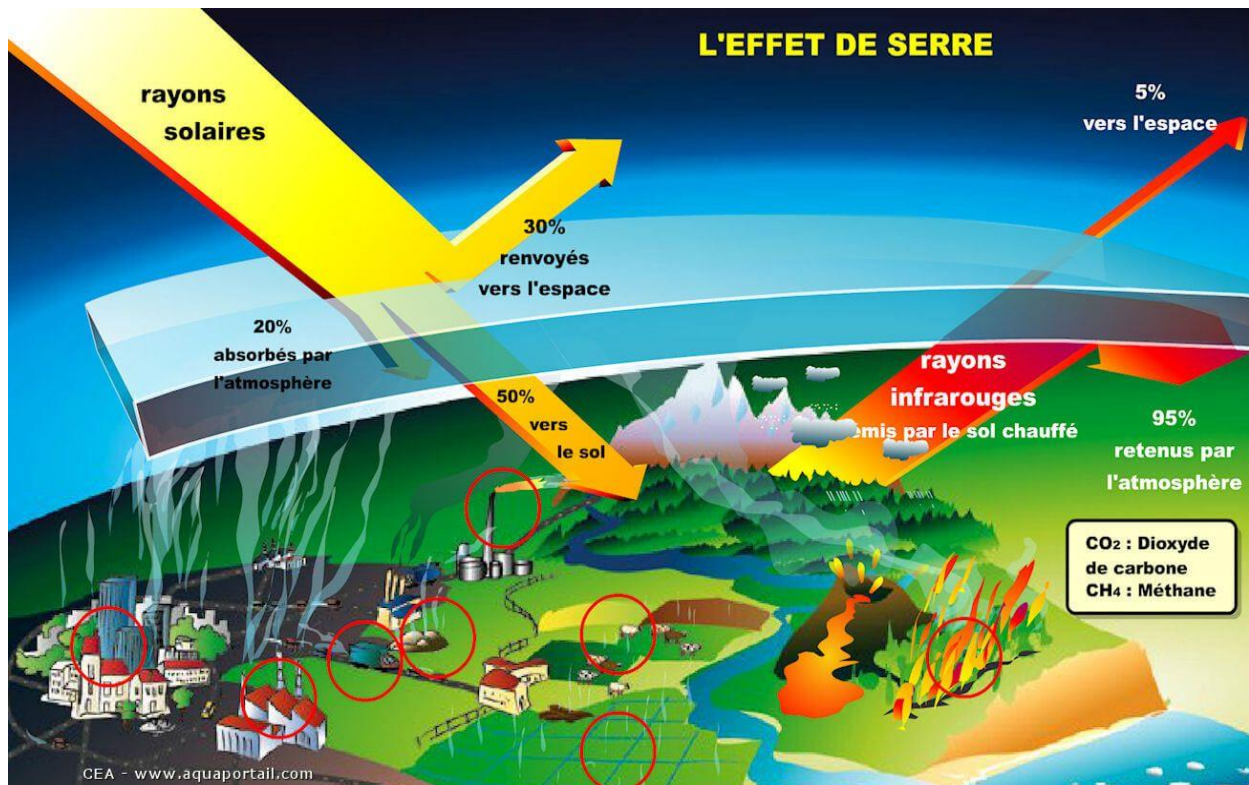


Figure 6. Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008).



**Figure 7.** Processus de l'effet de serre naturel et les gaz (C.C.S.P., 2008)

*Le dioxyde de carbone, ou CO<sub>2</sub>* : dont la concentration peut augmenter du fait de processus naturels comme les éruptions volcaniques et les feux de forêts ou de brousse. Mais ce sont les activités humaines avec l'utilisation de carbone fossile (pétrole, gaz naturel et charbon notamment pour l'industrie, le chauffage et les transports), ou encore la fabrication du ciment et les changements d'occupation des sols, qui sont responsables de l'essentiel de l'augmentation de sa concentration depuis 1750 (Christian, 2002).

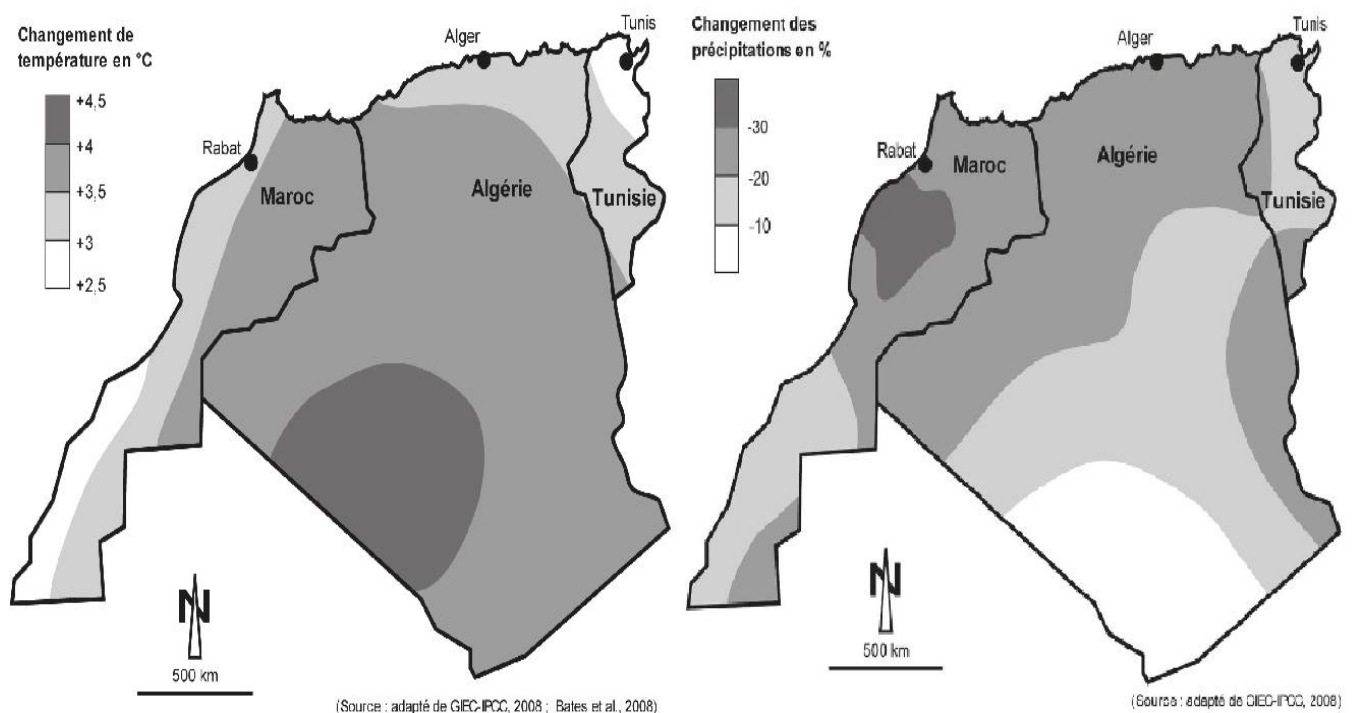
*Le méthane* : est un gaz à effet de serre bien plus puissant que le CO<sub>2</sub>, mais moins concentré. Il est souvent lié aux processus de fermentation (marécages, décharges, digestion des ruminants, ...etc.). L'agriculture intensive est ainsi l'un des responsables de l'augmentation des concentrations de méthane dans l'atmosphère au cours des derniers siècles.

*L'ozone* : Présent naturellement dans la stratosphère, vers 20 km d'altitude, il nous protège du rayonnement solaire ultraviolet qu'il absorbe, de l'ozone est également produit dans les basses couches de l'atmosphère à partir de composés organiques volatiles semi par les activités humaines (transports) (Christian, 2002).

*Le protoxyde d'azote* : Appelé également « gaz hilarant », est émis naturellement par les sols et provient notamment de l'utilisation d'engrais azotés (Christian, 2002).

## 2. L'impact de changement climatique sur les ressources en eau

Une intensification générale des pluies torrentielles. Cela induirait une augmentation des inondations et du ruissellement tout en réduisant les possibilités d'infiltration de l'eau dans le sol. Des modifications du régime des saisons pourraient affecter la répartition régionale des ressources en eau tant souterraines que superficielles. Dans les climats secs, des modifications relativement faibles des températures et des précipitations pourraient provoquer une évolution relativement importante de l'écoulement. Les régions arides et semi-arides seront donc particulièrement sensibles à une diminution des précipitations et à une augmentation de l'évaporation. De nombreux modèles climatiques prévoient une baisse des précipitations moyennes dans les régions déjà sèches : Asie centrale, Méditerranée, Afrique, Sahel et Australie. Le stockage des eaux de surface pourrait diminuer avec les pluies diluviennes et les glissements de terrain favorisant l'engorgement et la réduction de la capacité des réservoirs. Une augmentation des pluies diluviennes et des inondations pourrait engendrer de plus grandes pertes d'eau sous forme de ruissellement. Cela pourrait influencer à long terme sur les nappes souterraines. La qualité de l'eau pourrait également varier en fonction de la quantité et du moment des précipitations. Du fait de l'élévation du niveau de la mer, les eaux salées pourraient créer une intrusion saline qui contamine les réserves d'eau douce du littoral (Baghdadli, 2014).



**Figure 8.** Prévision de changement des précipitations et températures annuelles à l'horizon 2080/2099 (Taabni & El Jihad, 2015).

## **Chapitre 2: Présentation de la zone d'étude**

Ce chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, qu'est une démarche très importante et indispensable avant toute étude pour une vision globale et précise sur la zone et cela va bien la formulation des hypothèses, définir la recherche et par conséquent bien analyser les résultats obtenus. Dans ce contexte on présente les principales caractéristiques physiques et morphologiques du bassin versant Garaat Et Tarf.

### **1. Situation de la zone d'étude**

Le bassin de Garaat El Tarf on le rencontre dans la partie nord orientale de l'Algérie ; à l'extrême est des hautes plaines steppiques entre l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas Saharien au Sud (massif des Aurès) (Banzata, 2013).

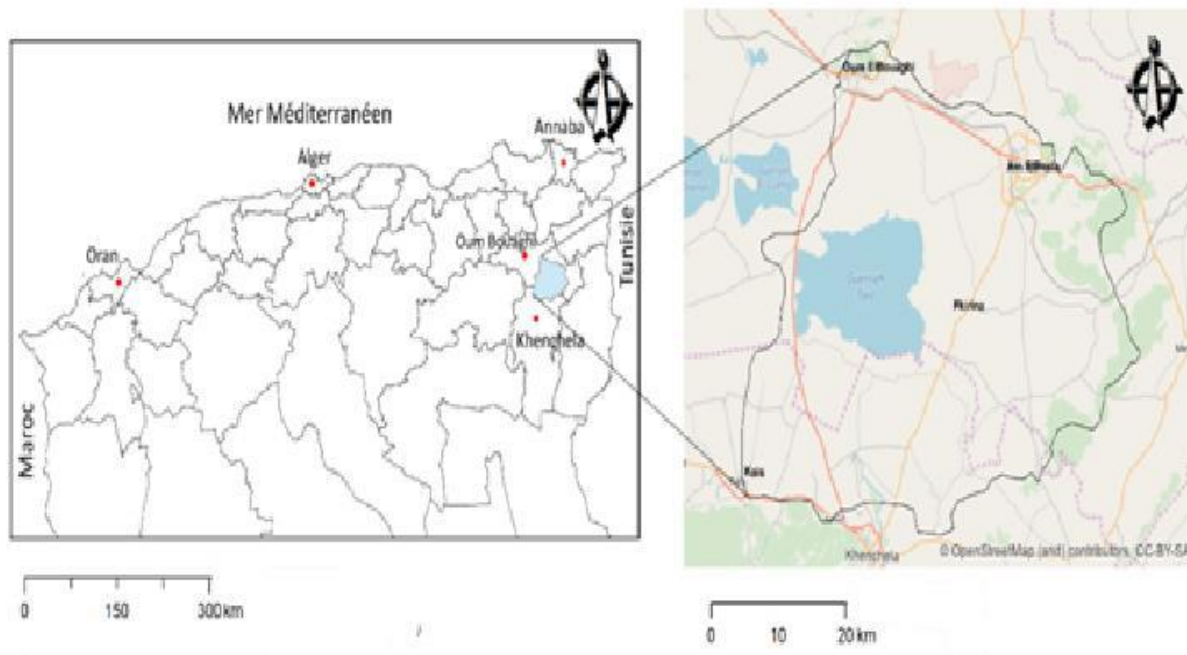
Le bassin versant de Garaat El Tarf fait partie de l'ensemble des bassins versants des hauts plateaux constantinois. Il couvre une superficie de 2432 km<sup>2</sup>. Il se situe entre la latitude 35°19'405'' et 35°54'583'' Nord et la longitude 6°49'655'' et 7°34'651'' Est (Fig. 1) (Banzata, 2013). Le centre de bassin est jalonné par une dépression endoréique (Garaat) plus connue sous l'appellation de Sabkha (lac salé) et qui couvre une superficie de 200 km<sup>2</sup>. Les limites du bassin « Sebkhia » correspondent à (Rahmoune & Chermate, 2019) :

- Au Nord, la ligne de crête, de direction NW-NE des massifs de Sidi Reghis et Aamamet El Kebir.
- A l'Est, la ligne de crête, de direction NE-SW des massifs de Dj. Fedjidj, Dj. Boutokhma, Tafrennt et Chettaia.
- Au Sud, la ligne de crête de direction SE-SW, des Djebels Feraoun, Aurès, et El Aoud

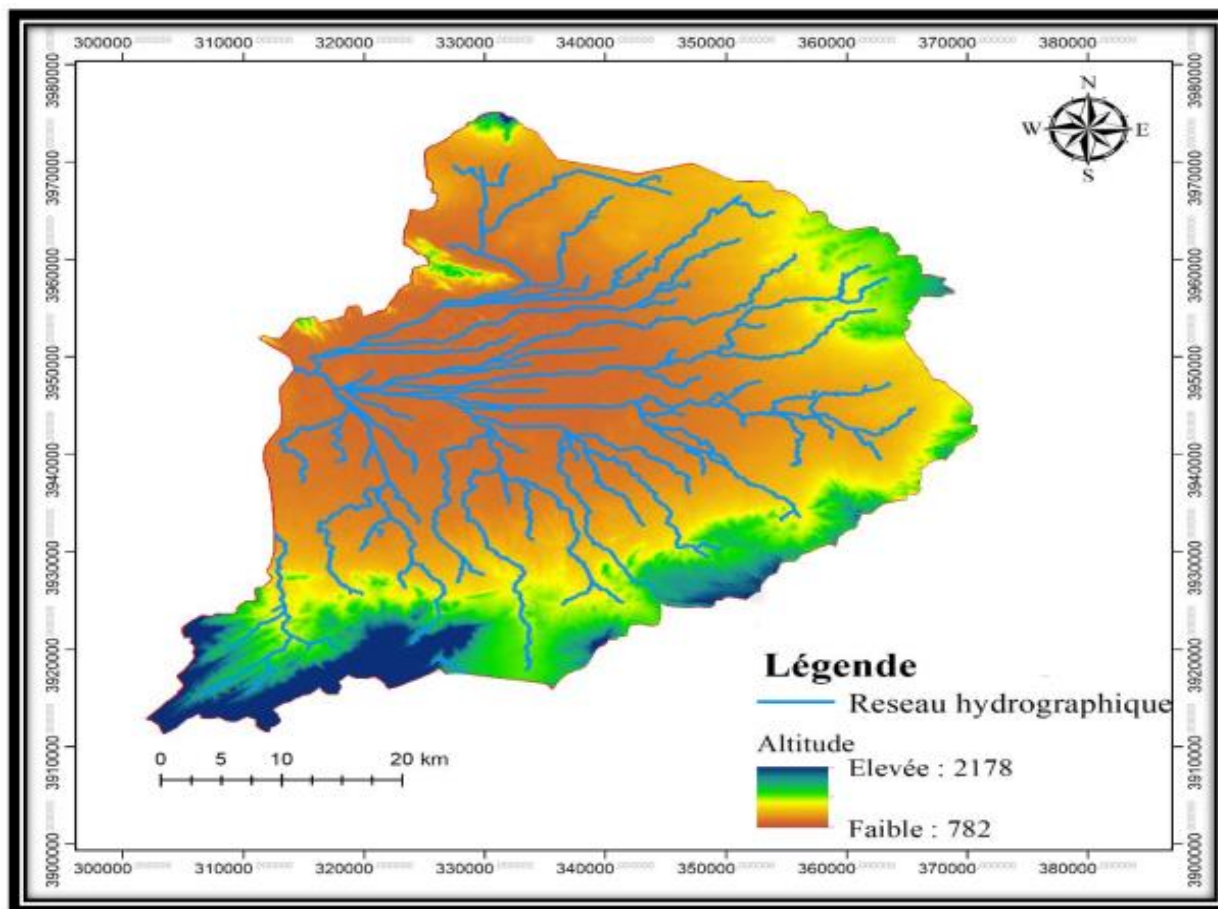
### **2. Le relief**

Le bassin de Garaat El Tarf constitue une dépression endoréique très étendue et relativement élevée, environ 960 m d'altitude, qui a reçu tous les apports d'érosion des reliefs environnants. La géomorphologie est dominée par des hautes plaines et des dépressions constituant le chott (Garaat El Tarf), avec une altitude d'environ 830 m ce dernier s'étend sur 20 km de long et 15 km de large dont seulement le 1/4 est inondé (Laassab & Kaoua, 2018).

Les périmètres de ce lac salé sont caractérisés par un niveau plat. Les massifs qui encadrent le bassin dépassent les 2000 m (Fig. 2).



**Figure 9.** Situation géographique de bassin versant Garaat Et Tarf (Rahmoune & Chermate, 2018).



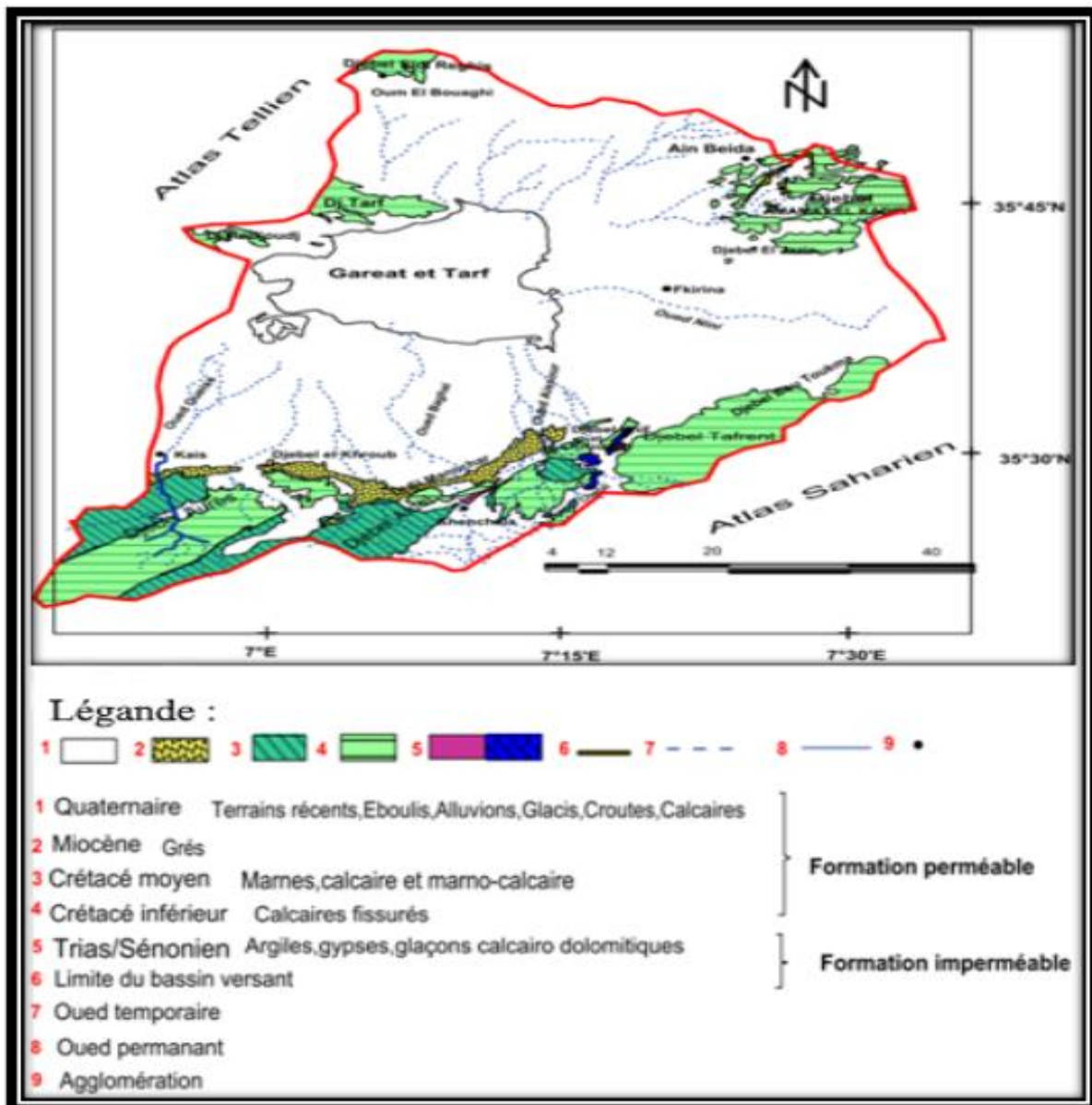
**Figure 10.** Le relief du bassin de Garaat El Tarf (Baali & Belhadad, 2018).

