



République Algérienne Démocratique et Populaire
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE CONSTANTINE 1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET ECOLOGIE

N° d'ordre :

Série :

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de :
Magistère en ECOLOGIE et ENVIRONNEMENT
Option : **Pathologie des écosystèmes forestiers**

Par : **FARAH ABDELHAFID KARIM**

THEME

Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien

Devant le jury :

Président : Mr. ALATOU Djamel	Professeur	Université Constantine 1
Rapporteur : Mr. BENDERRADJI. M.H	Professeur	Université Constantine 1
Examineur : Mr. RAHMOUNE Chaabane	Professeur	Université Constantine 1
Examineur : Mr. MEBARKI Azzedine	Professeur	Université Constantine 1

Année : 2013-2014

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à Mr M.H. BENDERRADJI, Professeur au Département de Biologie et Ecologie et à le remercier pour avoir accepté d'encadrer et diriger cette étude, je lui suis reconnaissant pour sa patience à mon égard et ses conseils qui sans lesquelles la réalisation de ce travail n'aurait jamais pu aboutir.

Mes remerciements les plus vifs à Mr D. ALATOU, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, pour m'avoir fait profiter de son expérience et pour m'avoir prodigué des conseils sans lesquels je n'aurais pu éviter des égarements qui auraient nui au cheminement de cette étude ; pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail. Soyez assuré, Monsieur, de toute mon estime et de mon profond respect.

J'adresse toute ma gratitude à Mr C. RAHMOUNE, Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, pour ses conseils et la patience dont il a fait preuve envers nous lors de la post-graduation, je tiens aussi à le remercier d'avoir accepté de participer à mon jury.

Je remercie également, Monsieur A. MEBARKI, Professeur à l'Institut des Sciences de la Terre pour avoir accepté de participer à mon jury. Veuillez trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères ainsi que la marque de mon profond respect.

Je tiens tout spécialement à remercier Madame M. KANOUNI, de son soutien lors des moments difficiles et sans lequel ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Un grand merci à Mr K. BAZRI, pour ses conseils, son soutien et son aide inestimable qui m'ont accompagné le long de ma graduation et post-graduation.

Un grand merci aussi à Mr A. HADEF qui m'a été d'un grand secours lors de cette étude, je le remercie pour m'avoir accordé de son temps et pour son aide inestimable lors de l'élaboration de cette étude.

Enfin, je voudrais adresser toute ma tendresse à mes parents dont l'amour inconditionnel m'a permis de remonter la pente lors des moments difficiles.

Table des matières

Introduction

Chapitre I : Présentation de la région d'étude

I-1- Localisation géographique.....	3
I-2- Aperçu topographique.....	4
I-2-1- Les plaines littorales	4
I-2-2- L'Atlas tellien.....	4
I-2-3- Les bassins intérieurs.....	5
I-2-4- Les hautes plaines.....	5
I-2-5- L'Atlas Saharien.....	5
I-3- Aperçu géologique.....	6
I-4- Les sols.....	7
I-5- Aperçu climatique.....	8
I-5-1- Les précipitations.....	9
I-5-2- Les zones bioclimatique de l'Est Algérien.....	11
I-6- La végétation forestière.....	12
I-7- Le réseau hydrologique.....	15

Chapitre II : Notions sur le changement climatique

II-1- Historique.....	16
II-2- Notion de climat.....	17
II-3- Notions associées au changement climatique.....	17
II-3-1- Changement climatique.....	17
II-3-2- Variabilité climatique.....	18
II-4- Les changements climatiques observés.....	18
II-5- Evolution future du climat.....	20
II-6- Les causes de l'évolution climatique.....	21
II-6-1- Le rayonnement solaire.....	21
II-6-2- Les aérosols.....	22
II-6-3- L'effet de serre.....	22
II-6-3-1- définition.....	22

II-6-3-2- Les gaz à effet de serre.....	24
II-7- Projection et prévision climatiques.....	25
II-7-1- Modèles de climat global (MCG).....	25
II-7-2- Le scénario	26
II-8- le changement climatique en Algérie.....	29
II-8-1- Les GES en Algérie.....	30
II-7-3- Projections climatiques sur l'Algérie.....	33

Chapitre III : Traitement des données

III-1- Le réseau météorologique.....	36
III-2- Acquisition des données.....	37
III-3- Organisation des données.....	38
III-3-1- Traitement des données thermiques.....	40
III-3-1-1- Estimation des températures moyennes (\bar{T}_M , \bar{T}_X , \bar{T}_N).....	40
III-3-1-2- Correction des températures.....	40
III-3-2- Traitement des données pluviométriques.....	43
III-3-2-1- Estimation des données manquantes et correction des précipitations.....	43
III-3-2-2- La méthode des rapports.....	44
III-3-2-3- Contrôle de totaux annuels des précipitations.....	45
II-3-3- Traitement primaire des données.....	46
III-3-4- Contrôle des données.....	47
III-3-4-1- Les erreurs aléatoires (accidentelles)	47
III-3-4-2- les erreurs systématiques	48
III-3-5- Recherche des erreurs et corrections des mesures.....	48
III-4- Méthodes statistiques.....	49
III-4-1- Test d'homogénéité de Pettitt.....	50
III-4-2- Test de Mann-Kendall.....	51

Chapitre IV : Régime des températures

IV-1- Les températures.....	53
IV-1-1- Les températures moyennes mensuelles.....	53
IV-1-2- Les températures maximales moyennes.....	54
IV-1-3- Les températures minimales moyennes.....	55

IV-2- Les températures moyennes annuelles.....	56
IV-3- Températures minimales et maximales annuelles (1961–2010).....	58
IV-4- Comparaison entre trois séries d’observation des températures : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010).....	62
IV-5- L’amplitude thermique annuelle.....	63
IV-6- Les gradients thermiques.....	64
IV-7- Le régime thermique.....	67
IV-8- Variabilité interannuelle des températures moyennes de l’Est algérien.....	69
IV-8-1- Une tendance à la baisse (Période 1961-1976).....	70
IV-8-2- La tendance à la hausse (Période 1977-2010).....	71
IV-9- Fluctuations des températures moyennes annuelles de la série (1961-2010) de l’Est algérien par rapport à la normale des températures (1961-1990).....	72
IV-8- L’insolation.....	73

Chapitre V : Régime des précipitations

V-1- Les précipitations.....	75
V-2- La variabilité intra-annuelle du régime pluviométrique.....	75
V-2-1- La variabilité des précipitations mensuelles dans le temps.....	75
V-2-2- La variabilité des précipitations annuelles dans l’espace.....	78
V-2-3- Les régimes saisonniers des précipitations.....	81
V-3- Répartition spatiale des pluies moyennes saisonnières.....	81
V-3-1- L’indicatif saisonnier des stations de l’Est algérien.....	82
V-3-2- Les mois secs et les mois humides.....	83
V-4- La répartition spatiale et temporelle des précipitations.....	84
V-4-1- Le gradient altimétrique des précipitations.....	84
V-4-2- La répartition spatiale et le rôle prépondérant du relief.....	85
V-5- La variabilité interannuelle dans l’Est algérien.....	86
V-5-1- Fluctuations des précipitations moyennes annuelles de la série (1961-2010) de l’Est algérien par rapport à la normale des précipitations (1961-1990).....	86
V-5-2- Comparaison entre trois séries d’observation des précipitations (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010).....	87
VI- L’humidité relative	89

Chapitre VI : Synthèse climatique

VI-1- Le quotient pluviothermique d'Emberger.....	92
VI-1-1- Climagramme d'Emberger.....	94
VI-1-2- ACP des précipitations et des températures.....	96
VI-2- Indice ombrothermique de Gaussen.....	98
VI-3- indice d'aridité de De Martonne.....	100
VI-4- Indice pluviométrique annuel de Moral.....	102
VI-5 - Indice pluviométrique d'Angot.....	103

Chapitre VII : Projections climatiques

VII-1- Projections climatiques à l'horizon 2050.....	105
VII-1-1- Projections des températures sur l'Est algérien à l'horizon 2050.....	106
VII-1-2- Projections des précipitations sur l'Est algérien à l'horizon 2050.....	107

Conclusion.....	108
-----------------	-----

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la région d'étude.	3
Figure 2 : Le relief de l'Est algérien.....	6
Figure 3 : Carte géologique simplifiée du domaine de l'Est algérien (modifiée)	7
Figure 4: Carte des sols dominants de la région d' étude	8
Figure 5 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien.....	10
Figure 6 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien.....	12
Figure 7 : Couverture végétale de l'Est algérien (d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1 000 000.....	14
Figure 8 : Comparaison entre les variations de températures en Afrique et la tendance de réchauffement mondial.....	19
Figure 9 : Irradiance Solaire.....	22
Figure 10 : Processus de l'effet de serre	23
Figure 11 : Scénarios d'émissions utilisées pour les projections climatiques.....	27
Figure 12 : projections des émissions des gaz à effet de serre et de la température de la Terre jusqu'en 2100.....	28
Figure 13: Emissions de CO ₂ en Algérie.....	31
Figure 14: Émissions africaines: les principales sources africaines de gaz à effet de serre; le taux d'émissions par personne; comparaison avec les émissions d'autres pays	33
Figure 15: Projections du climat aux horizons 2020 et 2050 (modèle UKHI) (Mate, 2003).....	36
Figure 16 : Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude.....	37
Figure 17 : Le contrôle des totaux annuels des précipitations par la méthode des doubles cumuls.....	46
Figure 18: Contrôle et correction des valeurs aberrantes (cas de la station de Tebessa).....	49
Figure 19 : Test de d'homogénéité de Pettitt (station d'Annaba, période : 1961-2010).....	51
Figure 20 : Test de tendance de Mann-Kendall (station d'Annaba, période : 1961-2010).....	52
Figure 21 : La variation mensuelle des températures moyennes. Période (1961-2010).....	54
Figure 22: La variation mensuelle des températures moyennes maximales. Période (1961-2010).	55

Figure 23: La variation mensuelle des températures moyennes minimales. Période (1961-2010).	56
Figure 24 : La variation interannuelle des températures moyennes. Période (1961-2010).....	58
Figure 25 : Evolution des températures minimales et maximales annuelles (1961 – 2010).....	61
Figure 26 : Comparaison des moyennes mensuelles de la température entre trois périodes : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010)	63
Figure 27 : Nuage de points et droite de régression de Tmax en fonction de l'altitude au mois de Janvier	65
Figure 28 : La variation mensuelle des gradients thermiques. Période (1961-2010).....	66
Figure 29 : Diagramme de l'expression synthétique de la continentalité.....	69
Figure 30 : Moyenne des températures moyennes annuelles dans l'Est algérien. Période 1961-2010.....	Annexes
Figure 30.1 : Moyenne des températures moyennes annuelles (graphe après lissage avec des moyennes mobiles de 3 ans). Période 1961-2010.....	69
Figure 30.2 : Tendence à la baisse des températures moyennes annuelles dans l'Est algérien, période (1961-1976).....	71
Figure 30.3 : Tendence à la hausse des températures moyennes annuelles dans l'Est algérien, période (1977-2010).....	72
Figure 31: Différences à la normale des températures (1961-1990) (16,48 °C) de la série d'observations (1961-2010) dans l'Est algérien	73
Figure 32 : Variation moyenne mensuelle de la durée d'insolation dans l'Est algérien.....	74
Figure 33 : La variabilité des précipitations mensuelles dans l'Est algérien. Période (1961-2010).....	76
Figure 34 : Le coefficient de variation (CV) et la moyenne mensuelle des précipitations en % (m %). Période (1961-2010).....	78
Figure 35 : Moyenne des Précipitations dans l'Est algérien. Période (1961-2010).....	80
Figure 36 : Moyenne des Précipitations dans l'Est algérien. Période (1961-2010).....	82
Figure 37 : Variabilité des précipitations annuelles dans l'Est algérien. Période (1961-2010)...	86
Figure 38 : différences à la normale des précipitations (1961-1990) (546,52 mm) de la série dans l'Est algérien (1961-2010).....	87
Figure 39 : Comparaison des moyennes mensuelles des précipitations entre trois périodes (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010).....	89
Figure 40 : La variation mensuelle de l'humidité relative moyenne mensuelle (en %).....	91
Figure 41 : Climagramme du quotient pluviothermique d'Emberger (Q ₂). Période (1961-2010).....	Annexes

Figure 42 : Comparaison du Q_2 entre trois périodes. Période de Seltzer (1913-1938), Période (1961-1985) et (1986-2010).....	Annexes
Figure 43 : Eboulis des valeurs propres des 36 composantes (précipitation et températures (moyennes maximales et minimales)).....	96
Figure 44 : La projection des individus (14 stations) sur le plan factoriel (1x2). Variables : les Températures et les Précipitations.....	98
Figure 45 : Indice Ombrothermique de Gaussen. Période (1961-2010).....	Annexes
Figure 46 : Evolution du climat selon l'indice de De Martonne pour la période (1961-2010)...	Annexes
Figure 47 : Evolution du climat selon l'indice annuel de Moral. Période (1961-2010).....	Annexes
Figure 48 : Evolution du climat selon l'indice d'Angot. Période (1961-2010).....	Annexes

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les principaux gaz à effet de serre.....	24-25
Tableau 2.1 : Liste et origine de quelques modèles de climat global (MCG).....	26
Tableau 3: Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994) (Gg).....	30
Tableau 3.1 : Emissions par type de gaz et par habitant.....	32
Tableau 3.2 : Emissions par type de gaz (en 1000 TE-CO2).....	32
Tableau 4 : Présentation des stations d'étude (O.N.M).....	36
Tableau 4.1 : sources des périodes d'enregistrements des données climatiques.....	Annexes
Tableau 5 : localisation et période d'enregistrement des stations météorologiques de l'Est algérien.....	39
Tableau 6 : Le coefficient de corrélation des températures moyennes mensuelles Période (1961-2010).....	41-42
Tableau 7 : La variation moyenne mensuelle de la température. Période (1961-2010)....	Annexes
Tableau 8: La variation moyenne maximale mensuelle de la température. Période (1961-2010).....	Annexes
Tableau 9 : La variation moyenne minimale mensuelle de la température. Période (1961-2010).....	Annexes
Tableau 10: Les températures moyennes annuelles. Période (1961-2010).....	Annexes
Tableau 11 : Comparaison des températures moyennes mensuelles (°C) de trois périodes : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010).....	Annexes
Tableau 12 : L'amplitude thermique annuelle (en °C). Période (1961 - 2010).....	Annexes
Tableau 13 : relations altitudes-températures par la méthode de la régression linéaire pour les 7 stations de l'intérieurs, dans l'Est algérien. Période (1961-2010).....	Annexes
Tableau 13.1 : Les gradients mensuels des minima, des maxima et des moyennes mensuelles des 7 stations de l'intérieur.....	Annexes
Tableau 13.2 : Les gradients des températures minimales (m') et maximales (M') calculés en Algérie.....	67

Tableau 14 : L'indice de continentalité : thermique (K) et pluviale (P2/P1).....	
Annexes	
Tableau 15 : Moyennes annuelles de la durée d'insolation dans le Nord Est algérien.....	74
Tableau 16 : La variabilité des précipitations mensuelles dans l'Est Algérien. Période (1961-2010).....	
Annexes	
Tableau 17 : Le régime saisonnier des précipitations. Période (1961 – 2010).....	
Annexes	
Tableau 18 : Le coefficient pluviométrique relatif. Période (1961-2010).....	Annexes
Tableau 19 : Les précipitations moyennes annuelles. Période (1961-2010).....	Annexes
Tableau 20 : Comparaison des précipitations moyennes mensuelles (mm) de trois périodes : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010).....	Annexes
Tableau 21 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative (%) dans quelques stations de la région d'étude.....	90
Tableau 22 : Classification des climats selon l'indice de De Martonne.....	100
Tableau 23 : Projections climatiques saisonnières des températures moyennes sur l'Est algérien à l'horizon 2050 pour trois modèles climatiques globaux.....	Annexes
Tableau 24 : Projections climatiques saisonnières des pluies sur l'Est algérien à l'horizon 2050 pour trois modèles climatiques globaux.....	Annexes

Introduction

Le changement climatique est un phénomène qui a fait et fait encore largement parler de lui compte tenu des fluctuations qui touchent le climat terrestre, et leur conséquence sur le mode de vie de l'humanité que ça soit au niveau sanitaire, social, agricole...etc. Ce phénomène tient son importance du fait qu'il touche des secteurs sensibles dont les conséquences peuvent déboucher sur une catastrophe à l'échelle planétaire qui ramène ainsi la question du devenir du genre humain.

Les études sur le changement climatique montre qu'au Maghreb le réchauffement climatique est plus important que la moyenne, si au niveau mondial on a évalué la hausse de 0,74°C au 20^{ème} siècle, elle a été située entre 1,5 °C et 2 °C selon les régions au Maghreb, on a pu aussi évaluer une baisse des précipitations qui a été située entre 10 et 20% (Mahi Tabet-Aoul, 2008). Vu ces pronostics, il paraît primordial et intéressant, de faire une recherche quant au devenir de la région du Maghreb et établir des scénarios plausibles, pouvant aider cette région du monde à mieux se préparer pour parer à ce phénomène planétaire.

Un différend subsiste entre le CCNUCC (Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques) et le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) sur la définition à donner au changement climatique et à la variabilité climatique ; ainsi selon le GIEC, le réchauffement climatique se définit comme suit : « le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat [...] qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine. » (GIEC, 2007) ; A contrario de la première définition citée, la Convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le terme « changement climatique » désigne uniquement les changements dus aux activités humaines, quant au terme « variabilité climatique » il est utilisé pour désigner les changements climatiques d'origine naturelle (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008).

En ce qui concerne notre recherche, nous prenons en compte la définition du CCNUCC qui nous semble, certes d'un point de vue subjectif la mieux adaptée à ce que sera notre travail d'analyse et ceci pour mieux déceler si les changements climatiques ou les variations climatiques qui sévissent à l'Est algérien sont soit la conséquence directe ou

indirecte des activités anthropiques, soit la conséquence d'une évolution naturelle, ou bien le résultat d'une combinaison entre ces deux dernières.

Dans le cadre de la recherche sur les changements climatiques, les problèmes récurrents sur lesquels les chercheurs butent sont soit l'absence totale de données sur une région d'étude, soit la discontinuité des séries de données météorologiques quotidiennes, mensuelles ou annuelles. On peut aussi énumérer le manque de stations météorologiques comme un des problèmes significatifs.

L'objectif de cette recherche est principalement axé sur la collecte des données climatiques, remédier à la discontinuité de ces mêmes données, rechercher des données climatiques (températures, précipitations) tels que des bulletins météorologiques quotidiens ou mensuels 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. Cette recherche est principalement axée sur la période 1961-2010 soit 50 ans.

Les stations météorologiques concernées par cette étude sont celles : d'El Kala, d'Annaba, de Skikda, de Jijel, de Bejaia, de Guelma, de Constantine, de Setif, de Bordj Bou Arreridj, de Souk Ahras, Tebessa, de Batna et de Biskra ; la station météorologique d'Alger à été rajoutée lors des comblements de données.

La méthodologie suivie est la suivante :

- 1- La description de la région d'étude ;
- 2- les notions de base liées au changement climatique et à la variabilité climatique ;
- 3- l'analyse statistique de données climatiques mensuelles et annuelles, permettant ainsi la caractérisation des variations spatio-temporelles des variables climatiques étudiées ;
- 4- comparaison entre trois séries d'observation : la période de Seltzer (1913-1938), une période qui s'étend de 1961-1985 et une autre s'étalant de 1986-2010 ;
- 5- la comparaison entre les régimes thermiques et pluviométriques, ainsi que l'élaboration des diagrammes ombrothermiques de BANGOULS et GAUSSEN, des indices d'aridités de DE MARTONNE et des quotients pluviothermiques d'EMBERGER, pour chacune des périodes de référence.
- 6- Projections climatiques sur l'Est algérien à l'horizon 2050 à l'aide du logiciel MAGICC/SCENGEN 5.3 version 2, impliquant l'utilisation de scénarios d'émission de gaz à effet de serre.

I-1- Localisation géographique

Notre présente étude concerne la région localisée au niveau de l'est algérien, la région s'étend de Béjaïa à l'ouest jusqu'à la frontière algéro-tunisienne à l'Est et de la mer méditerranéenne au nord jusqu'à Biskra au sud, le territoire se situe entre les parallèles : $36^{\circ} 54'$ et $34^{\circ} 48'$ de latitude Nord et entre $8^{\circ} 27'$ et $5^{\circ} 4'$ de longitude Est (figure 1).

D'un point de vue climatique, la région correspond à la zone de déplacement saisonnier des positions hautes pressions subtropicales, qui connaît un balancement régulier entre le $30^{\text{ème}}$ et le $40^{\text{ème}}$ parallèle, vers le Sud en hiver et vers le Nord en été.

Le front polaire saisonnier connaît un mouvement entre le $35^{\text{ème}}$ et le $65^{\text{ème}}$ parallèle, ce dernier régit le climat de la région de l'Est algérien pendant la saison la plus froide de l'année.

L'Algérie du nord par sa position subit un balancement contrasté entre la circulation d'un air saharien sévissant l'été et une circulation polaire sévissant en hiver ; expliquant ainsi un climat aride en été et tempéré humide en hiver.

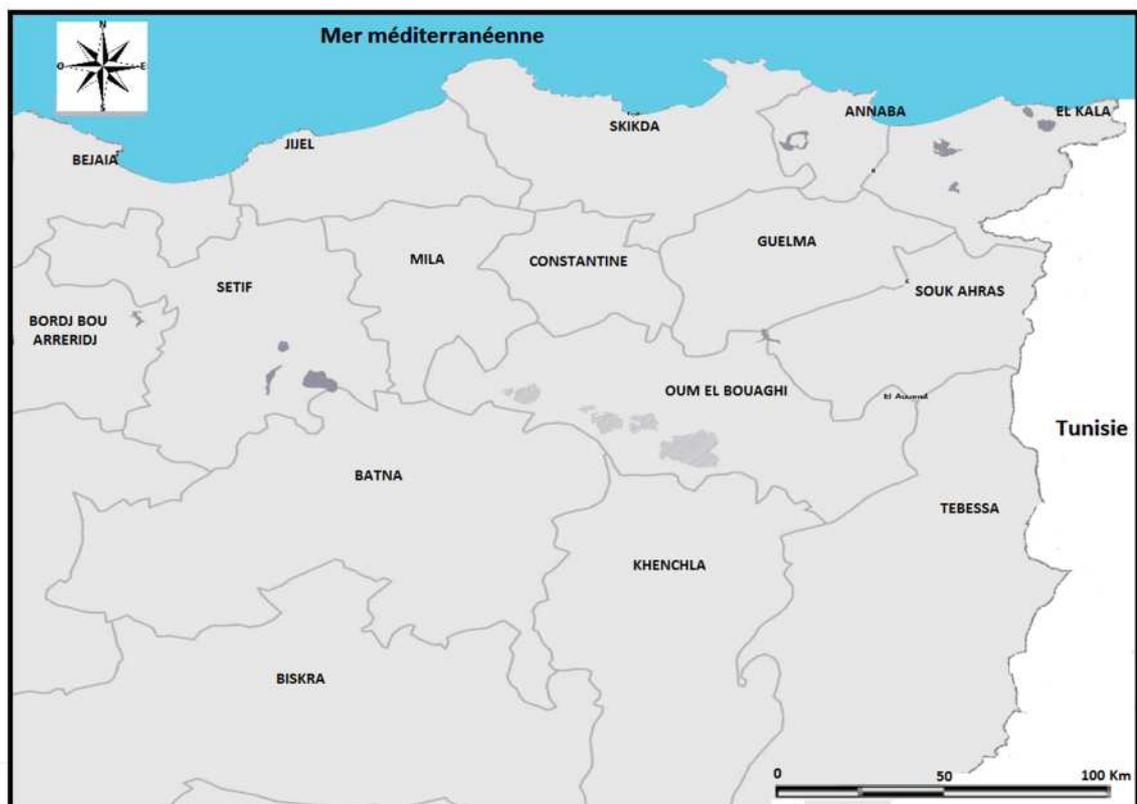


Figure 1 : Localisation de la région d'étude.

I-2- Aperçu topographique

Sur le plan du relief (figure 2), la région d'étude est composée principalement de cinq grandes unités physiques disposées du nord au sud comme tel :

I-2-1- Les plaines littorales

Elles se présentent sous forme épars le long de la mer méditerranéenne, entrecoupées par quelques monts, leurs présence à l'Ouest est plus discrète car peu nombreuses et peu étendus, elles correspondent aux basses vallées des oueds et sont principalement représentées par les plaines de Collo (Oued Guebli), de Skikda (Oued Safsaf) et de Jijel (Oued Djendjen).

Par contre, elles ont une présence plus marquée dans la partie Est, où on peut distinguer une large plaine sous forme de croissant qui s'étale sur environ 100 Km autour de Djebel Edough, et qui prend origine depuis la forêt de Guerbes jusqu'à la région de Bouteldja.

Leur situation leur confère une exposition favorable aux vents souvent humide du nord et nord-ouest.

Les vraies plaines sont toujours littorales et correspondent aux débouchés des oueds (MARRE, 1987).

I-2-2- L'Atlas tellien

Cette chaîne dédoublée (Tell interne et tell externe) et légèrement parallèle est orientée N-E-S-O.

C'est un ensemble constitué par une succession de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux s'étendant sous forme de bourrelet de Béjaia à l'Ouest jusqu'à la frontière tunisienne à l'Est, les chaînes telliennes littorales sont principalement constituées par les massifs de Collo, Skikda et l'Edough.

Plus au Sud on retrouve les chaînes telliennes externes constituées quant à elle par le massif de petite kabylie (la chaîne des Babors), qui s'étend depuis l'Ouest à la vallée de la

Soummam jusqu'à Djendjen et le massif d'El Ouana à l'Est. Les altitudes restent modestes, avec un point culminant à Djebel Babor (2004 m).

I-2-3- Les bassins intérieurs

Sont situés entre les monts de l'Atlas Tellien, ils sont principalement représentés par Guelma, Mila et Soummam.

La région de Mila se caractérise par un relief irrégulier, complexe et profondément parcellisé par un réseau hydrographique dense. Leur altitude moyenne est de 400 m.

La région de Guelma située plus à l'Est, est caractérisée quand à elle par un relief généralement montagneux, dont les plus importants sont Djebel Maouana (1411 m) et Djebel Houara (1292 m).

I-2-4- Les hautes plaines

Elles se présentent comme une large plateforme compartimentée et s'étendant d'ouest en Est entre les deux alignements, du tell au nord et les monts de Hodna, des Aurès et Nemecha au Sud avec des altitudes plus ou moins importantes entre 800 et 1200 m. Elles sont parsemées de dépressions salées, de chotts et de sebkhas surtout celle de Ain M'lila.

Elles sont topographiquement perchées par rapport aux plaines littorales ou sahariennes (Mébariki A, 2005).

I-2-5- L'Atlas Saharien

Il est principalement constitué de massifs volumineux, relativement ouverts, dont les principaux sommets atteignent plus de 2000 m : Djebel Chelia (2328 m), Djebel Mahmel (2321 m) et Bélazma (2094 m). Ils se caractérisent par des alignements Sud-Ouest - Nord-Est s'étendant sur une soixantaine de Km.

Le Sud de la région d'étude comprend la partie nord du chott Melrhir (-34 m). Ce dernier constitue un réceptacle pour les Oueds du flanc méridional des Aurès et des Némemchas,

avec un sens d'écoulement Nord-Sud; c'est au niveau de cette grande dépression lacustre que se déverse l'oued Dejedi, d'une largeur de 500 m environ (MATE, 2003).

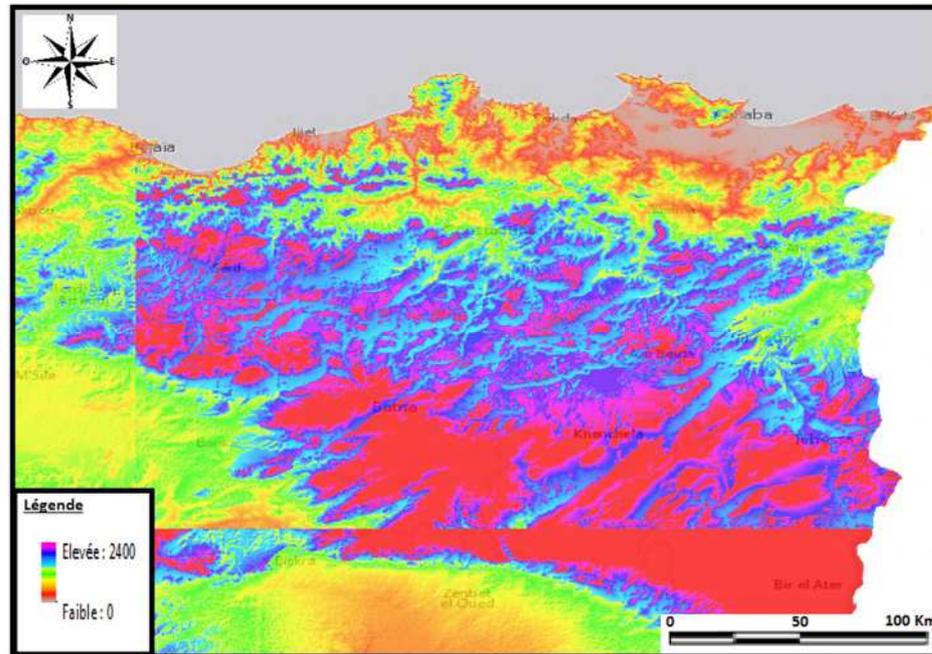


Figure 2 : Le relief de l'Est algérien (LANDSAT).

I-3- Aperçu géologique

L'Algérie orientale est constituée de reliefs jeunes, modelés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins (figure 3). Il est délimité au sud, par l'Atlas saharien (chaîne alpine) et au centre, par des plates-formes (môle d'Aïn Regada). Dans la partie septentrionale, l'Atlas tellien (Jurassique à Miocène) est une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur. Des bassins néogènes tardifs, comme le Hodna (qui est un est un bassin d'avant-fosse dont la séquence de remplissage débute par des dépôts continentaux d'âge Eocène et Oligocène et se poursuit par un Miocène marin) qui s'est installé sur ces nappes. Le plateau continental quant à lui est réduit ; les dépôts tertiaires et quaternaires (1000 m à 3500 m) reposant sur un socle métamorphique. Les Aurès se présentent avec un substrat de grès et de calcaire du crétacé (Abdessamed K, 1981).