Les bordures Sud et nord du bassin sont marquées par des inclinaisons relativement importantes ; conséquence d'une activité tectonique ayant affectée ces régions, permettant un écoulement superficiel plus important (Fig. 2) (Guiraud, 1973).

### 3. Le cadre géologique

#### 3.1. Lithostratigraphie du bassin de Garaat El Tarf

La Lithostratigraphie a été tirée pour l'essentiel, des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000 ; Khenchla, Garaat Et Taref, Oum El Bouaghi, Ain El Beida, F'kirina, Delàa et la carte géologique de Constantine 1/200 000, et des coupes géologiques (Fig. 3) (Benzat, 2013).



**Figure 11.** Carte géologique du sous bassin versant Garaat El Tarf. (Bakhouché & Salama, 2021).

### **3.2. Trias**

En géologie, un affleurement est un ensemble de roches non séparées du sous-sol, étant mis à nu par un ensemble de facteurs (érosion hydraulique, glaciaire, marine ou activité humaine) sans être masquées par des formations superficielles (sol, éboulis, alluvions, dépôts éoliens ou glaciaires...).

Les affleurements triasiques, sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, ou il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 Km de long et de 300 à 400 m de large et, sur Djebels El Krouma et Knif en contact anormal avec l'Albien, le Cénomaniens et le Sénonien. La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous forme d'amalgame intensément replissés, représentent les indices les plus sûrs de la présence du trias. L'abondance des sels caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène), le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont anti-miocène, il a disparu depuis longtemps (Laffite, 1939).

Les argiles et marnes bariolées de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée ; constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement. Des passées calcaro-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiés et présentant parfois quelques passes marneuses, sont fréquemment emballés dans les complexes triasique (Fig.4) (Lakhzoume & Sahraoui, 2020).

### **3.3. Crétacé**

Formant l'ossature de la région. Il correspond à une bande grossièrement orientée SW-NE, formée essentiellement de calcaire et de marnes. Laffite (1939), a subdivisé le Crétacé en deux ensembles distincts, sur la base de critères physiologiques :

#### **3.3.1. Crétacé Inférieur**

##### **3.3.1.1. Barrémien supérieur**

À dominante gréseuse. C'est une série essentiellement composée de grès blancs fins, à ciment argilo carbonaté. Leur base n'est visible qu'au Sud du Djebel Touzzeline.

##### **3.3.1.2. Aptien marneux (inférieur)**

Au Sidi Reghiss l'Aptien marneux est représenté par environ 100 m de marnes gris noir à débris schisteux et à minces intercalations de marno-calcaire gris à cassure noire.

##### **3.3.1.3. Aptien supérieur**

Ces couches forment/essentiel de la masse calcaire lité à Orbitoline du Djebel Sidi Reghiss et du Djebel Tarf. Au Djebel Sidi Reghiss, la série est épaisse d'environ 250 à 300 m. Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut :

- Marnes gypseuses.
- Calcaires sombres en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges.

Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre. Tandis que, Sur le versant Nord-Ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles.

### **3.3.2. Albien (Crétacémoyen)**

L'Albien entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus ou moins continue au-dessous de l'Aptien. Il se présente généralement sous un faciès gréseux ou alternent, à la base et au sommet, des marnes, des dolomies et des biospariter. Dans la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut (Laassab & Kaoua, 2018) :

- Marnes gypseuses.
- Calcaires sombre en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges. Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre. Sur le versant nord-ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles.

### **3.3.3. Crétacé supérieur**

#### **3.3.3.1. Cénomaniens inférieurs**

Il est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès, il est essentiellement calcaïromarneux. La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massifs mais peu épais, qui s'intercalent dans des mairies gris-bleu ou beiges, avec une épaisseur variable peut atteindre 500 à 600 m.

#### **3.3.3.2. Turonien basal**

Le Turonien occupe de grandes surfaces dans les Aurès. Il présente une dominance des marnes avec des niveaux de calcaires marneux en plaquettes bitumineuses. La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de mamo-calcaire blanchâtres en plaquettes fines à cassure noirâtre. Au-dessus 200 m de marnes grises ou noires montrant des intercalations de marnocalcaire blanchâtres.

#### **3.3.3.3. Turonien « moyen et supérieur »**

Ce sont des alternances de marnes grises à beiges et de calcaire en bancs métrique. La prédominance des intercalations calcaires créent une barre bien visible dans la morphologie.

#### **3.3.3.4. Coniacien**

Au Djebel Knif, sous la discordance des formations brechiques Santoniennes le coniacien est formé à la base par 90 m d'alternances de marnes beiges ou grises et de calcaire gris. Au-dessus au Djebel Bardo (Ain Beida) des talwegs isolés montrent sur une centaine de mètres, des formations composées essentiellement de marnes grises alternant avec des calcaires noduleux beiges.

#### **3.3.3.5. Santonien**

Visible aux alentours du Djebel Knif, il correspond à 230 m de marnes gris bleutées avec à la base et au sommet des marno-calcaires en bancs décimétriques riches en débris d'inocérames, il repose en discordance sur les argiles varicolores du trias et sur le Coniacien. Ces formations santoniennes contiennent des algues et des débris de rudistes ainsi que des fragments d'hippuritides. À la base des formations récifales contiennent une microfaune pélagique.

#### **3.3.3.6. Campanien**

Le Campanien est très bien visible aux environs des Djebels Chettaia, Knif et dans le synclinal du Djebel Aurès. Dans le synclinal du Djebel Aurès le Campanien correspond à 170 m de marnes noires et contient de rares intercalations de calcaires, légèrement phosphatés. Au djebel Knif, on retrouve à la base du Campanien une séquence calcaire de 12 m d'épaisseur. Ce sont des calcaires crayeux en bancs décimétriques à élément trias que remaniés (argiles varicolores). Au-dessus, des marnes noires ne dépassent pas 80 m d'épaisseur.

#### **3.3.3.7. Maestrichtien inférieur**

Ce sont des formations atteignant une épaisseur estimable de 40 m, ce sont des marnes de teinte gris-beige à débris de mollusque, alternant avec des calcaires ocres, beige en bancs décimétriques à débris de lamellibranches, d'échinides et de brachiopodes, incérâmes régularisé.

#### **3.3.3.8. Maestrichtien supérieur**

Ce sont des formations calcaireuse massifs blanchâtres, granuleux, en bancs décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique auprès du Djebel Knif, la cassure des calcaires est un peu plus sombre de teinte grise, bleue, au contraire au Djebel Bardo et Djebel Boutoukhma, les formations d'une centaine de mètres, ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à pluri métriques avec une cassure blanchâtre passées noduleuses et à rognons de

silex. Ces formations contiennent des fragments d'Inocérames. L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m.

### 3.3.4. Eocène

#### 3.3.4.1. Montien

Formation d'une épaisseur de 70 m, présentant des marnes grises verdâtres en concordance sur le maestrichtien.

#### 3.3.4.2. Yprésien et Thanétien

Ces formations sont d'une épaisseur approximative à 85 m, présente une séquence marneuse grise beige à la base et une séquence carbonatée au sommet. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés.

### 3.3.5. Miocène

#### 3.3.5.1. Miocène inférieur

On peut le divisé en deux formations principales :

- *Aquitano-Burdigalien (conglomérats rouges)* : L'épaisseur ne dépasse pas 60 à 80 m il s'agit d'argile rouge, d'argiles silteuses rouges et de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires, cette série se développe surtout au Sud d'Ain Hammam. Quelques minuscules affleurements de cette formation ont été repérés sur le versant Sud du Djebel Guellif.
- *Langhien-Serravalien (Marnes biomécrites, biomécrosparites et grés blanc)* : Cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud de Djebel Knif et à l'Est de Djebel Chettaâ ou il repose directement en transgression sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifkressa, et du Ras Serdoun l'épaisseur de cet ensemble ne dépasse pas les 36 m.

#### 3.3.5.2. Miocène supérieur

Même chose en divise le Miocène supérieur en deux formations principales :

- *Tortonien gréseux blanc* : Cette formation est composée de grés blancs grossiers en bancs pluri métriques, abondance de dragée de quartz (diamètre allant jusqu'à 2cm).
- *Tortonien supérieur continental (argiles silteuses beiges et rouges, grés)* : Cette formation affleure aux alentours de Baghai (August compte) 150 m sont ici visible.

**3.3.6. Pliocène continental** (*argiles et conglomérats rouges à la base, calcaire lacustre, marne*)

Ces formations constituent les trois-quarts des affleurements du Djebel Guellif et apparaissent aussi Ras Ed Drah. Notant que cette formation est absente dans le reste du bassin de Garaat Et Tarf.

### 3.3.7. Quaternaire (*Qd Formations dunaires lunettes*).

C'est un agglomérat sableux de poussière et de petits débris qu'on trouve au côté Nord-est de Garaat Et Tarf. Le Villafranchien probable : croûte calcaires massives. Ces formations, perchées par rapport aux surfaces précédentes. Entaillées par les cycles qui ont suivi elles correspondent à d'anciens glacis qui s'abaissent doucement de 920 m au Nord à 870 m en elles correspondent à d'anciens glacis qui s'abaissent doucement de 920 m au Nord à 810 m en bordure de Garaat Et Tarf.

Terres arables, limons anciens et quaternaire indéterminé. Les terres arables correspondent à des sols bruns non calcaires installés sur des limons anciens bruns ou gris.

Alluvions actuelles ou récentes. Il s'agit de limons gris et de graviers, sont localisés dans la plaine de Remila et celle de F'kirina les fonds de vallée des oueds septentrionaux et des Faid qui rejoignent la Garaat Et Tarf.

Eboulis à blocs. Les éboulis sont localisés aux massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela et sur lever sant nord du Djebel Tarf. Ils s'installent au pied des corniches calcaires ou gréseuses qui alimentent de vastes nappes d'éboulis.

## 4. Les sols

Le sol est également un paramètre important qui affecte l'occurrence et la distribution des eaux souterraines et joue un rôle important dans l'infiltration de l'eau, donc elle affecte la recharge des eaux souterraines, et aussi c'est milieu de croissance des plantes (Das, 2017 ; Ibrahim-Bathis & Ahmed, 2016). La texture du sol est un critère clé pour évaluation des caractéristiques physiques du sol et sa fertilité, et est directement liés à la structure, la porosité, l'adhérence et cohérence des propriétés du sol (McGarry, 2006). La carte des sols du bassin est divisée en cinq grands catégories: sol calci que réparties sur une large bonde bordant le bassin versant (des sols sont caractéristiques des zones semi-arides et s'étendent sur une importante superficie estimée à environ 51,3%), sol alluviaux basiques, sol calcaires, sols salins (solontchak) se localisent au centre du bassin et la roche mère. La porosité et la perméabilité sont modérées a élevée dans les sols calciques, alluviaux basiques, calcaire et les sols salin (la composante colloïdale dans certains sols salins sont très flocculés et ainsi donnent une structure favorable et une bonne perméabilité, mais dés fois une structure dégradée) (Fig.4) (Lakhzoume & Sahraoui, 2020).

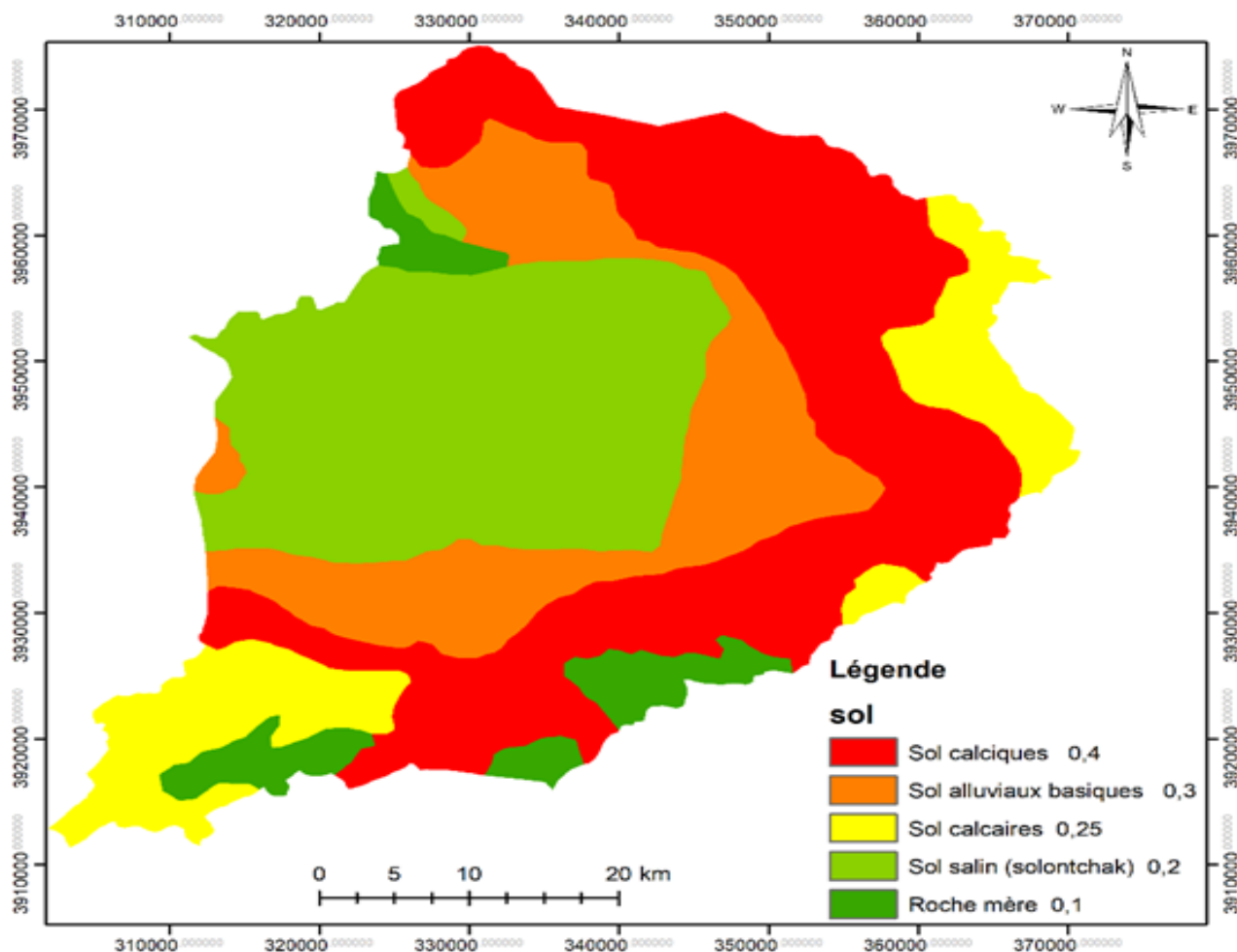


Figure 12. Carte de sol de la zone d'étude (Lakhzoume & Sahraoui, 2020).

## 5. Couvert végétale

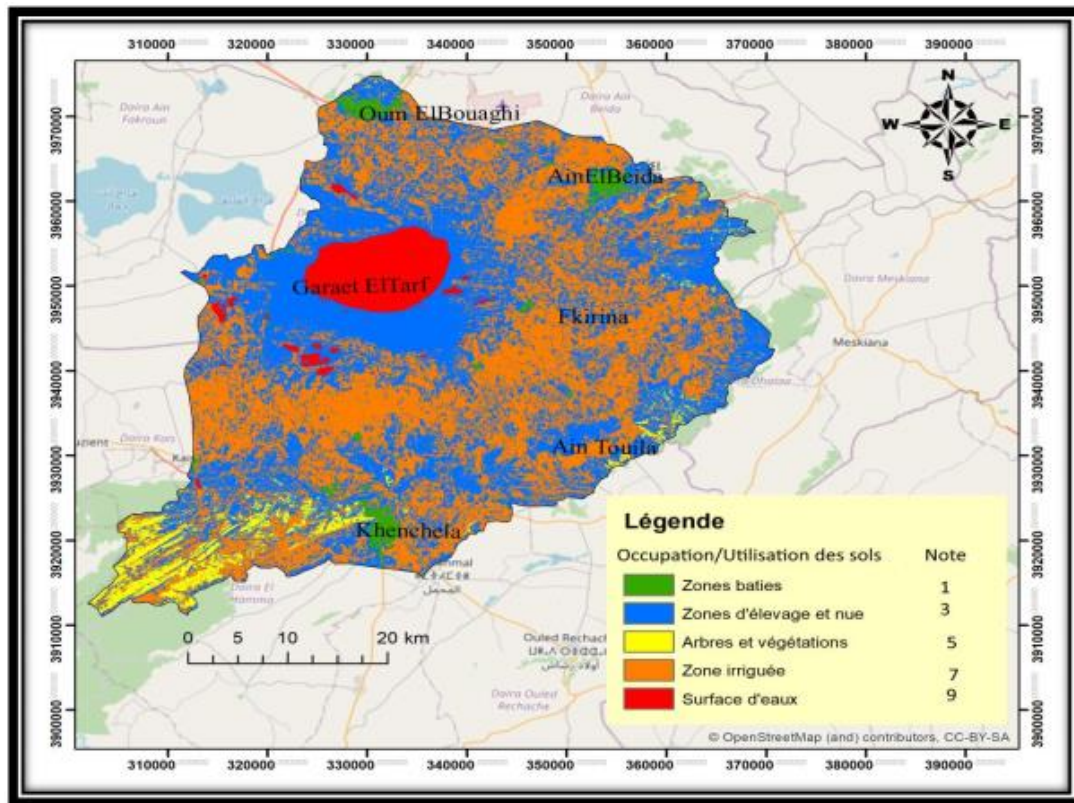
La végétation demande des conditions favorable (lumière, température, humidité de l'air, composition chimique de l'eau...), pour sa croissance, la couverture végétale dominante dans la zone d'étude est xérophile (adaptée à l'aridité), l'arbre est absent, seules les plantes steppiques comme le Diss (*Ampelodes maura*). En revanche, les cultures de blé et de l'orge peuvent se faire sans irrigation sur ces vastes hauts plains. Tandis que le sud du bassin de Garaat Et Tarf dispose en altitude de belles forêts constituées essentiellement du pin d'Alpes, genévriers, ifs, et à partir de 1500 m des forêts de cèdres. Les prairies sont bien représentées ; et les périmètres irrigués sont bien développés surtout dans la plaine de F'kirina et Remila dans le cadre de la mise en valeur des terres. Tout autour de la Sebka subsiste une végétation herbacée composée essentiellement d'Armoise blanche et d'Atriplex (Fig. 5) (Dali,2009).

## 6. Agriculture dans la zone

Les sols de cette zone constitué principalement d'apport alluvial, et sa topographie est plane à modérée (D.S.A., 2011).L'agriculture est essentiellement dominée par la pratique de la céréaliculture, et l'arboriculture. Tandis que le système d'élevage pratiqué dans la région est

l'intensif ; l'élevage avicole, ovin et bovin, et qui tiennent une place prépondérante dans le tissu socio-économique de la zone. Cette zone, domaine d'une céréaliculture rendue aléatoire à cause d'un climat semi-aride et de surcroît soumis à de fortes variations annuelles et saisonnières des pluies, est confrontée à nombreux handicaps et menaces, parmi lesquels on cite (Takouachte & Ghouzlene, 2015):

- L'insuffisance et l'irrégularité des pluies, qui font de l'agriculture pluviale une activité aléatoire.
- La présence de formations triasiques, associée aux faibles précipitations, qui augmentent la salinité des sols, notamment ceux à proximité des dépressions.
- L'insuffisance de drainage, un processus de l'écoulement naturel des eaux de pluies, ce qui se traduit ainsi par la formation de dépressions artificielles ou se développe une végétation halophyte.



**Figure 13.** Carte d'occupation des sols de bassin versant Garaat El Tarf (Bakhouche & Salama, 2021).

## **Chapitre 3 : Évaluation du changement climatique du sous bassin de Garaat Et Tarf**

### **1 Introduction**

Le climat terrestre est naturellement sujet à des variations. Au cours de son évolution, la terre a connu régulièrement des périodes de réchauffement et de refroidissement, qui faisaient partie des cycles climatiques naturels (ElMahi et al., 2011). La climatologie est la science par laquelle on cherche à découvrir les régularités des phénomènes atmosphériques observés et à établir les lois qui les gouvernent soit les répartitions géographiques et saisonnières des températures, des vents, des précipitations, etc. tout en sachant que la variabilité reste un aspect essentiel du climat (Kouassi et al., 2010). Les impacts du changement climatique sur les écosystèmes ont été bien documentés (Parry et al., 2007). Bien qu'il y ait de plus en plus de preuves du changement climatique, les gestionnaires des ressources naturelles ont eu du mal à développer des réponses de gestion et de planification au changement climatique. L'une des raisons de cette lenteur de réponse est qu'il existe relativement peu d'outils pour traduire les simulations de pointe de la science du climat et des modèles climatiques sous une forme avec laquelle un gestionnaire peut travailler à l'échelle locale ou régionale (C.C.S.P., 2008). La région méditerranéenne fait partie des régions les plus sensibles à cette variabilité particulièrement sa rive sud qui est considérée comme très vulnérable (Rissa, 2018).

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-Africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est de type Méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'Atlas Tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas Saharien (Nouaceur et al., 2013). En effet en Algérie les régions semi-arides les plus sensibles et les plus touchés par ce phénomène. Pour cela, notre étude se focalise sur la région de sous bassin de Garaat Et Tarf, caractérisé par un climat semi-aride.

Ce chapitre est consacré à étudier la variabilité climatique dans le sous bassin versant de Garaat Et Tarf dans le Nord-est Algérien. Les objectifs principaux de ce travail est de : Analyser de la variabilité des paramètres climatiques, de caractériser le climat de la zone d'étude avec leur variabilité, calculer les indices climatiques, et d'identifier les tendances des changements climatiques spatiotemporelles dans la zone d'étude pour la période 1958 à 2020.

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Collecte des données

Les données climatiques utilisées dans cette étude sont la pluviométrie, la température de l'air, l'humidité relative de l'air et la vitesse de vent. Elles ont été collectées auprès de site Terraclimate éditée par université MERCED Californie avec un financement par CIRC (Climate Impacts Recherche Cosortium) et RISA (Regional Integrated Sciences and Assissment) (Abatzoglou et al., 2018). Les données des paramètres climatique de la zone d'étude sont collecté pour six stations spatialement bien répartir dans la zone d'étude sont : Remila, Oum El Bouaghi, Ain Elbaida, Kais, Yabouss et Baghail, et cela, pour la période qui s'étale de 1958 à 2020 (Table 1) (Fig. 14). Les données sont assez homogènes, de bonne qualité etréparti d'une manière représentatives sur toute la zone d'étude. Les données collectées ont servi à l'étude de la variabilité climatique dans le temps et dans l'espace ainsi qu'à son impact sur les régimes climatiques saisonniers dans le sous bassin-versant de Garaat Et Tarf.

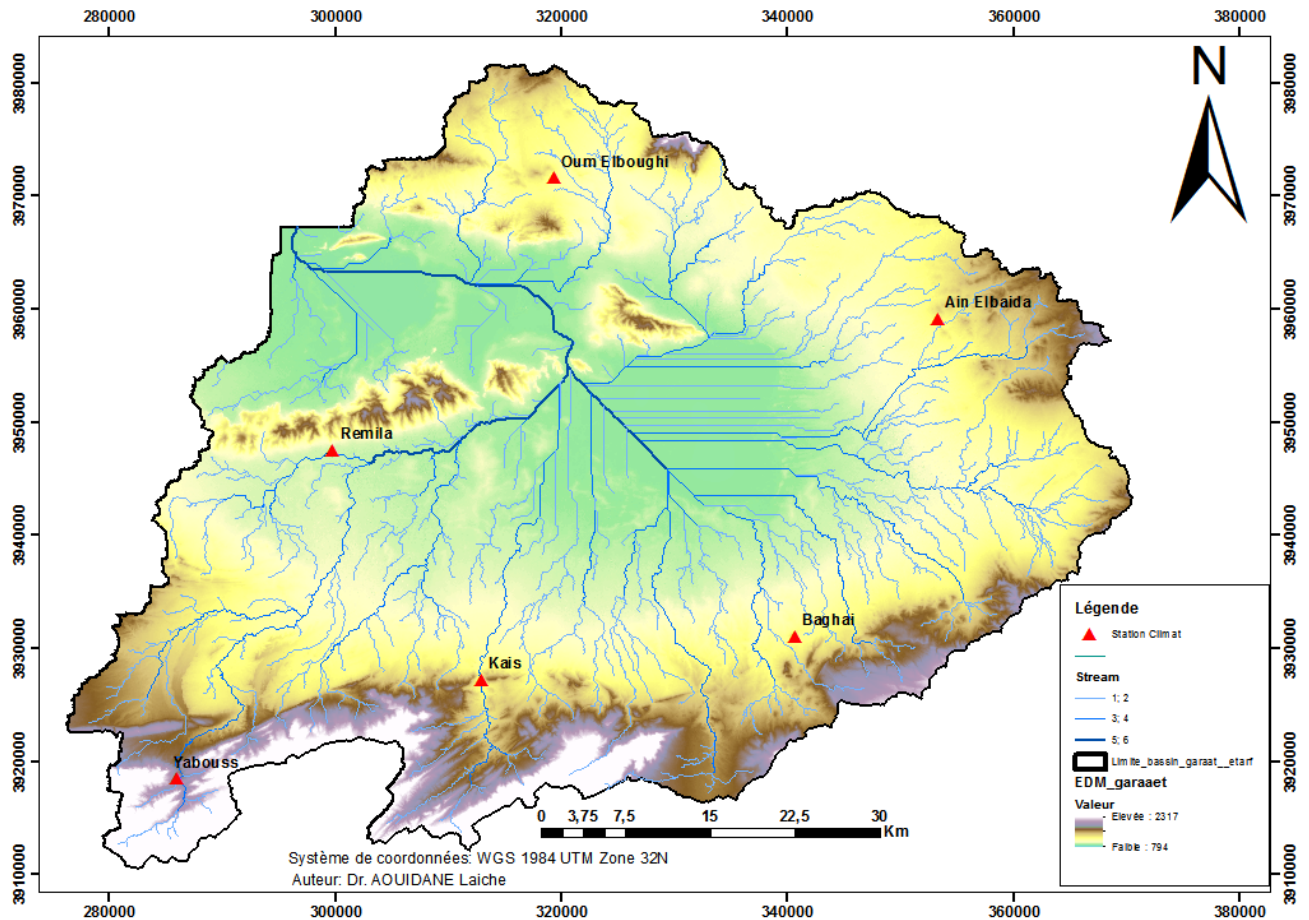
**Tableau 1.** La situation géographique des stations climatiques retenues (Coordonnés UTM).

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Yabouss	286000,7	3918472,19	2300
Remila	299818,5	3947544,2	860
Kais	313021,58	3927193,73	980
Baghai	340761,4	3931070,09	950
Ain Elbaida	353480,71	3959173,45	900
OumElBoughi	319441,5	3971649,75	880

### 2.2 Méthodes d'analyse des données

#### 2.2.1 Analyse descriptives des paramètres climatique

Toutes les données des paramètres climatiques du sous bassin-versant de Garaat Et Tarf ont été faire passer par des analysées statistique descriptive (valeurs moyennes, écart-type, covariance) et avec des présentations graphiques par le biais d'un Excel. Cette analyse a été appliquée sur les données de toutes les stations (Yabouss, Remila, Kais, Baghai, AinElbaida, et Oum El Bouaghi), et qu'a permis d'interpréter l'évolution et la variation saisonnière et interannuelle des paramètres étudiés. Étant donné que, la variation de ces différents paramètres influence d'une manière direct ou indirecte la vie naturelle (écosystème) et urbaine dans une région donnée.



**Figure14.** Carte présentative des reliefs et la répartition des stations climatiques de Garaat Et Tarf.

### 2.2.2 Synthèse climatique

En vue d'apprécier l'évolution des paramètres climatique les plus importants au cours des différentes années, la méthode de calcul des indices a été appliquée dans notre zone d'étude. Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires. Ainsi, pour chacun des stations retenues, des indices interannuels sont été déterminés. Ils sont définit comme des variables centrée réduite exprimée par les équations :

*Indice de l'aridité de Martonne* : est un indicateur utile pour caractériser le phénomène d'aridité en exprimant le caractère restrictif pour certaines formations végétales (Ionac et al., 2015) :

$$I_a = \frac{P}{T+10}$$

Où P est la quantité annuelle de précipitations, et T est la température moyenne

annuelle de l'air.

*Indice de précipitation normalisé 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.

$$I_i = \frac{P_i - P_m}{S} \quad \text{Avec}$$

$P_m$  : Valeur moyenne interannuelle de la pluviométrie.

$P_i$  : Valeur de la pluviométrie annuelle de l'année  $i$ .

$S$  : Valeur interannuelle de l'écart-type de la pluviométrie sur la période étudiée.

L'indice de sécheresse *IS*: c'est l'indice de l'écart à la moyenne. Il permet d'estimer le déficit pluviométrique annuel. Cet écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitations d'une année  $P_i$  et la hauteur moyenne annuelle de précipitations  $P$  de la série. La formule est :

$IS = P_i - P$  (l'indice est positif pour les années humides et négatif pour les années sèches).

La représentation cartographique de la répartition spatiotemporelle des paramètres climatiques et des indices calculés, et cela pour chaque vicennal (20 ans) sur une période de 63 ans (1958-2020), traduit l'évolution dans l'espace de la variable centrée réduite étudiée tout en soulignant les zones tantôt déficitaires, tantôt excédentaires. Cette cartographie a été réalisée par le biais du logiciel ArcGis version 10.3.

### 3 Résultat et discussion

Les résultats de traitement statistique (Moyenne, écart-type, et covariance) des données climatiques de la région d'étude pour les six stations et durant la période qui s'étale de 1958 à 2020, sont synthétisés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Synthèse des données climatiques de six stations de la zone d'étude (1985-2020).

Station	Paramètre	T mx	T min	T °C	P (mm)	Vent (mps)	Radia (W/m <sup>2</sup> )
<b>Yabouss</b>	Moy	<b>23,29</b>	<b>10,38</b>	<b>16,83</b>	<b>696,40</b>	<b>3,62</b>	<b>208,70</b>
	Max	<b>20,45</b>	<b>8,07</b>	<b>14,31</b>	<b>288,40</b>	<b>2,69</b>	<b>181,09</b>
	Min	<b>22,13</b>	<b>9,46</b>	<b>15,79</b>	<b>442,20</b>	<b>3,22</b>	<b>198,42</b>
	Ecartype	<b>0,76</b>	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>85,82</b>	<b>0,16</b>	<b>5,08</b>
	C.V	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>0,19</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>

<b>Remila</b>	Moy	<b>21,74</b>	<b>8,83</b>	<b>15,29</b>	<b>366,99</b>	<b>3,34</b>	<b>201,53</b>
	Max	<b>20,09</b>	<b>7,51</b>	<b>13,82</b>	<b>230,30</b>	<b>2,81</b>	<b>184,79</b>
	Min	<b>23,01</b>	<b>9,90</b>	<b>16,45</b>	<b>612,20</b>	<b>3,75</b>	<b>211,12</b>
	Ecartype	<b>0,77</b>	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>76,91</b>	<b>0,16</b>	<b>4,79</b>
	C.V	<b>0,04</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,21</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>
<b>Kais</b>	Moy	<b>22,21</b>	<b>9,28</b>	<b>15,74</b>	<b>367,03</b>	<b>3,34</b>	<b>201,81</b>
	Max	<b>20,53</b>	<b>7,92</b>	<b>14,26</b>	<b>223,40</b>	<b>2,76</b>	<b>185,05</b>
	Min	<b>23,42</b>	<b>10,29</b>	<b>16,85</b>	<b>621,40</b>	<b>3,75</b>	<b>211,27</b>
	Ecartype	<b>0,78</b>	<b>0,61</b>	<b>0,67</b>	<b>78,02</b>	<b>0,17</b>	<b>4,77</b>
	C.V	<b>0,04</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,21</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>
<b>Baghai</b>	Moy	<b>22,32</b>	<b>9,47</b>	<b>15,90</b>	<b>399,16</b>	<b>3,33</b>	<b>199,36</b>
	Max	<b>20,64</b>	<b>8,09</b>	<b>14,41</b>	<b>245,80</b>	<b>2,74</b>	<b>182,47</b>
	Min	<b>23,51</b>	<b>10,43</b>	<b>16,97</b>	<b>656,90</b>	<b>3,74</b>	<b>209,24</b>
	Ecartype	<b>0,77</b>	<b>0,61</b>	<b>0,67</b>	<b>81,02</b>	<b>0,17</b>	<b>4,90</b>
	C.V	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>
<b>Ain Elbaida</b>	Moy	<b>22,14</b>	<b>9,45</b>	<b>15,80</b>	<b>353,38</b>	<b>3,29</b>	<b>200,63</b>
	Max	<b>20,52</b>	<b>8,14</b>	<b>14,36</b>	<b>235,90</b>	<b>2,79</b>	<b>183,73</b>
	Min	<b>20,52</b>	<b>8,14</b>	<b>14,36</b>	<b>235,90</b>	<b>2,79</b>	<b>183,73</b>
	Ecartype	<b>0,80</b>	<b>0,61</b>	<b>0,68</b>	<b>72,85</b>	<b>0,15</b>	<b>5,31</b>
	C.V	<b>0,04</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>0,21</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>
<b>Oum El Bouaghi</b>	Moy	<b>18,90</b>	<b>5,87</b>	<b>12,39</b>	<b>424,60</b>	<b>3,34</b>	<b>204,21</b>
	Max	<b>17,24</b>	<b>4,60</b>	<b>10,93</b>	<b>261,30</b>	<b>2,83</b>	<b>187,30</b>
	Min	<b>20,22</b>	<b>7,01</b>	<b>13,61</b>	<b>691,00</b>	<b>3,95</b>	<b>213,81</b>
	Ecartype	<b>0,78</b>	<b>0,59</b>	<b>0,66</b>	<b>92,26</b>	<b>0,17</b>	<b>4,86</b>
	C.V	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>	<b>0,05</b>	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>

### **3.1 Etude des paramètres climatique**

#### **3.1.1 Les précipitations**

La pluviosité est définie selon Djebaili, 1984. Comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type du climat, elle conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'une part, elle a un rôle social et économique d'autre part. Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat.

La chute des pluies dans la région en général, et en Algérie est déterminée par la situation géographique, par la topographie et notamment la direction des axes montagneux par rapport à la mer et l'altitude, cela conduit à une irrégularité des précipitations à travers toute la région: augmentation des pluies en altitudes, diminution de leur taux du littoral vers le Sahara (Halimi, 1981).

##### **3.1.1.1 Description de la pluviométrie**

À travers figure 15 de précipitations dans les différentes stations (Yabous, Kais, Ain Elbaida, Oum El Boughi, Baghai, et Remila) et pour la période (1958-2020). Le plus remarquable est que la zone la plus arrosée est Yabous avec 57 mm en mois et cela dans le mois de mars, par contre la zone moins arrosée est celle d'Oum El Bouaghi avec 10 mm enregistré au mois de Juillet.

Le régime pluviométrique mensuel (63 ans) pour toutes les stations marque deux périodes : une période humide bien arrosée qui s'étale de septembre jusque mai, et la deuxième période sec estivale qui couvre les mois de juin, juillet et août. En effet la station la plus arrosée de Yabous a cause de son altitude qui dépasse 2000 m, présente une variabilité des apports mensuels des précipitations importante durant toute l'année, mais nous remarquons que le mois le plus pluvieux est mars avec 53 mm, et les valeurs les plus faibles sont marquées dans le mois Juillet avec 12 mm (1958 à 2020). Concernant l'évolution des précipitations de cette station on peut les diviser en trois périodes : elle a passé par une période humide qui s'étale de 1958 à 1977, vient en deuxième position la période qui s'étale de 1978 à 1997 plus ou moins arrosée, et enfin la dernière période 1998 à 2020 présente une certaine sécheresse. Cela déduit un manque de pluie, donc une évolution de la zone vers une installation d'une sécheresse (Fig. 15). Cependant, la station la moins arrosée est celle de Remila au centre de la région d'étude présente même répartition pluviométrique mensuelle (1958 à 2020) où, la période pluvieuse couvre les mois de septembre jusque mai, mais la période sec estivale s'étale sur trois mois juin à août. Afin de comprendre l'évolution des précipitations dans cette station on a divisé notre série (63 ans) en

trois vicennales : la période la plus arrosée est celle de 1958 à 1977, viens en deuxième position la période qui s'étale de 1978 à 1997, tandis que la période moins arrosée est celle de 1998 à 2020. Cela peut indiquer, même chose dans cette station qu'un changement de régime pluviométrique s'installe progressivement marquée par une diminution des précipitations (Fig. 15).

Le plus remarquable aussi les deux stations Baghai et Ain Elbaida au nord-est de la région d'étude présentent une évolution identique des précipitations mensuelles moyennes pour la série (63 ans), ils sont les mois arrosés, car leurs valeurs mensuelles variant de 11 à 48 mm durant toute l'année. Concernent l'évolution chronologique des précipitation de ces deux stations présentent la même chose que les autres stations où, les deux première vicennales (1958-1977 et 1978-1997) sont très proche et plus arrosées que la dernière vicennal (1998-2020), cela confirme la diminution progressive des précipitations dans les deux stations.

En générale, on peut déduire que la région d'étude Garaat Et Tarf est caractérisée par une variabilité importante de précipitations moyennes mensuelles, qui oscille de 10 à 55 mm les plus élevé mesuré au sud de la région et les plus basse au centre de la région, aussi les précipitation sont répartis en deux période : période humide qui s'étale de septembre à mai et la période sec estivale de Juin à août. Concernent l'évolution chronologique des précipitations, on a divisé notre série en trois vicennales (1958-1977, 1978-1997, et 1998-2020) présente une diminution progressive des précipitations où la vicennale le plus arrosées est la première (1958-1977), viens en deuxième position la vicennale (1978-1998), et le moins arrosée est la dernière vicennale (1998-2020) (Fig. 15).