Les bassins du Chott Melrhir dans le Sud-Est constantinois, structurés au tertiaire, à remplissage crétacé (5000 m), ont engendrés et accumulés des hydrocarbures principalement dans le crétacé (Djbel Onk).

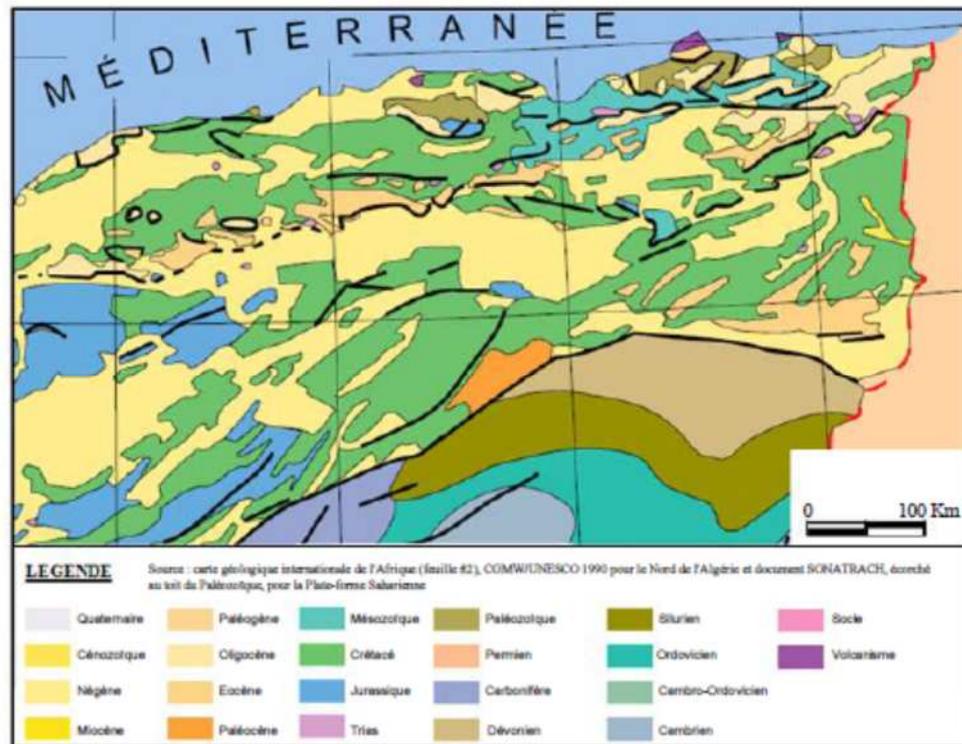


Figure 3 : Carte géologique simplifiée du domaine de l'Est algérien (modifiée)
(http://www.anpm.gov.dz/geologie_alg/index.php?lien=1&pos=2&lang=_fr)

I-4- Les sols

La répartition des sols au niveau de la région d'étude (figure 4) est due essentiellement au climat, la nature des roches mères, du relief, de l'eau, de la végétation et des facteurs biotiques et anthropogènes.

Les sols des régions humides peuvent se définir par leur mode de formation original : entrainement de substances en profondeur sous l'action des eaux d'infiltration. Mais cette migration est conditionnée par la nature de La roche mère, très variable dans le Tell algérien du fait de sa structure plissée d'où une grande variété de sols dont le seul caractère commun est un lessivage plus ou moins poussé, et qui peuvent être classé en deux grands groupes :

a) Le groupe calcaire comporte tous les sols formés à partir de roches calcaires. Deux types de sols : sols calcaires et sols décalcifiés.

b) Groupe non-calcaire, qui comporte les sols formés sur roche mère non calcaire. Deux types principaux ; sols insaturés et sols podzoliques.

Les sols insaturés sont caractérisés par un pH acide, il s'agit typiquement de sols désaturés et lessivés (Duchaufour Ph, 1975).

Les sols podzoliques se forment dans des conditions d'humidité telles que les sels sont dissous et entraînés en profondeur de même que les colloïdes organiques et minéraux (argile, silice colloïdale). D'une façon générale, dans les régions où la pluviosité annuelle est supérieure à 500 mm, les sols podzoliques se forment en Algérie à partir de roches non calcaires produisant des éléments grossiers pauvres en bases; perméabilité et pluviométrie sont alors suffisantes pour permettre la destruction quasi totale du complexe absorbant. Ces sols, très acides, se rencontrent dans les régions Nord de l'Algérie, sur les grès de Numidie, les gneiss et certaines dunes, et supportent normalement de belles forêts d'arbres acidophiles (chênes) avec sous-bois dense de bruyère, de dyss, etc.

Les sols salins (solontchak) profils AC et les sols salins à alcalis (solontchaksolonetz) profil A (B) C. Ces sols sont généralement profonds et localisés dans les chotts et les sebkhas. Ils sont pauvres en matière organique, leur salinité est chlorurée, sulfatée, sodique et magnésienne (Nedjraoui D, 2003).

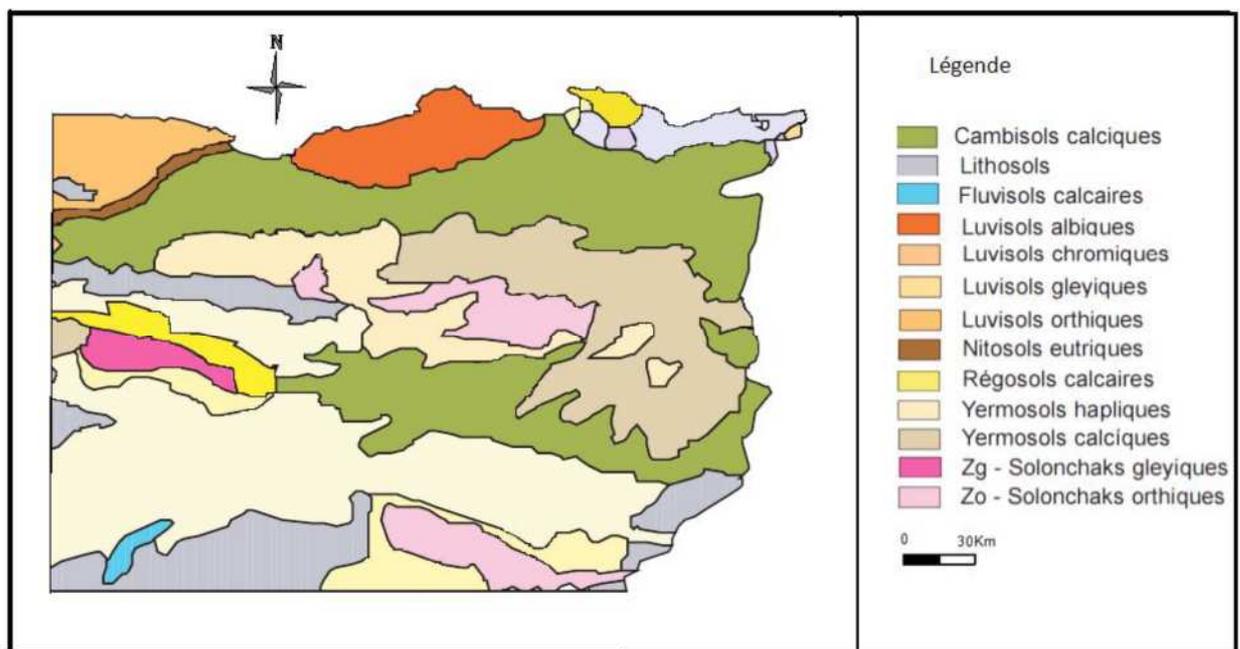


Figure 4: Carte des sols dominants de la région d'étude (FAO, 2005, modifiée)

I-5- Aperçu climatique

L'Algérie présente un climat de type méditerranéen, extra tropical tempéré, caractérisé par une longue période de sécheresse estivale (3 à 4 mois sur le littoral, 5 à 6 mois au niveau des hautes plaines et plus de 6 mois au niveau de l'atlas Saharien), cette caractéristique est due essentiellement à l'influence de trois paramètres conjugués : la mer, le relief et l'altitude.

Le climat Nord algérien comme précité est de type méditerranéen; ce climat peut être observé en Europe occidentale où les phénomènes météorologiques ont leurs sources à l'extérieur (à des milliers de kilomètres), le type de climat est dans ce cas dit « dépendant » et en Californie où le climat résulte de facteurs liés au milieu local. Dans l'Est algérien comme en Californie et à la différence de l'Europe occidentale, le climat est régi par la structure du flux en altitude, mais à l'opposé de la Californie, la structure des courants n'est pas une conséquence intrinsèque à la région en elle-même ; elle est plutôt la conséquence de mécanismes toujours lointains, réalisés soit sur l'Atlantique, soit en abordant la Méditerranée (Pédélaborde P et Delanoy H, 1958).

I-5-1- Les précipitations

Le mécanisme des pluies dans le Nord algérien est principalement régi par les conditions d'abris ; cette notion comprend l'aspect topographique et l'aspect aérologique. Selon Angot (in Pédélaborde P et Delanoy H, 1958), l'effet d'abri topographique expliquerait la sécheresse de l'Oranie causée principalement par l'abri des plateaux ibériques, en régime de Nord-Ouest. Il semble d'ailleurs que ces plateaux jouent un rôle plus important, puisqu'ils privent l'Algérie des courants pluvieux de l'Ouest, la plus grande partie de l'année. Selon Pédélaborde P et Delanoy H (1958), l'effet d'abri topographique ne joue qu'un rôle secondaire, pour ces auteurs le mécanisme de pluie dans le Nord algérien est dû principalement aux conditions d'abri aérologique du flux zonal (caractère cyclonique ou anti cyclonique) au niveau de 500 mb c'est à dire à une altitude variant autour de 1500 m, 3000 m et 5500 m.

La sécheresse pendant de longues périodes s'explique par la situation latitudinale de l'Algérie, qui lui confère une position d'abris par rapport à la circulation polaire; en effet l'Algérie à l'instar de l'Afrique du Nord est située presque toujours à la bordure méridionale du tourbillon circumpolaire, cette région est parcourue sans cesse par les cyclones extra-tropicaux; elle échappe ainsi à la turbulence de la zone polaire de mélange située au Nord du 35^{ème} parallèle où les coulées froides provoquent des cyclogenèses répétées (Pédélaborde P, 1956).

Au niveau de la région d'étude, la carte pluviométrique (figure 5) fait ressortir des zones de fortes précipitations, allant de Jijel à Collo, ainsi que dans les tranches d'altitude les plus élevées comme le massif de l'Edough dans le Nord-Est. La pluie atteint jusqu'à plus de 1800 mm sur le

massif de Collo. Les isohyètes de 600 à 800 mm balaient tout le reste de l'atlas tellien avec des régions plus pluvieuses dans l'extrême Est algérien (El Kala).

Les Hautes Plaines quant à elles sont entourées au Nord par l'isohyète 500 mm. La pluviométrie décroît vers Sud jusqu'à 350 mm, cette baisse est plus nette au niveau des lacs salés caractérisés par des isohyètes allant de 200 mm à 300 mm.

Une croissance des précipitations est remarquée au niveau de l'Atlas saharien avec des valeurs de 400 mm à 600 mm par an; cette dernière est due principalement à l'effet orographique et l'exposition du versant nord (Mébarki A, 2005).

L'isohyète 300 mm marque le début de la décroissance des précipitations qui s'amorce au niveau du piémont Sud de l'Atlas saharien.

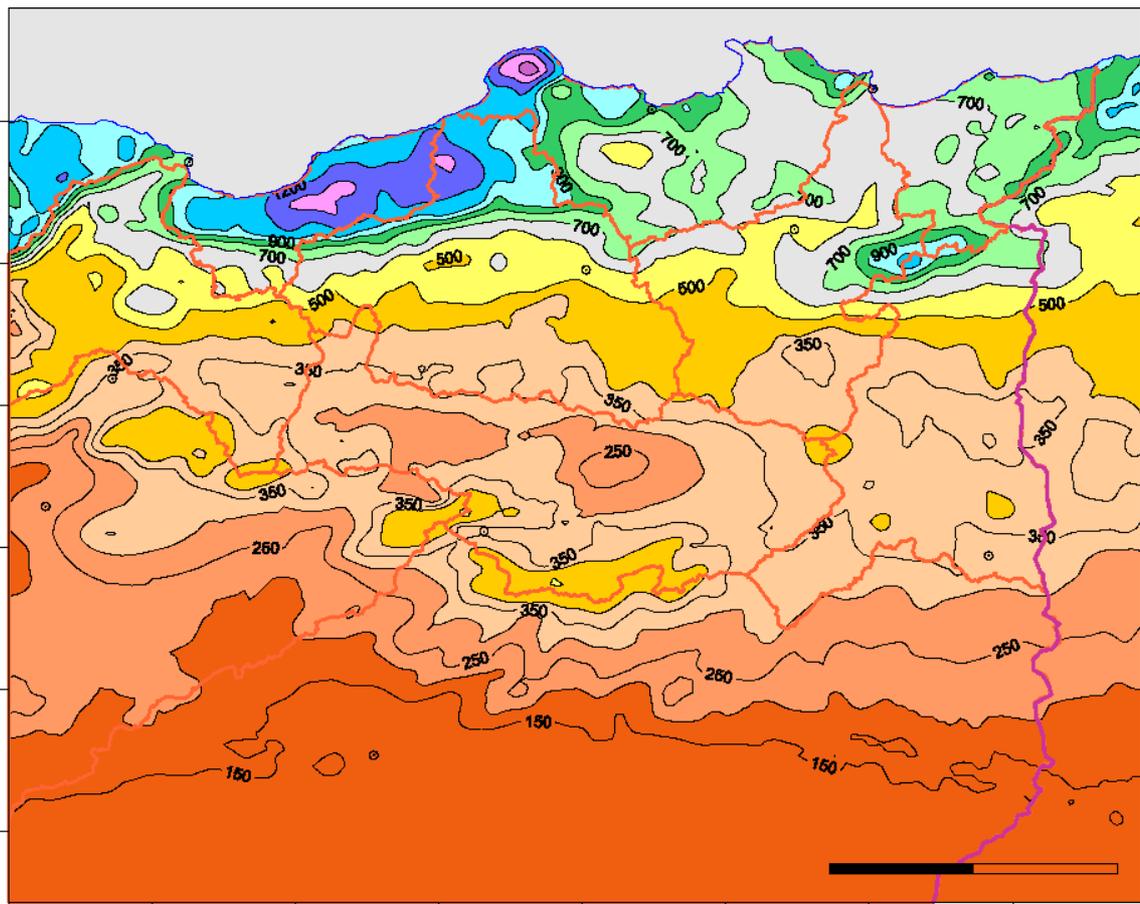


Figure 5 : Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien. (Établie d'après A.N.R.H., 1993 : données moyennes de 60 ans, périodes du 1er septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1er septembre 1968 au 31 août 1989 (in Mébarki A, 2005)).

I-5-2- Les zones bioclimatique de l'Est Algérien

Les domaines bioclimatiques de notre région d'étude sont définis par le calcul du quotient pluviothermique d'Emberger (Q_2) qui combine les précipitations et les températures afin de caractériser le rythme climatique à dominance méditerranéenne régissant le climat de l'Est algérien, ce quotient définit cinq grands types de bioclimats méditerranéens (figure 6) :

- Le domaine humide : ce domaine est caractérisé par une pluviométrie supérieure à 900 mm et une forte humidité de l'air, il est caractéristique de la région littorale et il est particulièrement développé dans toute la région de Jijel, l'Est de Béjaia, le Sud-Est de Skikda et le Nord-Est de Annaba; une poche est localisée à l'intérieur au niveau de la région de Souk Ahras épousant les monts de la Medjerda.
- Le domaine subhumide : il est caractérisé par une pluviométrie supérieure à 600 mm, il est aussi caractéristique de la région littorale où il partage sa dominance avec le domaine humide bien qu'il soit plus développé que ce dernier.
- Le domaine semi-aride : il est caractérisé par une pluviométrie qui fluctue entre 300 mm et 600 mm, il est localisé au niveau des bassins intérieurs du Tell (Mila-Ferdjioua) et est représenté par une poche au niveau de la région de Guelma, il est nettement développé dans les hautes plaines qui le prolongent vers le Sud.
- Le domaine subaride : il est caractérisé par une pluviométrie inférieure à 350 mm, il est représenté par une bande au Sud du piémont de l'Aurès et Nememcha et qui s'élargit au niveau de la région de M'sila; cette bande ne comprend pas le Hodna.
- Le domaine aride : il est caractérisé par une pluviométrie inférieure à 150 mm, il fait place au pied des massifs de l'Atlas.

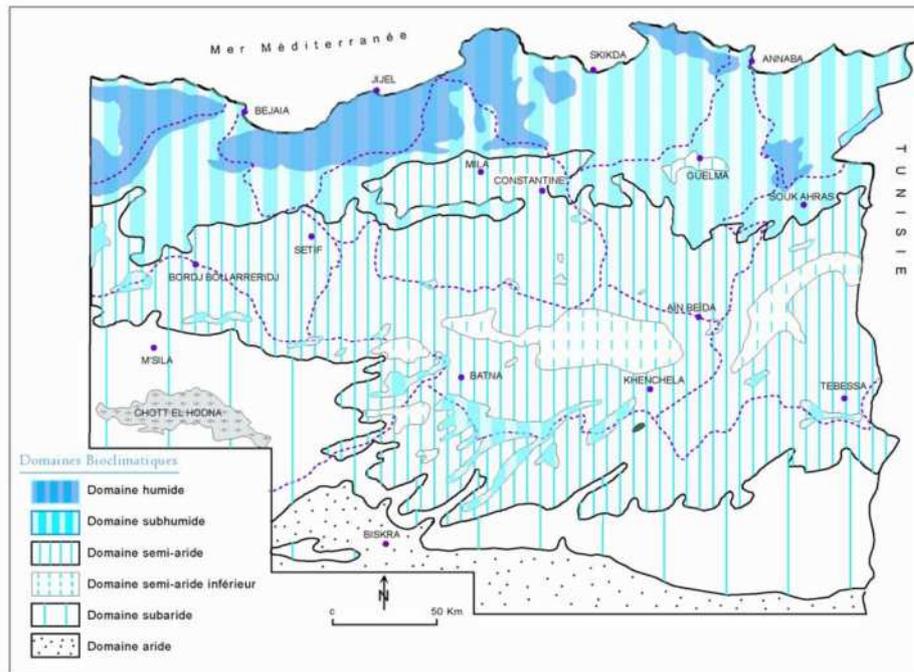


Figure 6 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (établie d'après Côte M., 1998a (in Mébarki A, 2005)).

I-6- La végétation forestière

La forêt algérienne est caractérisée par son irrégularité, cela revient principalement aux différents ensembles topographiques, climatiques et pédologiques qui varient du Nord au Sud et d'Est en Ouest. Le relief, la température et les précipitations régissent la distribution de la végétation dans l'Est algérien.

Selon la figure 7, le chêne liège (*Quercus suber*) est dominant au niveau des régions de l'Est du littoral algérien, sa dominance s'étend de la région de Jijel jusqu'à la région d'Annaba avec des discontinuités principalement due à la culture maraîchère et aux incendies, (39 660 ha de forêts ont été affectés dans la wilaya de Jijel entre 1975 et 1990, soit environ 2 650 ha par an (Tatar H, 1997)). C'est la présence d'un épais sous-bois composé d'un grand nombre d'espèces secondaires qui favorisent l'occurrence des incendies (Fosa, 2002).

Le chêne liège (*Quercus suber*) avec les résineux (*Pinus maritima*), se localisent dans la région de Ouled Attia (Collo), les feuillus (*Quercus fagineae*) dans la région de Ouled Hbaba, et *Quercus cocciferae* dans la région d'El Kala.

Dans la zone tellienne en particulier le tellé maritime, les résineux : pin d'Alep (*Pinus halepensis*), pin maritime (*Pinus maritima*), cèdre (*Cedrus atlantica*) et les feuillus : chêne liège

(*Quercus suber*), chêne zeen (*Quercus faginea*), chêne afarès (*Quercus afares*), chêne kermès (*Quercus coccifera*), chêne vert (*Quercus ilex*), constituent les principales essences forestières.

Le chêne vert (*Quercus ilex*) et le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) se rencontre principalement dans les zone semi arides, l'Atlas saharien est considéré est considéré comme leur domaine ; les forêts de pin d'Alep et de chêne vert remontent en l'altitude épousant la configuration de l'Atlas saharien. Les cèdres (*Cedrus atlantica*) sont éparpillés en ilots épars dans le tell central et les Aurès.

Les hautes plaines Constantinoises, région à climat continental et semi-aride ne renferment que quelques lambeaux de broussailles de chêne vert

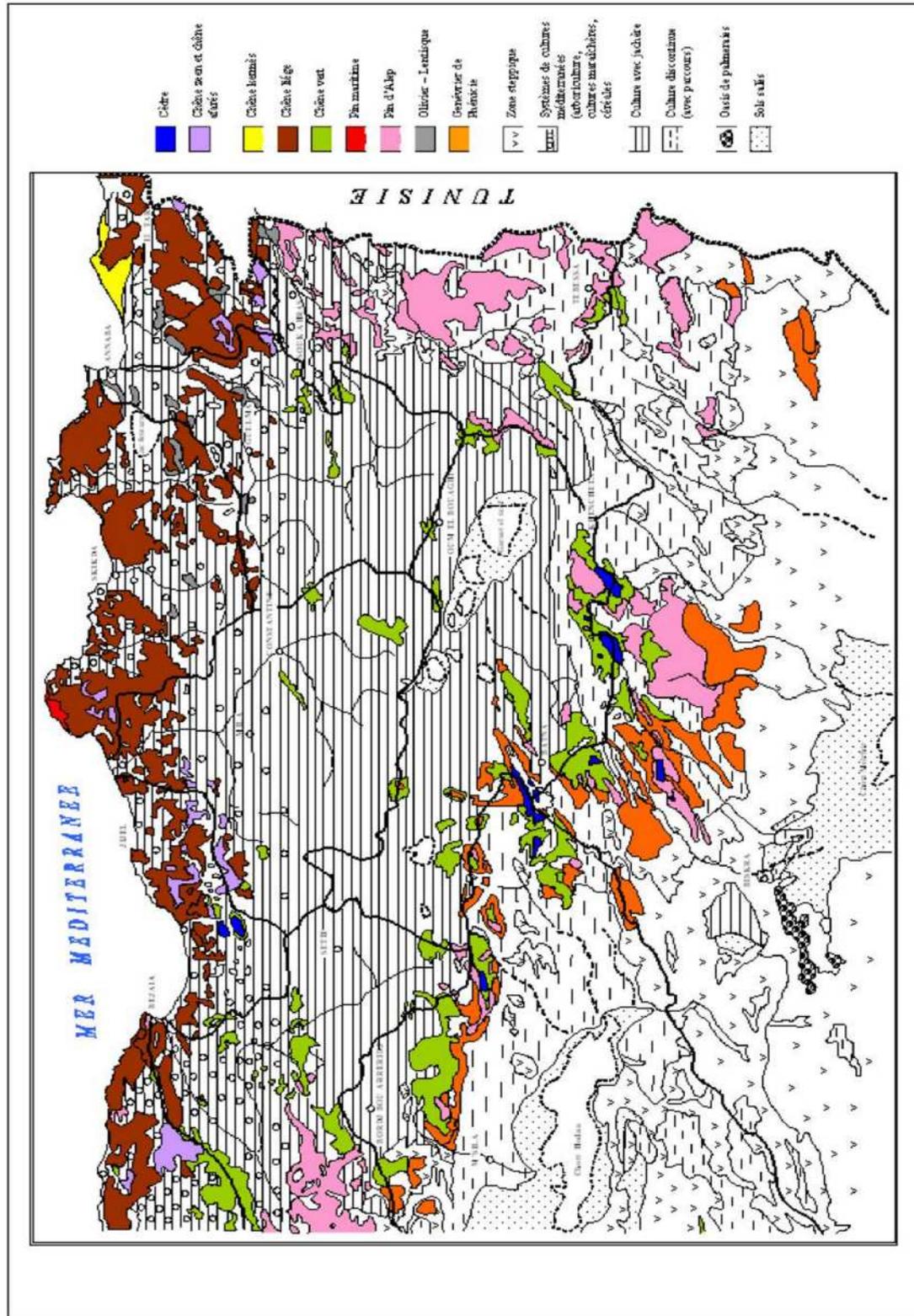


Figure 7 : Couverture végétale de l'Est algérien (d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger, complétées. In Mébarki A, 2005).

I-7- Le réseau hydrologique

Au niveau de l'Est algérien, deux grands types de bassins hydrographiques peuvent être distingués (Mébarki A, 2005) :

- Au Nord, des oueds importants prennent naissance sur les hautes plaines pour rejoindre la mer méditerranéenne en traversant le tell par des gorges (Oued Rhumel-El kebir Beni Haroun, Oued Safsaf à Zerdzas et Oued Seybous au Nador) et plus à l'Ouest l'Oued Djendjen et l'Oued Soummam. Ces bassins sont à écoulement exoréique à régime quasiment pérenne.
- Au Sud, au niveau des Aurès, le réseau hydrographique est à écoulement endoréique et à régime quasi temporaire dont l'écoulement se perd dans les dépressions intérieures.

II-1- Historique

La notion d'effet de serre fut tout d'abord émise par le mathématicien et physicien français, Jean Baptiste Fourier en 1827, ce dernier a eu recours à l'analogie de la serre pour décrire le phénomène de rétention partielle des radiations solaires par l'atmosphère. Ces travaux ont influencé le scientifique suédois Svante Arrhenius qui en voulant comprendre le cycle des glaciations, a élaboré en 1896 une théorie qui associe l'augmentation du CO₂ atmosphérique à une augmentation des températures terrestres en raison d'un « effet de serre » principalement dû à la vapeur d'eau et à l'acide carbonique (CO₂ dissous dans la vapeur d'eau). Le géologue américain Thomas Chamberlin arriva indépendamment aux mêmes conclusions (Maslin M, 2004); ces deux auteurs ont conclu que les activités humaines pourraient réchauffer la planète en ajoutant du dioxyde de carbone à l'atmosphère; cette recherche était un sous-produit des recherches sur le fait que le dioxyde de carbone puisse expliquer les causes des périodes glaciaires. Ceci n'a pu être vraiment vérifié qu'en 1987.

Néanmoins ces découvertes n'ont rien changé aux croyances des scientifiques de l'époque, la plus répandue étant que l'influence de l'homme était négligeable en comparaison avec les effets naturels, tels que l'activité solaire et la circulation océanique. Ces derniers ont également longtemps cru que les océans étaient de tels consommateurs de carbone qu'ils annuleraient automatiquement la pollution.

En 1902, Léon Teisserenc De Bort annonce la découverte de la stratosphère, lors d'un discours à l'académie des sciences (française), cette découverte résulte de la mise au point l'utilisation des ballons sonde. En 1920 Lewis Fry Richardson pris l'initiative d'élaborer une modélisation du climat à partir des seules équations de la physique (sans ordinateur), sa tentative échoua et conclut qu'il aurait fallu disposer de milliers de personnes pour réaliser les calculs nécessaires à l'aboutissement du projet.

En 1940, grâce au développement de la spectroscopie infrarouge pour mesurer les radiations à grande longueur d'onde, on a pu prouver que l'augmentation de la quantité de dioxyde de carbone a pour conséquence plus d'absorption des radiations infrarouges; on a aussi pu découvrir que la vapeur d'eau absorbait des types de radiations totalement différentes que le dioxyde de carbone; Ces résultats furent résumés en 1955 par Gilbert Plass.

Vers la fin des années 50 et le début des années 60, Charles Keeling utilisa les technologies les plus modernes disponibles pour élaborer des courbes de concentrations pour le CO₂ atmosphérique en Antarctique et Mauna Loa. Ces courbes sont devenues les référents principaux du réchauffement global.

En 1988, il fut finalement admis que le climat se réchauffait. La théorie de l'effet de serre fut établie et l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) fut fondé par le Programme de l'Environnement des Nations Unies (UNEP) et par l'Organisation Météorologique Mondiale. Cette organisation a pour principal objectif de prédire l'impact de l'effet de serre selon les modèles climatiques existant et les informations disponibles dans la littérature. On dénombre plusieurs rapports émanant de l'IPCC sur le changement climatique, en 1992 et 1996, 2001 et la dernière version fut révisée en 2007.

II-2- Notion de climat

Au sens étroit du terme, le climat désigne généralement le « temps moyen »; il s'agit plus précisément d'une description statistique en fonction de la moyenne et de la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes variant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années. Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Dans un sens plus large, le climat est la description statistique de l'état du système climatique (Dumas, P et al, 2005).

II-3- Notions associées au changement climatique

II-3-1- Changement climatique

Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, ou encore à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres.

On notera que la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

(CCNUCC), dans son Article 1, définit les « changements climatiques » comme étant des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l’atmosphère mondiale et qui viennent s’ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours des périodes comparables. ».

La CCNUCC fait ainsi une distinction entre les « changements climatiques » qui peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l’atmosphère, et la « variabilité climatique » due à des causes naturelles.

II-3-2- Variabilité climatique

La variabilité climatique désigne des variations de l’état moyen et d’autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe) (ONERC, 2007).

II-4- Les changements climatiques observés

Les observations mettent en évidence un changement de la composition de l’atmosphère (augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane (CH₄), etc.), ainsi qu’un changement du climat mondial (températures, précipitations, niveau de la mer, glace marine, et dans certaines régions, phénomènes climatiques extrêmes, y compris vagues de chaleur, fortes précipitations, et sécheresses, etc.).

Onze des douze dernières années (1995–2006) figurent parmi les douze années les plus chaudes depuis 1850, date à laquelle ont débuté les relevés instrumentaux de la température à la surface du globe. Les températures ont augmenté presque partout dans le monde, bien que de manière plus sensible aux latitudes élevées de l’hémisphère Nord. Par ailleurs les terres émergées se sont réchauffées plus rapidement que les océans (GIEC, 2007).

Cette évolution n’est pas uniforme et tend à varier d’une région à une autre, par exemple, le réchauffement en Afrique est légèrement plus élevé par rapport à la tendance mondiale en 2001 (Figure 8).

On ne peut dire à l'heure actuelle si l'accélération du rythme qui a été constatée entre 1993 et 2003 traduit une variation décennale ou un renforcement de la tendance à long terme. Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le Nord de l'Europe et dans le Nord et le Centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970.

Il est très probable que les journées froides, les nuits froides et le gel ont été moins fréquents sur la plus grande partie des terres émergées depuis cinquante ans et que le nombre de journées chaudes et de nuits chaudes a au contraire augmenté. De plus, la fréquence des phénomènes ci-après s'est probablement accrue : vagues de chaleur sur la majeure partie des terres émergées, fortes précipitations dans la plupart des régions et, depuis 1975, élévations extrêmes du niveau de la mer dans le monde entier (GIEC, 2007).

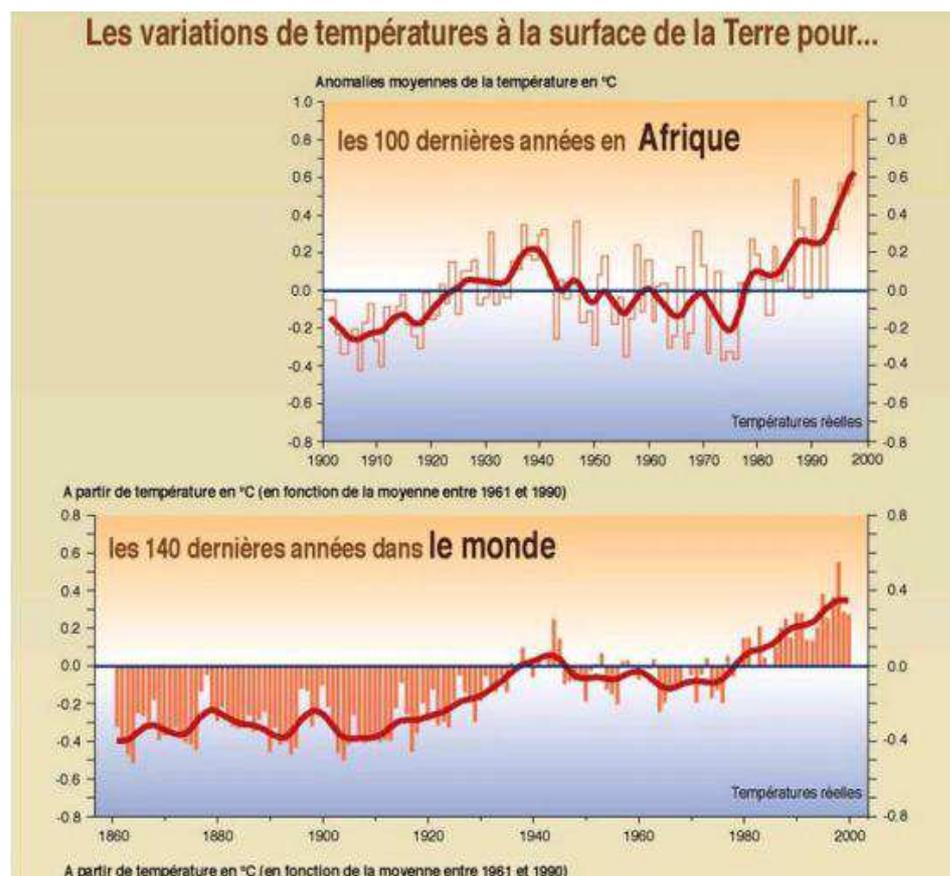


Figure 8 : Comparaison entre les variations de températures en Afrique et la tendance de réchauffement mondial (<http://www.grida.no/publications>).

II-5- Evolution future du climat

Pour quantifier les possibles futurs changements climatiques, les climatologues ont d'abord utilisé des situations idéalisées plus communément appelées scénarios ; quels seraient les changements climatiques si la concentration de CO₂ doublait ? Ou bien, si la concentration de CO₂ augmentait de 1 % par an (ce qui conduit à un doublement tous les 70 ans) ?

Ces conditions sont appliquées à des modèles climatiques qui représentent l'atmosphère, les surfaces continentales, l'océan, la glace de mer, les calottes polaires... Les modèles atmosphériques sont du même type que ceux utilisés en prévision du temps. En plusieurs milliers de points à la surface de la Terre, ils calculent l'évolution de la pression, du vent, de la pluie, des nuages... toutes les heures environ et cela pendant des années (jusqu'à plusieurs centaines ou milliers).

Ces calculs résolvent des phénomènes physiques bien connus (équation du mouvement, échanges par rayonnement solaire ou infrarouge...) ou moins bien connus (formation des gouttes d'eau ou des particules de glace des nuages, accréation de ces gouttes pour former la pluie, structure tridimensionnelle de la turbulence atmosphérique...etc).

De même, les modèles d'océan calculent l'évolution des courants marins, de la température, de la salinité... Tous ces modèles interagissent ensemble. Avec ces modèles climatiques, on peut alors réaliser deux simulations dans lesquelles la concentration de CO₂ reste constante dans l'une et varie dans l'autre. La différence de climats ainsi simulés permet d'obtenir la sensibilité du climat à une variation de la concentration en CO₂. Par exemple, on détermine que, pour un doublement de CO₂, la température moyenne de la Terre augmente de 2°C à 5°C selon les modèles. En ce qui concerne la répartition géographique, les résultats font apparaître que :

- la température de surface augmentera davantage aux hautes qu'aux basses latitudes et davantage sur les continents et sur la glace de mer que sur les océans ;
- les précipitations augmenteront dans les régions équatoriales et aux moyennes et hautes latitudes ; elles diminueront dans les régions subtropicales ;
- le volume de glace de mer en Arctique diminuera (typiquement de 35 % dans 50 ans) sans qu'une telle décroissance ne se retrouve en Antarctique (Friedlingstein P et al, 2005).

II-6- Les causes de l'évolution climatique

Trois facteurs influencent directement l'équilibre énergétique de notre planète :

1. Le rayonnement solaire total, qui dépend de la distance du soleil et de l'activité solaire.
2. L'albédo, ou le reflet des rayons du soleil renvoyés depuis la terre vers l'espace.
3. La composition chimique de l'atmosphère.

II-6-1- Le rayonnement solaire

Il est évident que le rayonnement solaire reçu par la Terre est déterminant pour la température à la surface de la planète. Avant que l'homme ne rejette massivement dans l'atmosphère les réserves de carbone accumulées dans les gisements de pétrole ou de charbon, ce sont surtout les fluctuations du rayonnement solaire qui influençaient la température à la surface de la Terre.

Ces fluctuations se sont traduites par des variations de la température à la surface de la Terre. Le graphique (Figure 9) montre la variation de « l'irradiance solaire » de 1978 à 2008 ; Elle est d'un peu moins de 2 W/m² pour une irradiance moyenne de 1366 W/m², ceci se traduit par une variation du rayonnement reçu par unité de surface de la Terre de l'ordre de 0,3 W/m² (appelé « solar forcing » sur le graphique ou forçage solaire en français).

On est actuellement dans une situation où le rayonnement solaire par unité de surface terrestre est de 0,15 W/m² inférieur au rayonnement moyen. L'effet du soleil n'est pas négligeable, on peut s'attendre à une augmentation plus marquée de la température globale moyenne dans les années à venir (Dubois M, 2008).

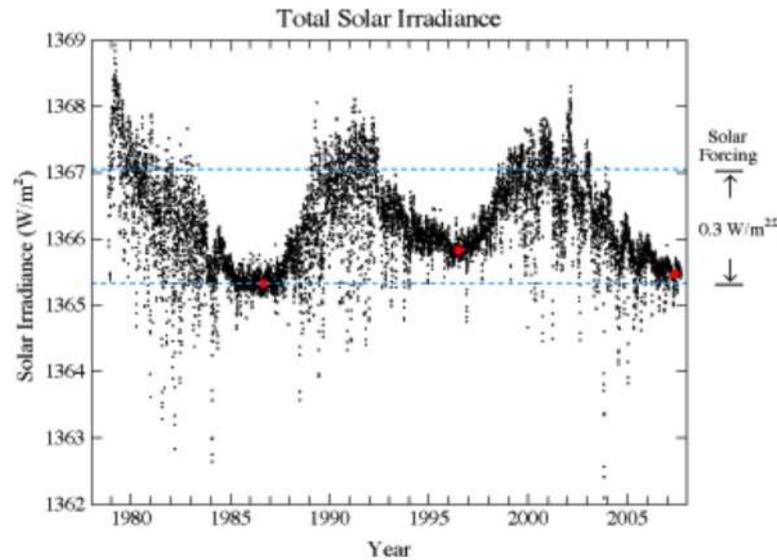


Figure 9 : Irradiance Solaire (Willson, R C et al, 2003).

II-6-2- Les aérosols

Ensemble de particules solides et liquides en suspension dans l'air, généralement d'une taille comprise entre $0,01 \mu\text{m}$ et $10 \mu\text{m}$ et séjournant au moins plusieurs heures dans l'atmosphère. Les aérosols peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Ils peuvent influencer sur le climat de deux façons :

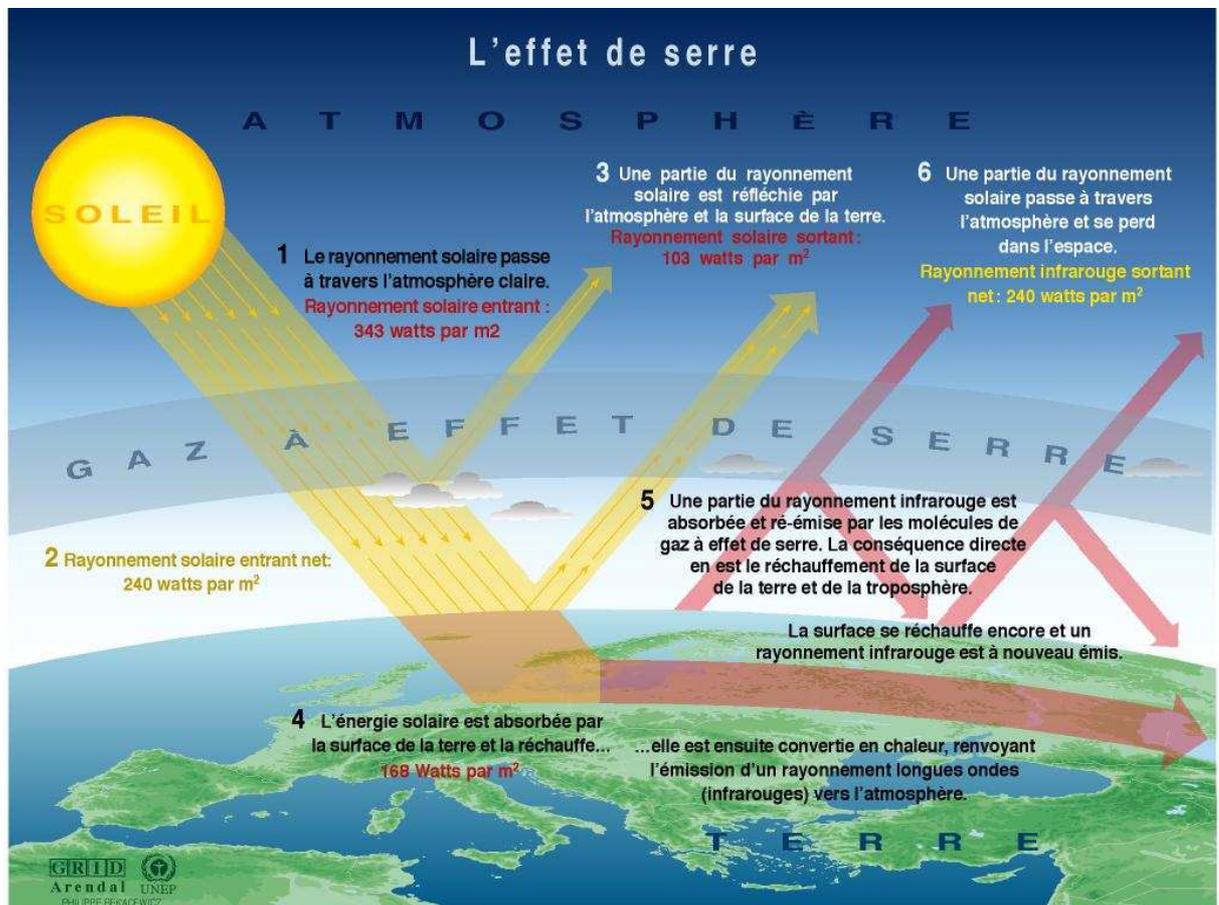
- directement, en agissant et en absorbant le rayonnement ;
- indirectement, en agissant comme noyaux de condensation pour la formation de nuages ou la modification des propriétés optiques et de la durée de vie des nuages (Dumas P et al, 2005).

II-6-3- L'effet de serre

II-6-3-1- définition

Les gaz à effet de serre absorbent efficacement le rayonnement infrarouge thermique émis par la surface de la Terre, par l'atmosphère elle-même en raison de la présence de ces gaz et par les nuages. Le rayonnement atmosphérique est émis dans toutes les directions, y compris vers la surface de la Terre. Par conséquent, les gaz à effet de serre retiennent la chaleur dans le système surface-troposphère: c'est ce qu'on appelle « l'effet de serre » (figure 10). Dans la troposphère, le rayonnement infrarouge thermique est étroitement lié à la température de

l'atmosphère à l'altitude à laquelle il est émis, cette température diminuant en général avec l'altitude. En fait, le rayonnement infrarouge émis vers l'espace provient d'une altitude où la température est en moyenne de -19°C , en équilibre avec le rayonnement solaire net incident, alors que la surface de la Terre se maintient à une température beaucoup plus élevée, de $+14^{\circ}\text{C}$ en moyenne. Une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre accroît l'opacité de l'atmosphère au rayonnement infrarouge et entraîne donc un rayonnement effectif vers l'espace depuis une altitude plus élevée et à une température plus basse. Il en résulte un forçage radiatif qui entraîne un renforcement de l'effet de serre; c'est ce qu'on appelle « l'effet de serre renforcé » (GIEC, 2008).



Sources : Okanagan university college Canada, section géographie ; université d'Oxford, section géographie ; Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), Washington ; Changements climatiques 1995 ; Données scientifiques sur les changements climatiques, Contribution du groupes de travail au deuxième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, PNUE et OMM, Cambridge University Press, 1996.

Figure 10 : Processus de l'effet de serre

II-6-3-2- Les gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations au sein de l'atmosphère terrestre.

Les gaz à effet de serre présents traités dans le protocole de Kyoto sont (tableau 1):

- le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO₂) provenant essentiellement de la combustion des énergies fossiles et de la déforestation ;
- le méthane (CH₄) qui a pour origine principale l'élevage des ruminants, la culture du riz, les décharges d'ordures ménagères, les exploitations pétrolières et gazières;
- les halocarbures (HFC, PFC) sont les gaz réfrigérants utilisés dans les systèmes de climatisation et la production de froid, les gaz propulseurs des aérosols;
- le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O) provient de l'utilisation des engrais azotés et de certains procédés chimiques;
- l'hexafluorure de soufre(SF₆) utilisé par exemple dans les transformateurs électriques (Dumas P et al, 2005).

Tableau 1 : les principaux gaz à effet de serre.

Formules chimiques	Nom du gaz
CFC	Chlorofluorocarbone
CFC - 11	Tétrafluorométhane (CF ₄)
CFC - 116	Hexafluoroéthane (C ₂ F ₆)
C ₂ F ₆	Hexafluorométhane (CFC 116)
CF ₄	Tétrafluorométhane (CFC - 116)
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
HCFC	Hydrochlorofluorocarbone
HFC	Hydrofluorocarbone
N ₂ O	Oxyde Nitreux
NO _x	Oxydes d'azote

PFC	Hydrocarbure perfluoré
SF ₆	Hexafluorure de soufre
SO ₂	Dioxyde de soufre
SO _x	Oxydes de soufre

II-7- Projection et prévision climatiques

II-7-1- Modèles de climat global (MCG)

Un modèle climatique est une représentation numérique du système climatique essentiellement basée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composants ainsi que sur leurs processus d'interaction, et représentant la totalité ou une partie de ses propriétés connues.

Divers modèles présentant des degrés de complexités variés peuvent être utilisés pour représenter le système climatique. Des modèles de circulation mondiale couplés "atmosphère/ océan/ glace marine" (AOGCM) fournissent une représentation générale du système climatique; néanmoins vu la complexité des interactions et rétroactions entre les composants du système climatique, il y'a une évolution constante qui tend vers l'élaboration de modèles plus complexes à chimie et biologie actives.

En résumé les modèles de climat global (MCG) sont des modèles climatiques permettant de simuler la réponse du système climatique à la variation de la concentration des GES. Ces derniers utilisent une résolution spatiale qui se situe généralement entre 250 Km et 600 Km, comprenant dans un contexte virtuel 30 niveaux verticaux sous forme de cubes empilés les uns par-dessus les autres, de la surface terrestre jusqu'à la fin de l'atmosphère, renfermant des équations et des caractéristiques propres à chacun (Lepage, M-P et al, 2011). Il existe plusieurs modèles provenant de plusieurs pays; certains d'entre eux sont énumérés au tableau 2.

Tableau 2 : Liste et origine de quelques modèles de climat global (MCG) (Meehl et al, 2007).

Noms des modèles	origines
BCC-CM1	Chine
BCCR-BCM2.0	Norvège
CCSM3	États-Unis
CGCM3.1 (T47) et (T63)	Canada
CNRM-CM3	France
CSIRO-Mk3.0	Australie
ECHAM5/MP1-OM	Allemagne
ECHO-G	Grande-Bretagne et Corée
FGOALS-g1.0	Chine
GFDL-CM2.0; GFDL-CM2.1	États-Unis
GISS-AOM; GISS-EH; GISS-ER	États-Unis
INGV-SXG	Italie
INM-CM3.0	Russie
IPSL-CM4	France
MIROC3.2(medres); MIROC3.2(hires)	Japon
MR1-CGCM2.3.2	Japon
PCM	États-Unis
UKMO-HadCM3; UKMO-HadGEM1	Grande-Bretagne

II-7-2- Le scénario

Généralement, ils sont obtenus à partir de projections qui sont souvent fondés sur des informations complémentaires provenant d'autres sources; quatre genres de scénarios sont communément utilisés dans l'étude du changement climatique : le scénario climatique, le scénario d'émissions (figure 11), le scénario de forçage radiatif et le scénario du RSSE.

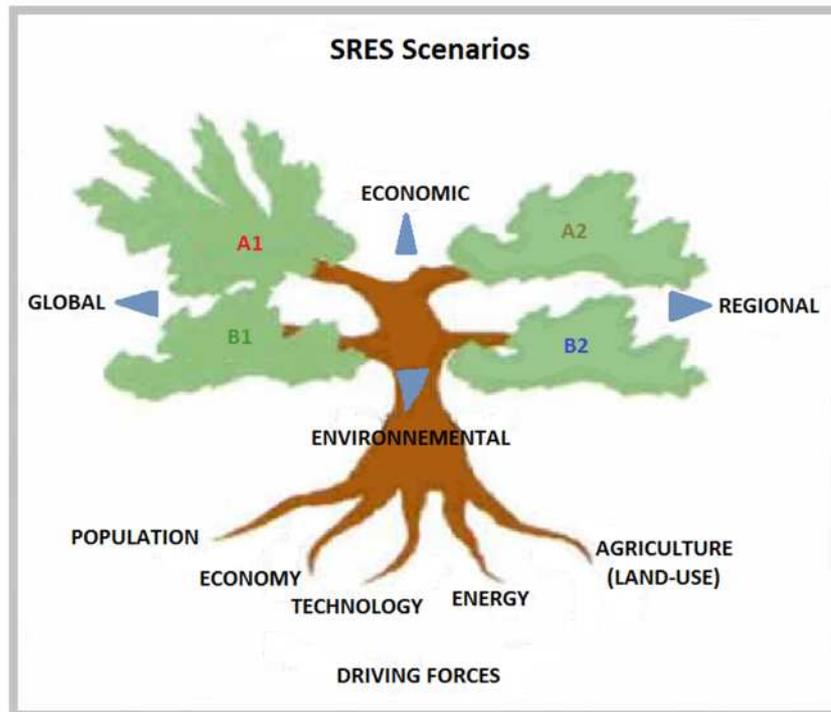


Figure 11 : Scénarios d'émissions utilisées pour les projections climatiques

La première série de scénarios sont regroupés sous l'appellation "scénarios A1". Ces scénarios reposent sur l'hypothèse d'une croissance économique rapide de l'économie mondiale associée à une croissance de la population mondiale jusqu'au milieu du 21^e siècle, suivie d'une légère baisse de celle-ci et de l'introduction rapide de nouvelles technologies énergétiques efficaces. Les économies régionales se développent fortement et la prospérité est répartie équitablement.

Les scénarios A1 se subdivisent en trois groupes :

- en A1F1, le monde continue principalement de fonctionner avec les combustibles fossiles,
- en A1T avec des combustibles non fossiles,
- en A1B avec un mélange des deux.

Le scénario A2 quant à lui décrit un monde qui reste divisé. Dans l'ensemble, il n'y a pas de redistribution des ressources naturelles disponibles, des connaissances technologiques et du bien-être entre les régions riches et les régions pauvres.

Le scénario B1 suit le scénario A1, mais le monde se tourne plus rapidement vers une économie axée sur les services avec une introduction rapide de technologies propres et durables.

Le scénario B2 parle d'un monde axé sur la préservation de l'environnement et de l'égalité sociale, mais qui part de solutions régionales en matière de durabilité économique, sociale et écologique.

Selon la figure 12, le pire scénario serait le scénario A2, ce dernier induirait à un réchauffement plus conséquent que les autres scénarii avec une augmentation de plus de 3,5 °C en 2100 ; le scénario B1 quant à lui représente la vision la plus optimiste de ce que serait ce réchauffement avec un peut moins de 2 °C en 2100.

Aucun des scénarii même les plus optimistes ne prédisent un refroidissement des températures.

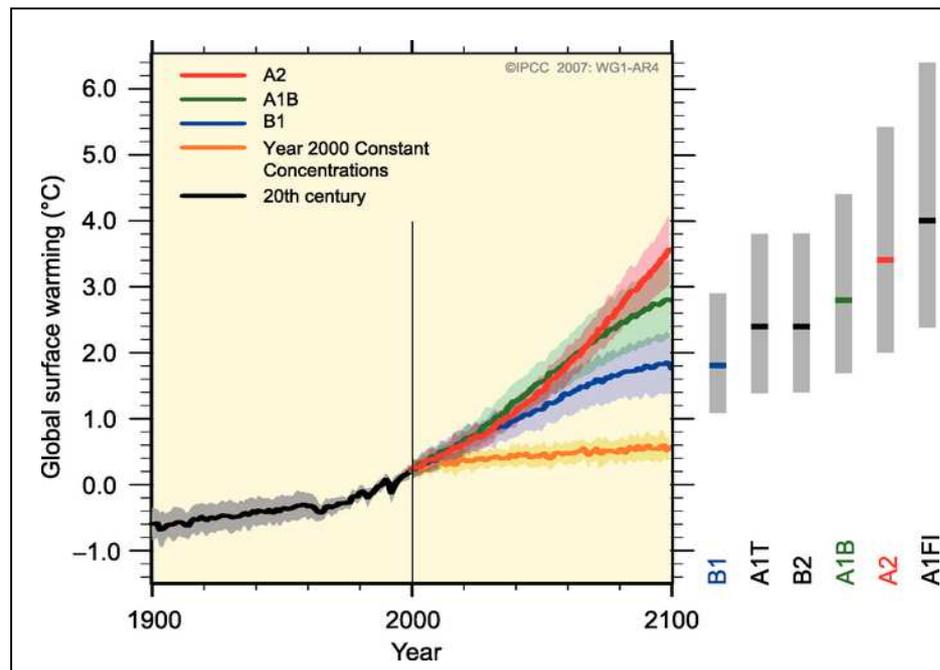


Figure 12 : projections des émissions des gaz à effet de serre et de la température de la Terre jusqu'en 2100 (http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/fr/figure-spm-5.html).

II-8- le changement climatique en Algérie

Le Maghreb a été identifié comme une zone particulièrement vulnérable face aux risques liés au changement climatique. L'exode rural conjugué à l'urbanisation intense sur la côte méditerranéenne durant les dernières décennies ont augmenté la vulnérabilité des populations concernées tout en accentuant les facteurs qui contribuent aux changements climatiques.

En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées.

D'après des études réalisées par l'ONM sur l'évolution des températures, elles ont révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, date du début des émissions à effet de serre.

Concernant la pluviométrie en Algérie, l'étude fait ressortir un recul de 12% pour la période 1990-2005 en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bab El Oued en 2001 et dans la ville d'El Taref en 2012.

L'évolution des températures en Algérie montre une hausse sur l'ensemble du territoire au cours des saisons d'hiver et d'automne et une hausse nette des températures minimales et maximales dans toutes les stations de l'Algérie du Nord et se prolonge jusqu'à nos jours. Durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales. Quant aux précipitations, pour les mêmes périodes l'examen montre qu'en automne et en hiver, il y a diminution des pluies sur le Nord, et en printemps dans l'Est du pays.

On peut donc conclure qu'entre les périodes 1931-1960 et 1961-1990 :

- la hausse de température a été de l'ordre de 0,5°C ;
- la pluviométrie a baissé en moyenne de 10% ;
- le déficit hydrique sera plus important à l'Ouest qu'au Centre et qu'à l'Est du pays (MATE, 2003).

II-8-1- Les GES en Algérie

Les émissions de gaz à effet de serre sont estimées à 75 870 Gg de CO₂, de 914 Gg de H₄ et à 31 Gg de N₂O. La séquestration de CO₂ par les forêts est estimée à 4 331 Gg.

Les résultats (tableau 3) montrent que c'est essentiellement le secteur de l'énergie qui est responsable à plus des deux-tiers des émissions (66,92%). Le potentiel du pays en hydrocarbures explique en grande partie cette situation. Le changement d'affectation des terres et la foresterie est le second secteur important du point de vue des émissions (12,44%), qui ne sont pas suffisamment atténuées par la séquestration qu'il assure. L'agriculture est le troisième secteur émetteur de gaz à effet de serre avec plus de 11,49% du total. Le secteur des déchets intervient pour 4,59% et celui des procédés industriels pour 4,52%. Le gaz carbonique (CO₂) est le gaz le plus émis avec 72,40%, suivi du méthane (CH₄) avec 18,31% et de l'oxyde nitreux (N₂O) avec 9,29%.

Les émissions fugitives liées aux activités gazières et pétrolières sont loin d'être négligeables (figure 13). Néanmoins, l'absence de coefficients d'émissions spécifiques à l'Algérie a fait que dans la majeure partie des calculs, ce sont les facteurs d'émissions par défaut, proposés par le manuel de référence de l'inventaire (GIEC), qui ont été utilisés.

Tableau 3: Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994) (Gg).

Secteur	CO ₂ émissions	CO ₂ absorptions	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	COVNM	SO ₂
Energie	59245,74	0	515,57	0,3	238,41	916,09	184,46	31,69
Procédés Industriels	4437,8	0	0,24	0,88	2,47	5,35	92,91	7,89
Solvants	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Agriculture	0	0	168,04	27,45	0,88	921,43	NC	0
Sols/Forêts	12166,55	4331,46	20,61	1,42	5,12	180,34	NC	0
Déchets	0	0	209,51	1,34	0	100	NC	0
Total	758711,09	4331,46	913,97	31,39	246,86	1123,21	277,37	39,58

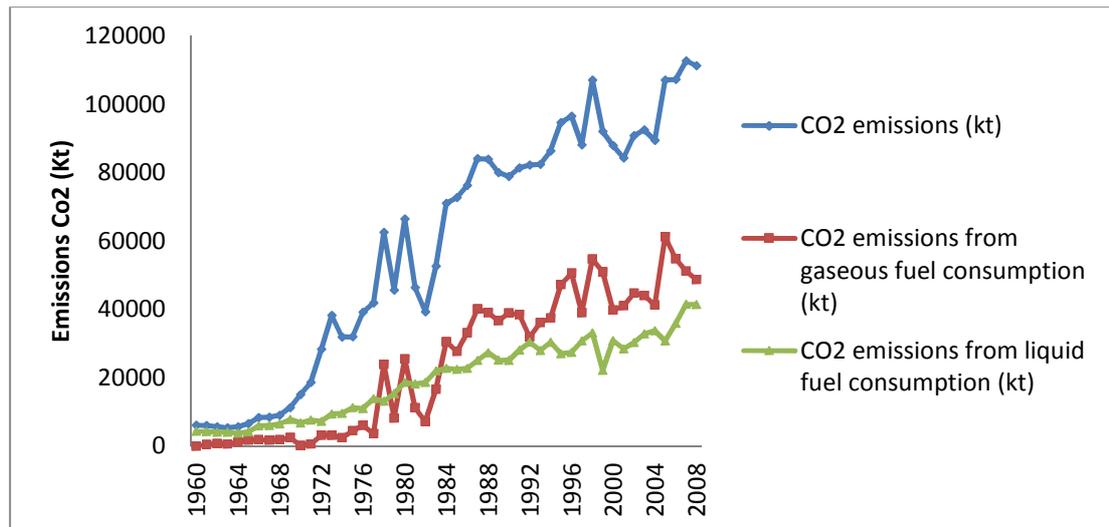


Figure 13 : Emissions de CO₂ en Algérie (<http://www.data.un.org>).

Si l'on tient compte du Potentiel de Réchauffement Global (PRG) à l'horizon de 100 ans de chaque gaz, les émissions brutes sont de 104,794 millions de TE-CO₂ et les émissions nettes sont de 100,463 millions de TE-CO₂.