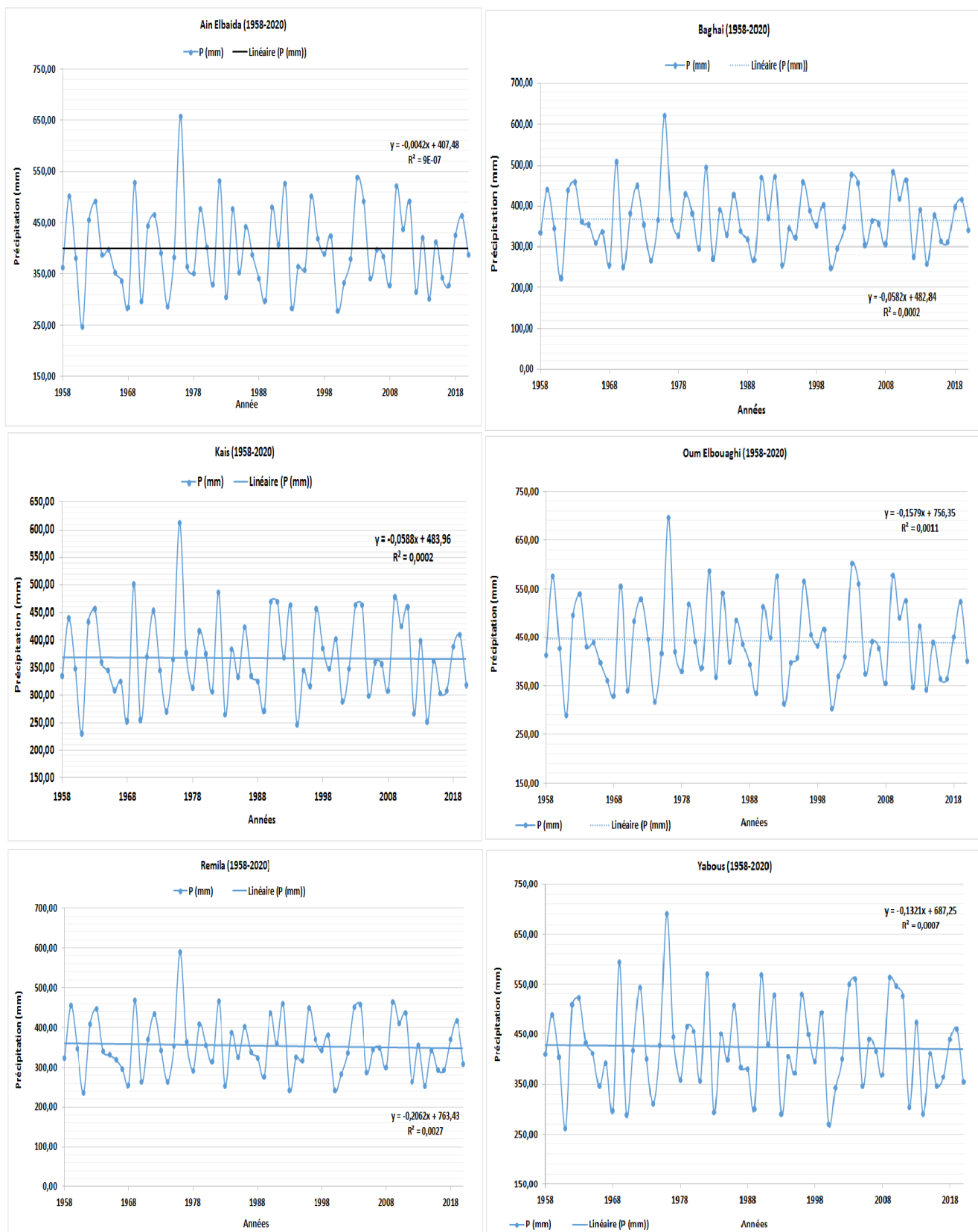


**Figure15.** Variation des valeurs de précipitation dans les six stations de la zone d'étude (1958 à 2020)

### 3.1.1.2 Evolution des précipitations

Dans le cadre d'étudier l'évolution des données des précipitations de la région d'étude Garaat Et Tarf, ont a traités statistiquement une série des précipitations moyenne annuelle de 63 ans (1958 à 2020) pour six stations (Yabous, Kais, Baghai, Ramila, Oum El Bouaghi, Ain Elbaida). D'après les résultats projeté dans les graphes de la figure 16 nous remarquons que :

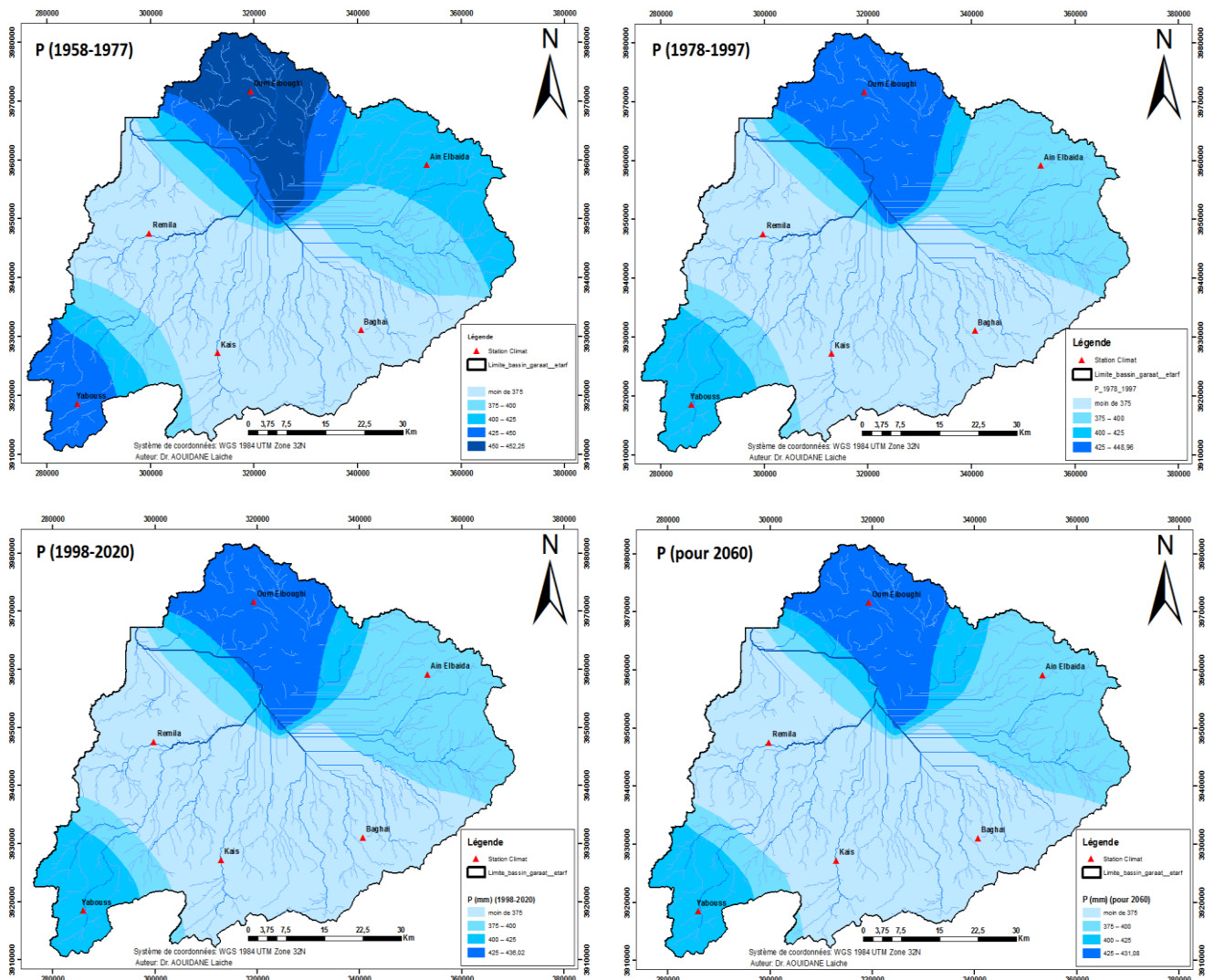
- Les valeurs des précipitations présentent une variabilité très importante durant toutes la série (63 ans) où : les deux stations les plus arrosées sont celle de Yabous et Oum El Bouaghi avec des valeurs fluctuent entre 250 et 750 mm. Tandis que le reste des stations (Remila, Baghai, Kais et Ain Elbaida) présentent des valeurs moins variés entre 200 à 650 mm. La lecture des valeurs de toutes les stations indiquent que l'année la plus sec est 1961 et l'année la plus humide est 1976.
- Concernent les tendances d'évolution des précipitations dans la région d'étude une droite de régression a été calculé de type affine :  $y = ax + b$  ; elle est obtenue par le calcul de la pente  $a$  qui est un coefficient directeur : où Si  $a > 0$ , on a une tendance à la hausse ; ou Si  $a < 0$ , on a une tendance à la baisse. D'après les résultats des calculs, les stations présentent des droites de régression comme suite : Kais ( $y = -0,0588x + 483,96$ ), Ain Elbaida ( $y = -0,0042x + 407,48$ ), Baghai ( $y = -0,0582x + 482,84$ ), Oum El Bouaghi ( $y = -0,1579x + 756,35$ ), Remila ( $y = -0,2062x + 763,43$ ) et Yabous ( $y = -0,1321x + 687,25$ ). En effet, les résultats de toutes les stations indiquent globalement une tendance de diminution des précipitations dans la région d'étude, qui veulent dire une tendance vers l'aridité de climat de la région, mais cela est plus accéléré dans les trois stations de Yabous, Oum El Bouaghi et Remila, que dans les trois autres stations Baghai, Ain Elbaida, et Kais(Fig. 16).



**Figure 16.** Changement des précipitations dans les six stations de la zone d'étude (1958 à 2020).

### 3.1.1.3 Répartition spatiale des précipitations

La cartographie de répartition spatiale des valeurs des précipitations montrent que les zones les plus arrosées (+425 mm) sont la partie nord et sud-ouest de la région d'étude, par contre la partie centrale et l'est de la région sont moins arrosées (-400 mm). Cependant si en suis l'évolution chronologique spatiales des précipitations dans la région, nous remarquons que la couleur bleu foncé qui présente plus de 450 mm (1958-1977) est remplacé par une couleur moins foncé de 425-450 mm dans la deuxième carte (1978-1997), et d'une autre part la couleur bleu claire qui présente des valeurs moins de 375 mm occupe du passe progressivement d'une carte à l'autre. Cela confirme que la région tende vers une aridité de climat avec une baisse des précipitations (Fig. 17).



**Figure 17.** Répartition spatiale des précipitations moyennes de vicennal du sous bassin versant de Garaat Et Tarf pour la période (1958-1977, 1978-1997, 1998-2020 et prédiction de 2060).

### **3.1.2 La température**

La température est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats vue son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans les études qui touchent de près ou de loin le domaine du changement climatique. La température représente donc un facteur limitant vue son implication dans le contrôle de l'ensemble des phénomènes métaboliques et par ce fait le conditionnement total de la répartition de tous les êtres vivants (Ramade, 1984).

#### **3.1.2.1 Description des températures**

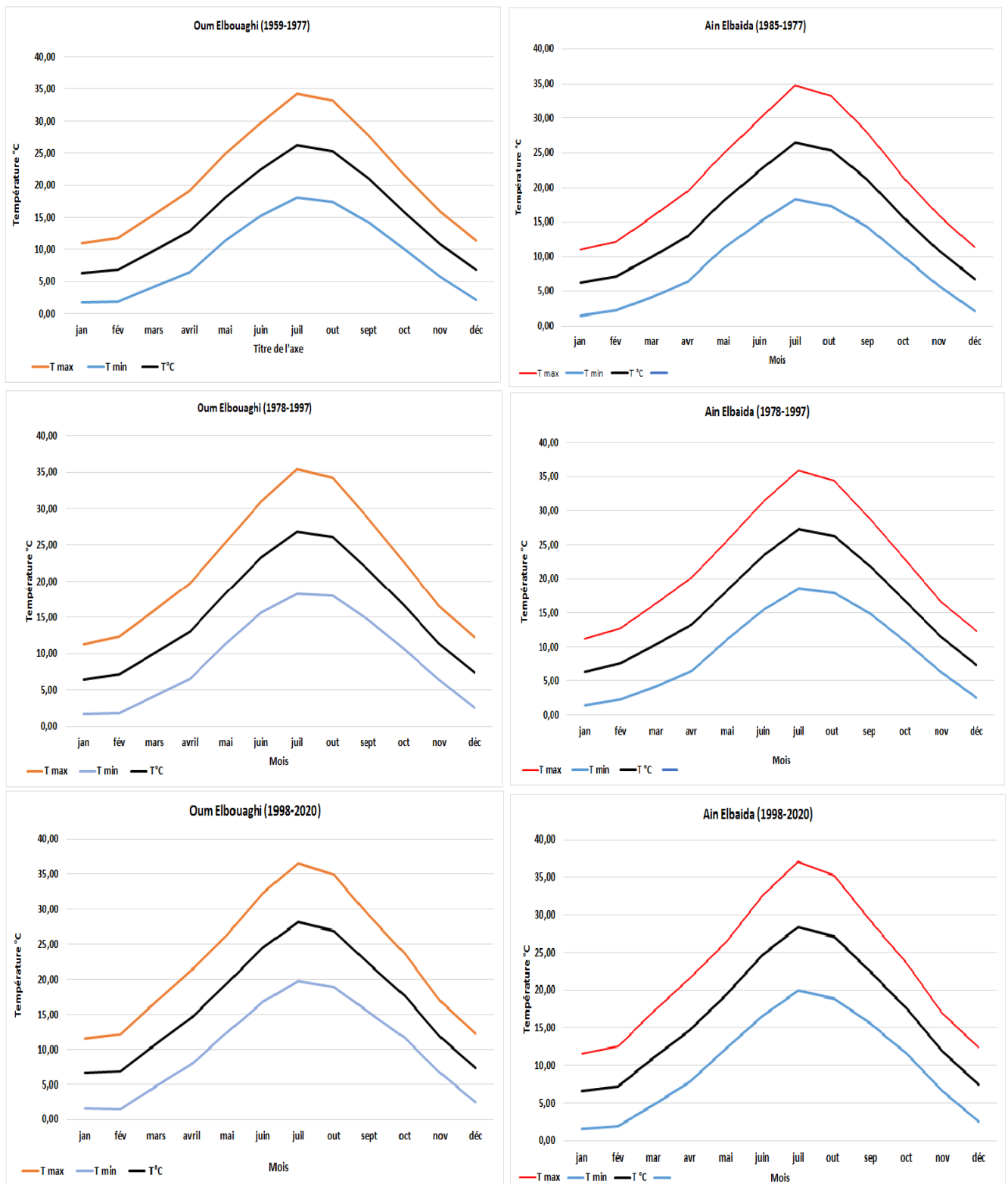
Les températures moyennes mensuelles montrent des variations saisonnières très importantes pour les six stations (Om El Bouaghi, Kais, Ain Elbaida, Baghi, Yabous, Remila) durant toute la série (63 ans). On distingue dans toutes les stations deux périodes : une période estivale chaude (Juin, Juillet et Août) où les températures dépassent 25°C, et une période froide d'hiver (Novembre, décembre, janvier, février et mars) où les températures sont inférieures à 10°C. Alors que l'on constate le mois le plus chaud est celui de Juillet dans toutes les stations avec des températures qui dépassent les 35°C, seulement ce n'est pas le cas pour la station de Yabous qui présente des températures moins de 30°C, et cela peut être expliqué par l'effet de l'altitude. Tandis que le mois le plus froid pour toutes les stations est février qui présente des valeurs très proches de 0°C, alors que la station de Yabous présente des valeurs moins de 0°C (Fig. 19).

En effet ces graphes présentent la chronologie d'évolution vicennale des températures dans chaque station comme suite :

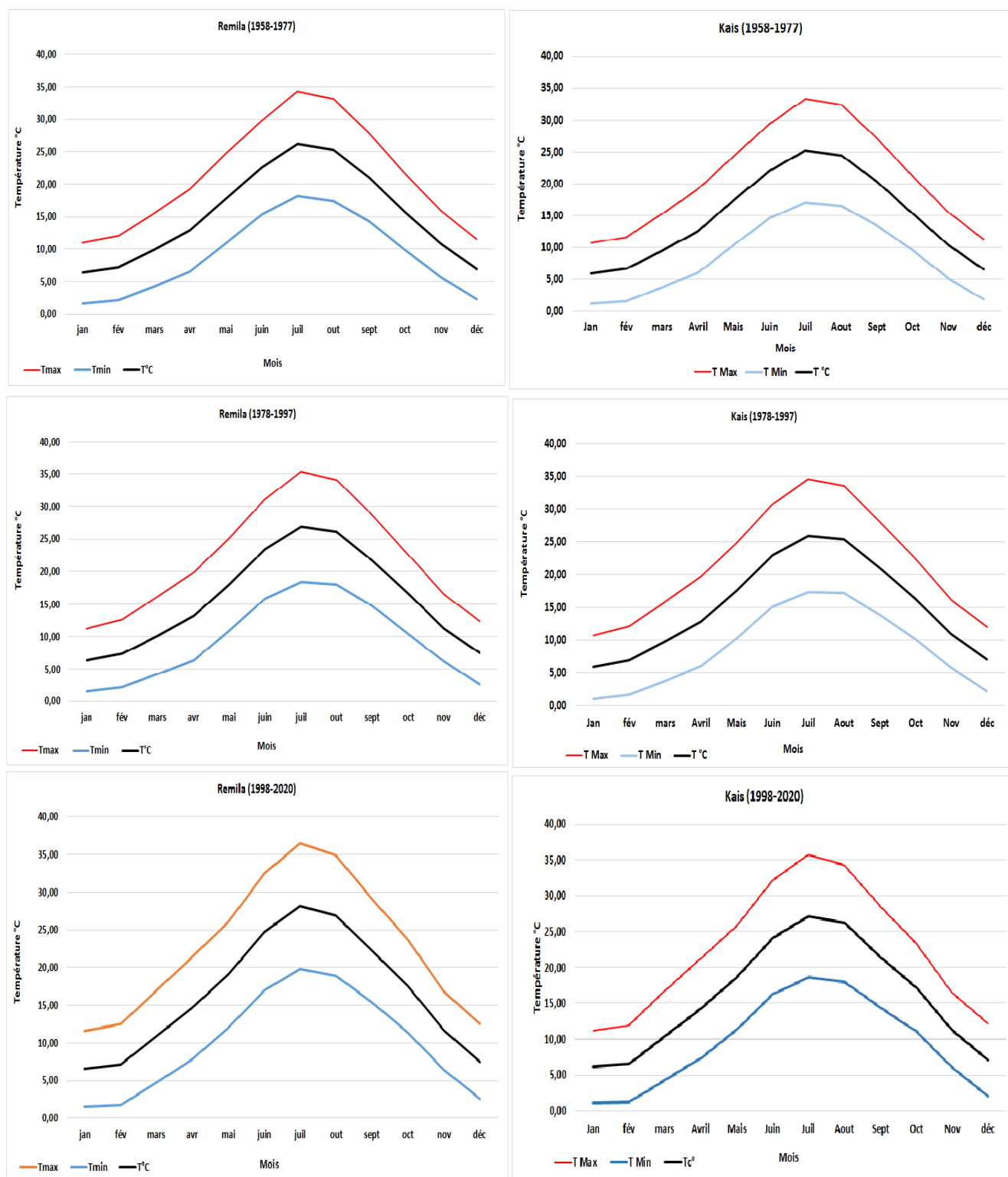
- Les cinq stations Oum El Bouaghi, Ain Elbaida, Remila, Baghi et Kais (Fig. 18, 19 et 20) présentent une évolution identique où les températures moyennes de la première vicennale (1958-1977) les plus élevées sont de 34°C, mais dans la deuxième vicennale (1978-1997) sont de 35°C, tandis que dans la troisième vicennale (1998-2020) dépassent les 35°C, cela indique une augmentation d'un 1°C chaque 20 ans. En outre les températures les plus basses pour les deux stations ont gardé les mêmes valeurs dans les trois vicennales.
- Concernant la station de Yabous qui indique toujours des températures inférieures aux autres stations. Elle présente la même évolution où, les températures moyennes de la première vicennale (1958-1977) les plus élevées sont de 30°C, mais dans la deuxième vicennale (1978-1997) sont de 31°C, tandis que dans la troisième vicennale (1998-2020) dépassent les 32°C, cela indique une augmentation d'un 1°C chaque 20 ans. En outre

### Chapitre 3. *Évaluation du changement climatique du sous bassin de Garaat Et Tarf*

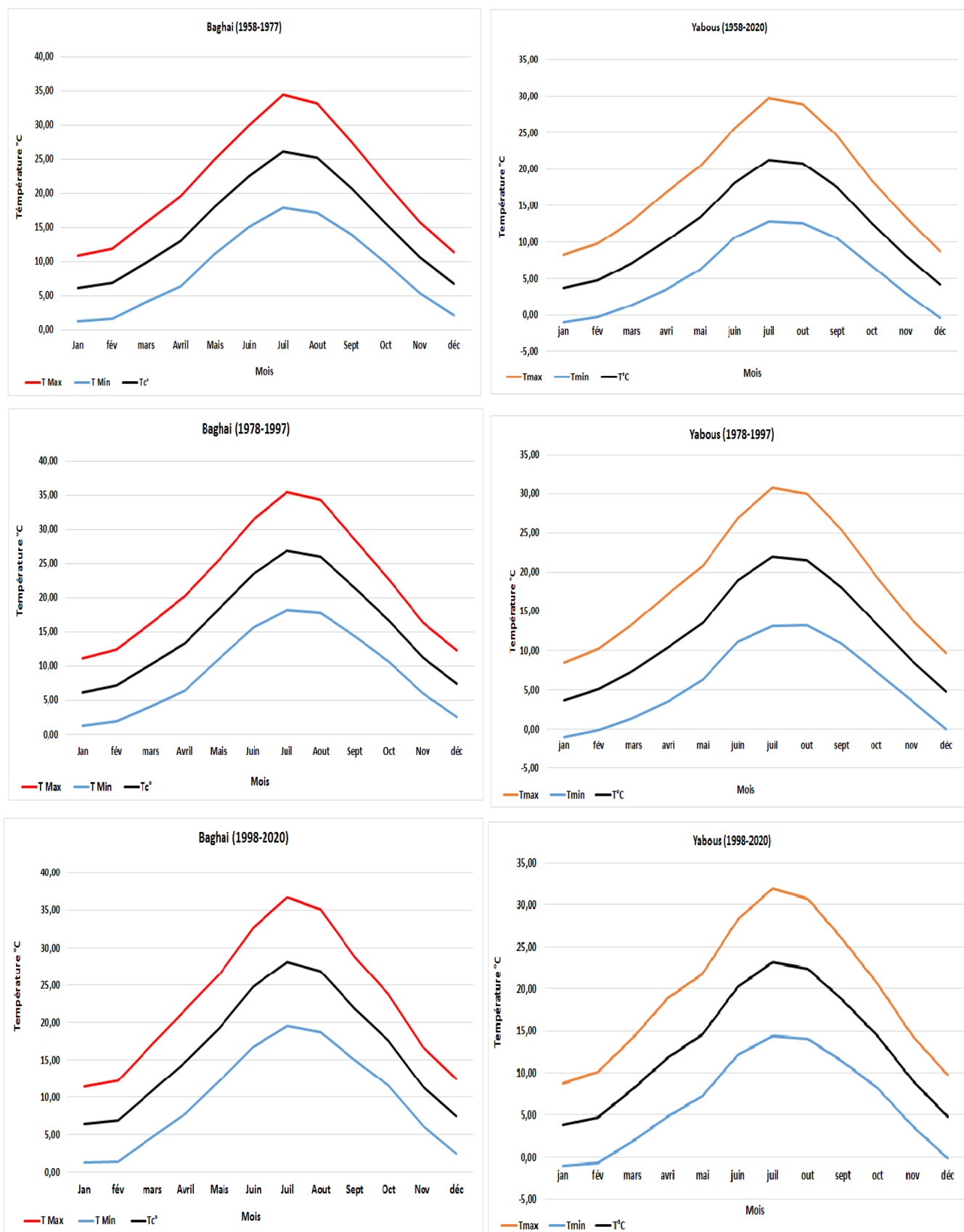
les températures les plus basses pour les deux stations ont gardé les mêmes valeurs dans les trois vicennales (Fig. 20).