Sachant que la population de l'Algérie était estimée en 1994 à 26 743 075 habitants, on a en moyenne 3,92 TE-CO₂/habitant, Si l'on prend uniquement les émissions de CO₂, le taux d'émission de CO₂ par habitant est de 2,84 tonnes, comme le montre le tableau 3 l'absorption est de 0,16 t de CO₂/hab.

En tenant compte des PRG des trois principaux gaz à effet de serre (tableau 3.1), 72,40 % des émissions totales proviennent du CO₂, ce qui s'explique par l'ampleur de l'activité énergétique de l'Algérie, 18,31% proviennent du CH₄ et 9,29 % du N₂O.

D'après les recherches du GIEC TRE, la faible capacité de réponse et d'adaptation de l'Afrique la met dans une situation très vulnérable aux changements climatiques. En outre, la contribution de l'Afrique aux émissions de gaz à effet de serre est insignifiante.

La comparaison des émissions de CO₂ par personne en Afrique du Nord en 1997 (figure 14) montre que l'Algérie détient la deuxième place et se positionne derrière la Libye.

La comparaison des émissions de gaz à effet de serre par personne dans un pays d'Afrique typique avec celles d'un pays européen typique montre que les Européens émettent environ cinquante à cent fois plus de gaz, et que les Américains en émettent cent à deux cents fois plus.

Tableau 3.1 : Emissions par type de gaz et par habitant.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	E- CO ₂	NO _x	CO	COVNM	SO ₂
Emission totales (Gg)	75870,09	913,97	31,39	104794,36	246,86	11.23,21	277,37	39,58
Emissions (kg/ hab)	2 837,0	34,2	1,2	3918,6	9,2	42	10,4	1,5

Tableau 3.2 : Emissions par type de gaz (en 1000 TE-CO₂).

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Quantités émises	75870,09	19193,37	9730,9	104 794.3.6
Pourcentage	7240	18,31	9,29	100

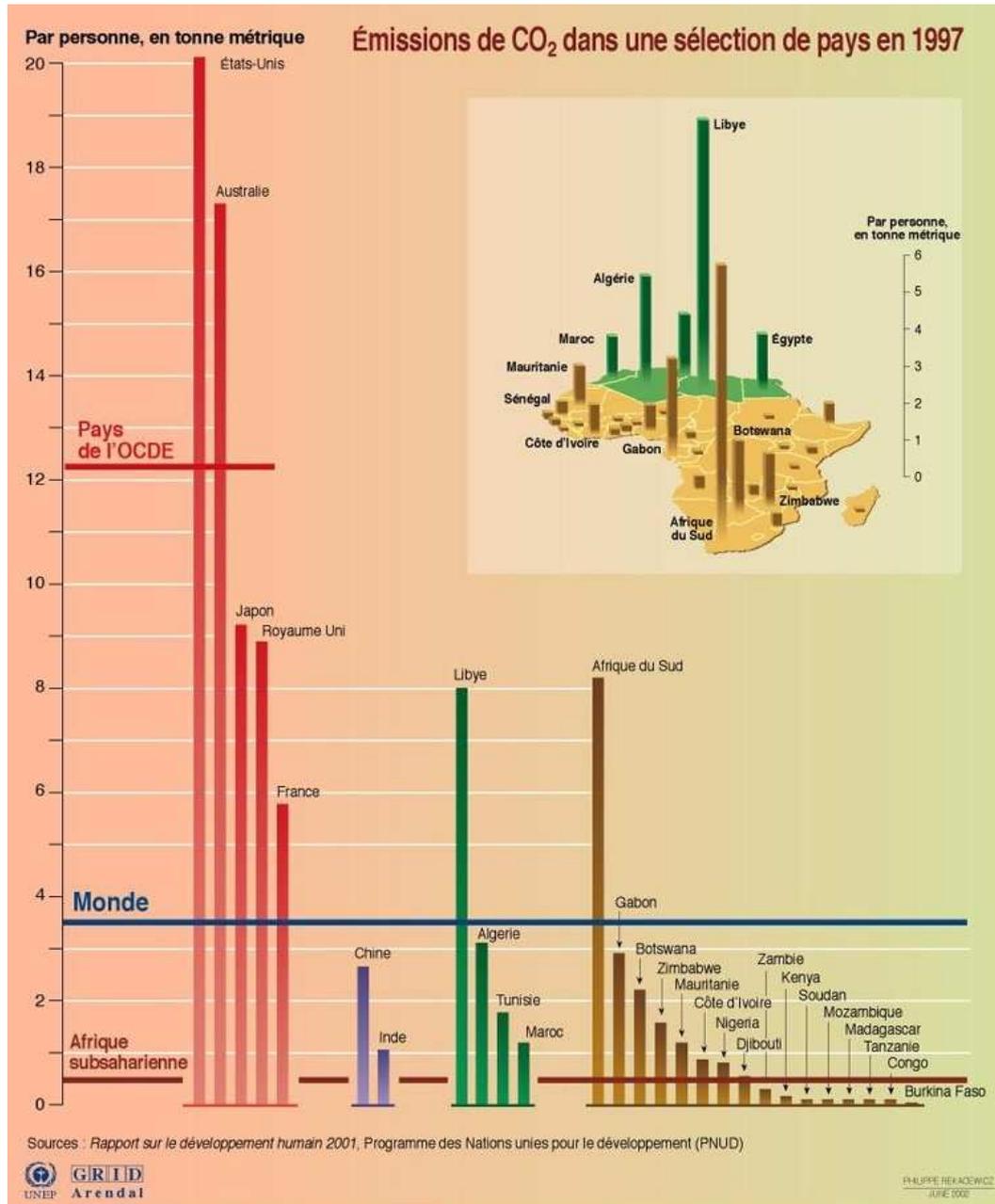


Figure 14 : Émissions africaines: les principales sources africaines de gaz à effet de serre; le taux d'émissions par personne; comparaison avec les émissions d'autres pays (<http://www.grida.no/publications>)

II-7-3- Projections climatiques sur l'Algérie

Pour la période 1990 – 2020, la hausse de la température moyenne sera comprise entre 0,8°C et 1,1°C et la baisse des précipitations moyennes sera de l'ordre de 10 %. L'élévation du niveau de la mer sera comprise entre 5 cm et 10 cm. L'intensification de l'évaporation due à

l'augmentation de la température s'ajoute à la baisse des précipitations pour diminuer encore plus la quantité des eaux mobilisables au niveau des barrages et des nappes souterraines.

Les projections à l'horizon 2020 et 2050 indiquent que les saisons seront dérégées et les températures continueront de croître.

La période pluvieuse sera concentrée sur une courte période entraînant des risques d'inondations. De même, il y aura une augmentation de la fréquence des sécheresses. Les projections (figure 16), ont été obtenues à l'aide de scénarios d'émissions moyens et des modèles climatiques globaux (MATE, 2003).

Selon le CIAT (International Center for Tropical Agriculture, 2010), l'Afrique du Nord subira les impacts les plus négatifs liés au changement climatique, ainsi selon la même source 80 % des cultures montreront des pertes de productivités en 2050.

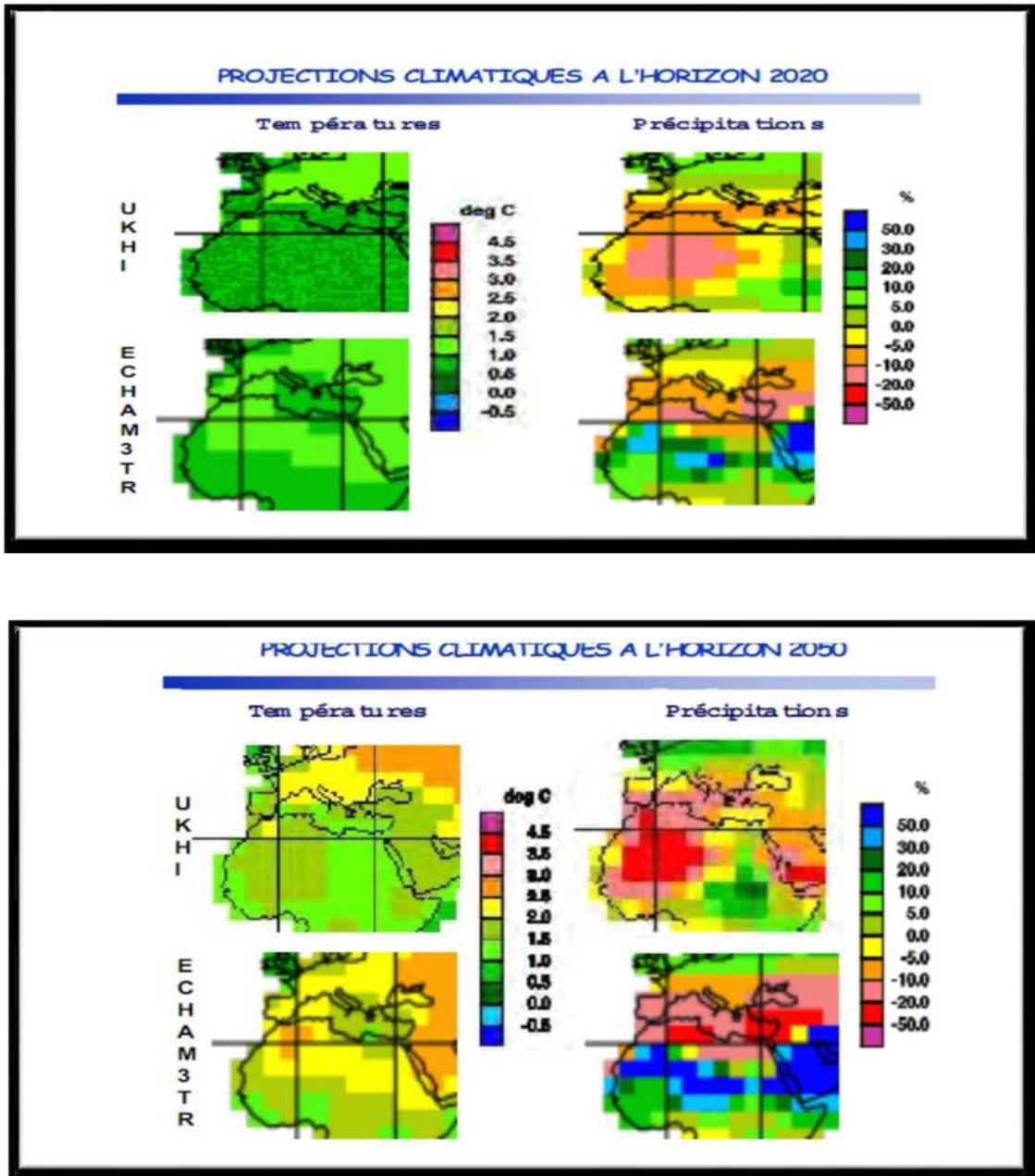


Figure 15 : Projections du climat aux horizons 2020 et 2050 (modèle UKHI) (Mate, 2003).

III-1- Le réseau météorologique

Le réseau météorologique de la région d'étude est faible (figure 16) avec des enregistrements discontinus sur le long terme.

La localisation des stations est présentée dans le tableau 4. Les stations ont été sélectionnées selon la durée des enregistrements ainsi que leur qualité et le nombre de paramètre météorologique qu'elle peut fournir, comme les séries d'observations (températures, précipitations, humidité, durée d'insolation, etc.) ; ainsi 13 stations ont été choisies et 3 stations rejetées principalement à cause de la très courtes duré de leurs enregistrements (la station de Mila, la station de Oum El Bouaghi, la station de Khenchla et la station de M'sila); la station d'Alger (Dar El Baida) à été rajoutée afin de combler les données manquantes au niveau des stations du littoral, elle n'est donc pas incluse dans le traitement des données de l'ensemble de la région d'étude.

Ces stations respectent les normes d'installation et de maintenance requises par l'organisation mondiale de la météorologie (O.M.M).

Tableau 4 : Présentation des stations d'étude (O.N.M).

Stations	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Alger	36° 40' 48"	3° 15'	25
Béjaia	36° 43' 1,20"	5° 4' 1,20"	6
Jijel	36° 48'	5° 52' 58,80"	11
Skikda	36° 52' 58,80"	6° 54'	3
Annaba	36° 49' 58,80"	7° 49' 1,20"	5
El-Kala	36° 54'	8° 27'	13
Constantine	36° 16' 58,80"	6° 37' 1,20"	690
Guelma	36° 28' 1,20"	7° 28' 1,20"	228
Souk A	36° 16' 58,80"	7° 58' 1,20"	680
Setif	36° 10' 58,80"	5° 15'	1040
Batna	35° 45'	6° 19' 1,20"	826
Tebessa	35° 25' 1,20"	8° 7' 1,20"	811
B B A	36° 4' 1,20"	4° 46' 1,20"	930
Biskra	34° 48'	5° 43' 58,80"	88

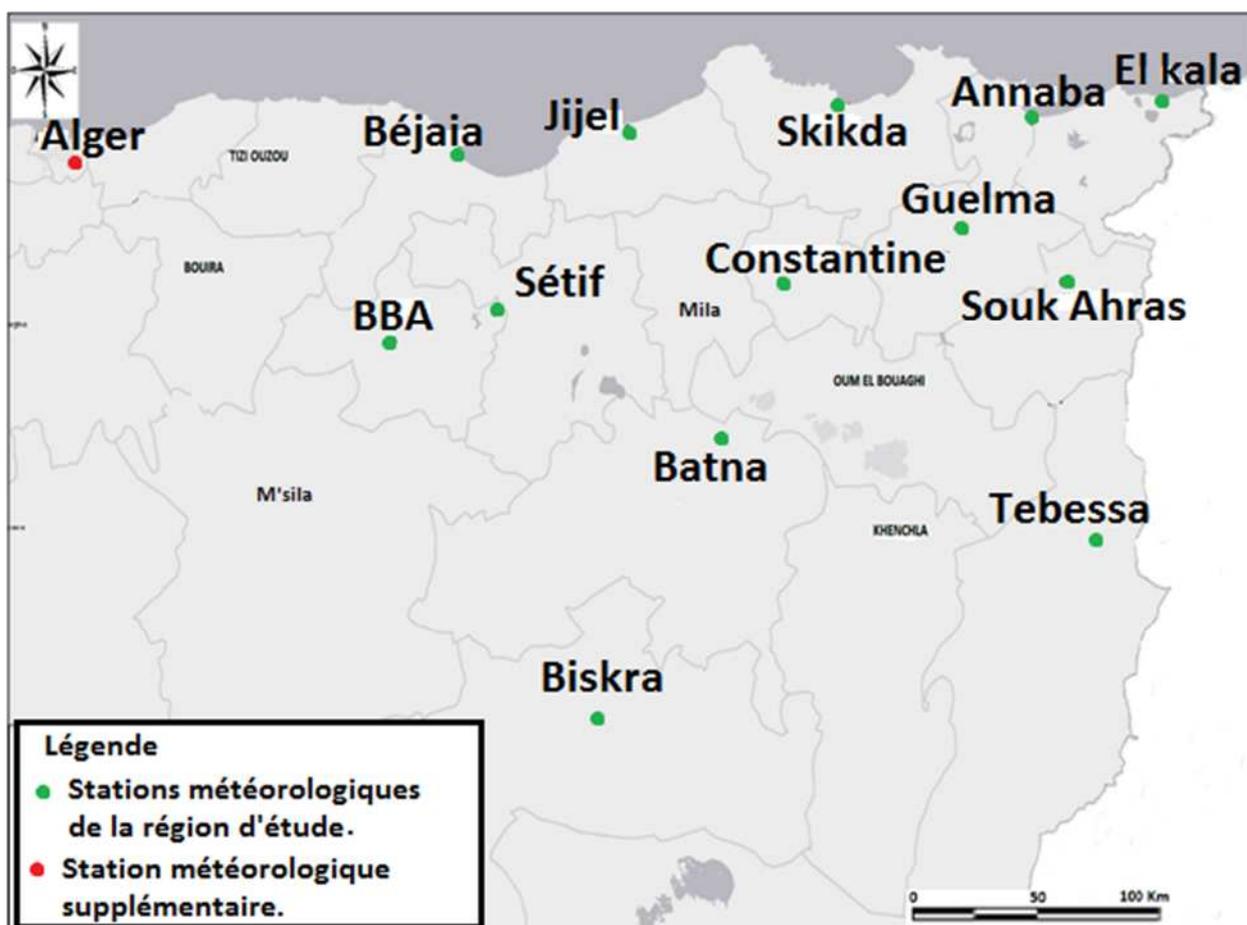


Figure 16 : Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude.

III-2- Acquisition des données

Au vue de l'importance de la mise à jour de la période d'enregistrement par rapport aux études précédentes, l'acquisition des données s'est faite au niveau de plusieurs sources ; afin de choisir la période la plus longue, qui soit dépourvue le plus possibles de données manquantes pour toutes les stations de l'Est algérien, nous avons entamé une recherche sur la période (1891-2010).

Les données collectées, nous nous les sommes procurées sous forme de fichiers EXCEL (période : 1978–2005), de fichiers numérisés et saisis manuellement sous EXCEL (bulletins météorologiques numérisées sous format PDF (1891-1968)).

Il est important de signaler que notre champ d'investigation concernant notre région d'étude a balayé la période (1890–2012), notre choix s'est porté sur la période (1961-2010) soit une période de 50 ans ; plusieurs raisons ont régi le choix de cette période :

- période en commun d'enregistrement des données climatiques entre les stations de la région d'étude, comportant le moins de données manquantes possibles ; vue les discontinuités d'enregistrements que connaissent les stations météorologiques de notre région d'étude ; l'arrêt d'une ou de plusieurs stations varie d'une à des dizaines d'années (cas de la station de Jijel, la station de Guelma, la station de Skikda...etc).
- Déplacement des stations météorologiques, ou interruption de ces dernières (cas de la station du Fort National (Tizi Ouzou) qui présente une période d'enregistrement s'étalant de 1900 à 1961, c'est-à-dire aucune donnée disponible pour notre période d'étude (1961-2010)).

III-3- Organisation des données

Il est indispensable d'indiquer qu'au vue de l'importance quantitative et qualitative des données, une organisation soigneuse et rigoureuse d'un corpus de documents originaux s'impose (tels que : les bulletins météorologiques mensuels et journaliers, fichiers EXCEL (données fragmentées saisîtes, élaborations de tableaux, diagrammes)). De même un travail d'investigation nous a paru nécessaire pour localiser toutes migrations possible d'une ou de plusieurs stations au cours de la période (1891-2010) (tableau 5), celui-ci est indiqué au niveau des tableaux qui constituent la base de données de chaque station, l'ensemble constituent les métadonnées et les données spécifiques à chaque station météorologique.

Tableau 5 : localisation et période d'enregistrement des stations météorologiques de l'Est algérien.

Stations	Localisation	Latitude	Longitude	Altitudes (m)	Périodes d'enregistrements
Alger (D E B)	Dar El Baida	36° 40' 48"	3°15'	25	1890-2010
Annaba	Marché	36°54'	7°46'	35	1913-1937
	Les Salines	36° 49' 58,80"	7° 49' 1,20"	5	1952-2010
Batna	Ecole de garçons	35°33'	6°11'	1040	1913-1937 1940-1968
	Aéroport (Mostepha Ben Boulaid)	35° 45'	6° 19' 1,20"	826	1975-2010
Bejaia	Marché	36°54'	7°46'	35	1913-1938
	Aéroport (Soummam)	36° 43' 1,20"	5° 4' 1,20"	6	1964-Juin 1968 1973-2010
Biskra	Commune mixte	34°51'	5°44'	124	1880-1962
	Aéroport	34° 48'	5° 43' 58,80"	88	1973-2010
Bordj-Bou-Arreridj	Jardin public	36°4'	4°46'	904	1900-1937
	/	36° 4' 1,20"	4° 46' 1,20"	930	Sep 1964-1968 1980-2010
Constantine	Hôpital militaire	36° 16' 1,20"	6° 40' 58,80"	583,099	1890 - 1951
	Oued Hamimime (Aérodrome)	36° 18'	6° 42'	559	1952 – octobre 1960
	Ain El Bey (Aéroport)	36° 16' 58,80"	6° 37' 1,20"	690	Novembre 1960 - 2013
El Kala	Ecole des garçons	36° 54'	8° 27'	13	1900-1951 Sep 1963- Juil 1964 1980-2010
Guelma	Cole de d'Alembert	36°28'	7°26'	268	1890- Mars 1962
	/	36° 28' 1,20"	7° 28' 1,20"	228	1986-2010
Jijel	Achouat	36° 48'	5° 52' 58,80"	11	Sep 1981-2010
Sétif	Jardin public	36°11'	5°25'	1081	1913-1951
	Ain Arnat (Aéroport)	36° 10' 58,80"	5° 15'	1040	1952-Juil 1962 1981-2010
Skikda	Cap Bougarouni (phare)	37°5'	6°28'	80	1913-1938
	Villa Mascula	36°52'	6°54'	71	1926-1941
	Port	36° 52' 58,80"	6° 54'	3	Sep 1965 – Sep 1968 1973-2003 Juin 2004-2010
Souk Ahras	Ponts et chaussées	36°17'	7°58'	655	1913-1938
	/	36° 16' 58,80"	7° 58' 1,20"	680	1963-1968 1978-2010
Tebessa	Hôpital militaire	35°24'	8°7'	885	1900-1921
	/	35° 25' 1,20"	8° 7' 1,20"	811	1952- Juin 1962 1973-2010

III-3-1- Traitement des données thermiques

Pour les besoins de notre étude, il est important d'avoir en notre disposition plusieurs variables concernant la température : la moyenne des maxima (T_X), la moyenne des minima (T_N), la moyenne mensuelle ($T_M = (T_X + T_N)/2$) et l'amplitude thermique ($T_X - T_N$).

III-3-1-1- Estimation des températures moyennes (\bar{T}_M , \bar{T}_X , \bar{T}_N)

Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de ces moyennes, pour les besoins de notre étude, la méthode jugée la plus adéquate est celle préconisée par l'OMM (Organisation mondiale de la météorologie) (WMO, 1989), cette méthode consiste à calculer la température moyenne mensuelle à partir des températures moyennes journalières obtenues de la sommation des extrêmes journalières (maxima (T_X) + minima (T_N)) divisées par 2.

$$\bar{T}_X = \sum T_X / N \qquad \bar{T}_N = \sum T_N / N$$

$$\bar{T}_M = \sum ([T_X + T_N] / 2) / N$$

N : nombre des jours du mois.

Lors du calcul des températures moyennes mensuelles, la règle des (3/5) (WMO, 1989) a été respecté pour la plupart des stations d'étude, bien qu'il est à noter qu'à quelques reprises une entrave à cette règle a dû être effectuée, la cause revient en grande partie aux manques récurrents de données que connaissent les stations d'études lors de quelques périodes critiques, nous avons donc été amenés à utiliser dans quelques cas des règles plus laxistes telle que la règle des (5/10) (WMO, 1983).

III-3-1-2- Correction des températures

L'estimation de données manquantes ou erronées peut se faire selon plusieurs méthodes, la plus répandue est la régression linéaire ; pour que cette méthode soit utilisable, il faut l'existence d'au moins une station voisine qui soit dotée d'un coefficient de corrélation élevé avec la station lacunaire donc il faut que la régression soit linéaire.

On estime la variable Y à partir de la variable X par l'équation de la droite suivante :

$$Y = aX + b$$

X : la valeur estimée ;

Y : la valeur à estimer ;

a : la pente de la droite ;

b : une constante.

En pratique les calculs sont faits à partir de l'équation suivante :

$$Y = Y' + \left(r \cdot \frac{S_y}{S_x} \right) \cdot (X - X')$$

Y : donnée manquante à estimer ;

Y' : moyenne observée de la série homogène de la station incomplète ;

r : coefficient de corrélation entre X et Y estimé à partir des séries d'observations communes ;

S_y : l'écart type de Y estimé d'après la série d'observation de Y' ;

S_x : l'écart type de X estimé d'après la même série d'observation ;

X : variable explicative connue d'après laquelle nous estimons la variable erronée ou inconnue (Y) de la série d'observation incomplète ;

X' : moyenne de X de la station complète estimée à partir de la même période observée simultanément dans la station incomplète.

Tableau 6 : Le coefficient de corrélation des températures moyennes mensuelles Période (1961-2010).

	BJ06	J118	SK21	AN23	EK36	CO25	GU24	SA41	SE19	BA05	TB12	BB34	BI07
BJ06	1												
J118	0,992	1											
SK21	0,985	0,985	1										
AN23	0,986	0,983	0,990	1									
EK36	0,982	0,983	0,988	0,990	1								
CO25	0,977	0,969	0,975	0,982	0,973	1							
GU24	0,979	0,974	0,980	0,984	0,978	0,992	1						
SA41	0,974	0,973	0,976	0,981	0,976	0,978	0,976	1					
SE19	0,954	0,943	0,951	0,958	0,949	0,979	0,970	0,955	1				

BA05	0,968	0,959	0,965	0,973	0,964	0,992	0,982	0,973	0,986	1			
TB12	0,966	0,957	0,965	0,972	0,962	0,991	0,981	0,972	0,982	0,997	1		
BB34	0,966	0,956	0,962	0,969	0,961	0,990	0,980	0,970	0,985	0,995	0,992	1	
BI07	0,952	0,941	0,948	0,959	0,947	0,982	0,966	0,960	0,974	0,989	0,988	0,986	1

Exemple numérique

La série d'observation de la Station d'El Kala (1961-2010) a été contrôlée à partir de la station d'Annaba. En effet ces dernières en plus d'être sur la même altitude, présentent un coefficient de corrélation élevé.

Le mois d'Aout présente une lacune pour l'année 1987 au niveau de la station d'El-Kala, avant d'estimer la valeur manquante, nous avons estimé les paramètres suivants :

$X = 26,8 \text{ }^\circ\text{C}$: est la moyenne de la température moyenne mensuelle en aout 1987 à Annaba ;

$X' = 26,12 \text{ }^\circ\text{C}$: est la moyenne de la série homogène commune entre les deux stations, période (1988– 1999) ;

$S_x = 0,94$: est l'écart type de la station d'Annaba;

$Y' = 26,58 \text{ }^\circ\text{C}$: est la moyenne de la série homogène à El-Kala de 1988 à 1999 ;

$S_y = 1,09$: est l'écart type de la station d'El-Kala;

$r = 0,993$: est le coefficient de corrélation entre les deux stations pour la période homogène commune (1988 - 1999).

Donc la valeur de la température moyenne mensuelle d'Août en 1987 à El-Kala est :

$$Y = 26,58 + \left((0,993 \cdot \frac{1,09}{0,94}) \cdot (26,8 - 26,12) \right) = 27,36 \text{ }^\circ\text{C}.$$

L'estimation ou la correction de valeurs inconnues ou erronées par la méthode de la régression linéaire est très usitée pour les variables quantitatives continues comme les températures, vu que celles-ci suivent une distribution normale. Cependant elle est inefficace pour des variables discrètes comme celles des jours de pluies, dans ces cas la régression linéaire exprime des valeurs moins pertinentes.

III-3-2- Traitement des données pluviométriques

Les données pluviométriques comme pour les températures ont pour origine plusieurs sources.

Dans les séries d'observations, des lacunes d'ordre mensuelles et même journalières sont à signaler. Ces lacunes sont causées par :

- La centralisation et la décentralisation des données météorologiques ont influencé négativement sur la disponibilité des données et la qualité de celles-ci surtout celles des postes pluviométriques;
- Le transfert des pluviomètres. Cas de la station de Souk-Ahras (1995);
- Arrêt de fonctionnement pendant une période : le cas de la station de Skikda en 2004 (arrêt pendant un semestre suite à une explosion). Sans oublier les jours fériés et les congés annuels ;
- Certains bulletins quotidiens, mensuels ou annuels sont parfois illisibles ce qui nous a fait perdre beaucoup de temps pour les porter sur nos documents personnels (surtout ceux provenant du GHCN) ;
- Des stations n'ont commencé à fonctionner que dans l'année 1980 : le cas des stations de B.B.A et de Jijel et certaines plus récemment cas de la station de Mila (2008).

III-3-2-1- Estimation des données manquantes et correction des précipitations

L'estimation des données manquantes d'une station est calculée à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique que la station déficitaire en données.

Certaines stations retenues pour notre étude présentent plusieurs lacunes d'observations journalières ou mensuelles.

Le comblement des données manquantes a été établi à l'aide des modèles statistiques. Ainsi, la méthode retenue pour la correction de la pluviométrie mensuelle est la méthode des rapports.

III-3-2-2- La méthode des rapports

C'est le rapport entre deux séries pluviométriques complètes de deux stations où les valeurs mensuelles de pluie tombée dans une station (Y) présentent une ou plusieurs lacunes qui seront complétées par la série complète de la seconde station (X); son application se fait selon l'équation suivante :

$$Y = aX$$

Où :

Y : la valeur pluviométrique mensuelle inconnue à la station lacunaire ;

X : valeur correspondante observée pendant le même mois à la station de référence A ;

a : constante d'ajustement égale au rapport de la somme des précipitations observées pendant une même série commune aux deux stations soit :

$$a = \frac{P(mm)B}{P(mm)A}$$

Pour les stations concernées par notre étude, nous avons tenu compte en plus des conditions précitées (climatiques et géographiques), du degré de corrélation statistique entre les séries déterminant l'efficacité de l'ajustement.

Pour illustrer cette méthode nous allons donner l'exemple d'ajustement des données de la station de Skikda (B) à partir de celles de la station d'Annaba (A) pour le mois de janvier 2004. Ces deux stations se trouvent dans un même contexte climatique et géographique (le littoral) et leurs coefficients de corrélation s'élèvent à 0.99 à l'échelle mensuelle et à 0.88 à l'échelle annuelle.

Le total des précipitations du mois considéré pendant la même série est égal à :

P (mm) A = 2771;

P (mm) B = 2958;

donc : a = 1,067.

La hauteur des précipitations observées au mois de janvier 2004 à la station d'Annaba est de 109,4mm ; la valeur correspondante à la station de Skikda serait donc de :

$$Y = 1,067 \times 109,4\text{mm} = 116,8\text{mm}.$$

III-3-2-3- Contrôle de totaux annuels des précipitations

Généralement on utilise la méthode des doubles cumuls (Musy et Higy 2003), dans le but de confirmer ou d'infirmier l'existence d'une hétérogénéité au sein d'une série pluviométriques d'une station donnée.

L'utilisation de cette méthode requiert la disponibilité d'une station de référence dite station témoin (X) dont les valeurs sont supposées complètes et homogènes, avec les quelles on va comparer les valeurs de la station qu'on veut contrôler (Y), il est à noter que la comparaison ne se fait pas entre les valeurs observées mais entre leur cumul; un effet de lissage est obtenu au cours de la comparaison, en fonction de la variable temps choisie (année, saison, mois, décade).

Pour mieux illustrer cette méthode, nous donnons en exemple, les deux stations de Batna et Sétif. Sur le graphique cartésien (figure 17), nous portons en abscisse les totaux annuels des précipitations de la station de référence (Batna) et en ordonnée ceux de Sétif.

La courbe met en évidence l'existence d'une liaison linéaire, la pente est positive et ne dégage aucune tendance comme par exemple une rupture de pente significative.

Le choix des stations témoins pour notre région d'étude a été effectué selon l'importance des lacunes que présentent ces dernières, plus une station présente une série pluviométrique complète et correcte plus elle peut être considérée comme une station de référence; les stations qui ont été choisies comme telle sont : la station d'Alger, la station de Béjaïa et la station d'Annaba au littoral, la station de Constantine et de Batna dans les hautes plaines.

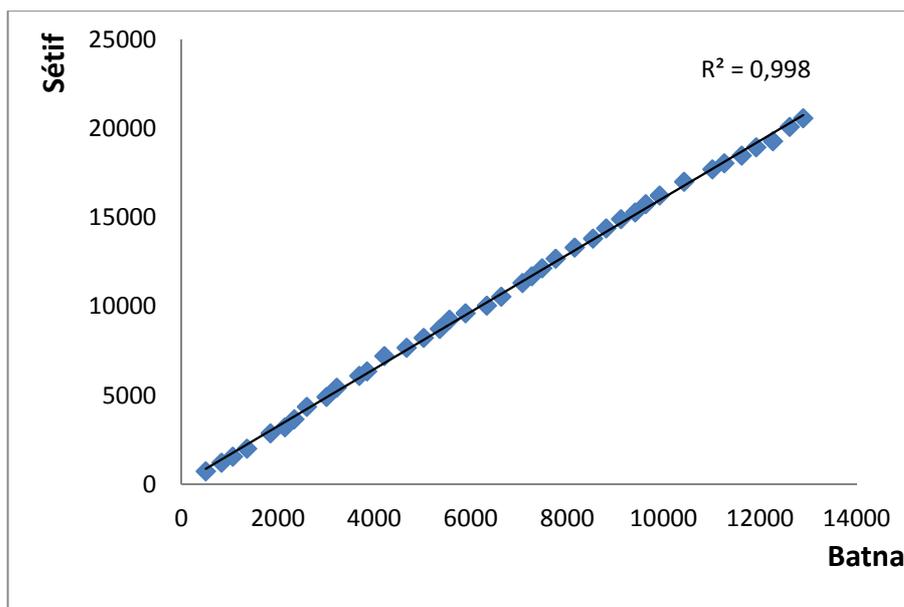


Figure 17 : Le contrôle des totaux annuels des précipitations par la méthode des doubles cumuls.

III-3-3- Traitement primaire des données

Les données acquises précédemment ont nécessité souvent un traitement préalable - ou traitement primaire - afin de les rendre pertinentes et exploitables. Il s'agit pour l'essentiel de la conversion de la mesure effectuée en une grandeur significative (par exemple : du k au °C).

Le traitement des données inclut aussi le contrôle primaire des données qui comprend les contrôles de cohérence à l'exclusion de tous traitements statistiques. Il s'agit par exemple, dans le cas d'une acquisition manuelle des données, de les convertir en fichiers numériques. Dans ce cas, on procède généralement à une double saisie des données puis les fichiers sont comparés afin de déceler d'éventuelles erreurs de saisie. Dans la situation où l'on procède à l'acquisition de données de précipitations et de températures, nous vérifions encore la cohérence temporelles des données acquises, à savoir par exemple qu'une crue est bien la conséquence d'un épisode pluvieux.

III-3-4- Contrôle des données

Avant de pouvoir exploiter les données et bien qu'elles soient dans un format adéquat, il est primordial de contrôler la fiabilité et la précision de ces dernières. Le contrôle permet de valider les données avant leur organisation au sein d'une banque de données pour leur mise à disposition à des fins opérationnelles. Lors de cette opération, des indices indiquant que celle-ci est reconstituée, calculée voire manquante sont introduits.

La constitution d'une série climatique, est un processus long et laborieux, parsemé d'embûches, et au cours duquel de nombreuses erreurs, de natures différentes, sont susceptibles d'être commises (exemple : erreurs de saisis).

Des erreurs peuvent en effet être perpétrées lors de l'une ou de l'autre des quatre phases du déroulement classique des opérations, à savoir : la mesure ; la transmission de l'information ; le stockage de l'information ; le traitement de l'information (prétraitement et analyse). Il est donc indispensable, avant d'utiliser des séries de données, de se préoccuper de leur qualité et de leur représentativité en utilisant diverses techniques en général de type statistique.

Une erreur de mesure est définie comme étant la différence entre la vraie valeur (qui est l'idéal recherché, mais qui n'est en principe jamais connue) et la valeur mesurée. Il est commode, tant pour les présenter que pour différencier la façon de les aborder, de considérer deux types d'erreur : les erreurs aléatoires et les erreurs systématiques.

III-3-4-1- Les erreurs aléatoires (accidentelles)

Elles affectent la précision des données et sont non corrélées. Ce type d'erreur est dû à des raisons nombreuses et variées, généralement inconnues, affectant différemment chaque mesure individuelle. Généralement on considère que ces erreurs sont les réalisations d'une variable aléatoire normale centrée en 0 et de variance s^2 . Ces erreurs étant inévitables, il faut en estimer l'importance afin de pouvoir en tenir compte lors de l'évaluation de l'incertitude finale. Dans la mesure du possible, la technique de mesure induisant les erreurs aléatoires les plus faibles devrait être préférée.

III-3-4-2- les erreurs systématiques

Elles affectent la fiabilité des données et sont totalement corrélées. On parle aussi d'inconsistance. Supposons qu'aucune erreur aléatoire n'affecte les mesures. La différence entre la vraie valeur et la valeur mesurée, si elle existe, est alors due à une erreur systématique. L'origine des erreurs systématiques est le plus souvent liée à la calibration de l'appareil de mesure qui n'est pas parfaite ou à un phénomène extérieur qui perturbe la mesure (erreur d'appareillage, changement d'observateur...).

III-3-5- Recherche des erreurs et corrections des mesures

Selon la nature des erreurs constatées ou supposées la recherche de ces dernières fait appel à différentes techniques et méthodes :

- vérifier sur place la manière dont les données ont été organisées, traitées et/ou transformées.
- Investigation de bureau qui consiste à vérifier la chaîne de traitement de la mesure/donnée à chaque étape de son élaboration, tout comme la manière dont on a constitué les séries de données soumises à contrôle et/ou publication.
- Investigation statistique qui, à l'aide d'outils spécifiques, permet de mettre en évidence certaines erreurs ou inconsistance.

Les données de températures moyennes de l'année 1987 (série 1978-2004) de la station de Tebessa (figure 18) est un bon cas de figure des erreurs qui peuvent se produire; avant traitement une nette rupture peut être remarquée au niveau de l'année 1986 par rapport aux autres années (figure 18.1); après vérification auprès d'autres sources, il s'est avéré que ces valeurs sont aberrantes, cela peut être dû à une erreur de saisi ou autre, après correction, la série est dénuée de toutes ruptures et peut donc être considérée comme homogène (figure 18.2).

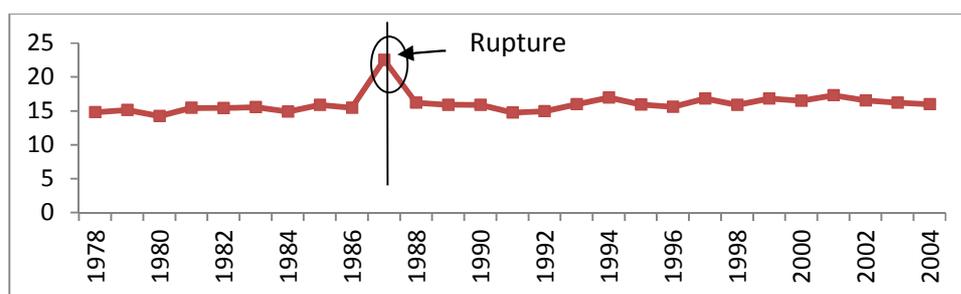


Figure 18.1 : série des températures moyennes annuelles de la station de Tebessa (avant correction).

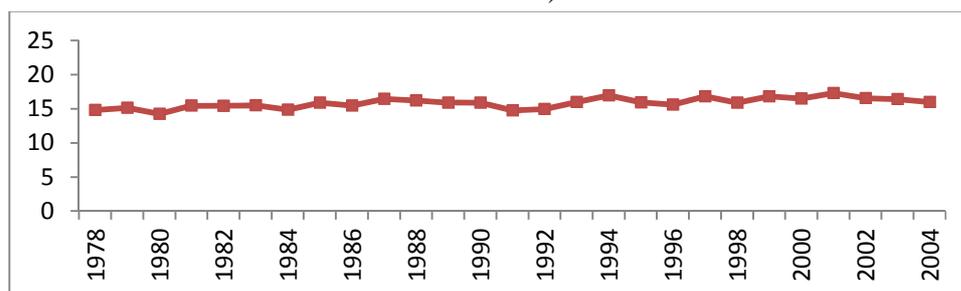


Figure 18.2 : série des températures moyennes annuelles de la station de Tebessa (après correction).

Figure 18 : contrôle et correction des valeurs aberrantes (cas de la station de Tebessa).

III-4- Méthodes statistiques

Pour détecter l'existence d'une éventuelle tendance dans les séries de données pluviométriques, deux approches ont été utilisées, la moyenne mobile, calculée au pas de temps de 3 ans et les tests non paramétriques de Spearman et Mann-Kendall, qui permettent de franchir des contraintes imposées par d'autres méthodes paramétriques et qui ont montré leur efficacité dans ce genre d'application. Afin de consolider les résultats de ces deux tests, nous avons utilisé le test de Pettitt, qui présente la particularité de localiser le moment de la rupture de la moyenne au sein de la série avec un niveau de signification qui traduit l'importance réelle du changement détecté. Ces calculs ont été appliqués aux données annuelles.

Pour détecter une éventuelle tendance dans les séries de températures, deux approches ont également été utilisées. D'abord, le calcul des écarts entre les températures minimales annuelles et la température moyenne minimale interannuelle de la série et, l'écart entre les températures

maximales annuelles et la température moyenne maximale interannuelle de la série, va permettre de détecter les anomalies des températures. Ensuite, l'application des tests d'homogénéité de Pettitt (1979) et Buishand (1982) appliqués sur les séries des températures moyennes annuelles, vont permettre d'identifier les années de rupture de la stationnarité.

III-4-1- Test d'homogénéité de Pettitt

C'est un test non paramétrique, il est une adaptation du test Mann-Whitney basé sur les rangs et ne nécessitant aucune hypothèse quant à la distribution de données.

Pettitt (1979), dans son article décrit l'hypothèse nulle (H_0) comme étant l'hypothèse où les T variables suivent une même distribution F et l'hypothèse alternative (H_a) comme étant qu'à un temps t se produit un changement de distribution. Généralement c'est les deux hypothèses émises lors de ce test.

Le cas de la station d'Annaba peut être donné en exemple. Les observations annuelles des précipitations de cette station sont soumises au test de Pettitt (figure 19); deux hypothèses sont émises lors du test :

- H_0 : les données sont homogènes;
- H_a : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données.

Etant donné que la p -value calculée (0,1742 dans l'exemple) est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 17,42%. On en conclut que la série de précipitations de la station d'Annaba est homogène.

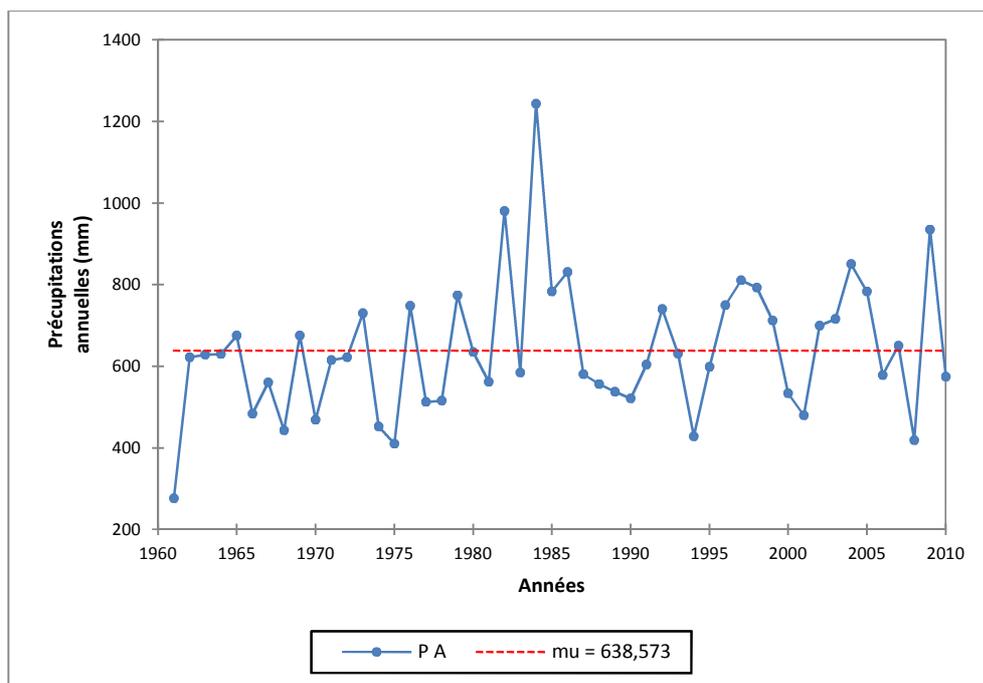


Figure 19 : Test d'homogénéité de Pettitt (station d'Annaba, période : 1961-2010).

III-4-2- Test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall sert à déterminer avec un test non paramétrique l'existence d'une tendance dans une série temporelle.

Ce test de tendance non paramétrique est le résultat d'une amélioration du test d'abord été étudié par Mann (1945) puis repris par Kendall (1975) et finalement optimisé par Hirsch (1982, 1984) de façon à prendre en compte une composante saisonnière. L'hypothèse nulle H_0 de ces tests est qu'il n'y a pas de tendance. Les trois hypothèses alternatives de tendance négative, non nulle ou positive peuvent être choisies.

Le cas de la station d'Annaba est toujours donné comme exemple. Les observations annuelles des précipitations de cette station sont soumises au test de Mann-Kendall (figure 20); deux hypothèses sont émises lors du test :

H_0 : Il n'y a pas de tendance dans la série;

H_a : Il existe une tendance dans la série.

Etant donné que la p-value calculée (0,082) est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 . Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 8,19%. Dans ce cas, on adopte l'absence de tendance comme conclusion.

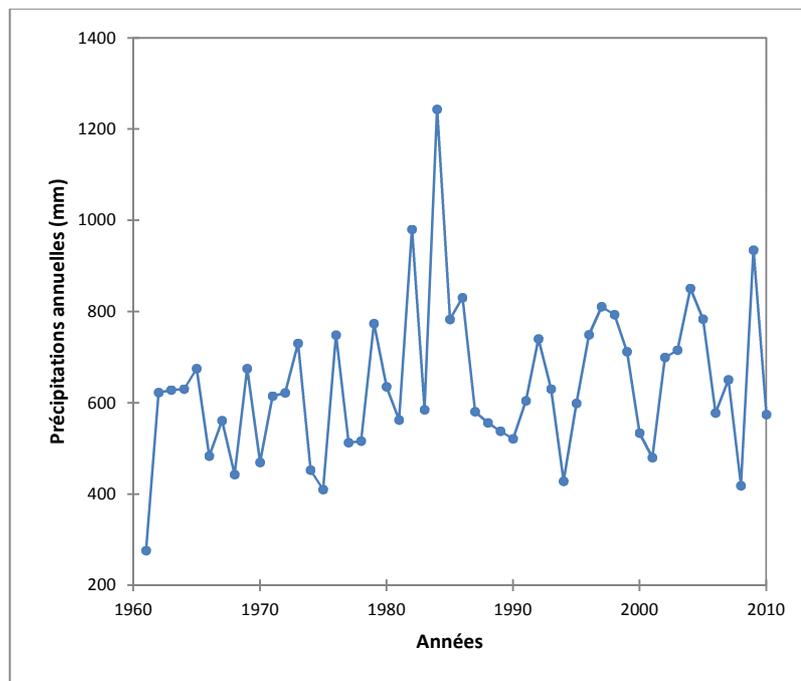


Figure 20 : Test de tendance de Mann-Kendall (station d'Annaba, période : 1961-2010).

IV-1- Les températures

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 F, 1984).

IV-1-1- Les températures moyennes mensuelles (\bar{T}_M)

Le tableau 7 (voir annexes) montre que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au mois de janvier au niveau de toutes les stations. Les stations du littoral et la station de Biskra présentent des valeurs qui fluctuent entre 12,3 °C et 11,2 °C, alors qu'au niveau des autres stations, cette variation est entre 5,1 °C et 6,8 °C; la station de Guelma quant à elle, enregistre une moyenne de 9,69 °C.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au mois d'août pour toutes les stations du littoral où la température moyenne fluctue entre 25,1 °C et 25,8 °C, de même pour la station de Guelma (26,72 °C) et celle de Souk-Ahras (25,24 °C). En juillet, les autres stations des hautes plaines enregistrent une variation entre 25,2 °C et 26,5 °C. Le maxima est enregistré à la station de Biskra au mois de juillet (33,83 °C). Pendant, ces deux mois, on constate l'aplatissement du sommet de la courbe de toutes les stations sauf celle de Biskra, où la variation de la température moyenne de juillet à août ne dépasse pas en général 1° C.

On peut constater, que pendant l'été les températures au niveau des stations littorales ne se différencient pas fortement de celles de l'Atlas Tellien et des hautes plaines (figure 21).

En été et en hiver, le littoral jouit de l'effet adoucissant de la mer, mais cet effet s'estompe dès que l'on pénètre de quelques kilomètres à l'intérieur.

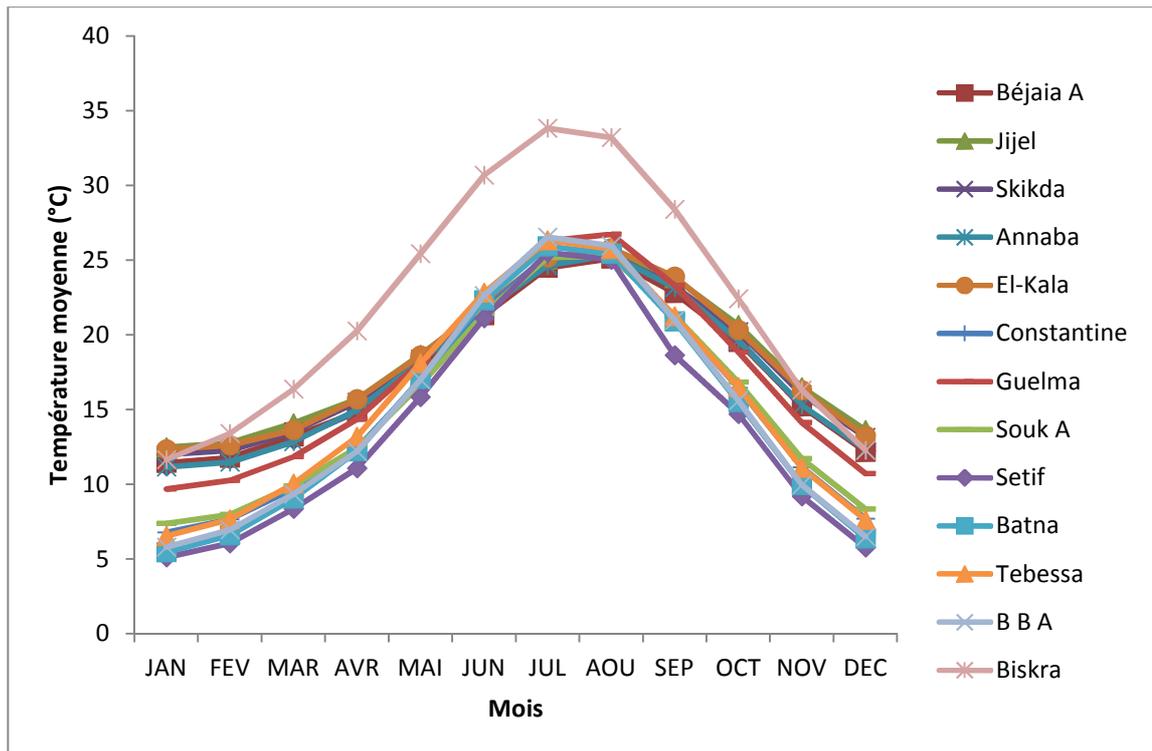


Figure 21 : La variation mensuelle des températures moyennes. Période (1961-2010).

IV-1-2- Les températures maximales moyennes (\bar{T}_x)

L'analyse des données du tableau 8 (voir annexes) montre que les moyennes maximales mensuelles les plus faibles sont enregistrées pendant le mois de janvier pour la totalité des stations, où elles fluctuent entre 15,7 °C et 16,7 °C pour les stations du littoral et la station de Biskra. Elles oscillent entre 9,4 °C et 11,8 °C pour les stations continentales à l'exception de la station de Guelma qui occupe une position intermédiaire entre les stations du littoral et les stations de l'intérieur avec 15,4 °C.

Les moyennes maximales mensuelles les plus élevées sont observées au mois d'août pour les stations du littoral où les moyennes maximales fluctuent entre 28,8 °C et 31,8 °C, et le mois de juillet pour la quasi totalité des stations de l'intérieur où cette moyenne fluctue entre 33,2 °C et 40,2 °C, à l'exception de la station de Guelma où la moyenne maximale mensuelle des températures est atteinte en août avec une valeur de 35,5 °C.

Selon la figure 22, nous constatons que les stations du littoral enregistrent en général entre le mois de mai et le mois de septembre des valeurs inférieures à celles des stations de l'intérieur et inversement pendant les autres mois.

La station de Biskra présente les valeurs les plus élevées le long de l'année, à l'exception du mois de décembre.

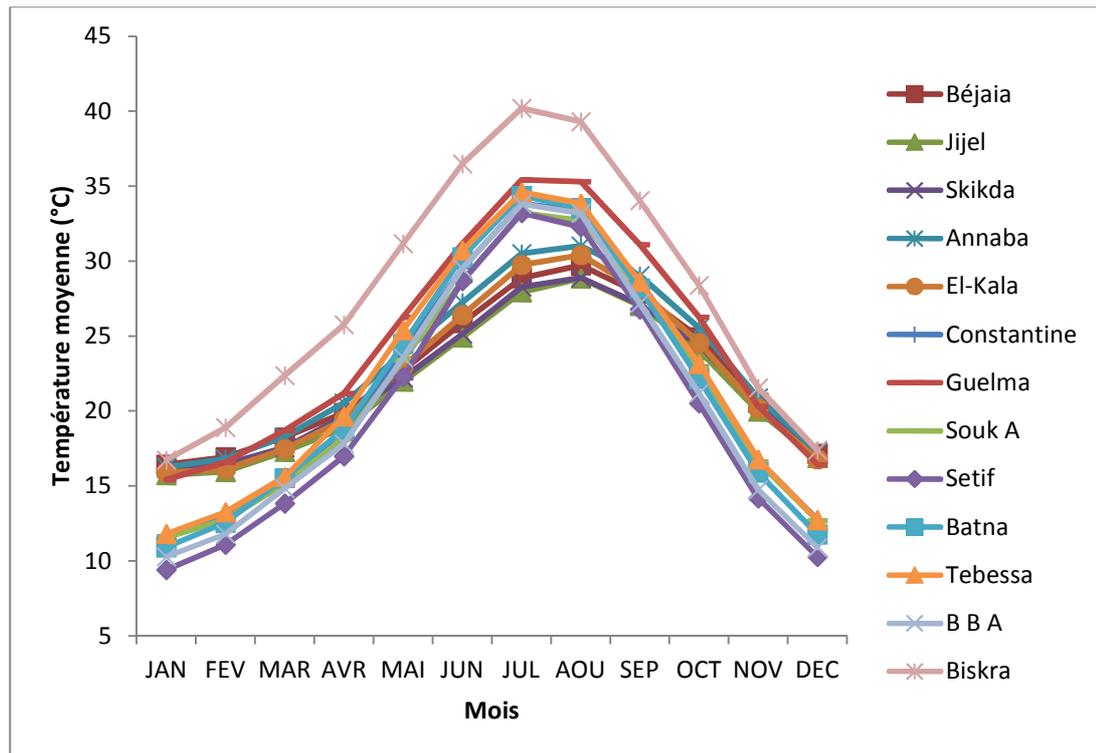


Figure 22 : La variation mensuelle des températures moyennes maximales. Période (1961-2010).

IV-1-3- Les températures minimales moyennes (\bar{T}_N)

L'analyse des données du tableau 9 (voir annexes) montre que les moyennes minimales mensuelles les plus élevées sont enregistrées pendant toute l'année au niveau des stations du littoral et la station de Biskra.

Les moyennes minimales mensuelles les plus basses sont enregistrées au mois de janvier pour la totalité des stations, où elles fluctuent entre 5,6 °C et 9,4 °C au niveau des stations du littoral et celle de Biskra, et elle fluctue entre 0,4 °C et 3,4 °C au niveau des stations intérieures, la station de Guelma quant à elle enregistre une moyenne de 4,67 °C.

Les moyennes les plus élevées sont enregistrées au mois d'août au niveau de toutes les stations, exception faite pour la station de B.B.A où la moyenne la plus élevée est enregistrée au mois de juillet. Au niveau des stations du littoral les moyennes fluctuent entre 19,4 °C et 22 °C alors qu'elles varient entre 16,9 °C et 18,8 °C au niveau des stations de l'intérieur.

La station de Biskra présente les valeurs les plus élevées le long de l'année par rapport aux autres stations de la région d'étude (figure 23).

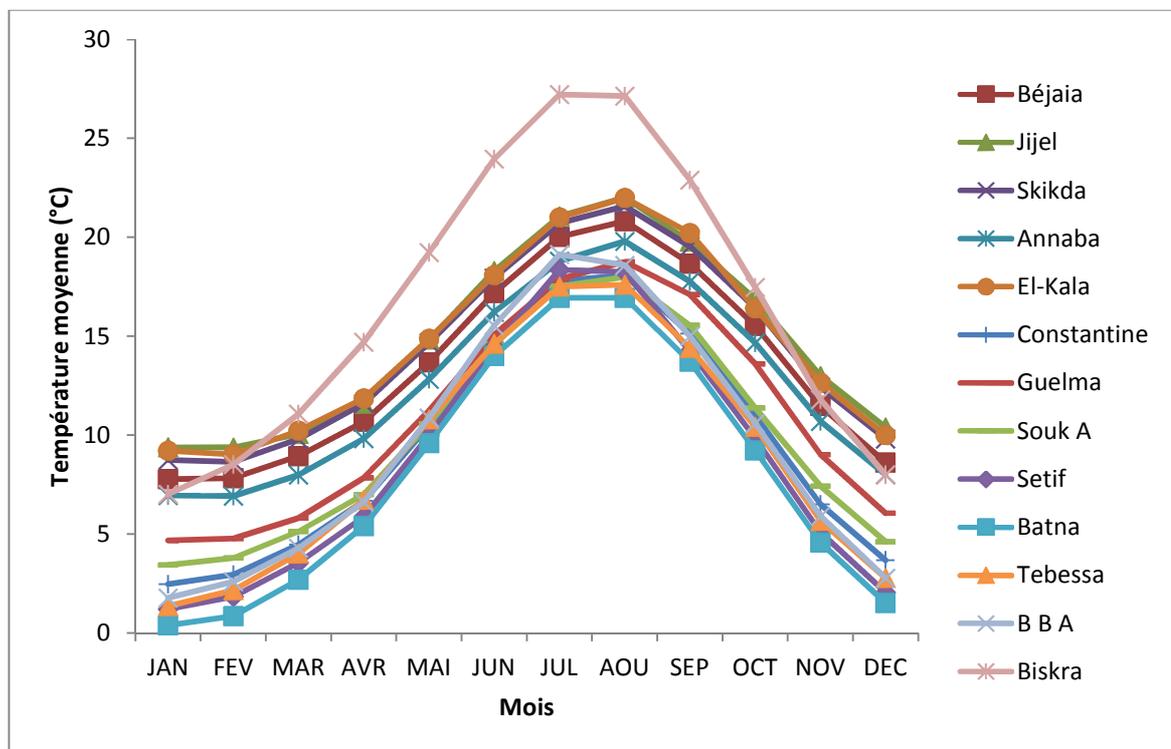


Figure 23 : La variation mensuelle des températures moyennes minimales. Période (1961-2010).

IV-2- Les températures moyennes annuelles

D'après la figure 24, nous constatons que notre région d'étude est répartie en trois groupes distincts, le premier est représenté par la seule station de Biskra, celle-ci se différencie par des températures moyennes annuelles élevées le long de la période d'étude, elles sont comprises entre 20,4 °C et 23,4 °C ; quant au deuxième groupe, il comprend les stations du littoral et la station de Guelma, les moyennes annuelles sont comprises entre 17,6 °C et 19,2 °C ; enfin le troisième groupe est constitué du reste des stations de l'Atlas Tellien (Constantine et Souk Ahras)

et les stations des hautes plaines, les valeurs des moyennes annuelles fluctuent entre 11,4 °C et 17,3 °C; les valeurs les plus basses sont enregistrées au niveau de la station de Sétif, celles ci oscillent entre un minimum de 11,4 °C enregistré en 1977 et un maximum de 15,5 °C enregistré en 1994.