**Figure18.** Variation des températures moyennes mensuelles dans les deux stations Oum Elbouaghi et Ain Elbaida (1958 à 2020).



**Figure19.** Variation des températures moyennes mensuelles de deux stations Remila et Kais (1958 à 2020).

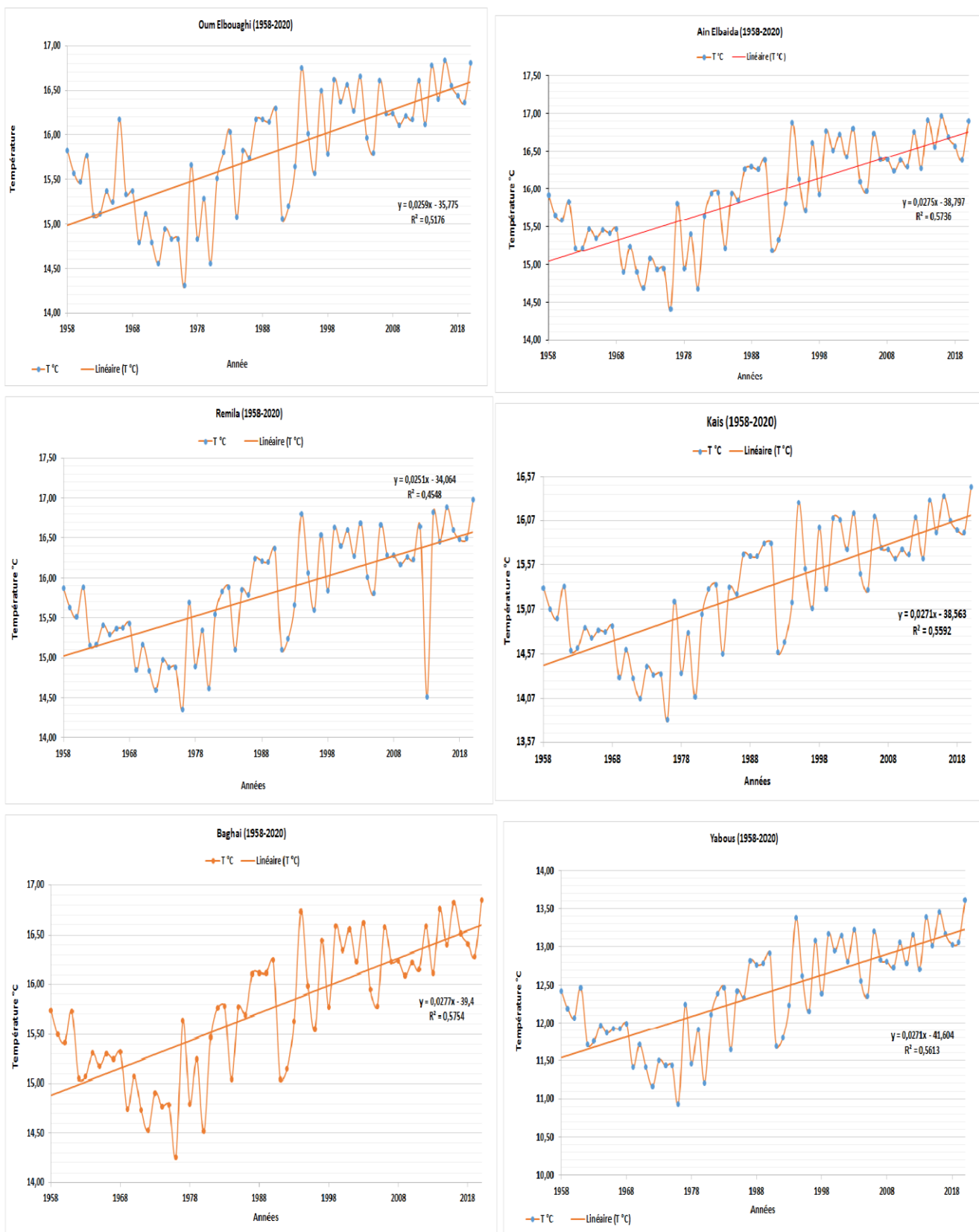


**Figure20.** Variation des températures moyennes mensuelles de deux stations Baghai et Yabous (1958 à 2020).

### 3.1.2.2 Evolution des températures

Dans le cadre d'étudier le réchauffement du climat de la région d'étude est très importante de suivre l'évolution des températures pour objectif d'identifier les tendances de l'avenir. Pour attendre notre objectif un traitement statistique des données de température d'une série de 63 ans (1958 à 2020) pour six stations (Yabous, Kais, Baghai, Ramila, Oum El Bouaghi, Ain Elbaida). D'après les résultats projeté dans les graphes de la figure 21 nous remarquons que :

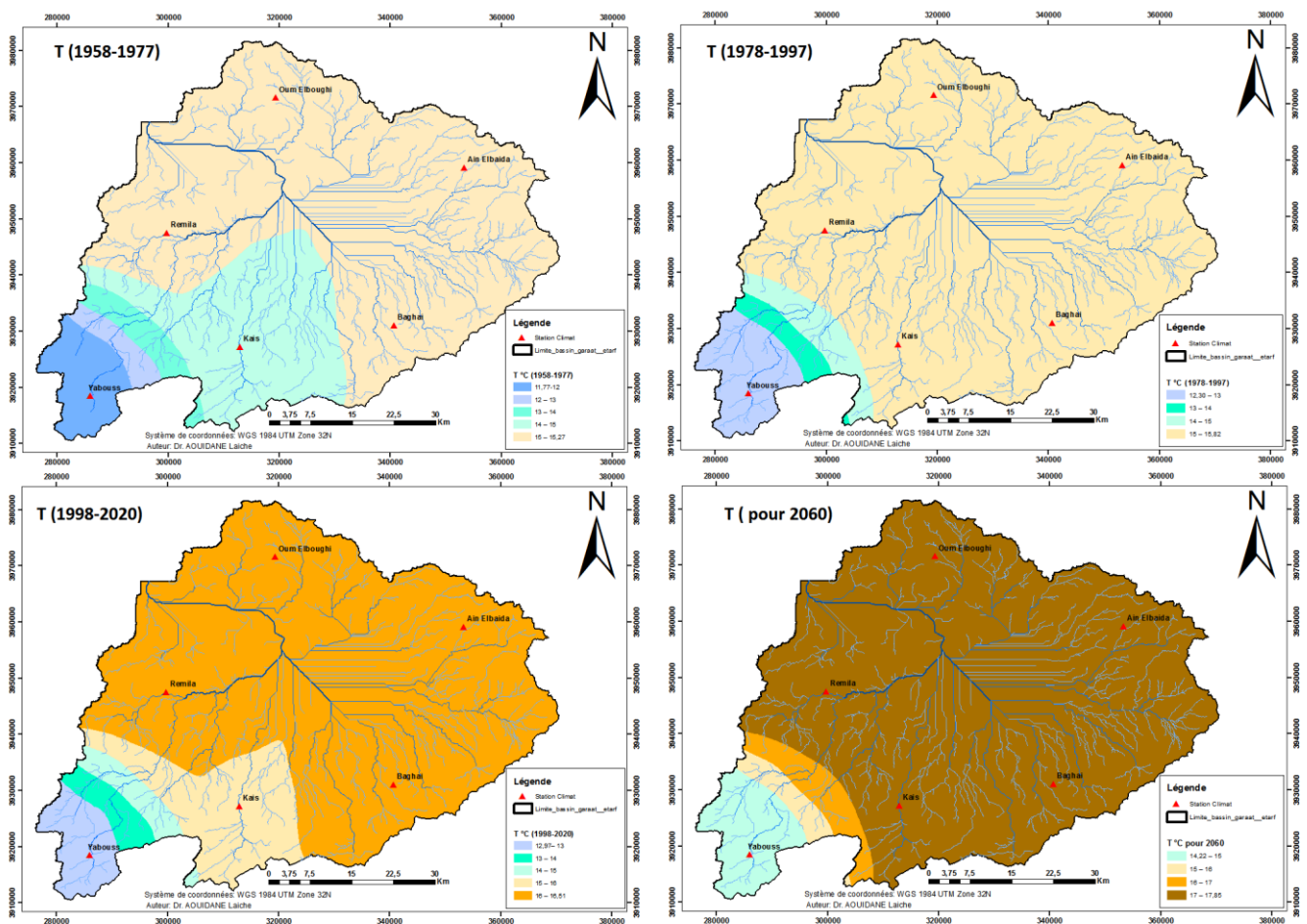
- Les valeurs des températures moyenne annuelle dans toutes les stations présentent une fluctuation très importante durant toutes la série (63 ans) où : les valeurs des cinq stations Oum El Bouaghi, Ain Elbaida, Remila, Baghai, et Kais présentent une fluctuation entre 14 et 17 °C durant toute la série d'étude, avec l'année la plus froid est celle de 1976, et l'année la plus chaude est 2016. Tandis que la station de Yabous présente des valeurs moyenne annuelle qui fluctuent entre 11 à 14 °C, avec l'année la plus froid est celle de 1976 avec 11°C et l'année la plus chaude est celle de 2020 avec 13,60 °C. Donc la lecture des valeurs de toutes les stations indiquent que l'année la plus froid est 1976 et l'année la plus chaud est 2016 et 2020.
- Concernent les tendances de prédiction de l'évolution des températures dans la région d'étude une droite de régression a été calculé de type affine :  $y = ax + b$  ; elle est obtenue par le calcul de la pente  $a$  qui est un coefficient directeur : où Si  $a > 0$ , on a une tendance à la hausse ; ou Si  $a < 0$ , on a une tendance à la baisse. D'après les résultats des calculs, les stations présentent des droites de régression comme suite : Kais ( $y = 0,0271x - 38,563$ ), Ain Elbaida ( $y = 0,0275x - 38,797$ ), Baghai ( $y = 0,0277x - 39,4$ ), Oum El Bouaghi ( $y = 0,0259x - 35,77$ ), Remila ( $y = 0,0251x - 34,064$ ) et Yabous ( $y = 0,0271x - 41,604$ ). En effet, les résultats de toutes les stations indiquent globalement une tendance d'augmentation des températures dans la région d'étude, qui veulent dire une tendance de réchauffement de la région et accentué l'aridité de climat de la région, mais cela est plus accéléré dans les quatre stations de Yabous, Kais, Ain Elbaida et Baghai, que dans les deux autres stations Remila et Oum El Bouaghi (Fig.21).



**Figure21.** Evolution de la température moyenne annuelle de six stations de la zone d'étude (1958 à 2020).

### 3.1.2.3 Répartition spatiale des températures

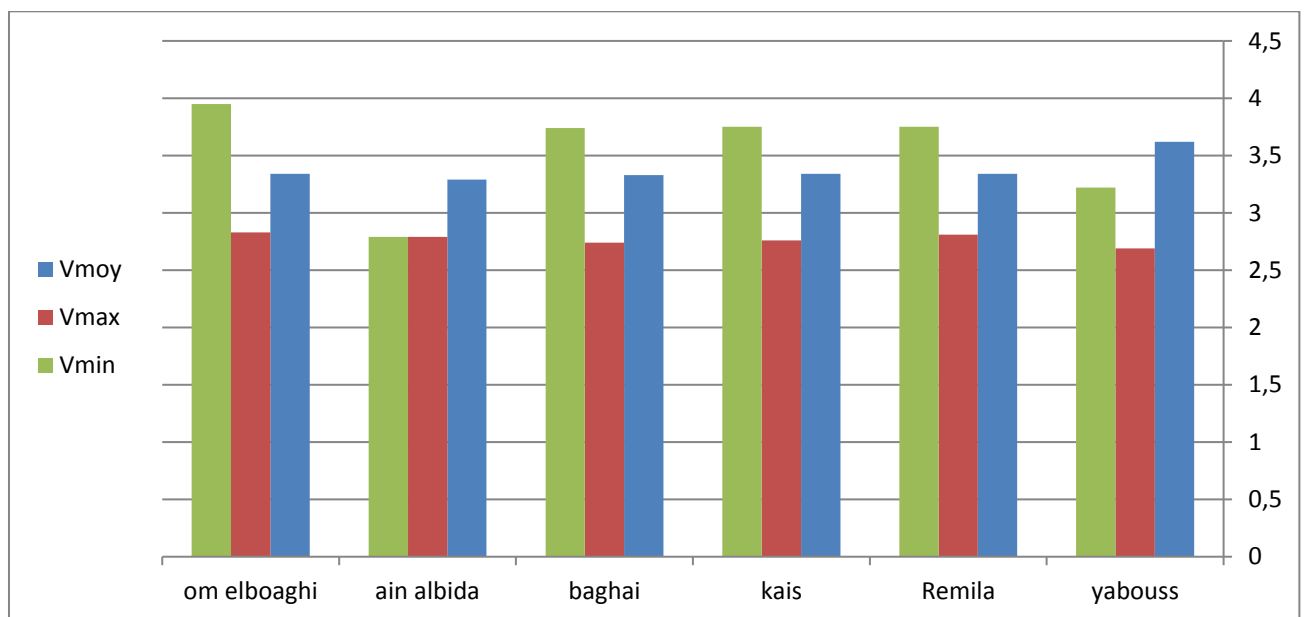
La cartographie de répartition spatiale des températures moyenne annuelle d'une manière chronologique à travers des données de six stations de la région d'étude peut nous donner une vision globale sur l'évolution de la température (Fig. 22). En générale la répartition spatiale des températures dans la région d'étude gradient accroissent du sud vers le nord, d'une manière antagoniste avec l'altitude. Concernent l'évolution et prédiction des températures, la répartition spatiale et chronologique des données montre une augmentation rapide des températures d'une vicennale à l'autre où, les couleurs claire qui présentent des températures basse retriassent et les couleurs foncé présentent des températures plus élevés prendre d'espace en plus et surtout dans la partie nord et centrale de la région d'étude. En qualité de prédiction de l'avenir ont réussi de réalisé une carte de répartition spatiale des températures en l'an 2060 qui montre un changement radicale de température dans la région avec une augmentation 2 °C dans toutes les zones de la région, et cela indique une influence directe sur l'équilibre des écosystèmes de la région.



**Figure 22.** Répartition spatiale des températures moyennes de vicennal du sous bassin versant de Garaat Et Tarf pour la période (1958-1977, 1978-1997, 1998-2020 et prédiction de 2060)

### 3.1.3 Le vent

Le vent est l'air en mouvement défini par sa direction, sa vitesse, son intensité et ses aspects locaux. Il élève l'évapotranspiration potentielle et par conséquent accentué la sécheresse. Sur la région d'étude, il domine pendant la saison hivernale des vents froids humides ou secs de direction nord-ouest, tandis que la saison sèche domine des vents chauds et secs de directions sud-est et sud sud-ouest (Saoudi, 2016).



**Figure23.**Présentation de la vitesse des vents de six stations de la région Garaat Et Tarf (1958-2020).

D'après les résultats de la vitesse de vent moyen, minimales et maximales dans la région de Garaat Et Tarf ont peut déduire que :

**Vmoy :**On remarque que les vents moyens soufflent entre 3,3 et 3,4 mps dans les cinq stations : Om El Bouaghi, Baghai, Ain El-Baida, Kais, Remila. Alors que dans la région de Yabous, la vitesse moyenne a été estimée à 3,6 mps.

**Vmax :**On note que la vitesse maximale des vents est constante dans chacune d'OumEl-Bouaghi, Ain El-Bayda, Baghai, Kais, et Remila est de 2,8 mps.

**Vmin :** On note une différence dans la vitesse minimale du vent d'une région à l'autre, comme il a été estimé dans la station d'Om ElBouaghi à 3,9 mps, tandis que dans les trois stations de Baghai, Kais, et Ramila, atteignaient une vitesse de 3,6 mps. Alors que la vitesse de vent dans la région de Yabous est de 3,3 mps, tandis que la région d'Ain Al-Baida a enregistré la vitesses la plus basse avec 2,9 mps .

### 3.2 Synthèse climatique

#### 3.1.4 Diagramme Ombrothèrmique

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations sont intéressantes dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs. Cette relation permet d'établir un graphe dit Ombrothèrmique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations (Meftah & Bersali, 2009).

Un mois sec se définit, selon Bagnouls et Gaussen (1961), comme celui ayant un total des précipitations, en millimètre, égal ou inférieur au double de la température moyenne en ° C ( $P \leq 2T$ ). La détermination de cette période a une importance primordiale pour les besoins en eau d'irrigation. Les diagrammes pluviométriques établis en se basant sur les données des précipitations et des températures moyennes mensuelles sur une période d'observation d'une série 63 ans. En effet nos diagrammes pour les six stations et les trois vicennales montrent des résultats comme suite :

- Les cinq stations Oum El Bouaghi, Ain Elbaida, Remila, Baghai, et Kais présentent deux périodes hivernales humides et estivales sèche où : la période humide s'étale du mois de octobre jusqu'au mois de mai et la période sèche qui s'étale de mois de juin jusqu'au mois de septembre et cela pour la vicennale de 1958 à 1997. Tandis que, pour les deux dernière vicennales (1978-1997 et 1998-2020) la période humide s'étale de mois octobre jusqu'au mois d'avril, et le période sèche s'étale de mois de mai jusqu'au mois de septembre. Cela confirme le changement climatique a touché la région d'étude par une expansion de la période sèche par rapport au période humide (Fig 24, 25 et 26).
- Concernent la station de Yabous aussi elle présente deux périodes : sèche qui s'étale de mois de juin jusqu'au mois d'août, et la période humide de mois de septembre jusque au mois de mai et cela pour le vicennale de 1958 à 1977. Par contre pour les deux dernières vicennales la période sèche s'étale de mois de mai jusqu'au mois de septembre, et la période humide s'étale de mois octobre jusqu'au mois d'avril. En déduire aussi que cette station elle touché par le changement climatique par l'étalement de période sèche par rapport au période humide.

Dans la région de Garaat Et Tarf et sous l'influence de changement climatique par l'augmentation de la période de sèche par rapport au période humide et cela va influencer la vie naturel et aussi le développement agricole dans la région.