Cette variation entre régions est due principalement au trois facteurs suivants : la latitude, l'altitude et la position par rapport à la mer. La latitude détermine une décroissance de la température du Sud vers le Nord, qui est plus rapide à l'Ouest (B.B.A et Sétif) qu'à l'Est (Souk-Ahras et Constantine). Cette décroissance est d'autant accélérée dans une région située à une altitude plus élevée par rapport aux autres stations voisinant la même latitude. Sur les côtes, les effets de la latitude et de l'altitude sont amortis par celui du troisième facteur, à savoir la proximité des stations par rapport à la mer.

Le tableau 10 (voir annexes) indique pour toutes les stations, la variabilité de la température annuelle autour de la moyenne entre 1961 et 2010. Le coefficient de variation est très faible dans toutes les stations, à l'exception de la station de Tebessa où ce coefficient est de 8.18 % ; dans les autres stations, il varie entre 3,3 % et 6,7 % par rapport à la moyenne générale de la région (16,88 °C pour la période 1961-2010), cela signifie que la variation de la moyenne des températures annuelles est faible, on peut étayer cet état de fait par les faibles valeurs que prend l'écart-type pour toutes les stations de notre région d'étude.

La figure 24, laisse apparaître aussi une concordance des variations thermiques interannuelles dans les différentes stations. Nous distinguons, certaines années relativement chaudes (par exemple : 1961, 1988, 1989, 1990, 1994, 1999 et 2001) et d'autres relativement froides (ex. 1980, 1983, 1991, 1992, 1996 et 2004).

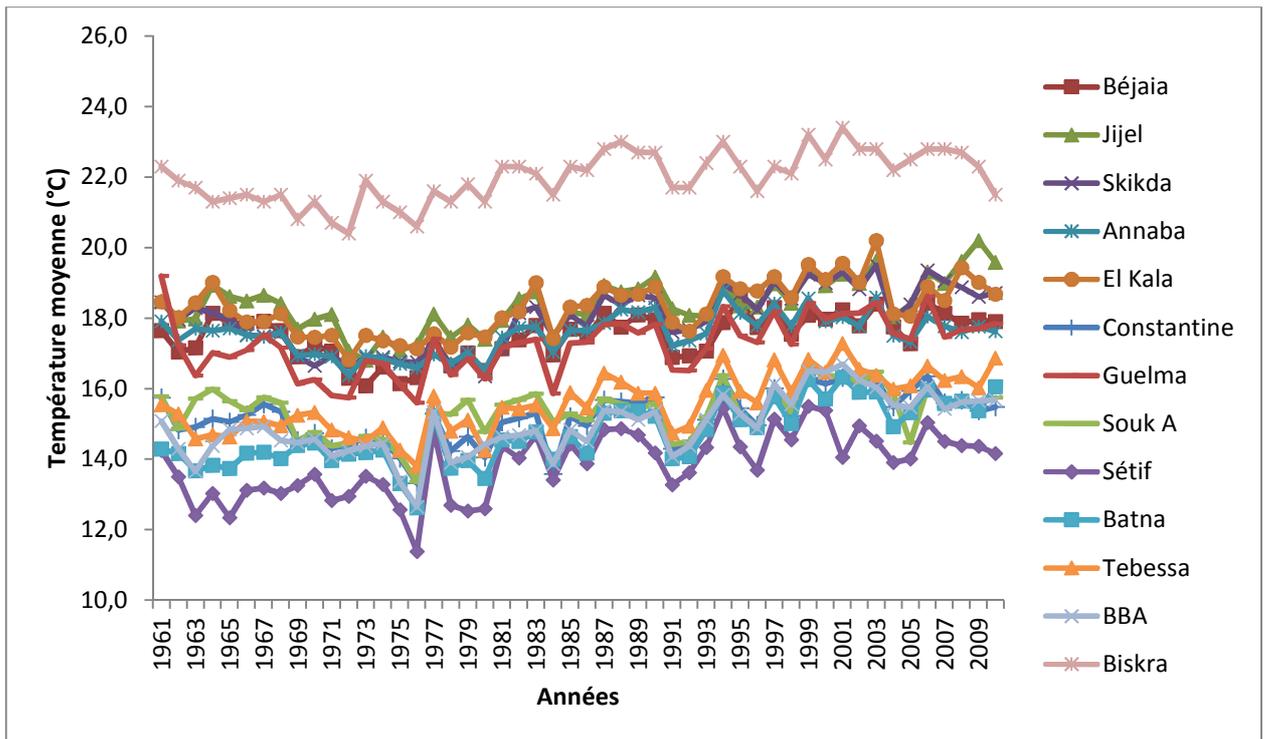
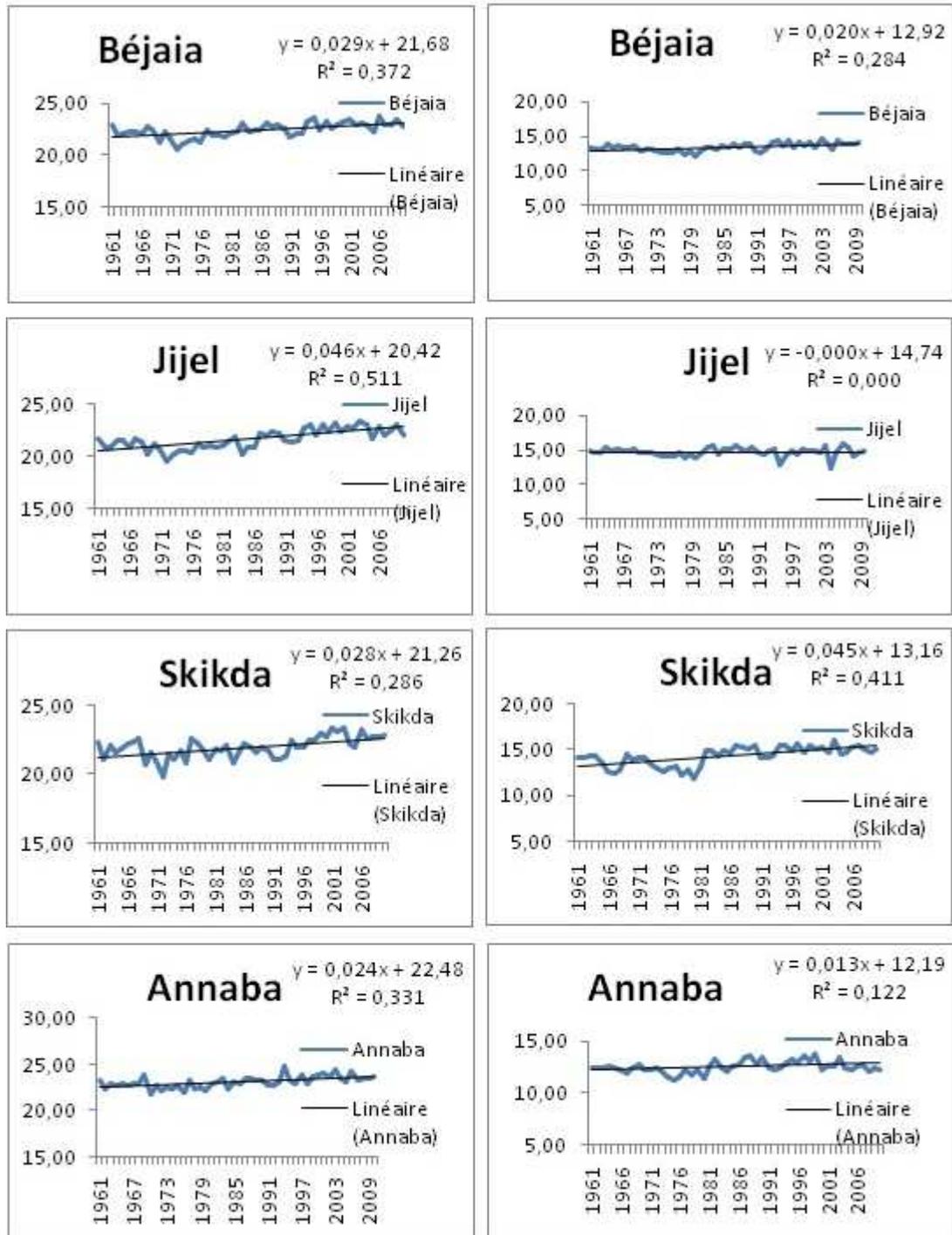


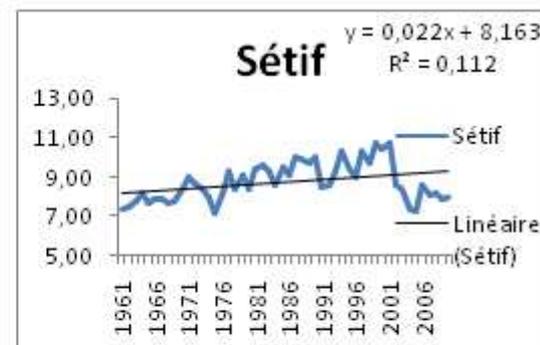
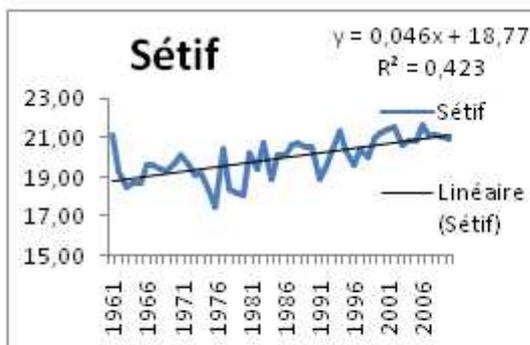
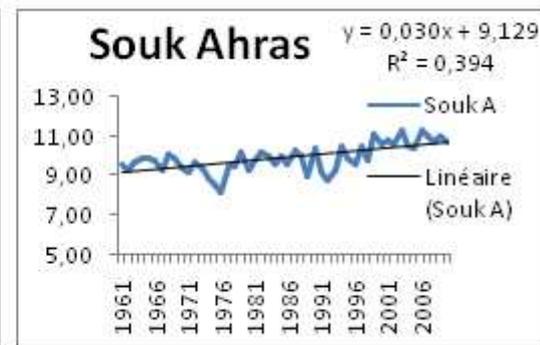
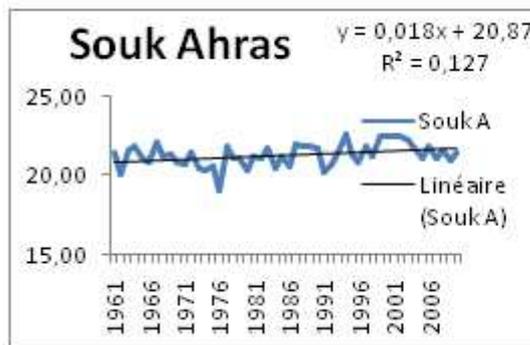
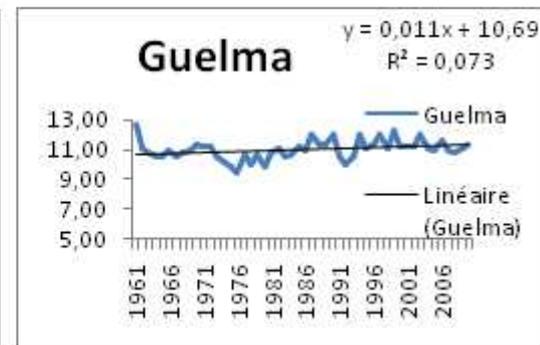
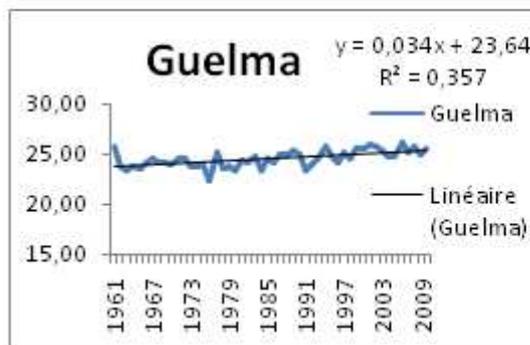
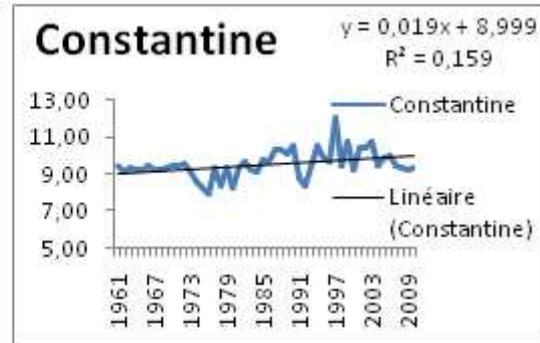
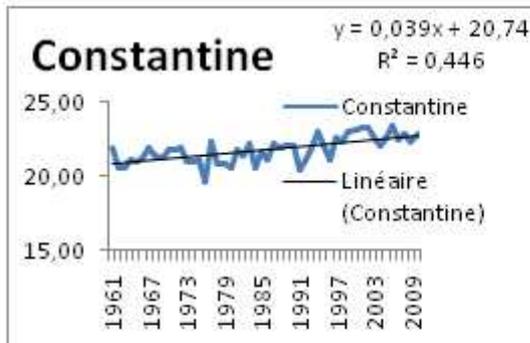
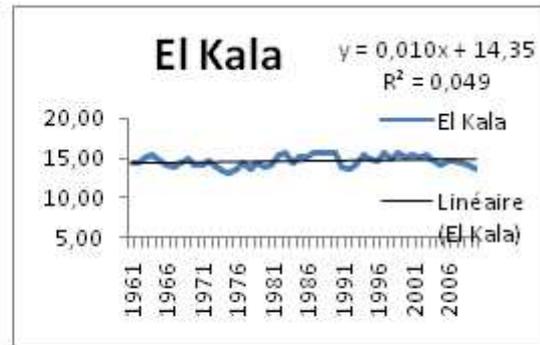
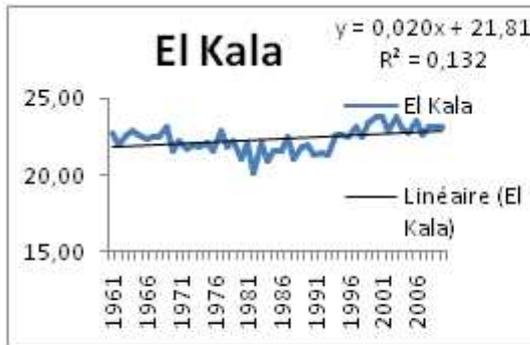
Figure 24 : La variation interannuelle des températures moyennes. Période (1961-2010).

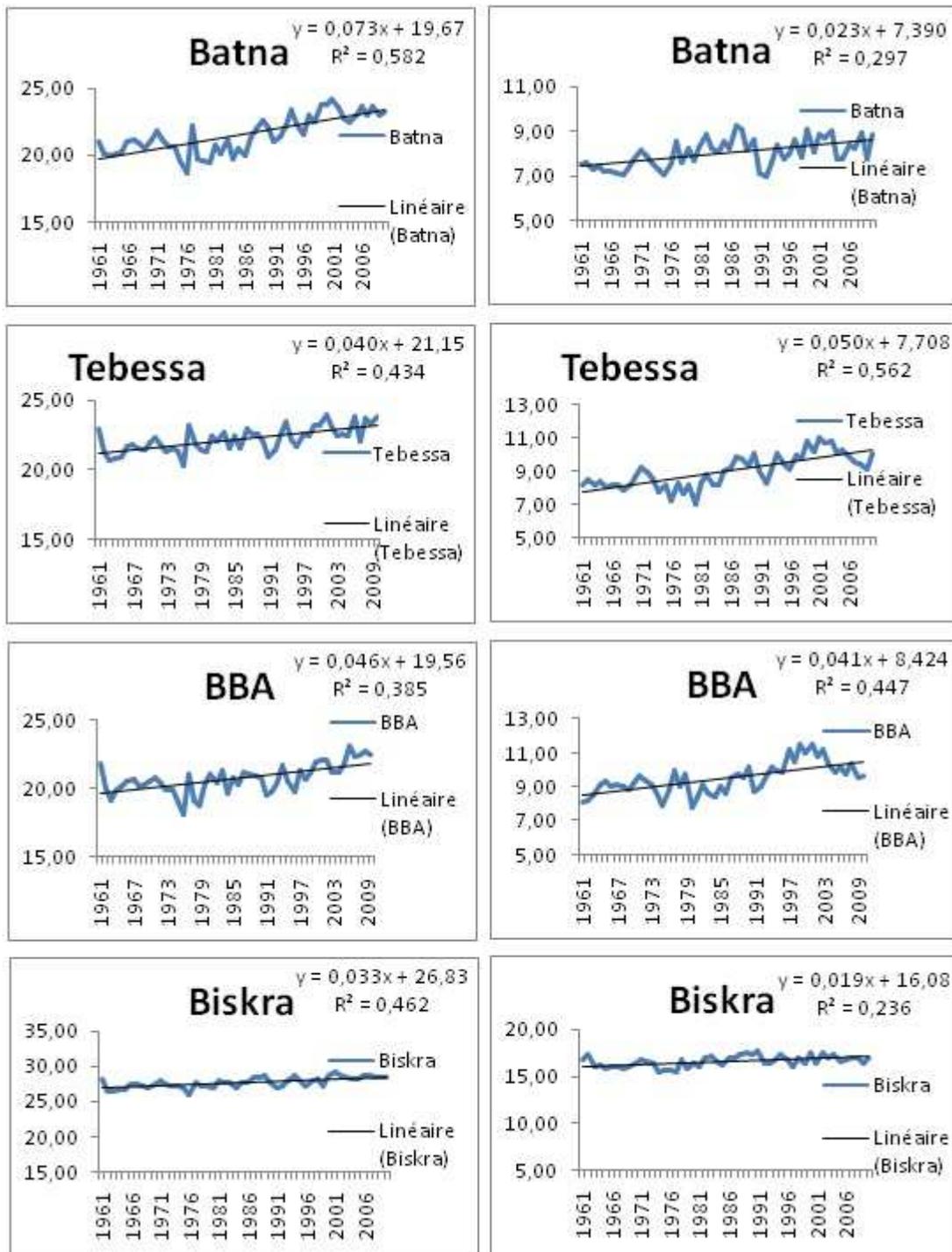
IV-3- Températures minimales et maximales annuelles (1961–2010)

D'après la figure 25, nous remarquons une augmentation des températures diurnes au niveau de toutes les stations de notre région d'étude, il n'est pas de même concernant les températures nocturnes où la tendance varie selon les stations; concernant les stations du littoral, toutes les stations ont une tendance à la baisse sauf la station de Skikda qui rejoint la tendance du reste des stations où cette dernière est à la hausse. Nous en déduisons donc que la différence entre ces résultats est principalement due au fait que les stations du littoral subissent les effets directs de leur proximité à la mer.

Les températures moyennes annuelles nocturnes au niveau de la station de Sétif comprennent deux tendances le long de la période d'étude (1961-2010), une tendance à la hausse s'étalant de 1961 à 2001 et une tendance à la baisse s'étalant de 2002 jusqu'en 2010.







Température moyenne maximale annuelle Température moyenne minimale annuelle
Figure 25 : Evolution des températures minimales et maximales annuelles (1961 – 2010).

IV-4- Comparaison entre trois séries d'observation des températures : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010)

Après avoir divisé notre période d'étude, nous avons procédé à l'analyse de l'évolution des températures entre ces deux séries d'observations et la série de Seltzer (tableau 11, voir annexe), après correction de celle-ci : la première période est celle de Seltzer, elle s'étale de 1913 jusqu'à 1938, la deuxième période s'étale de 1961 jusqu'à 1985 quant à la troisième et dernière période, elle s'étale de 1986 jusqu'à 2010, ce qui nous donne trois périodes de 25 ans, le but est de déceler les écarts éventuels et mettre l'accent sur les changements et les fluctuations de la température moyenne annuelle s'ils ont lieu.

Cette comparaison comprend toutes les stations étudiées bien que quelques stations présentent des lacunes plus ou moins conséquentes, on peut par exemple signaler que la station de Jijel ne présente presque aucune observation lors de la deuxième période (1961-1985), nous avons donc dû reconstituer la quasi totalité des données en utilisant la méthode de la régression linéaire, il en a été de même pour la station d'El Kala.

La figure 26, montre que les moyennes des températures mensuelles de la période (1986-2010) et celle de Seltzer (1913-1938) sont toujours plus élevées que la période (1961-1985), exception faite du mois de janvier où la période (1961-1985) présente une température moyenne supérieure à celle de la période de Seltzer. Le mois de septembre est le seul mois où la période de Seltzer présente une température moyenne supérieure à celle de la période (1986-2010).

Pour les températures moyennes annuelles (tableau 10, voir annexes), le réchauffement est perceptible au niveau de toutes les stations de la région d'étude, les écarts les plus conséquents sont observables au niveau de la station de Skikda dans le littoral avec 1,25 °C d'écart ainsi que dans toutes les stations de hautes plaines (Sétif, Batna, Tébessa et Bord Bou Arreridj). Les stations présentant les écarts les plus faibles sont la station d'Annaba et celle de Bejaia.

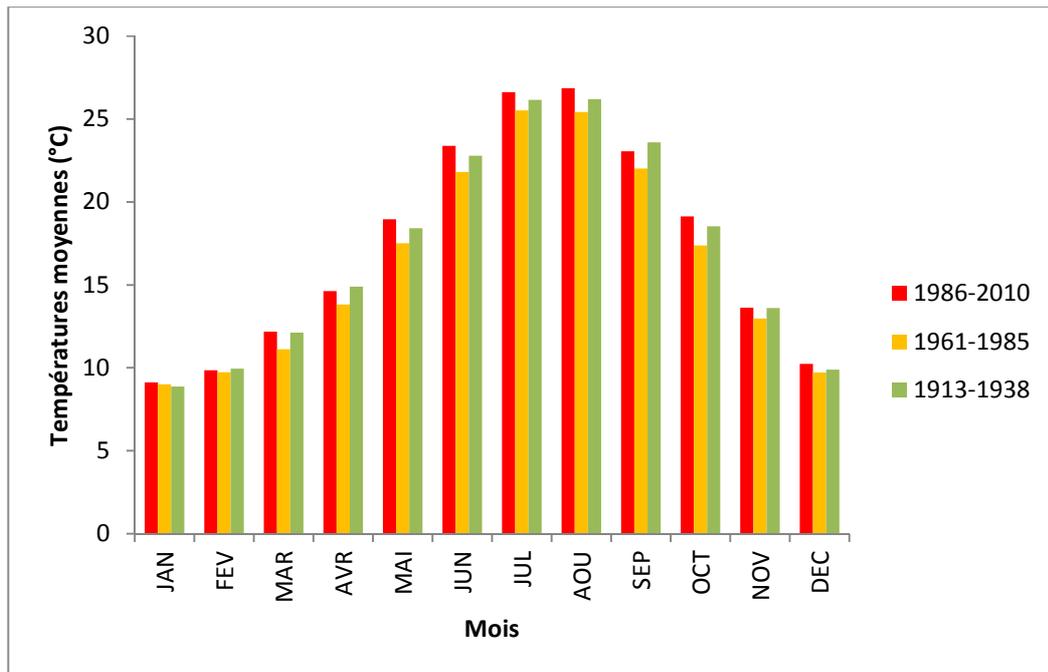


Figure 26 : Comparaison des moyennes mensuelles de la température entre trois périodes : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010)

IV-5- L'amplitude thermique annuelle

On peut la définir comme l'écart entre la température moyenne mensuelle du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid.

Cette amplitude est sensible à la position climatique des stations comme il est signalé dans le tableau 12 (voir annexe). Pour la plupart des stations du littoral, l'amplitude annuelle est comprise entre 18,1 °C et 19,9 °C (20,6 °C à la station d'Alger), elle oscille entre 23 °C et 24,3 °C dans les stations de l'Atlas Tellien et est comprise entre 25,3 °C et 28,2 °C dans les hautes plaines. Quant à la station de Biskra, elle présente une amplitude de 27,1 °C.

Plus nous allons vers le Sud, plus l'amplitude entre la côte et l'intérieur est importante, cette amplitude relativement importante résulte évidemment du régime thermique méditerranéen caractérisant la région (hiver frais et été chaud).

IV-6- Les gradients thermiques

Le calcul du gradient thermique consiste à évaluer verticalement la décroissance de la température en fonction de l'altitude pour un intervalle (normalement 100 m) de dénivellation et d'établir l'équation de la droite de régression qui confère directement la température cherchée en fonction de l'altitude connue.

Les 13 stations de notre région d'étude sont situées dans quatre zones naturelles bien distinctes: le Littoral, l'Atlas Tellien, les Hautes Pleines Telliennes et le Sahara; sept stations seulement ont été retenues pour l'étude du gradient, en effet les stations du littoral ont été rejetées à cause de l'influence de la mer méditerranéenne sur les températures ce qui cause une inversion thermique en été; la station de Biskra a aussi été rejetée, cette fois ci à cause de l'influence du climat saharien sur cette dernière; dans ces deux cas l'altitude jouant un rôle secondaire par rapport à l'altitude (voir annexe).

L'étude de cette régression va consister à :

- Calculer a_1 et b_1 pour la droite $T = a_1 \times \text{Alti} + b_1$;
- tenir en compte du fait que les sept stations de la région d'étude constituent un échantillon de leurs zones naturelles respectives.

Nous pouvons donner comme exemple, l'étude de la régression entre l'altitude et les températures maximales des 7 stations de la région d'étude pour le mois de janvier (figure 27), cette opération requiert le calcul d' a_1 et b_1 , pour ce faire on utilise les formules suivantes:

$$a_1 = \frac{COV_{xy}}{S_x^2} \text{ et } b_1 = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

$COV_{xy} = -417,18$: est la covariance entre les températures maximales en janvier et les altitudes des 7 stations de l'Est algérien ;

$\bar{x} = 743,57$ m: est la moyenne des altitudes des 7 stations ;

$S_x = 260,35$: est l'écart type des altitudes des 7 stations ;

$\bar{y} = 11,60$ °C : est la moyenne des températures maximales des 7 stations étudiées.

$$\text{Ce qui nous donne : } a_1 = \frac{-417,18}{260,35^2} = -0,0062 \text{ et } b_1 = 11,60 - (-0,0062 \times 743,57) = 16,17$$

L'équation de régression en janvier est donc : $T \text{ max}' = -0,0062 \times \text{Alti} + 16,17$.

En moyenne pour les 7 stations de l'Est algérien, la température baisse de 0,0062 °C chaque fois que l'altitude augmente d'un mètre (à partir de la valeur 16,17 °C), ce qui implique un gradient de 0,62 °C par 100 m pour le mois de janvier.

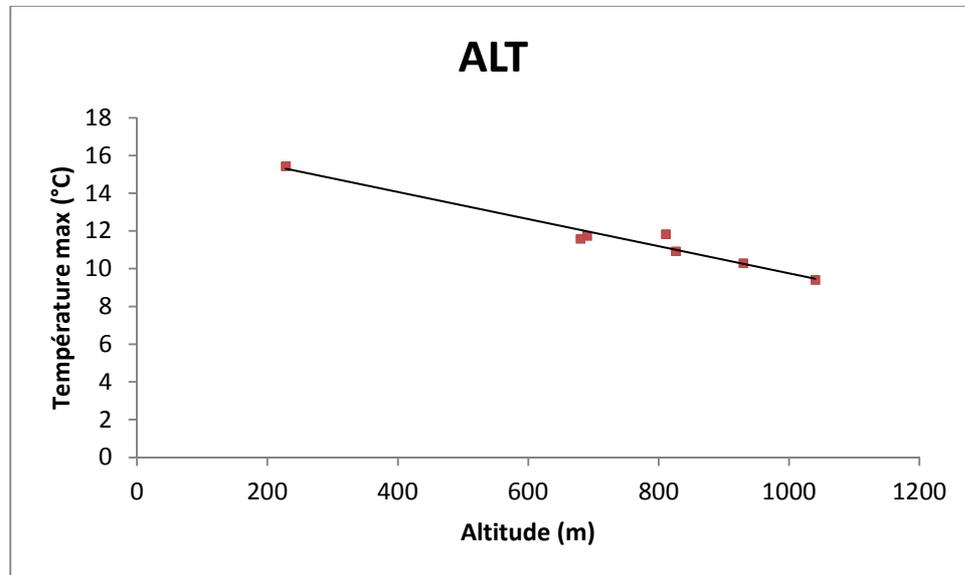


Figure 27 : Nuage de points et droite de régression de Tmax en fonction de l'altitude au mois de Janvier.

Le tableau 13 (voir annexe) indique tous les composants de l'équation de la droite de régression avec a_1 comme la pente de la droite, celui-ci multiplié par 100 va donner un gradient par 100 m de dénivellation (tableau 13.1, voir annexe), b_1 quant à lui représente la température théorique à la surface de la mer.

La figure 28, montre un renversement thermique du gradient pendant la saison estivale au niveau des minima, au mois de juillet la température minimale ne diminue plus selon l'altitude mais augmente, la tendance à la baisse est la même pour les gradients des maxima et des températures moyennes pendant la même période mais sans qu'il y ait renversement thermique pour autant.

D'une manière générale, le gradient thermique des maxima présente les valeurs les plus élevées ensuite vient le gradient des températures moyennes avec une position médiane entre les gradients des minima et maxima et en dernier le gradient des minima qui comprend les valeurs les plus faibles; les trois courbes suivent la même tendance.

Les trois gradients présentent des valeurs fortes pendant l'hiver et des valeurs faibles pendant l'été.

Pour notre région d'étude le gradient annuel des maxima est de $-0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour une dénivellation de 100 m tandis que le gradient annuel des minima est de $-0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour 100 m de dénivellation, quant au gradient annuel des températures moyennes, il est de $-0,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour 100 m de dénivellation.

Le fait que les températures des maxima décroissent plus rapidement avec l'altitude que celles des minima et des températures moyennes peut s'expliquer par :

- Le refroidissement nocturne de l'air lors de la nuit est particulièrement intense; il se produit alors un écoulement d'air froid en région montagnaise, le long des versants, qui s'accumule dans les fonds des vallées. Le minimum, est par conséquent, plus bas que le minimum correspondant à l'altitude de la station (cas d'inversement thermique), et la différence de température entre la vallée et la montagne est alors plus faible que celle correspondant à la différence d'altitude.
- Comme déjà expliqué plus haut, la vitesse de décroissance des températures n'est pas seulement liée à l'altitude, d'autres facteurs entrent en jeu comme l'éloignement par rapport à la mer.

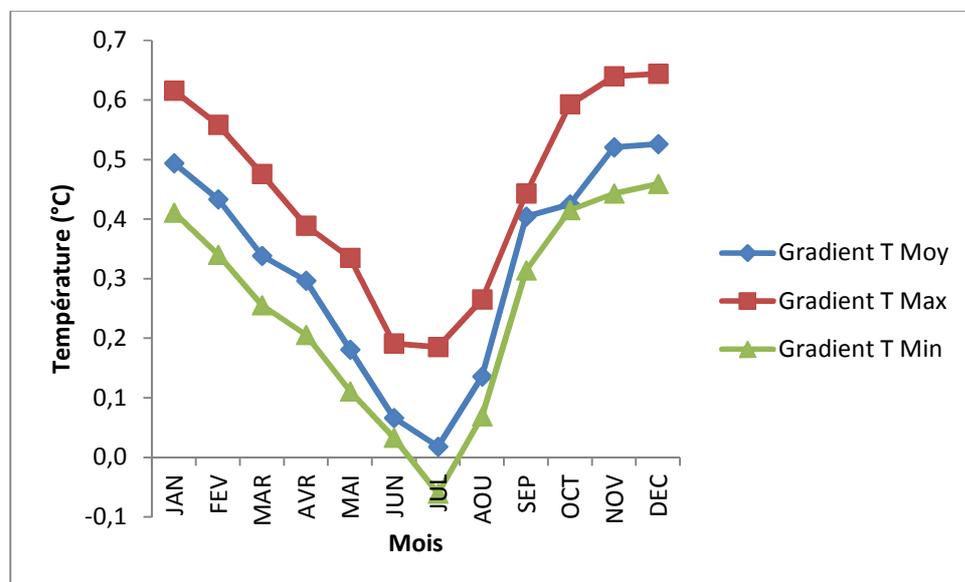


Figure 28 : La variation mensuelle des gradients thermiques. Période (1961-2010).

Le tableau 13.2, comprend les gradients des températures minimales et maximales calculés par divers auteurs dans les différentes régions.

Les gradients obtenus lors de notre étude ont des valeurs proches des valeurs obtenues par Tir et Khabtane (1997) dans l'extrême Nord-Est algérien avec un écart de 0,01 °C concernant le gradient des minima et un écart de 0,06 °C pour le gradient des maxima. La différence la plus notable concerne quant à elle, les gradients qu'a obtenu Tir (2009) pour l'Est algérien, la comparaison avec nos gradients montre un écart faible 0,08 °C pour le gradient des minima, et un écart plus ou moins conséquent concernant le gradient des maxima qui est de 0,28 °C; cette différence est probablement due aux méthodologies différentes utilisées lors des deux études respectives et au nombre de stations retenues pour cette étude.

Tableau 13.2 : Les gradients des températures minimales (m') et maximales (M') calculés en Algérie.

Auteurs	m' (°C)	M' (°C)	Région
SELTZER. P (1946)	0.4	0.7	Algérie
BALDAY (1965)	0.5		Ouest algérien
GCHARZOULI (1977)	0.63		Centre algérien
GCHARZOULI (1977)	0.41		Est algérien
GCHARZOULI (1977)	0.6		Steppe du Sud algérien
DJEBAR (1983)	0.32	0.8	Région de Saïda
DJELLOULI (1981)		0.7	Sud oranais
BENBADJI et BOUAZZA (2000)	0.6		
TIR et KHABTANE (1997)	0.24	0.5	Extrême Nord-Est algérien
TIR (2009)	0.33	0.72	Est algérien
FARAH	0,25	0,44	Est algérien

IV-7- Le régime thermique

L'intérêt du calcul de l'indice de continentalité est la détermination du régime thermique et de l'indice de continentalité d'une station donnée.

Pour JANSZEWSKI (in DJELLOULI, 1981), la continentalité du climat d'une station est caractérisée par la combinaison des continentalités thermiques et pluviales. L'auteur propose pour se faire un climagramme portant en abscisse les continentalités thermiques, et en ordonnée,

les continentalités pluviales qui sont des rapports des précipitations des six mois les plus chauds (P2) aux précipitations des six mois les plus froids (P1).

L'indice de continentalité thermique (K) est donné par la formule de GORCZYNSKI (1920) (modifié Daget 1968) :

$$K = \frac{1,7 \times A}{\sin(Q+10+9h)} - 14$$

Où :

K : indice de continentalité thermique ;

A : amplitude thermique moyenne en °C ;

Q : latitude de la station en degrés d'arc ;

h : représente l'altitude exprimée en Kilomètre.

Un climat est dit continental s'il présente à la fois une continentalité thermique supérieure à 25% et une continentalité pluviale supérieure à 1. Par contre, un climat est dit non continental si les deux valeurs de la continentalité sont inférieures à ces seuils.

Les valeurs résultantes du calcul du coefficient de continentalité (tableau 14, voir annexe), nous permettent de constater que la continentalité est corrélée à la distance d'une station à la mer, en effet plus on s'éloigne de la mer plus la continentalité augmente; la station de Jijel présente le coefficient le plus faible avec 18,41 % s'ensuit le reste des stations du littoral, les stations de Biskra et de Bordj Bou Arreridj présentent les coefficients les plus élevés avec respectivement 35,62 % et 30,87 %.

La figure 29 indique que les stations du littoral de la région d'étude sont soumises à un climat maritime (méditerranéen), alors que les stations de l'intérieur sont soumises à un climat semi continental, cet état de fait varie selon la distance de la station de la mer; ainsi plus on progresse à l'intérieur, plus les influences régulatrices de la température du climat maritime s'estompent laissant place à un climat continental plus prononcé.

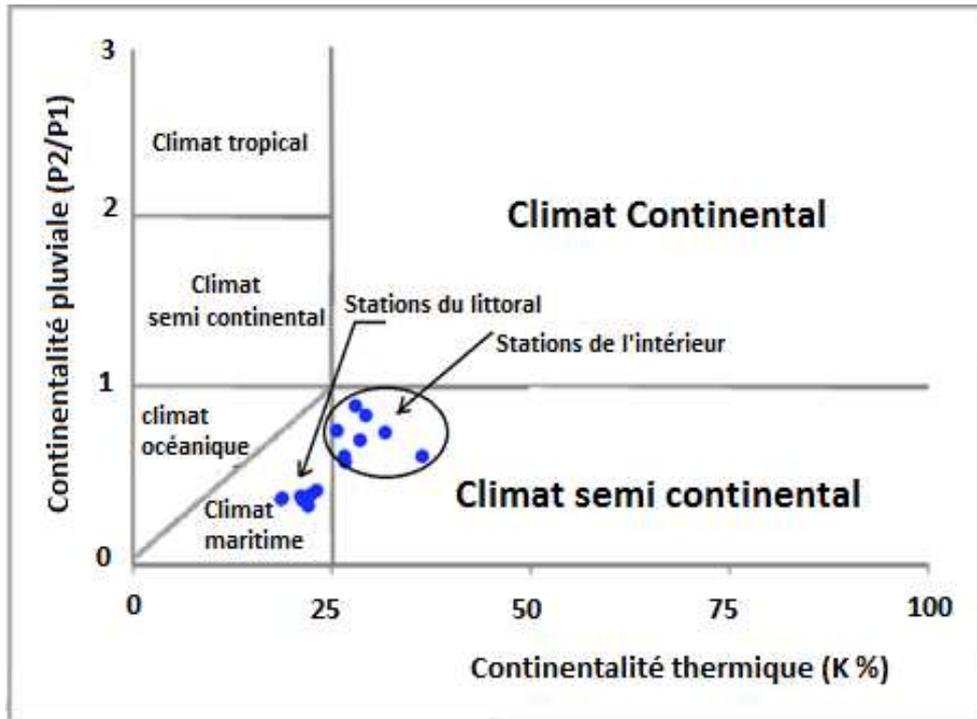


Figure 29 : Diagramme de l'expression synthétique de la continentalité

IV-8- Variabilité interannuelle des températures moyennes de l'Est algérien

Le calcul de la moyenne des températures moyennes annuelles de l'Est algérien (tableau 10, voir annexe) prend en compte les données de toutes les stations excepté celle d'Alger (Dar El Baida); d'après la faible valeur de l'erreur standard nous pouvons supposer que la moyenne est très représentative de la période d'étude (1961-2010).

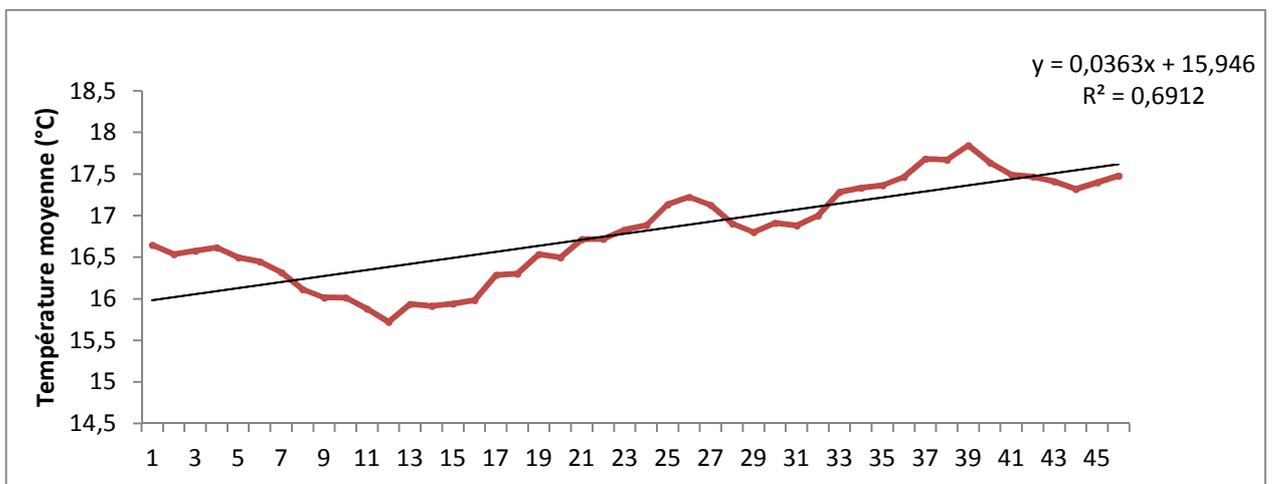


Figure 30.1 : moyenne des températures moyennes annuelles (graphe après lissage avec des moyennes mobiles de 3 ans). Période 1961-2010.

Le but du lissage (figure 30.1) est l'atténuation des variations temporelles aléatoires ; dans notre cas nous avons remplacé les valeurs de la série par des moyennes mobiles de 3 ans.

Les figures 30 (voir annexe) et 30.1, nous permettent de distinguer deux tendances, la première tend à la baisse des températures moyennes annuelles et la seconde tend à la hausse des températures avec à son sein deux périodes présentant des pics de températures.

La tendance à la baisse est représentée principalement par la période (1961-1976), quant à la tendance à la hausse, elle est indiquée au niveau de la période (1977-2010), nous pouvons remarquer qu'au sein de cette même période l'existence de deux pics, l'un à la 26^{ème} année de notre période d'étude et l'autre à la 40^{ème} année, c'est-à-dire respectivement à l'année 1986 et 2001.

IV-8-1- Une tendance à la baisse (Période 1961-1976)

D'après la figure 30.2, il y'a une tendance à la baisse des températures moyennes annuelles de l'Est algérien, de 1961 jusqu'à 1976 ; cette baisse peut être estimée par la méthode de la régression linéaire.

Selon notre étude, les années les plus froides concernant notre région d'étude sont respectivement : 1976, 1975 et 1972.

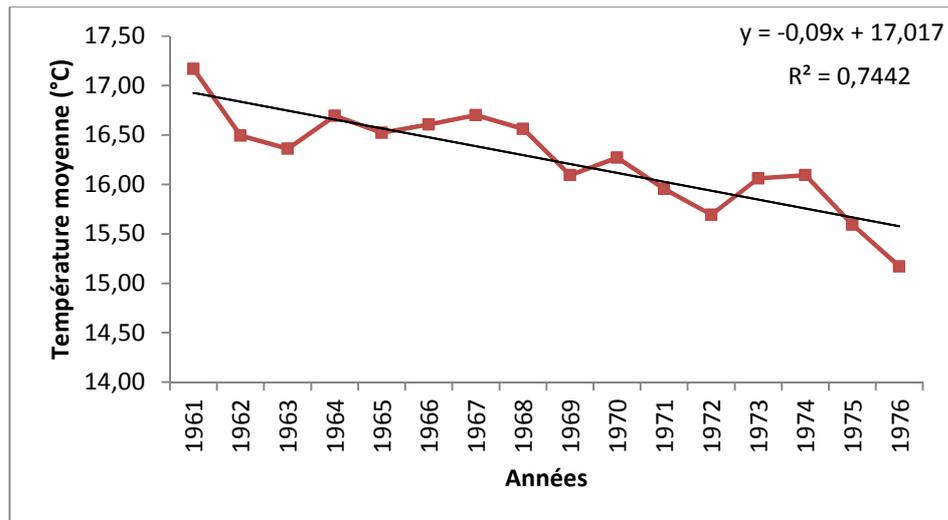


Figure 30.2 : Tendence à la baisse des températures moyennes annuelles dans l'Est algérien, période (1961-1976).

IV-8-2- La tendance à la hausse (Période 1977-2010)

Selon la figure 30.3, il y'a une tendance à la hausse des températures moyennes annuelles de l'Est algérien, de 1977 jusqu'à 2010 ; nous pouvons supposer que ce réchauffement est dû en premier lieu au réchauffement climatique, aux différents incendies qui ont touché presque toutes les forêts et à la prolifération des usines.

Cette hausse peut être estimée par la même méthode utilisée précédemment (régression linéaire).

Selon notre analyse, les années les plus chaudes concernant notre région d'étude sont respectivement : 1999, 2001, 2003, 2000 et 2002.

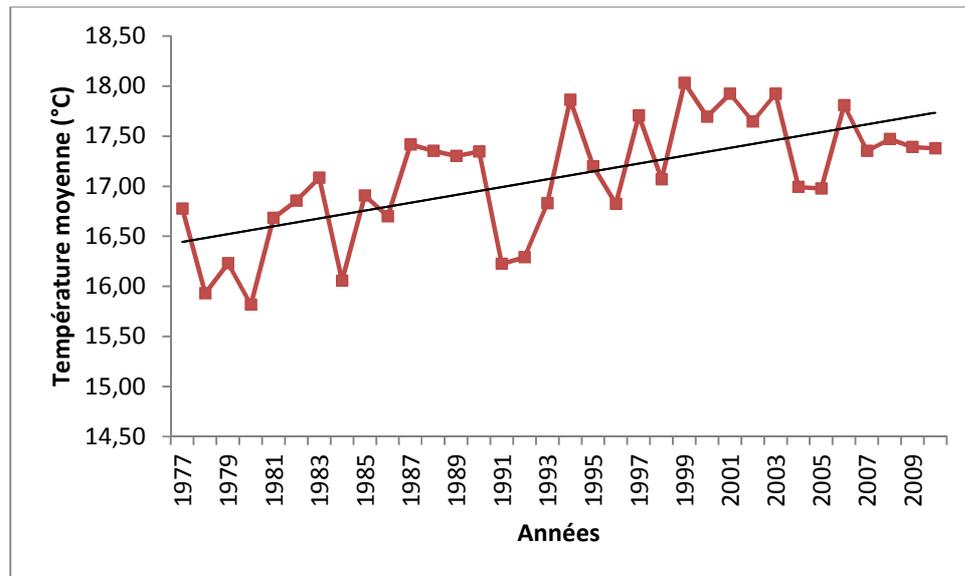


Figure 30.3 : Tendence à la hausse des températures moyennes annuelles dans l'Est algérien, période (1977-2010).

IV-9- Fluctuations des températures moyennes annuelles de la série (1961-2010) de l'Est algérien par rapport à la normale des températures (1961-1990)

La figure 31 présente deux période distinctes, une période où les températures sont nettement inférieures à la normale des températures et une période où elles sont supérieures à celle-ci, une zone de transition est à remarquer entre ces deux périodes où l'on distingue une sorte de balancement des températures par rapport à la normale; la période à tendance froide s'étale sur 22 ans de 1961 à 1982, quant à la période à tendance chaude, celle-ci s'étale sur 18 ans, de 1993 jusqu'en 2010 ; ce réchauffement s'accorde avec les derniers rapports qui signalent un réchauffement depuis le début des années 90.

Le but du lissage (courbe rouge) est l'atténuation des variations temporelles aléatoires ; nous pouvons remplacer les valeurs de la série par la moyenne, dans ce cas un pas de temps de 3 ans a été choisi.

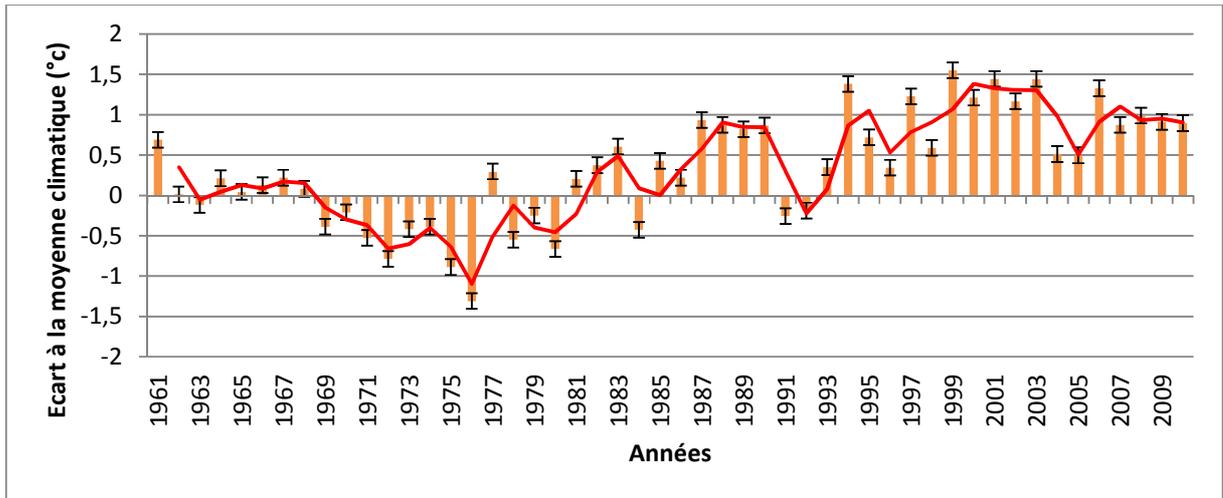


Figure 31 : Différences à la normale des températures (1961-1990) de la série d'observations (1961-2010) dans l'Est algérien.

IV-8- L'insolation

La notion d'insolation comprend l'insolation possible qui désigne la période durant laquelle le soleil pourrait briller, en supposant un ciel dégagé de nuage et l'insolation effective qui est la période durant laquelle le soleil a brillé.

Nous n'avons pu nous procurer que peu de données sur ce paramètre, nous n'avons pu retenir que cinq stations (tableau 15) pour une période qui s'étale de 1976 jusqu'à 2005.

La durée moyenne de l'insolation est beaucoup plus prononcée au niveau de la station de Biskra, celle-ci enregistre une valeur de 277,47 heures/an ; d'une manière générale, nous pouvons remarquer que cette moyenne croît selon un transect Nord-Sud, c'est-à-dire plus on s'éloigne du littoral plus la durée d'insolation augmente.

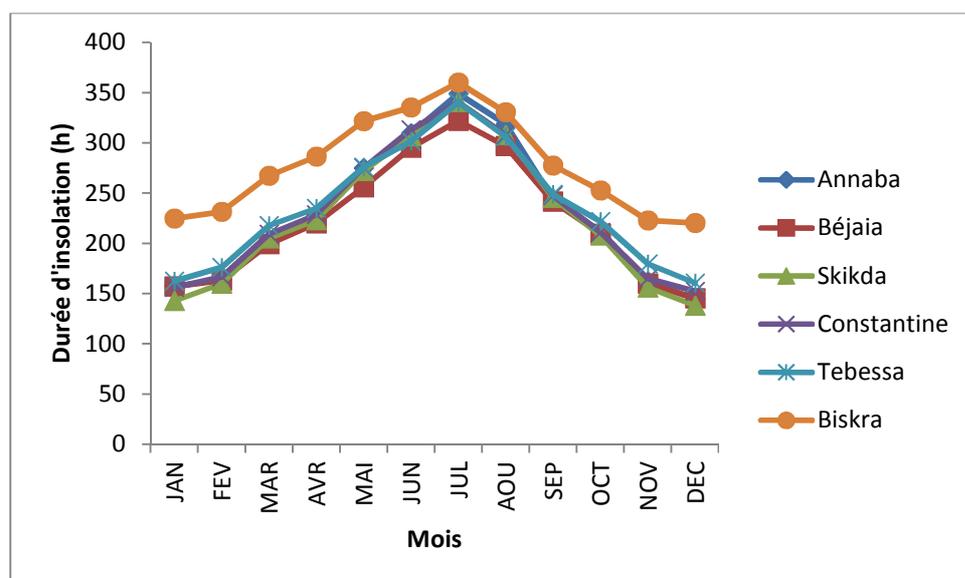
Au niveau des trois stations du littoral, c'est la station d'Annaba qui enregistre la moyenne la plus grande avec comme valeur 230,21 h/an, la station de Béjaïa quant à elle enregistre la moyenne la plus faible avec une valeur de 222,08 h/an.

Tableau 15 : Moyennes annuelles de la durée d'insolation dans le Nord Est algérien.

Stations	Moyennes annuelles d'insolation (h/an)
Annaba	230,21
Béjaia	222,08
Skikda	225,49
Constantine	231,00
Tebessa	235,50
Biskra	277,47
Moyennes	236,96

La figure 32, montre que les heures d'insolation effectives de toutes les stations augmentent en été et baissent en hiver, cet état de fait est dû principalement à la longue durée des jours en été par rapport à l'hiver et à la couverture nuageuse qui est plus marquée en saison des pluies.

En été les courbes des stations se rapprochent beaucoup plus que le reste de l'année, l'écart le plus faible entre les stations est enregistré au mois de juillet avec comme valeur 38,13 h/an (entre la station de Béjaia et la station de Biskra). En hiver, les stations du littoral sont moins ensoleillées que les stations de l'intérieur, c'est le mois de janvier qui enregistre l'écart le plus grand avec une valeur de 81,83 h/an (entre la station de Skikda et la station de Biskra).

**Figure 32** : Variation moyenne mensuelle de la durée d'insolation dans l'Est algérien.

V-1- Les précipitations

La région méditerranéenne en général et notre région d'étude en particulier sont caractérisées par des précipitations irrégulières et une répartition inégale dans l'espace et dans le temps, cela peut se vérifier notamment par la nette décroissance des pluies du Nord vers le Sud.

Nous pouvons répertorier un large éventail d'études sur l'ensemble ou une partie des précipitations en Algérie effectuées par plusieurs auteurs dont celles de : SELTZER (1913-1938), GAUSSEN (1913-1947), MEDINGER (1913-1953), CHAUMONT et PEQUIN (1913-1963), l'ANRH (1993), ANSER (1931-1995) et Tir (1978-2004).

Notre étude a pour objectif d'élargir le champ d'investigation sur le plan temporel d'une période allant du 1^{er} janvier 1961 jusqu'au 31 décembre 2010 (soit 50 ans), tout en nous focalisant sur notre région d'étude qui est l'Est algérien.

V-2- La variabilité intra-annuelle du régime pluviométrique

Pour l'étude de la variabilité mensuelle du régime pluviométrique de notre région d'étude, nous avons estimé les moyennes intra-annuelles de la série d'observation (1961-2010) des 14 stations ainsi que leur coefficient de variation et leur écart-type (Tableau 16, voir annexe).

V-2-1- La variabilité des précipitations mensuelles dans le temps

D'après la figure 33, la variation des précipitations mensuelles sur le plan temporel est caractérisée par les mêmes tendances dans toutes les stations de notre région d'étude, La répartition des précipitations mensuelles est irrégulière d'un mois à un autre dans la totalité des stations.

Dans la plupart des stations du littoral et de l'Atlas Tellien le mois le plus pluvieux est le mois de décembre, exceptions faites pour la stations d'El Kala où c'est le mois de novembre et les stations de Guelma et Souk Ahras où c'est le mois de janvier, quand aux stations des hautes plaines le maximum est enregistré au mois de septembre sauf celle de Sétif qui atteint son maximum au mois de décembre, la station de Biskra quand à elle enregistre son taux pluviométrique le plus élevé au mois de novembre; le taux pluviométrique le plus élevé au

niveau de notre région d'étude pour la série d'observation (1961-2010) est enregistré au niveau de la station de Jijel avec 154,81 mm au mois de décembre.

Le mois le plus sec dans toutes les stations est celui de juillet, avec une valeur minimale de 1,23 mm enregistrée au niveau de la station de Biskra.

Dans l'ordre décroissant, les mois les plus pluvieux au niveau de notre région d'étude sont: décembre, janvier, novembre, février, octobre, avril, mars, mai, septembre, août, juin et enfin juillet.

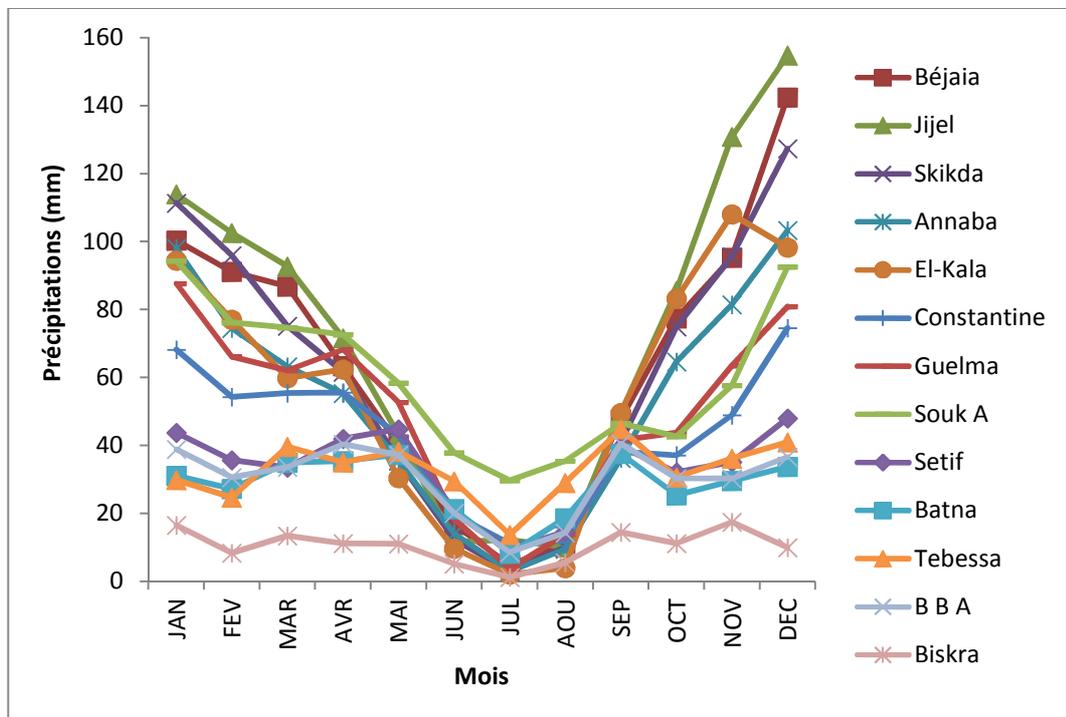


Figure 33: La variabilité des précipitations mensuelles dans l'Est algérien. Période (1961- 2010)

Selon LAMOTT (1971) cité par Halimi (1981), lorsque la série d'observation est supérieure à 25 années, les intervalles de confiance ne peuvent être connus que par l'estimation précise de l'erreur standard (ES). La moyenne est ramenée de part est d'autre de 2 à 2,6 fois l'erreur standard ($m \pm 2ES$ ou $m \pm 2,6ES$) selon que l'intervalle de confiance choisi soit de 95 % ou de 99 %.

L'erreur standard est définie par la formule suivante :

$$ES = \frac{S}{n-1}$$

ES : erreur standard;

S : écart-type;

n : taille de l'échantillon (dans la série n =50 ans).

On donne comme exemple, les processus de calcul de l'intervalle de confiance du mois janvier, pour les 14 stations de notre région d'étude :

- La moyenne de 50 ans = 72,17 mm;
- l'écart-type = 33,49.

$$ES = \frac{S}{n-1} = \frac{33,49}{50-1} = 0,68.$$

- L'intervalle de confiance étant de 95 %, la limite par rapport à la moyenne est donc égal à $m \pm 2ES$;
- la valeur moyenne mensuelle des précipitations pour le mois de janvier varie entre :

$$72,17 + (2 \times 0,68) = 73,53 \text{ mm et } 72,17 - (2 \times 0,68) = 70,81 \text{ mm}$$

La moyenne sera donc exprimée comme telle : $72,17 \pm 1,36$.

Les erreurs standards sont portées mois par mois dans le tableau 16.

Les précipitations sont concentrées sur la période hivernale (novembre, décembre et janvier), où elles représentent plus d'un tiers du total des pluies, avec 38,4 % des précipitations annuelles.

Selon le groupe Chadule (1974), le degré de variabilité est exprimé par le coefficient de variation.