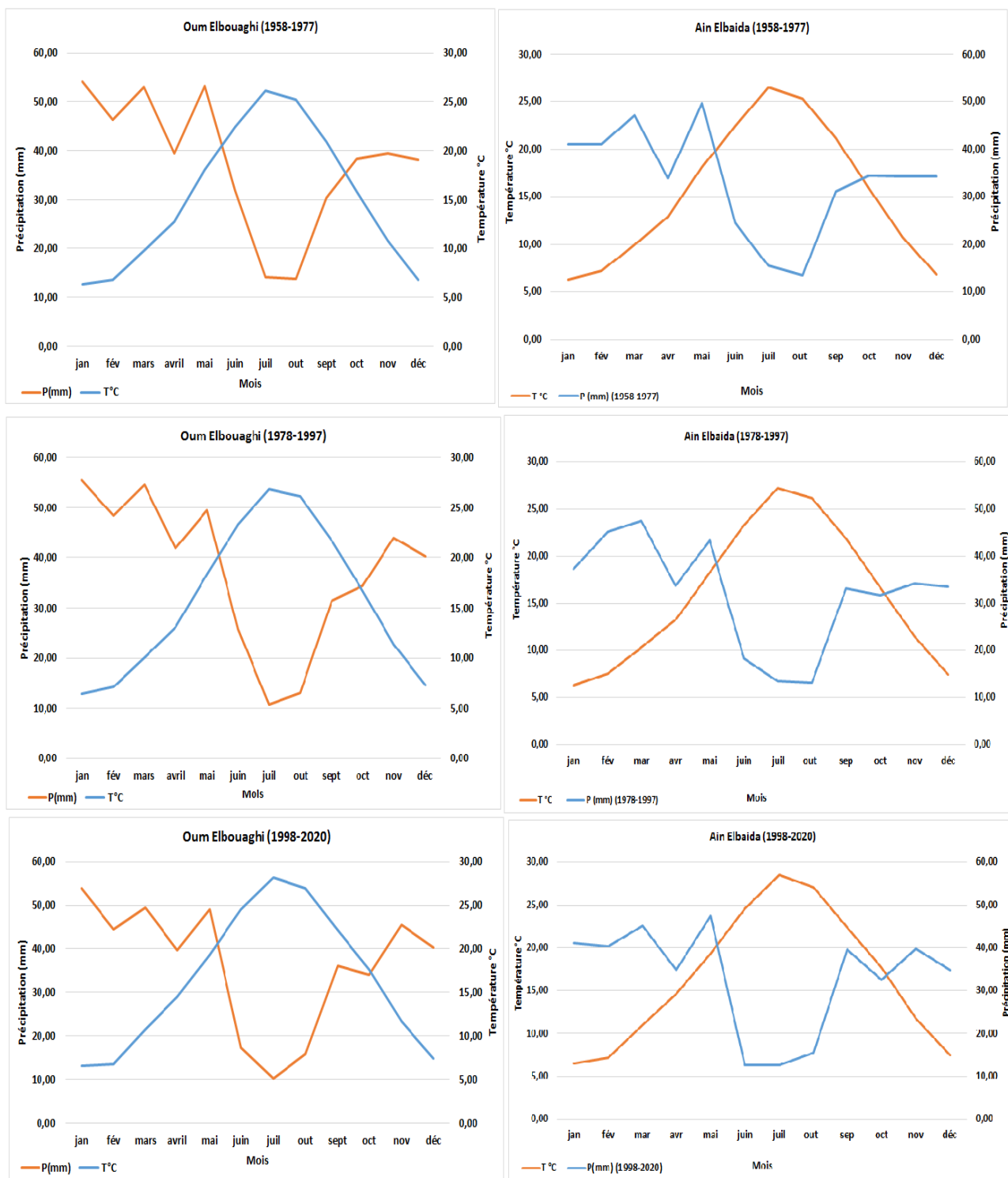


Figure 24. Evolution des résultats de diagramme Ombrothermique de deux stations Oum ElBouaghi et Ain Elbaida (1958 à 2020).

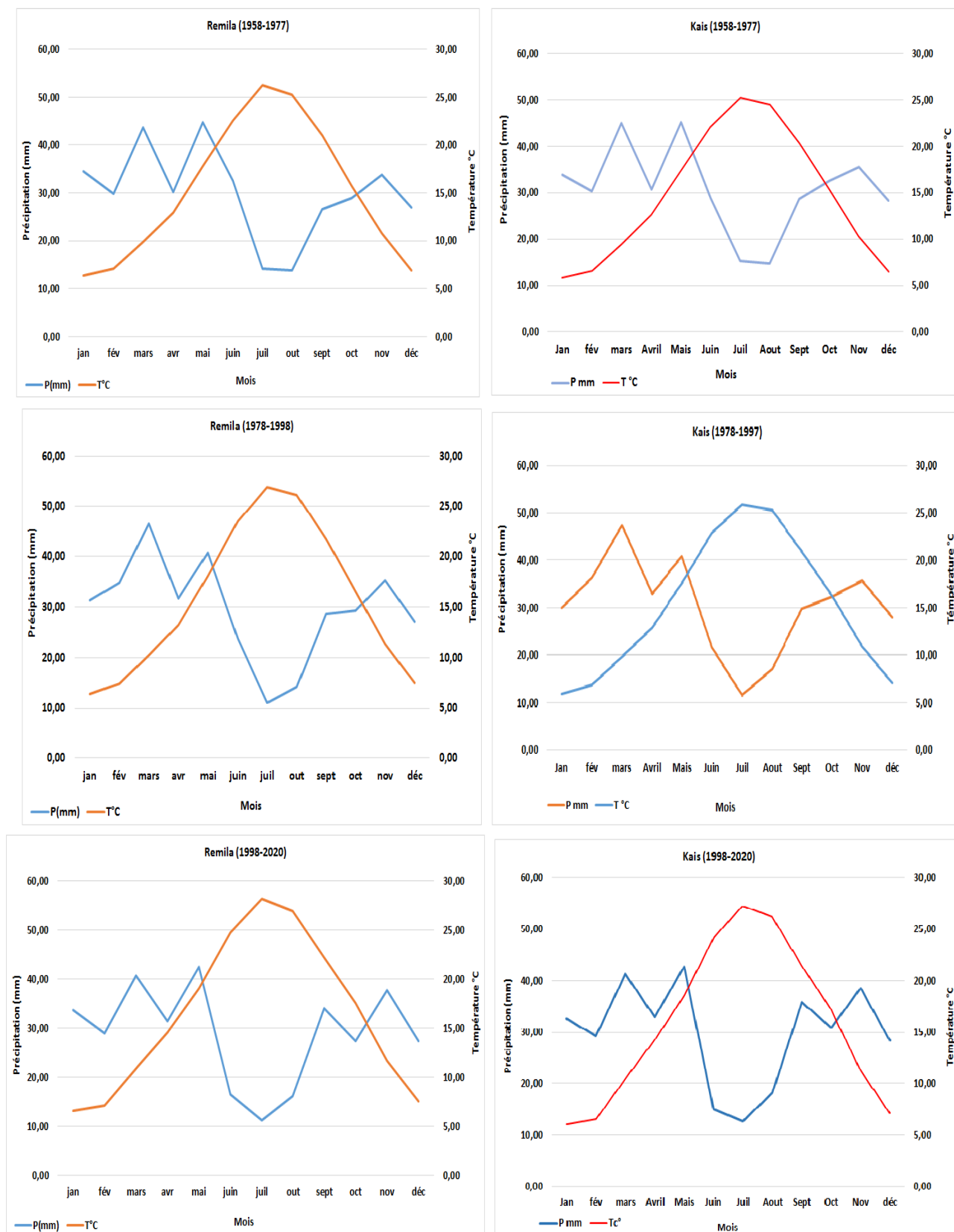
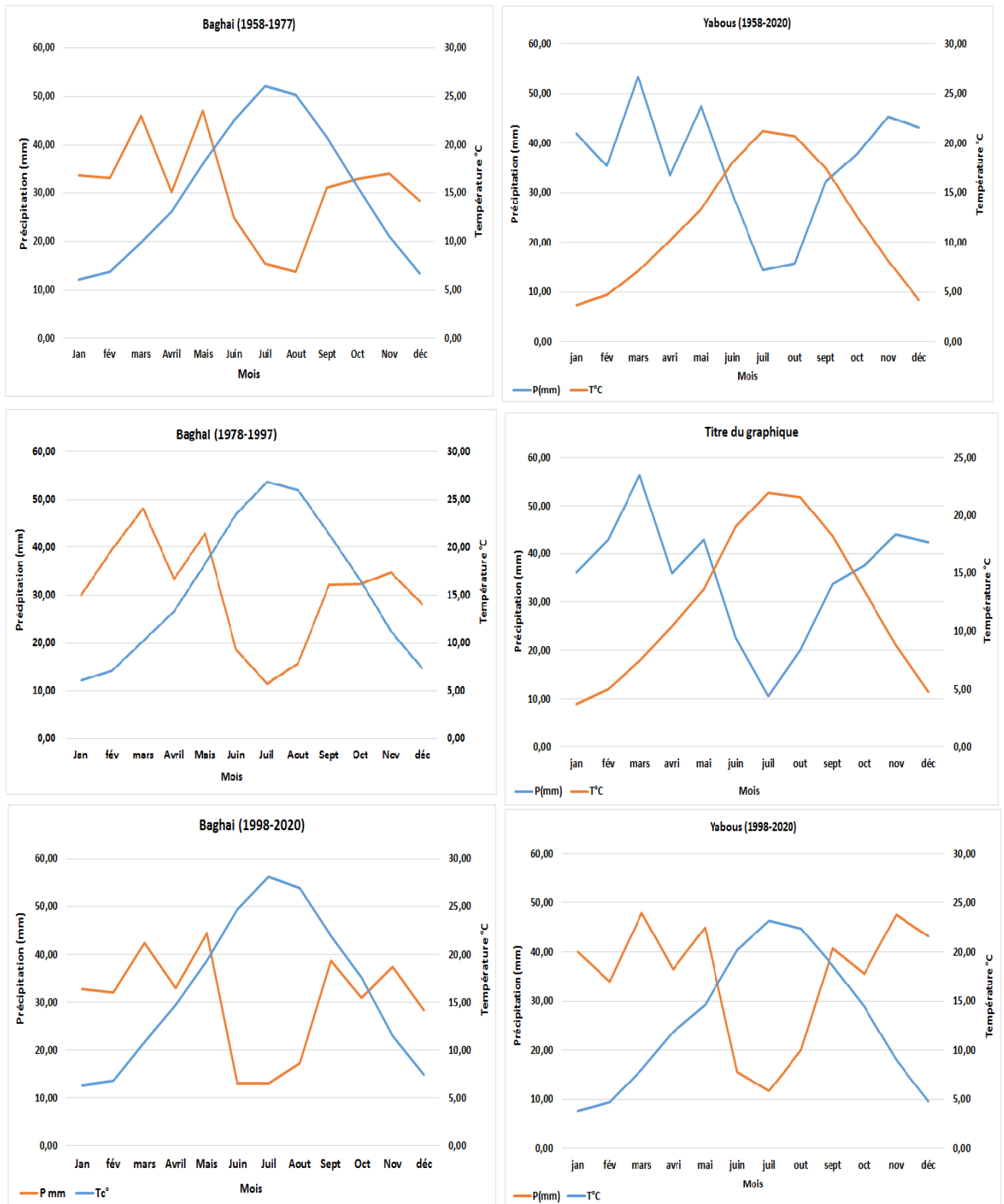


Figure 25. Evolution des résultats de diagramme Ombrothermique de deux stations Remila et Kais (1958 à 2020).



**Figure26.** Evolution des résultats de diagramme Ombrothermique de deux stations Baghai et Yabous (1958 à 2020).

### **3.1.5 Indice de l'aridité**

En 1925 Emmanuel De Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice d'aridité ( $Ia$ ). Cet indice est en fonction de la température ( $T$  en °C) et des précipitations ( $P$  en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude. Ce paramètre se calcule selon la formule :  $Ia = P/(T+10)$ .

Les valeurs de cet indice nous permettent de classer nous le climat dominante dans chaque année. Les résultats de nos calculs présentent trois classes d'année : la majorité des années pour les stations étudiées présentent un indice qui le classe dans le climat semi-aride, seulement l'année de 1976 son indice le classe comme un climat tempéré, mais la troisième classe c'est les années qui ont moins de 10 et cela pour les années 1960, 2000 et 2014. Concernant la station de Yabous les valeurs de l'indice il donne deux classes des années seulement : la classe des années à climat tempéré tel que 1962, 1963, 1970, 1972, 1976, 1982, 1990, 1992, 2004, et 2009, mais le reste des années sont classés comme climat semi-aride par leurs valeurs de l'indice.

La cartographie de la répartition spatiale de l'indice de l'aridité de Martonne dans la région d'étude montre que pour la période de la série étudiée (1958-2020) le climat d'après les valeurs de l'indice est classé comme climat semi-aride, mais la partie de l'extrême nord et le sud-ouest de la région d'étude est tendue à être classée comme un climat tempéré (Fig. 27). Concernant la proposition de la répartition spatiale de classement de climat en l'an 2060, présente toujours la dominance de climat semi-aride sur toute la région, mais avec une tendance de la diminution des valeurs de l'indice, et cela indique une divergence vers l'installation d'un climat steppique plus aride (Fig. 27).

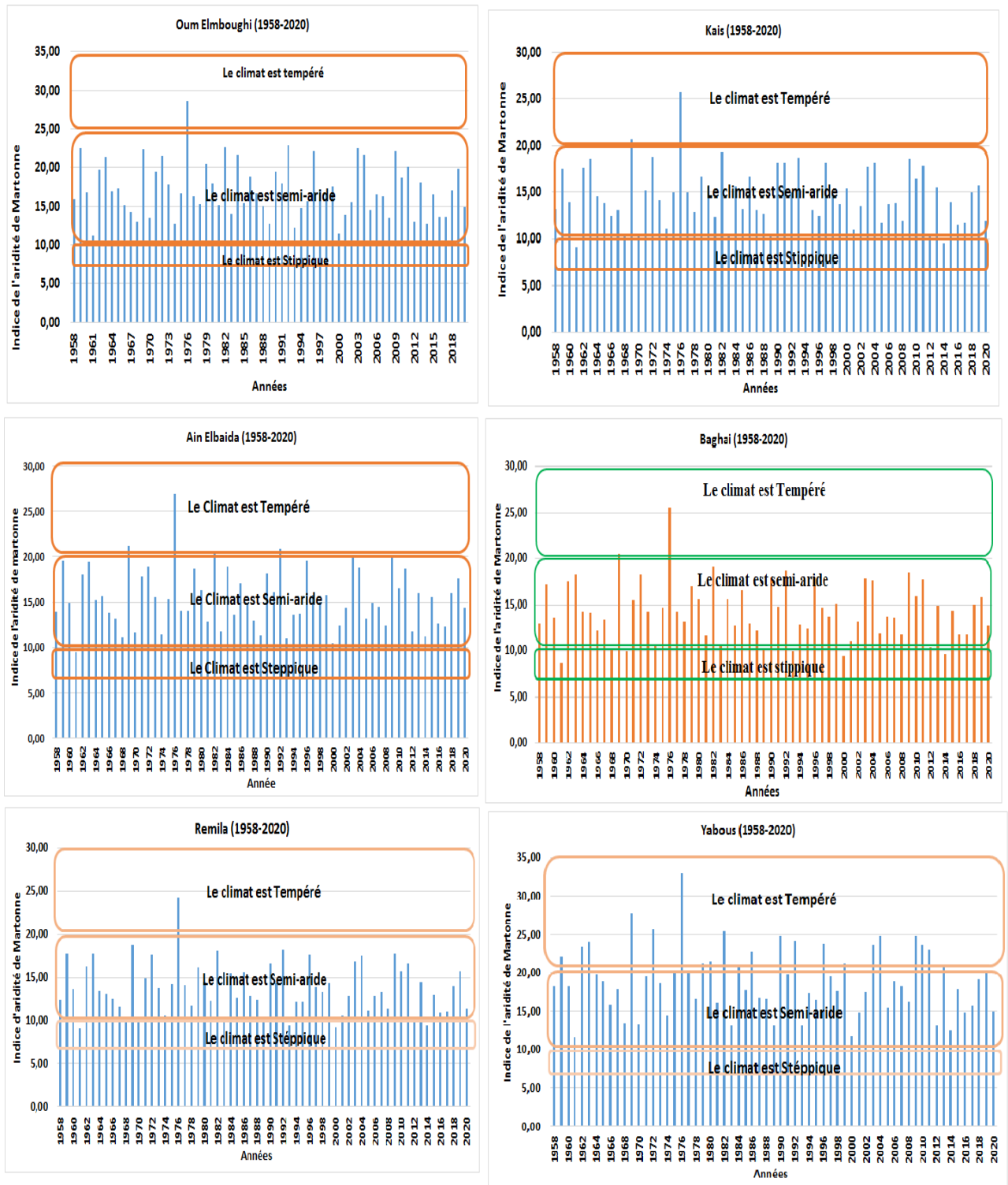
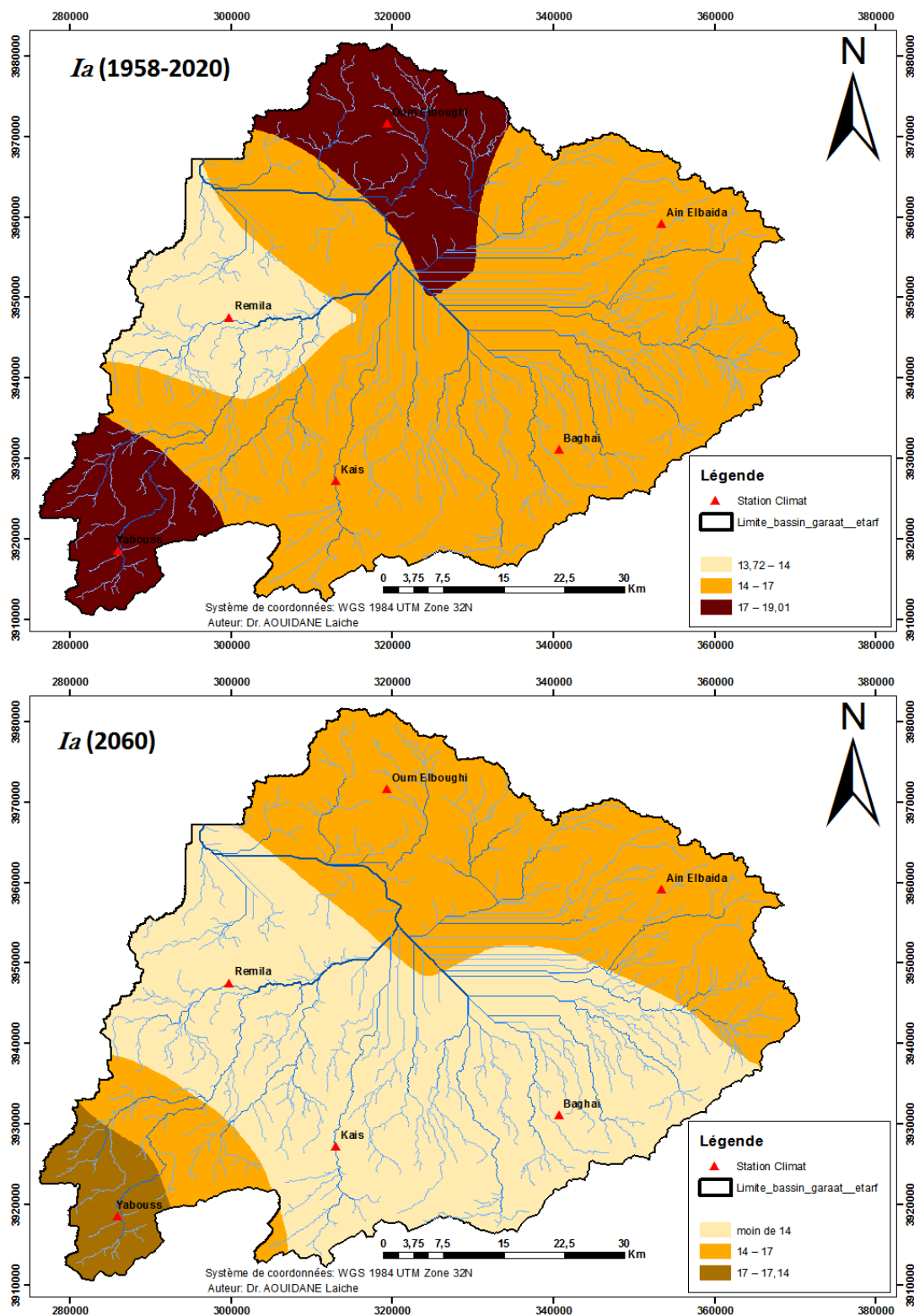


Figure 27. Evolution de l'indice de l'aridité de Martonne dans les six stations de la zone d'étude (1958 à 2020).



**Figure 28.** Répartition spatiale de l'indice de l'aridité de Martonne du sous bassin versant de Garaat Et Tarf calculé pour la période (1958-2020 et prédiction de 2060).

### **3.1.6 Indice de précipitation**

Les résultats de figure 29 présente l'indice de précipitation calculé avec une classification pour les six stations et durant la période 1958 à 2020. La fluctuation permanente des précipitations autour de la normale des précipitations, néanmoins nous pouvons remarquer des pics du côté positif comme du côté négatif de la moyenne climatique. Les moyennes maximales mensuelles les plus élevées sont observées dans la période 1976 à 1979 au niveau de toutes les stations de notre région d'étude fluctuent entre 2.50 et 3 mm, cela les classe comme une période extrêmement humide. Tandis que, les moyennes minimales mensuelles les plus basses sont enregistrées de 1961 à 1964 au niveau de la station d'Oum El Baouaghi et dans la période de 1960 à 1962, mais au niveau des autres stations les valeurs oscillent entre -1 et -1.90 mm, et cela indique l'installation de la période sec. En général, il n'y a pas de différence significative entre les six stations, mais du point de vue temporel nous pouvons distinguer que Ain El Baidha et Oum El Bouaghi sont enregistrées les hauts valeurs durant la période entre 1978 et 1986 par rapport aux autres stations. En outre, la station de Kais en 2000 est plus pluvieuse et humide, tandis que, dans la période entre 2012 et 2018 nous remarquons que la station de Remila présente des valeurs moyennes la plus basse par rapport aux autres, donc c'est la station la plus touché par l'aridité de climat. Concernant la station de Yabous qui a enregistré la plus hausse moyen en 2006 et qui était la moins pluvieuse de 2018 à 2020.

### **3.2.4 Indice de sécheresse**

D'après les résultats de l'indice de sécheresse (Fig. 30), calculé pour les six stations et pour la période qui s'étale de 1958 à 2020, nous remarquons une variabilité importante dans les valeurs de l'indice pour les six stations, mais généralement présentent le même comportement des années humide suivies par des années sèche. Tandis que, on peut déduire que tous les stations présentent la dominance des années sèche durant la période 1958 à 1968, en suite c'est la dominance des années humide durant la période qui s'étale de 1970 à 1984, après cette période c'est l'installation de la période de la dominance des années sèche qui a duré de 1984 à 2002, et en suite c'est l'installation de la période de dominance des années humide durant la période qui s'étale 2002 à 2010, et en fin dans la dernière décennie 2010 à 2020 c'est l'installation de la période sèche. Donc on peut déduire que la région d'étude est caractérisée par une alternance de deux périodes sèche et humide avec une marge de 10 ans.

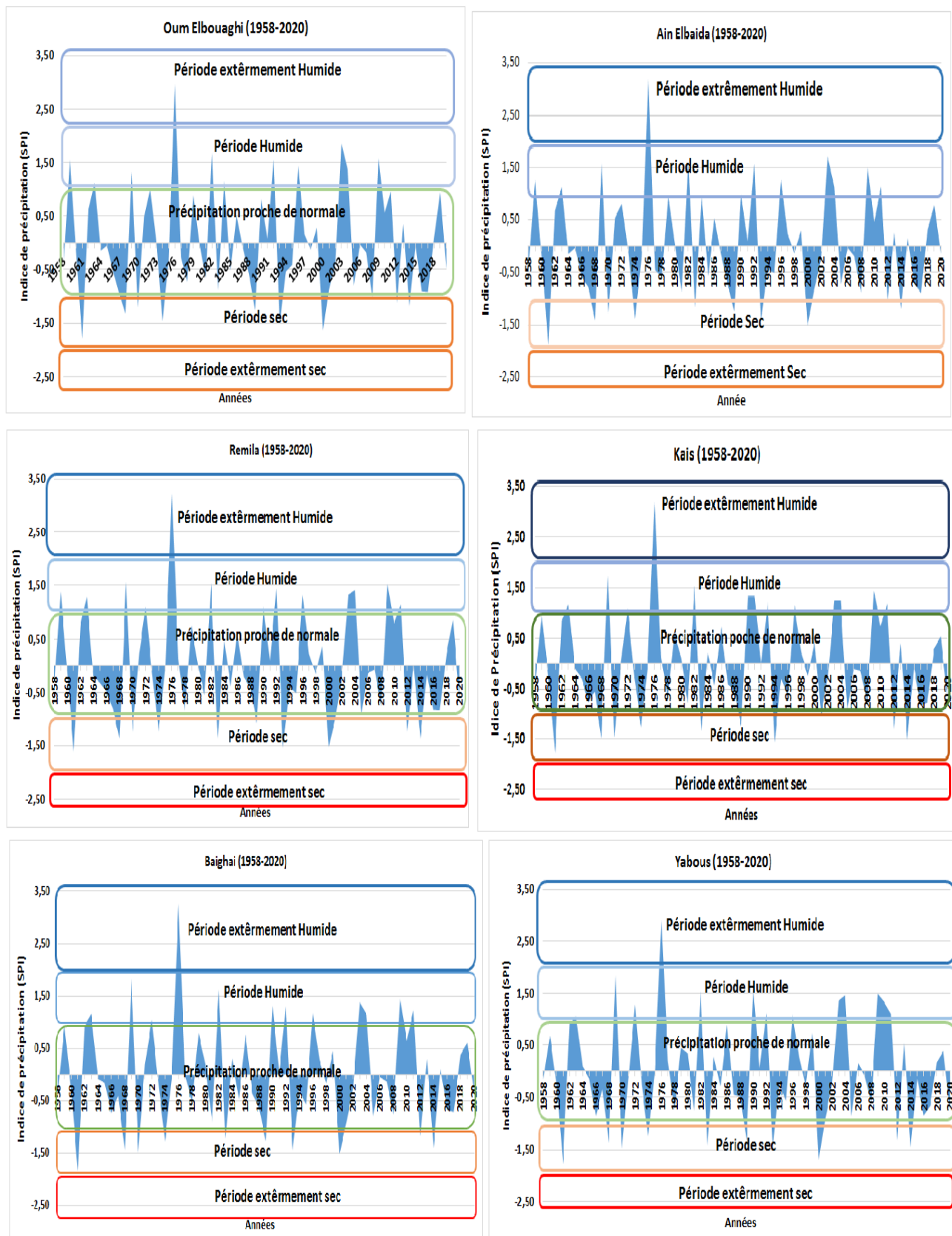
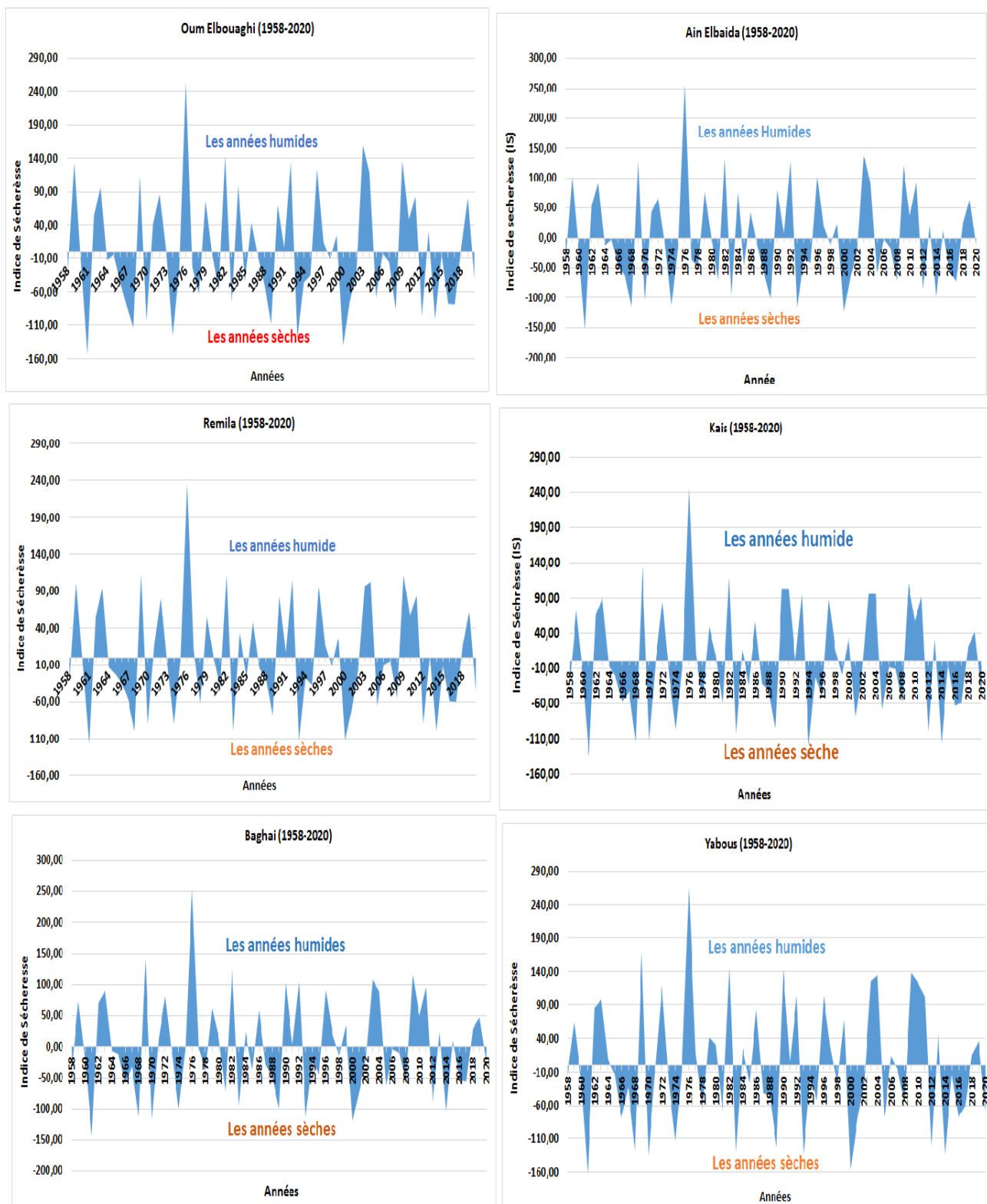


Figure 29. Présentation de l'indice de précipitation avec classification pour les six stations (1958 à 2020).

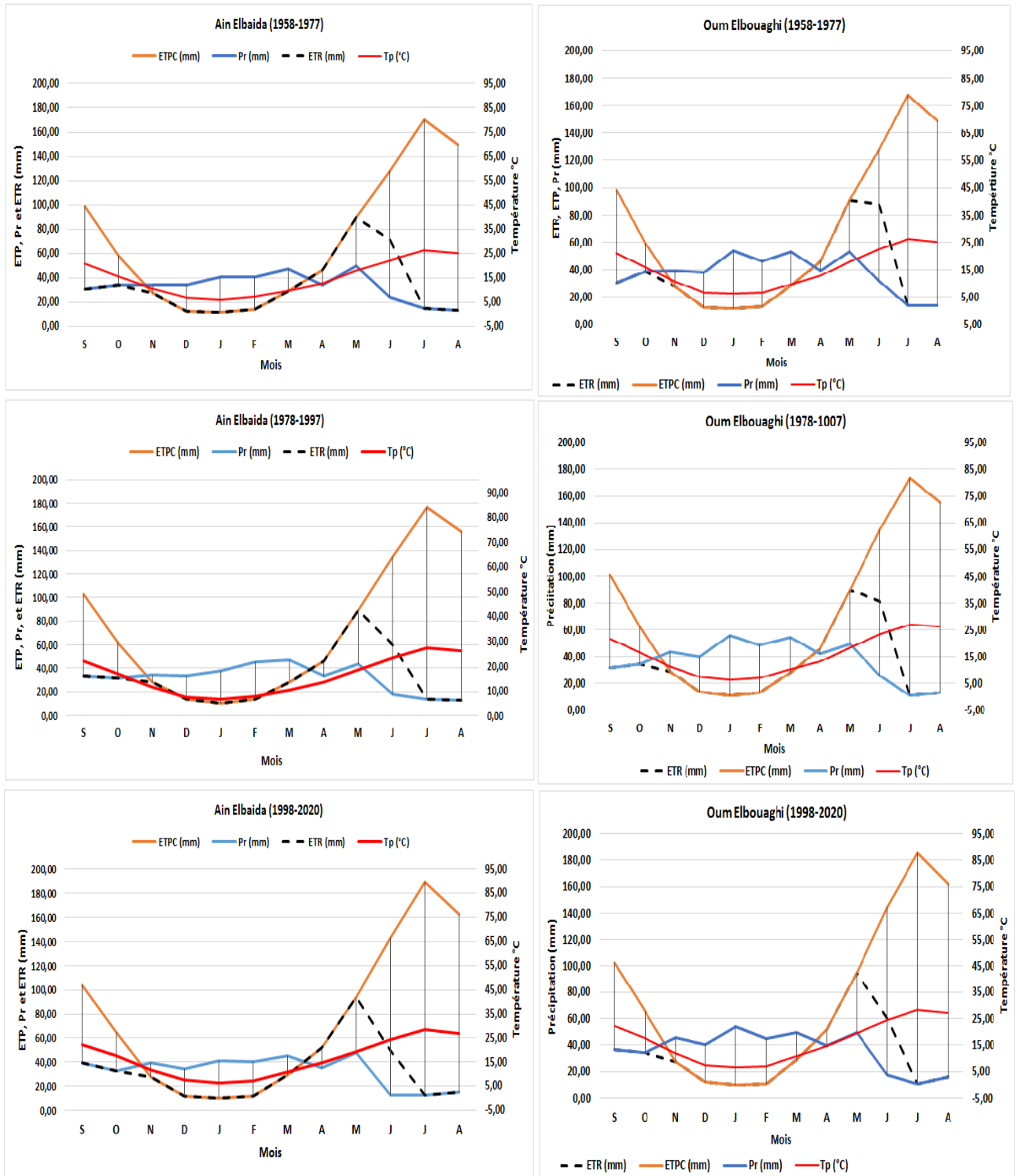


**Figure 30.** Présentation des valeurs de l'indice de sécheresse dans les six stations de la zone d'étude (1958 à 2020).

### 3.1.7 Bilan hydrique

Le bilan hydrique total correspond à l'équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui affectent directement la variance des réserves. Le bilan hydrologique est un moyen de connaître les réserves et de suivre l'évolution au cours de l'année hydrologiques. Généralement les réserves commencent de reconstruire dès que les valeurs des précipitations sont supérieures à l'évaporation ( $P > ETP$ ). Ainsi pour calculer le bilan de la zone d'étude, nous utiliserons les données des six stations et durant la série 1958 à 2020. Les résultats des calculs (Fig. 31,32,33), présentent l'existence de deux périodes ; une période de bilan déficitaire qui s'étale de mois avril à octobre et une période de recharge qui s'étale de mois de novembre jusqu'au mois de mars et cela pour les deux stations Ain El Baida et Oum EL Bouaghi. Tandis que, les autres stations présentent une période de bilan déficitaire qui s'étale de mois d'avril à le mois octobre et la période de recharge s'étale de mois de novembre jusqu'au mois de mars. Concernant l'évolution chronologique des bilans hydriques dans la région d'étude on déduit qu'un changement aura lieu progressivement avec la régression de la période de recharge par rapport au période déficitaire

Dans le cadre de donner une vision globale sur l'évolution spatiale du bilan hydrique dans la région d'étude une cartographie a été réalisée de ces paramètres calculés. Les résultats indiquent un déficit pluvial à engendrer un bilan négatif dans toute la zone. La répartition spatiale indique que la zone centrale et Est de la région sont les plus déficitaires, tandis que la partie nord et sud-ouest de la région d'étude est moins déficitaire (Fig. 34). En outre, l'évolution chronologique spatiale de bilans hydriques montre l'augmentation de déficit hydrique où, la partie centrale la plus touchée présente un déficit hydrique de  $< -400$  mm durant la période 1958 à 1977, passe à  $< -450$  mm pour la période 1978 à 1997, et pour la dernière décennale présente  $-500$  mm et c'est la même chose pour les autres parties de la région. Donc on déduit que chaque décennie il y a une diminution de 50 mm dans le bilan hydrique et cela menace les réserves en eaux superficielles et souterraines de la région d'étude qui demande une gestion rigoureuse des ressources.



**Figure 31.** Evolution de bilan hydriques dans les deux stations Ain Elbaida et Oum El Bouaghi (1958 à 2020).

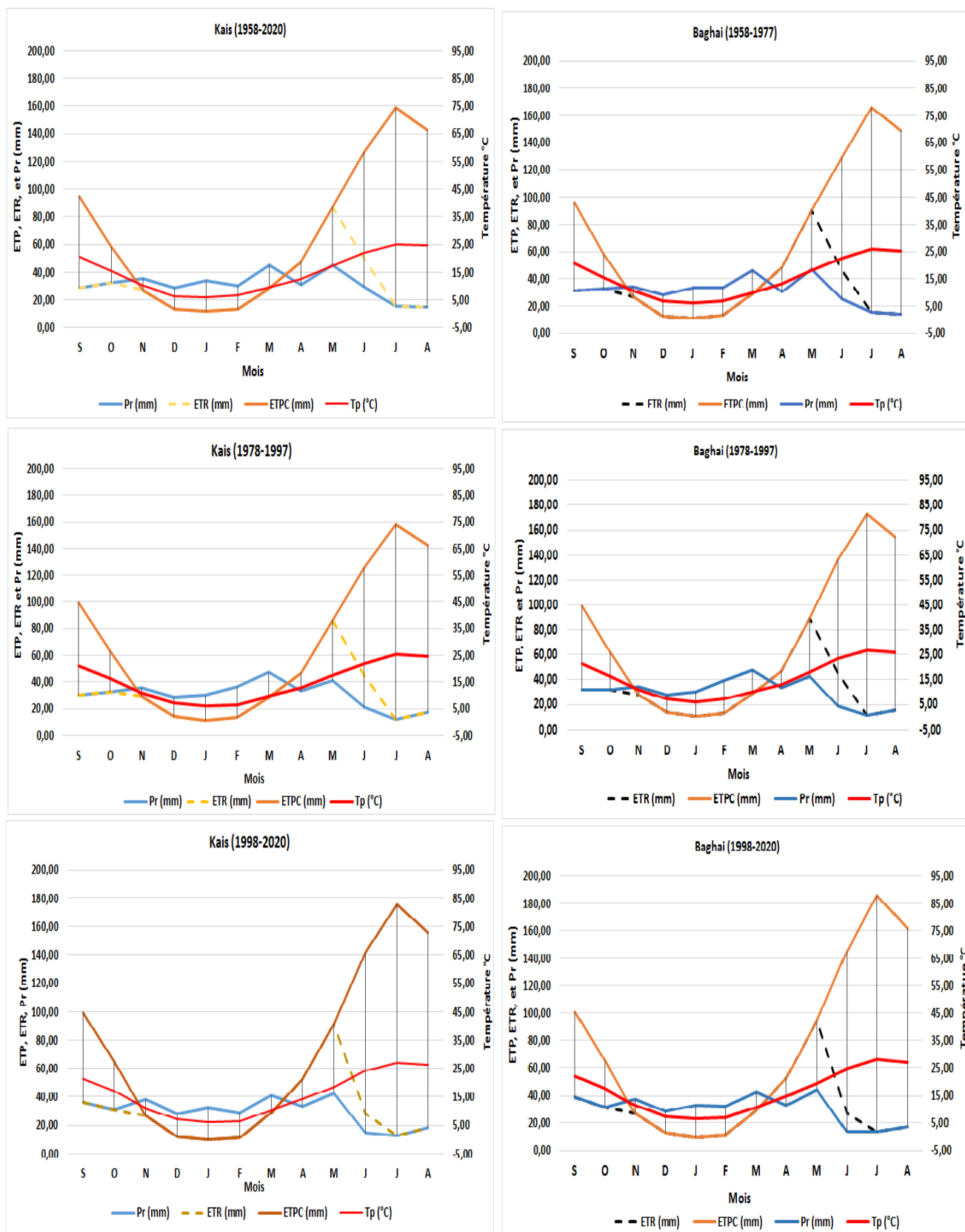


Figure32. Evolution de bilan hydriques dans les deux stations Kais et Baghai (1958 à 2020).

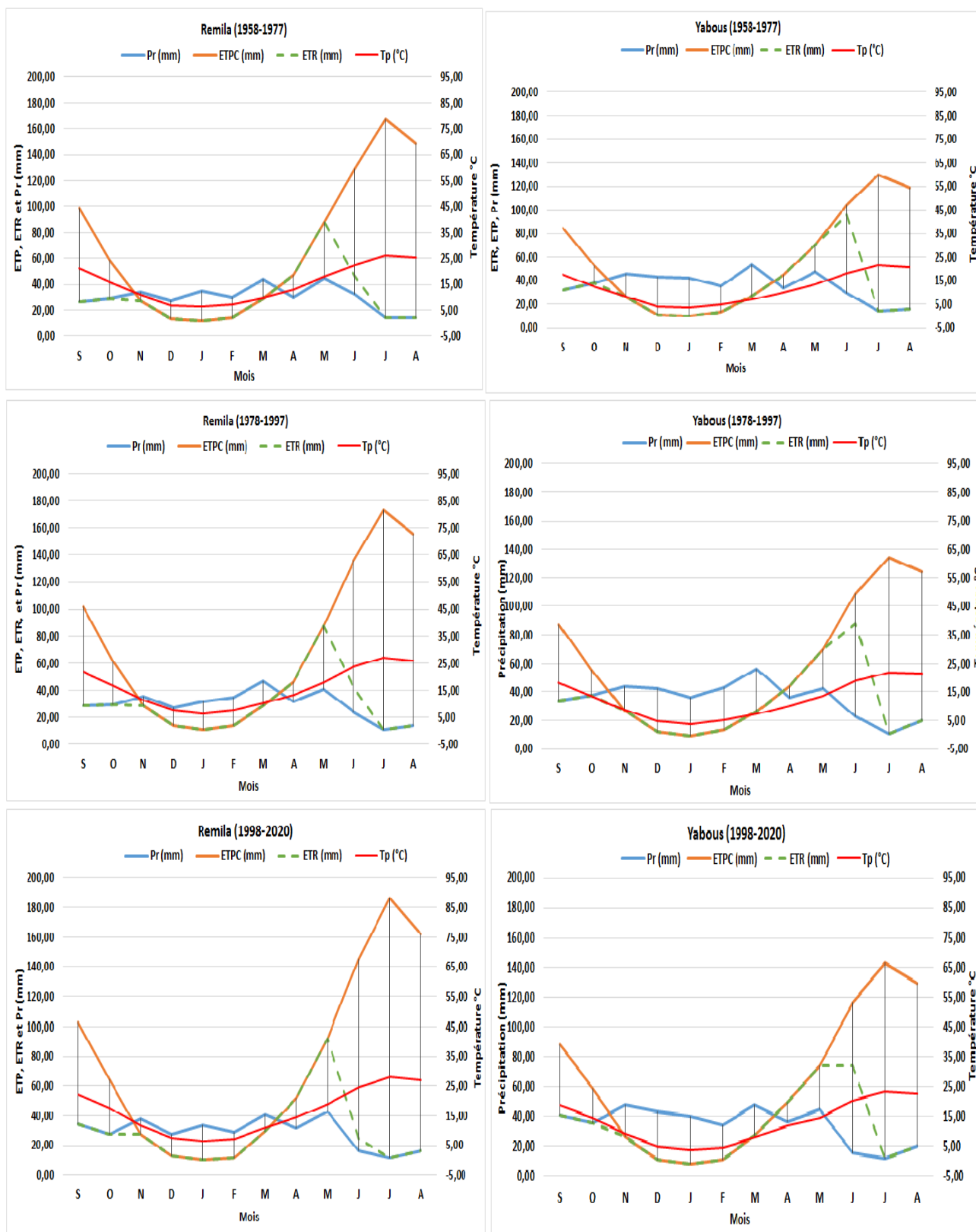


Figure33. Evolution de bilan hydrique dans les deux stations Remila et Yabous (1958 à 2020).

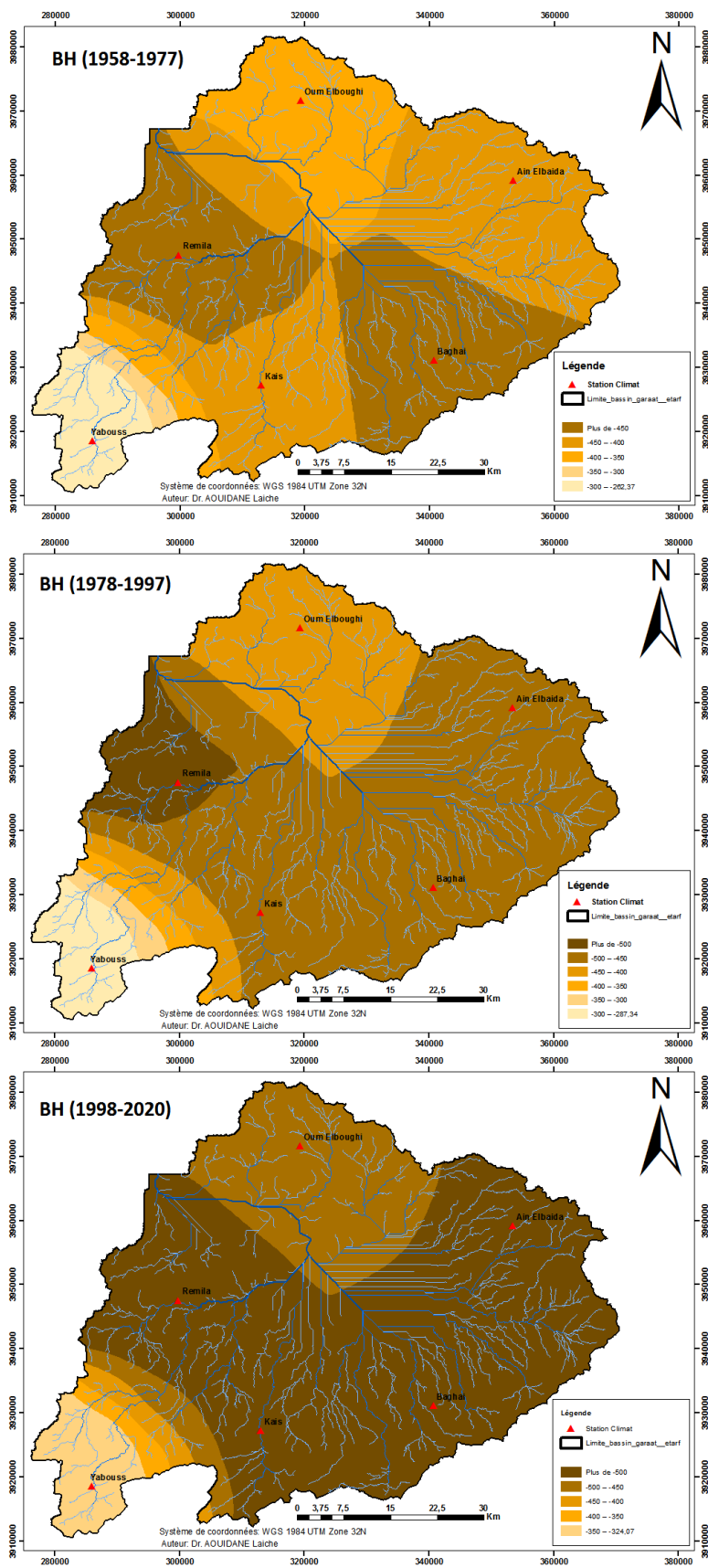


Figure 34. Répartition spatiale de bilan hydrique calculé du sous bassin versant de Garaat Et Tarf calculé pour les vicennales (1958-1977, 1978-1997, et 1998-2020).

## **Conclusion**

Selon le GIEC le changement climatique est défini comme étant une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longue période (généralement pendant des décennies ou plus). Ces changements peuvent être dus à processus interne naturels ou des forçages externes, ou encore à des causes anthropiques. Par contre La CCNUCC, définit les changements climatiques comme étant des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine. Les indicateurs du changement climatique dans la région de Garaet Et Tarf et dans les six stations d'Oum El Bouaghi, Ain Elbaida, Baghai, Yabus, Ramila et Kais pendant 63 ans, peuvent être résumés en étudiant les changements de température et de précipitations, en plus au calcul de la vitesse du vent, ce qui nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

- La région de Garaet El Tarf est caractérisée par des étés chauds, surtout en juillet, 36°C, et des hivers très froids, où la température en janvier atteint -1°C à la station Yabus.
- La température varie d'une année à une autre avec un maximum entre 34°C et 36 °C un minimum de 24°C et 26°C.
- La variabilité des précipitations pendant 63 ans indique la région est classée comme région caractérisée moyennement arrosée avec une précipitation de mois de -450 à 250 mm/an.
- Le type de climat dans le sous bassin de Garaet Et Tarf en général climat semi-aride
- Vitesse moyenne du vent entre 3,4 et 3,6 mps

## **Conclusion Générale**

Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes. L'Algérie appartient à la mer Méditerranée, du fait de sa situation géographique entre les régions arides (Sahara, entre autres) et humides (Europe du Nord), l'Algérie est vulnérable aux changements climatiques (Mariotti, 2015). Ce changement affecte la quantité et la répartition aléatoire des pluies, et qui provoquent des inondations ces derniers apportent avec elles des agents pathogènes, ou à cause des polluants à forte concentration pendant les périodes sèches, ce qui fait un déséquilibre qualitatif de l'eau et à la suite probablement une distinction de l'écosystème, en outre, les vents sahariens augmentent donc elles peuvent être conduisant à la sécheresse de la zone concernée. Les bassins versants endoréiques des zones arides et semi-arides de la région interne de l'Algérie dont le sous bassin de Garaat Et Tarf objet d'étude, sont très sensibles à des faibles variations des caractéristiques climatiques.

Le sous bassin versant de Garaat Et Tarf fait partie de l'ensemble des bassins versants des hauts plains constantinois (plaine de Remila). Il couvre une superficie de 2432 km<sup>2</sup>, situé à l'extrême nord-est algérien entre l'Atlas Talien et l'Atlas Saharien. Les caractéristiques géologiques qui caractérisent la zone étudiée consistent principalement en une succession de formations sédimentaires. Quelle superposition de haut en bas couches dominées par des marnes calcaires, des argiles, des argiles limoneuses, des galets quaternaires, des galets de sable et des galets alluviaux, ce qui représente la plus grande formation de la zone d'étude. Le climat de la région de Garaat Et Tarf est de type semi-aride.

Les reliefs sur les versants Sud et Nord favorisent les précipitations (>450). Les résultats de traitement des données climatiques de la région d'étude montrent, une répartition des précipitations mensuelles en deux saisons bien distinctes. Une saison sèche, qui s'étale sur cinq mois, de mai à septembre pour les six stations. Les températures moyennes mensuelles présentent de très importantes variations saisonnières. L'été est très chaud la température atteint son maximum au mois de juillet avec températures supérieures à 35°C. La période hivernale est relativement froide, avec des températures inférieures à 10°C et des fois moins de zéro, surtout au mois de janvier, qui est le mois le plus froid. La vitesse maximale et moyenne du vent et la vitesse initiale varient et augmentent d'une région à l'autre dans le bassin de Garaat Et Tarf, ce qui augmente la possibilité d'évaporation et augmente ainsi la gravité de la sécheresse dans la zone d'étude. Les cartes de distribution spatiale des valeurs de précipitations ont montré que les zones sont plus humides (+425 mm) à la partie nord et sud-ouest de la zone d'étude, par contre

la partie centrale et orientale de la zone est moins arrosée (-400 mm), en effet l'évolution chronologique des valeurs confirme que, la zone tend vers un climat sec, et cela marqué par une diminution des précipitations. Même chose confirmé, par la répartition spatiale de l'indice de l'aridité de Martonne de la zone d'étude, qu'au cours de la période étudiée (63 ans), il nous a permis de classer le climat selon les valeurs comme climat semi-aride, et l'évolution chronologiques la région tend vers la dominance et l'augmentation de l'aridité. En outre, les calculs des bilans hydriques dans les six stations de la région dévoilent l'existence de deux périodes ; Une période déficitaire de mois de avril au mois d'octobre, et une période de recharge de mois de novembre au mois de mars. En effet, l'observation de l'évolution spatiotemporelle des bilans hydriques dans la région d'étude, nous confirme que la région d'étude témoigne d'un changement se produira progressivement avec la régression de la période d'alimentation par apport à la période déficitaire.

Ainsi, par la compatibilité entre l'évolution des milieux étudiés et l'indication de la probabilité que la zone étudiée et à chaque station à chaque époque, qu'elle soit réelle ou attendue, soient exposés au changement climatique, et à partir de l'analyse des les résultats (courbes et balises) qui mettent l'augmentation significative de la température à un rythme, et la diminution de la quantité de précipitations au niveau de chacune des stations étudiées dans la région, la direction de la sécheresse et de l'aridité, il est fort probable que la zone sera exposée à un changement. Le climat qui a causé l'assèchement de la majeure partie du bassin hydrographique par rapport à ce qu'elle était avant, il est donc devenu nécessaire de trouver des solutions pour préserver ce précieux patrimoine, et la solution la plus proche est peut-être d'adopter la recharge artificielle si c'est possible avec la création des barrage et/ou des retenues collinaires.

## **Références Bibliographiques**

Alliouche Y., 2016. Impact du changement climatique sur la fluctuation piézométrique de la nappe de la Mitidja. Mémoire Master. Université Arbaoui Abdellahquelle wilaya. 30-31 Pp.

Abatzoglou, J.T., Dobrowski, S.Z. Parks, S.A. Hegewisch, K.C., 2018. Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2020, Scientific Data. <http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>

Baghdadli I., 2014. L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch. Mémoire Master. Université Abou BekrBelkaidTlemcen.74 p.

Belai A., 2015. Les risques climatiques et leurs impacts sur l'environnement. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. Faculté de Chimie .Département de Chimie Organique Industrielle. Thèse doctorat.

Bourahla H., 2015. Impact du changement climatique sur le régime hydrologique du bassin versant de l'Oued Ksob. Université Mohammed Boudiaf. Msila mémoire Master pages 33 .35.36.37

Benzat I., 2013. Etude hydrochimique des eaux souterraines d'un bassin versant en zone semi-aride cas du bassin Garaet El Tarf pp. 3-13.

Christian G., 2002. La totalité, Volume 5. Editions Champ Vallon, - 954 pages.

C.C.S.P., 2008. Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A report by the U.S. Climate Change Science. Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 873 p.

Daif M., 2017. Etude des quelques variables climatiques du sous bassin de SebaouW.Tizi-Ouzou .Université Tizi-Ouzou.

D.S.A., 2011. Service de statistique ; Direction des services agricole de la wilaya de Khenchela février 2011.

Dali N., 2009. Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de Gareat el tarf (w.khenchela)

EL Mahi A., Bouregba N., Meddi M., 2011. Contribution à l'étude du changement climatique du bassin versant de l'oued El Hammam (Nord-Ouest d'Algérie). Conférence international. "Changement climatique, agriculture, alimentation, pêche et écosystèmes : Réinventer la recherche, l'innovation et la politique pour une croissance écologiquement et socialement équilibrée" ICCAFFE2011, May 19-21, Agadir. 17p.

Farah A., 2014. Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien. Université Constantine 1, faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Mémoire Magister

Jean François, Arnaud, 2008. Définition EFFET DE SERRE publiée le 05/01/2008 (mise à jour le 25/02/2021), <https://www.aquaportail.com/definition-2411-effet-de-serre.html>.

Hubert P., Servat E., Paturel J.E., Kouame B., Bendjoudi H., Carbonnel J.P, Lubes-niel H., 1998. La procédure de segmentation, dix ans après. Proceedings of the Abidjan'98 conference

on the Water Resources variability in Africa during the XXth Century. IAHS Publ. n° 252, 267-273.

Ibrahim-Bathis K., Ahmed S., 2016. Geospatial technology for delineating groundwater potential zones in Doddahalla watershed of Chitradurga district, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19(2), 223–234 p.

Ionac N., Grigore E., Constantin D.M., 2015. Evaluation des phénomènes de dessèchement et de sécheresse dans la zone continentale du plateau de la Dobroudja du sud. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015. 269-274.

I.P.C.C., 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof PJ, van der Linden PJ, Hanson CE, eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 976 p.

Guiraud R., 1973. Evolution post-Triasique de l'Avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse Sci. Univ. Nice, 270 p,

Khaldi A., 2005. Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". Mémoire de doctorat 230 pages. Université d'Oran. Faculté des sciences de la terre, de Géographie et l'aménagement du territoire.

Kouassi A.M., Kouamé K.F., Koffi Y.B., Dje K.B., Paturel J.E., Oulare S., 2010. Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. *Cybergeo : European Journal of Geography*. DOI :<https://doi.org/10.4000/cybergeo.23388>

Ketrouci K., 2002. La sécheresse dans le nord-ouest Algérien et son incidence sur la production du blé dur, mémoire de magister, C.U. Mascara.

Lakhzoume N., Sahraoui Z., 2020. Délimitation des zones potentielles d'eaux souterraines par l'utilisation de télédétection, SIG et processus multicritères d'aide à la décision AHP cas du bassin versant Gareat El Tarf. Université Abbés Laghrour – Khenchela. 78pag.

Laborde J.P. 1993. Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle du 1/500000. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, projet PNUD/ALG/88/021, une carte avec notice explicative, 44 p.

Laassab A., Kaoua M., 2018. Cartographie de la salinité des eaux souterraines de la région Sud Bassin Garaet El Taref (Khenchla). Université Abbés Laghrour Khenchela. 76 p.

McGarry D., 2006. A methodology of visual-soil field assessment tool to support, enhance, and contribute to the LADA program. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.

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

Meddi H. 2001. Quantification des précipitations : application au Nord Ouest algérien – méthodologie Pluvia. Mémoire de Magister, Centre Universitaire de Mascara, 160 p.

Niazi S., 2007. Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc) Vulnérabilité et Adaptation. Université Mohammed V – Agdal . Faculté Des Sciences. Thèse doctorat.

Nouaceur Z., Laignel B., Turki I., 2013. Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? », *Physio-Géo*, Volume 7 | -1, 307-323. doi.org/10.4000/physio-geo.3686.

Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof P.J., Van Der Linden P.J., Hanson C.E., 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge. 200p. University Press. 976 p.

Rhissa A.G.B., 2017. Etude de changement climatique au Nord-Est Algérien. Mémoire Master hydrologique. Université Bourj Badji Mokhtar Annaba. 11-14 p.

Rahmoune N., Chermate M., 2019. Risque de pollution agricole sur les eaux souterraines : cas du bassin versant de Garaet El Tarf. Université Abbes Lghrou-Khenchela. 97 p.

Ramade F., 1984. *Elément d'écologie fondamentale*. Ed. Mc. GRAW-HILL. Paris. 397p.

Scarwell H., Roussel I., 2010. *Le Changement climatique : Quand le climat nous pousse à changer d'ère*. Presses Univ Septentrion, France. 358 pages

Tabeaud M., 2008. *La climatologie générale*. 3<sup>ème</sup> édition. Paris : Armand Colin, 126 p.

Tommy K., 2009. Comparaison des Sécheresses Estivales de 1976 et 2003 en Europe Occidentale à l'aide d'Indices Climatiques.

Takouachte L., Ghouzlene W., 2015. Les effets des boues résiduairees sur la minéralisation de la azote dans un sol agricole de la plante de Remila de la (w) de Khenchela. Université Abbes Laghrour– Khenchela. 76 p.

Talia A. et Meddi M., 2004. La pluvio-variabilité dans le Nord de l'Algérie. Actes du colloque "Terre et Eau" (Annaba, 2004), 477-480.

Christian G., 2002. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 113–121. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x

Derouiche G., 2007. Les risques climatiques et agriculture algérienne. Communication séminaire ; les Risques Agricoles Assurance et Réassurance. 10 Juin 2007 B.N.E.D.E.R Algérie. 12 p.

Tabet S., 2008. Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire magister en écologie végétale. Université Mentouri Constantine. 132 p.

Sitographie

Changement climatique [http://fr.wikipedia.org/wiki/Changement\\_climatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Changement_climatique) le 25/04/2014

## *Références Bibliographiques*

<http://www.pensee-unique.fr/oceans.html> le 22/04/2014

L'eau et le changement climatique  
<http://iipdigital.usembassy.gov/st/french/article/2013/08/20130801279947.html#axzz34FNafmyW> le 14/05/2014.

Notre planète .info  
[http://www.notreplanete.info/actualites/actu\\_2569\\_academie\\_sciences\\_rechauffement\\_climatique.php](http://www.notreplanete.info/actualites/actu_2569_academie_sciences_rechauffement_climatique.php) le 21/04/2014.

Rapport, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Le Changement climatique et l'eau), [climate-change-water-fr.pdf](#), consulté le 14/05/2014.

République Algérienne démocratique et populaire, climat  
[http://www.khaoula.com/algerie\\_climat.htm](http://www.khaoula.com/algerie_climat.htm) le 14/05/2014 à 11h50.