La figure 34 montre que le coefficient de variation augmente dans le sens inverse de la moyenne; le coefficient de variation étant défini par le rapport entre l'écart type d'une série à sa moyenne, celui ci augmente d'autant plus que les valeurs de l'écart type augmente; les valeurs les plus grandes du coefficient sont observées pour la quasi totalité des stations en saison estivale avec une valeur maximale de 3,98 à la station de Biskra au mois de juillet, exception faite pour la

station de Tebessa dont le maximum est de 1,13 au mois de décembre. Les valeurs minimales de ce coefficient sont enregistrées en saison hivernales qui englobe les mois les plus pluvieux.

Ainsi la saison estivale présente une grande variabilité et la saison hivernale est caractérisée par une faible variabilité, ceci peut s'expliquer par la rareté des précipitations estivale et leurs caractères orageux.

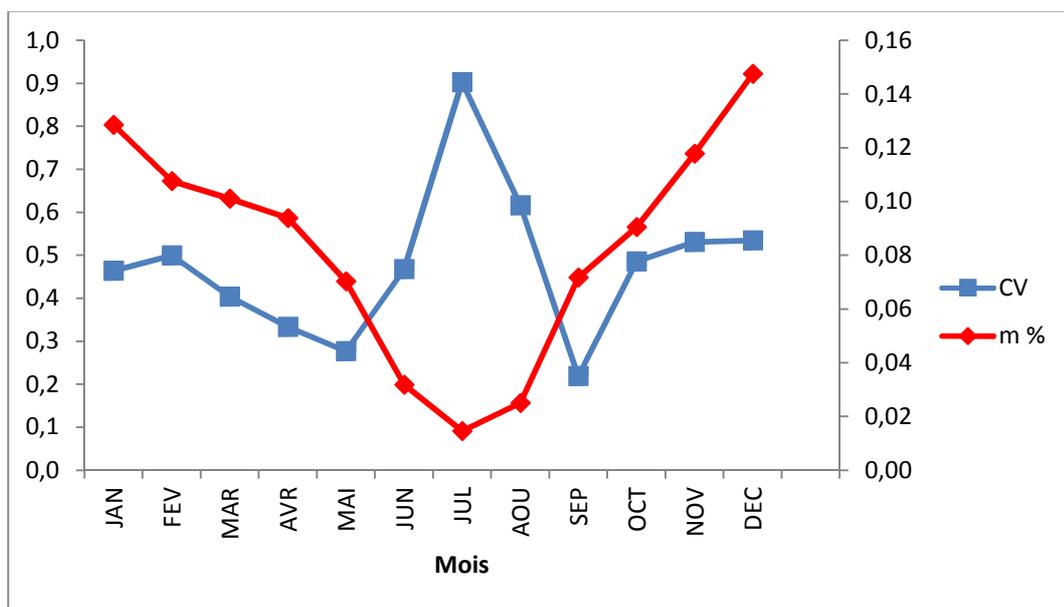


Figure 34: Le coefficient de variation (CV) et la moyenne mensuelle des précipitations en % (m %). Période (1961-2010).

V-2-2-- La variabilité des précipitations annuelles dans l'espace

Le tableau 16 et la figure 35 nous renseignent sur les différents paramètres suivants :

- Concernant le coefficient de variation, les stations du littoral présentent de faibles valeurs par rapport aux stations intérieures, où les fortes valeurs sont situées à la station de Biskra.
- Les stations les plus arrosées sont celles qui se situent sur le littoral; avoisinant ou dépassant les 100 mm pour les mois de la saison hivernale.

- Concernant les moyennes des précipitations, la station de Jijel enregistre les valeurs les plus élevées, alors que la station de Biskra enregistre les valeurs les plus faibles.
- concernant les stations du littoral, il y'a un accroissement de la pluviométrie d'Ouest en Est, de la station d'Alger jusqu'à celle de Jijel puis un décroissement jusqu'à la station d'Annaba et enfin un léger accroissement au niveau de la station d'El Kala.
- Concernant les stations de l'Atlas tellien, celle qui se trouve plus à l'Est de la région d'étude (station de Souk Ahras) est plus pluvieuse que celles qui se trouvent à l'Ouest (stations de Guelma et Constantine), le même constat pour la station de Guelma qui enregistre une pluviométrie supérieure à celle de Constantine.
- Concernant les stations intérieures, les valeurs des moyennes mensuelles des précipitations sont plus grandes dans les stations localisées au niveau des versants Nord (Batna) par rapport à celles localisées au niveau des versants Sud (Biskra), avec une nette décroissance du Nord au Sud; dans ces mêmes stations, la hauteur des pluies augmente avec l'accroissement de l'altitude.

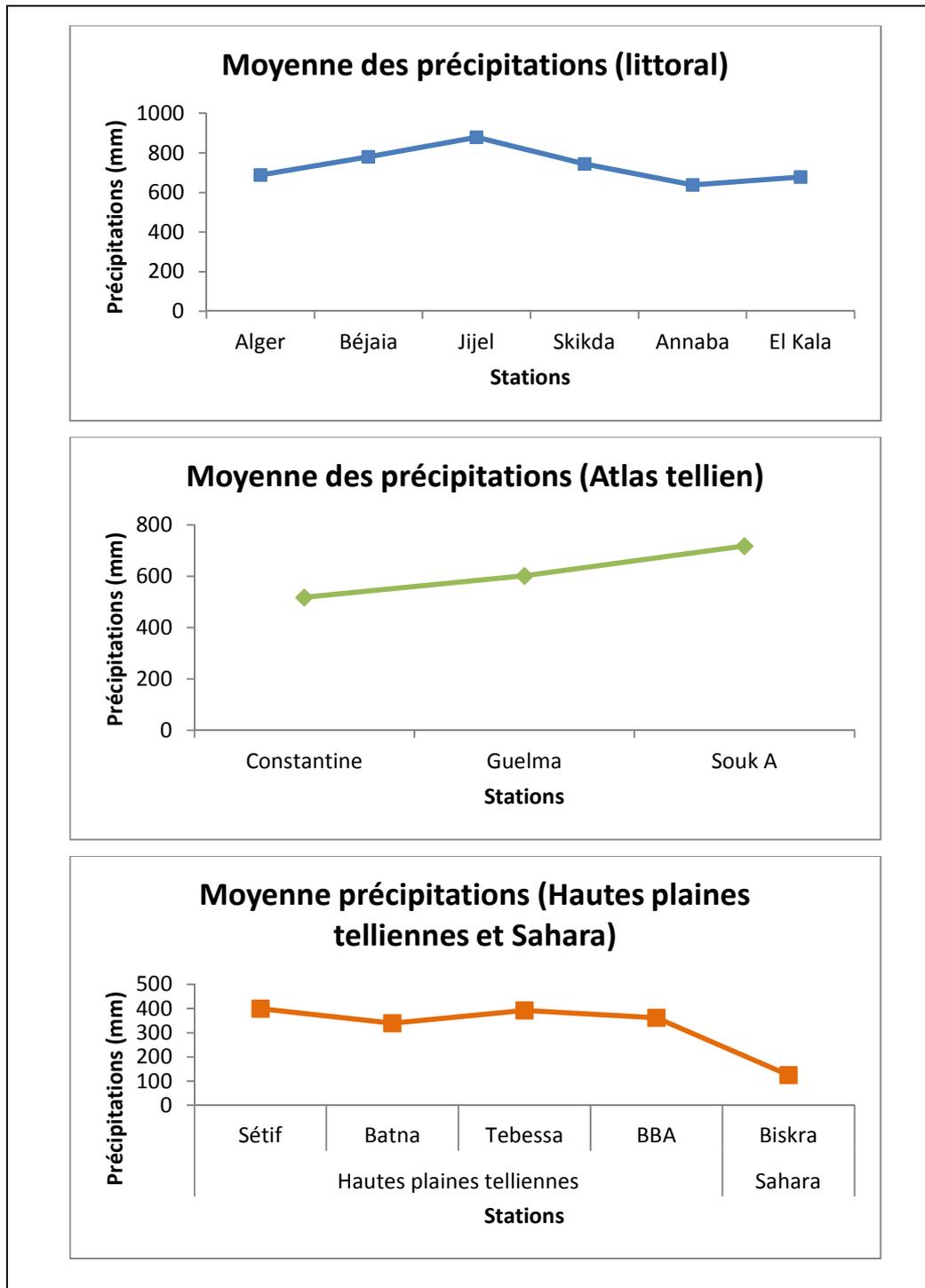


Figure 35 : Moyenne des Précipitations annuelles dans l'Est algérien. Période (1961-2010).

V-2-3- Les régimes saisonniers des précipitations

L'importance de la variation saisonnière des précipitations, concorde avec son rôle primordial de régisseur des secteurs sensibles telles que: les activités agricoles et le mode de vie.

Pour mieux comprendre le régime pluviométrique saisonnier, nous avons usité la méthode qui consiste à " diviser l'année en quatre trimestres astronomiques, de sorte que les mois initiaux de chaque trimestre contienne soit un solstice, soit un équinoxe » (HALIMI, A. 1980). Cette méthode définit quatre saisons de manière à ce que :

- la saison hivernal comporte les mois de : décembre, janvier et février (DJF);
- le printemps quand à lui intègre les mois de : mars, avril et mai (MAM);
- l'été les mois de : juin, juillet et août (JJA);
- enfin l'automne est défini comme la période de septembre à novembre (SON).

V-3- Répartition spatiale des pluies moyennes saisonnières

Spatialement, les pluies moyennes saisonnières présentent une dissymétrie entre les différentes stations de notre région d'étude (Tableau 17, voir annexe).

En hiver les quantités pluviométriques moyennes sont importantes au niveau du littoral, avec des valeurs dépassant en moyenne 282 mm, les stations les plus arrosées sont celles de Béjaia et de Jijel; les hauteurs moyennes saisonnières des hautes plaines quand à elles fluctuent entre 100 mm et 250 mm, enfin la station de Biskra ne reçoit environ 44 mm.

En Automne, les moyennes saisonnières sont à la baisse sur toutes les stations et fluctuent entre 180 mm et 200 mm sur le littoral, avec un maximum au niveau de la station de Jijel; les stations de l'Atlas Tellien et des bassins intérieurs quand à eux fluctuent entre 100 mm et 130 mm; la tendance à la baisse est aussi constatée au niveau des stations des hautes plaines dont les moyennes fluctuent entre 90 mm et 150 mm à l'exception de la station de Tebessa, enfin le Sud représenté par la station de Biskra, reçoit environ 50 mm.

Au printemps, sur le littoral les quantités pluviométriques moyennes baissent encore, avec des taux dépassant les 150 mm; cette tendance à la baisse est aussi constatée au niveau des

stations des bassins intérieurs et de l'Atlas Tellien, les moyennes fluctuent entre 120 mm et 210 mm; pour les station de Batna, Tebessa et Bordj Bou Arreridj la tendance est à la hausse avec respectivement: 107,62 mm, 112,92 mm et 111,17 mm, enfin la station de Biskra enregistre aussi une baisse et ne reçoit que 35,66 mm.

En été, les moyennes pluviométriques baissent nettement, les stations du littoral sont les moins arrosées avec des valeurs qui fluctuent entre 15 mm et 25 mm; les hautes plaines reçoivent des quantités qui fluctuent entre 40 mm et 75 mm; la station la plus arrosée est celle de Souk Ahras avec 102,92 mm, enfin la moyenne pluviométrique de Biskra qui tourne autour de 11 mm.

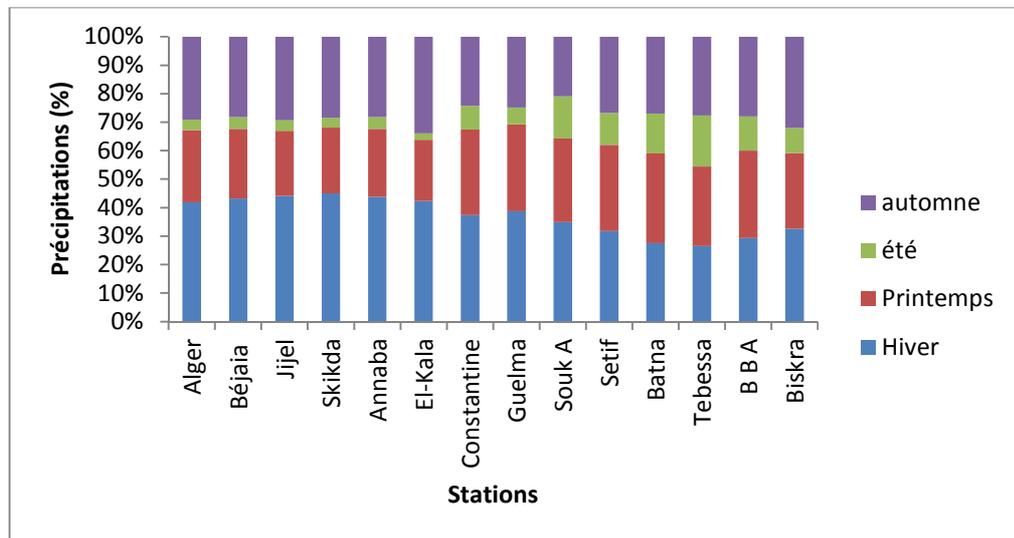


Figure 36 : Moyenne des Précipitations dans l'Est algérien. Période (1961-2010).

V-3-1- L'indicatif saisonnier des stations de l'Est algérien

La répartition des stations selon leurs décroissances pluviométriques (Tableau 17 et figure 36) permet de montrer que spatialement le régime saisonnier de type **HAPE** (répartition pluviométrique décroissante de type Hiver/ Automne / Printemps / Eté) caractérise les stations situées au littoral; les stations de l'Atlas Tellien sont toutes caractérisées par un régime saisonnier de type **HPAE** (répartition pluviométrique décroissante de type Hiver/ Printemps / Automne / Eté). Selon Anser 1998, dans cet espace où les pluies moyennes d'hiver occupent le premier rang, les moyennes automnales viennent en seconde position au Nord, tandis que celles du printemps occupent la seconde position au Sud de l'Atlas Tellien. La proximité de la mer

méditerranéenne favorise les pluies d'automne aux dépens de celles du printemps. La première saison, l'automne coïncide avec le début de la prédominance des courants du Nord sur la méditerranée. Quant au printemps, il marque la fin de l'influence de ceux-ci.

Les hautes plaines quand à elles sont caractérisées par les types **HPAE** (Sétif), **PAHE** (Tebessa) et **PHAE** (Batna et Bordj Bou Arreridj).

Le type **APHE** se localise uniquement au niveau de la station de Biskra.

V-3-2- Les mois secs et les mois humides

La répartition des pluies peut être mise en évidence sans avoir pour autant recours à leur valeur absolue, dans ce cas le calcul des coefficients pluviométriques s'avère primordial.

Dans notre cas, nous avons utilisé le coefficient pluviométrique relatif mensuel (c.p.r) défini selon la formule d'Angot (1991).

$$\text{c.p.r} = \frac{365 \times P_i}{P \times n_i}$$

Où :

c.p.r : le coefficient pluviométrique relatif ;

P_i : la moyenne mensuelle des pluies ;

P : la moyenne des pluies interannuelles ;

n_i : le nombre de jours du mois; période.

L'application de cette méthode sur les données pluviométriques mensuelles de chaque station donne les résultats suivants (tableau 18, voir annexes).

Le coefficient pluviométrique relatif indique le caractère pluviométrique d'un mois donné, si le mois comprend un coefficient pluviométrique relatif élevé, il est considéré comme humide; le mois est considéré comme sec ou humide selon la valeur du c.p.r :

- Le mois est considéré sec quand : $\text{c.p.r} < 0,6$;
- Le mois est considéré semi-aride quand : $0,6 < \text{c.p.r} < 1$;
- Le mois est considéré humide quand : $1 < \text{c.p.r} < 2$;

- Le mois est considéré très humide quand : $c.p.r > 2$.

Le tableau révèle un classement des mois en fonction du coefficient pluviométrique relatif qui se présente de la manière suivante :

- le mois de juillet est sec dans toutes les stations ;
- les mois de juin et d'août sont secs dans les stations littorales, sublittorales et des bassins intérieurs, semi-aride dans le reste des stations ;
- le mois de mai et de septembre sont semi-aride dans les stations littorales, sublittorales et des bassins intérieurs, ils sont humides dans les autres stations ;
- le reste des mois sont presque humides dans la plupart des stations, le mois de décembre est très humide dans les stations littorales et les stations de Guelma et Sétif.

Ces résultats indiquent qu'en général, les stations littorales, sublittorales et des bassins intérieurs ont sept mois humides, où les mois de mai et septembre constituent des mois transitoires entre le sec et l'humide. La quasi-totalité des autres stations ont neuf mois humides où juin et août sont considérés comme transitoire entre le sec et l'humide.

V-4- La répartition spatiale et temporelle des précipitations

V-4-1- Le gradient altimétrique des précipitations

Le calcul du gradient pluviométrique de notre région d'étude, pour la période (1961-2010) consiste à évaluer verticalement la décroissance des précipitations en fonction de l'altitude pour un intervalle (normalement 100 m) de dénivellation et d'établir l'équation de la droite de régression qui confère directement la valeur des précipitations cherchée en fonction de l'altitude connue.

Nous avons supposé que la pluie moyenne annuelle $P(x)$ en un endroit X quelconque du territoire était la somme d'une composante régionale $Po(x)$ (pluie ramenée au niveau de la mer) et d'un effet d'altitude $Z(x) \cdot \text{grad}(x)$, où $\text{grad}(x)$ est un gradient altimétrique des précipitations variant lui aussi avec la position du point (en latitude et longitude) :

$$P(x) = Z(x) \cdot \text{grad}(x) + Po(x)$$

Nous avons divisé notre région d'étude en trois régions distinctes : la région du littoral, la région de l'Atlas tellien et la région des hautes plaines ; nous avons fait abstraction de la région du littoral car les altitudes des stations ne dépassent pas les 13 m. Dans les deux régions restantes nous retenons les stations qui remplissent les conditions du calcul altimétrique des précipitations en écartant les stations dites « hors normes » dont les précipitations n'accroissent pas avec l'altitude.

En moyenne dans l'Est algérien, les précipitations augmentent de 30 mm/ 100 m. Ce gradient reste approximatif vu que nous n'avons pas pu accéder aux stations de l'ANRH qui ont une couverture plus dense que celle de l'ONM.

V-4-2- La répartition spatiale et le rôle prépondérant du relief

Le relief est un paramètre très important en ce qui concerne les précipitations et leur répartition, en effet ce dernier oppose des régions aux masses d'air humides « au vents » recevant ainsi plus de 700 mm par an et des régions « sous le vent » abritées par les chaînes montagneuses contre les quelles les masses d'air humides butent.

Au fur et à mesure que l'on se dirige vers le Sud, les précipitations diminuent, cela est dû au fait que les masses d'air perdent une grande partie de leur humidité en franchissant l'Atlas Tellien, c'est l'effet de foehn qui survient, l'air se comprime dans son mouvement de descente, se réchauffe et se dessèche, comme exemple le cas de la station de Constantine et celle de Sétif est donné, la station de Sétif est déjà dans le domaine semi-aride avec une pluviométrie de 400 mm par an ce qui prouve que l'effet de foehn est particulièrement accentué à l'Ouest de la région d'étude.

Le rôle de la continentalité se fait sentir à mesure que l'on va vers le Sud, en effet la pluviométrie diminue et elle n'atteint que 125 mm au pied mont de l'Atlas Saharien au niveau de la station de Biskra.

V-5- La variabilité interannuelle dans l'Est algérien

Le calcul des moyennes annuelles des précipitations dans l'Est algérien (tableau 19, voir annexes) comme pour les températures, prend en compte les données de toutes les stations excepté celle d'Alger (Dar El Baida) ; la moyenne estimée est de $552 \pm 4,8$ mm; d'après la faible valeur de l'erreur standard nous pouvons supposer que la moyenne est très représentative de la période d'étude (1961-2010).

Les fluctuations des précipitations au cours de la période d'étude sont très importantes, selon la figure 37, il y'a une légère augmentation des précipitations au cours des années, néanmoins cet état de fait ne peut être confirmé vu l'importance des variabilités des précipitations.

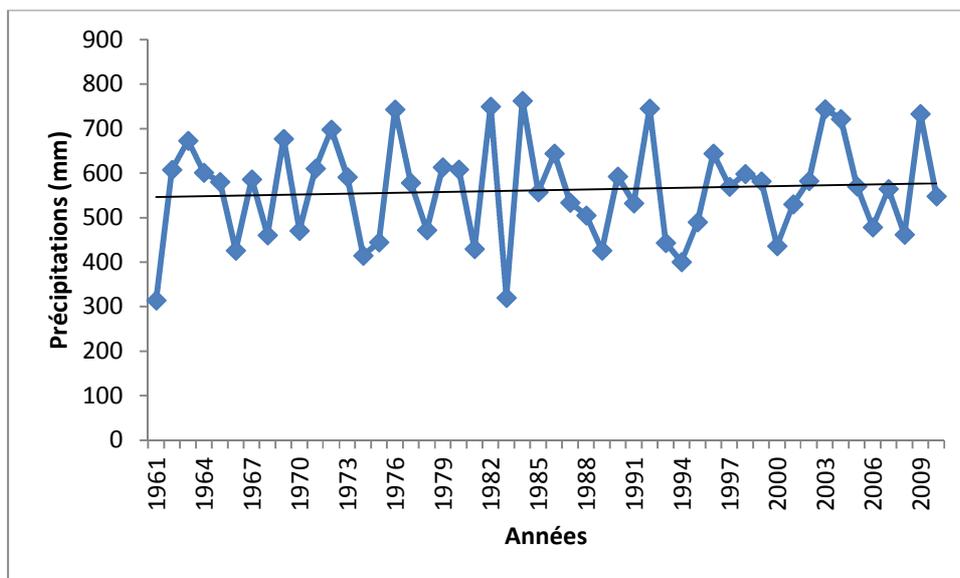


Figure 37 : Variabilité des précipitations annuelles dans l'Est algérien. Période (1961-2010).

V-5-1- Fluctuations des précipitations moyennes annuelles de la série (1961-2010) de l'Est algérien par rapport à la normale des précipitations (1961-1990)

La figure 38 présente une fluctuation permanente des précipitations autour de la normale des précipitations, néanmoins nous pouvons remarquer des piques du côté positif comme du côté négatif de la moyenne climatique.

L'existence de cycles pluvieux et d'autres non pluvieux peut être remarquée : les cycles pluvieux sont au nombre de six, du point de vue temporel nous pouvons distinguer deux cycles de quatre années (de 1962 à 1965 et de 2002 à 2005), un cycle de trois années (de 1996 à 1998) et enfin trois cycles de deux années (de 1971 à 1972, de 1976 à 1977 et de 1979 à 1980).

Les cycles non pluvieux quant à eux sont au nombre de quatre, nous pouvons distinguer deux cycles de trois années (de 1987 à 1989 et de 1993 à 1995) et deux cycles de deux années (de 1974 à 1975 et de 2000 à 2001).

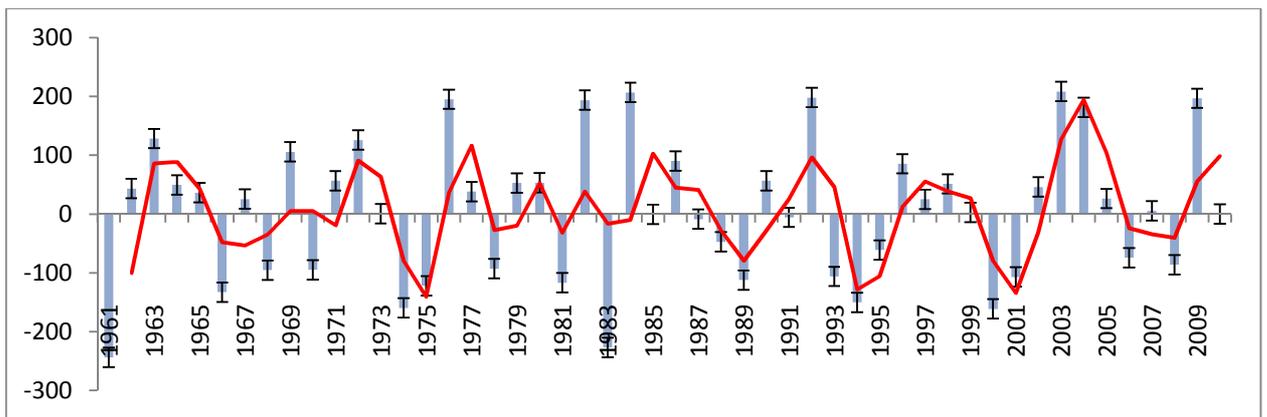


Figure 38 : différences à la normale des précipitations (1961-1990) (546,52 mm) de la série dans l'Est algérien (1961-2010).

V-5-2- Comparaison entre trois séries d'observation des précipitations (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010)

Après avoir divisé notre période d'étude, nous avons procédé à l'analyse de l'évolution des précipitations entre ces deux séries d'observations et la série de Seltzer, après correction de celle-ci : la première période est celle de Seltzer, elle s'étale de 1913 jusqu'à 1938, la deuxième période s'étale de 1961 jusqu'à 1985 quant à la troisième et dernière période, elle s'étale de 1986 jusqu'à 2010, ce qui nous donne trois périodes de 25 ans, le but est de déceler les écarts éventuels et mettre l'accent sur les changements et les fluctuations précipitations moyennes annuelles s'ils ont lieu.

Cette comparaison comprend toutes les stations étudiées bien que quelques stations présentent des lacunes plus ou moins conséquentes, on peut par exemple signaler que la station de Jijel ne présente presque aucune observation lors de la deuxième période (1961-1985), nous

avons donc dû reconstruire la quasi totalité des données en utilisant la méthode de la régression linéaire, il en a été de même pour la station d'El Kala.

La figure 39, montre que les moyennes des précipitations mensuelles de la période (1986-2010) sont tantôt plus élevées, tantôt plus faibles que la seconde période (1961-1985). Les précipitations mensuelles de la période de Seltzer (1913-1938) sont généralement supérieures par rapport aux deux autres périodes, exceptions faites des mois d'avril et d'aout où les périodes (1961-1985) et (1986-2010) présentent une pluviométrie supérieure à celle de Seltzer, les mois d'octobre et novembre quant à elles présentent tantôt une égalité entre la période de Seltzer et celle de (1961-1985) tantôt une égalité entre la période de Seltzer et celle de (1986-2010).

Pour les précipitations moyennes (tableau 20, voir annexes), les écarts les plus conséquents entre les deux périodes (1961-1985 et 1986-2010) où les précipitations diminuent sont observables au niveau de la station de Béjaia dans le littoral avec un écart négatif de 49,8 mm entre la première et la deuxième période, de même pour la station de Souk-Ahras dans l'Atlas tellien avec une diminution de 35,2 mm. Les moyennes annuelles des précipitations augmentent surtout dans la station de Souk-Ahras et d'El Kala avec respectivement : 72,6 mm et 61,1 mm.

Les stations présentant les écarts les plus faibles sont celles de Jijel, de Constantine et de Guelma avec respectivement : 0.9 mm, - 1.9 mm, et 1.20 mm.

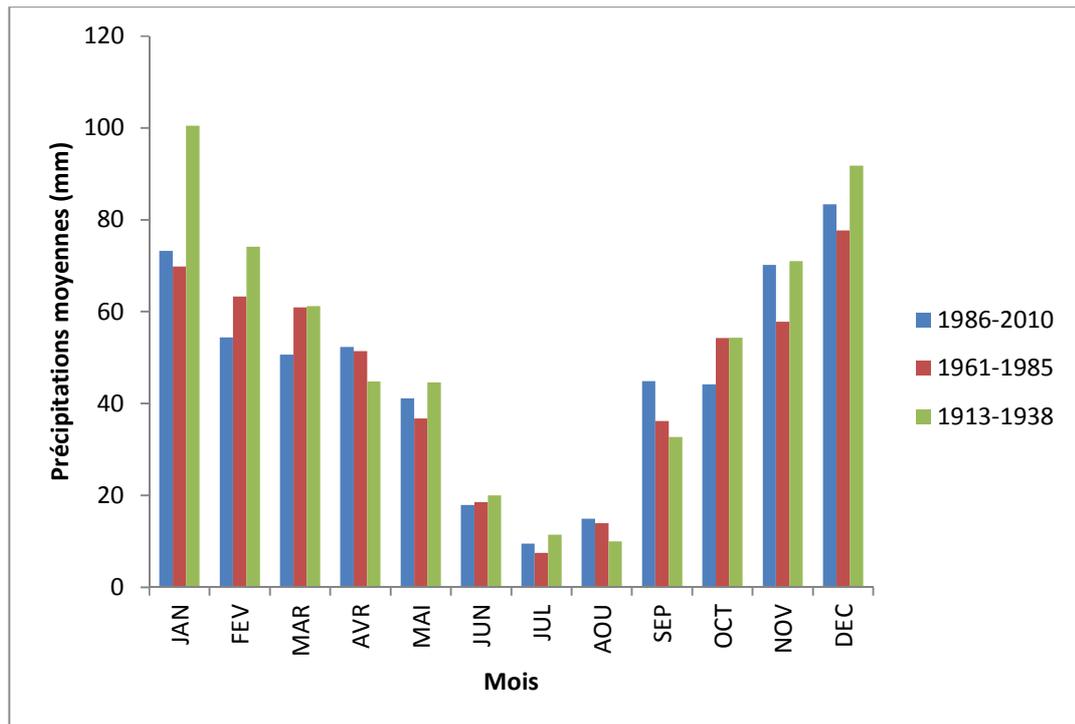


Figure 39 : Comparaison des moyennes mensuelles des précipitations entre trois périodes (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010).

VI- L'humidité relative

L'humidité est l'un des facteurs les plus importants pour caractériser un climat, sa valeur dépend principalement de la température de l'air ainsi que des caractéristiques hygrométriques des masses d'air.

Le manque de données concernant ce facteur, nous a obligé à restreindre le nombre de stations de la région d'étude à 6 stations (tableau 21), deux de ces stations ont des données qui ne couvrent pas toute la période d'étude (la station de Tebessa et la station de Biskra).

Tableau 21 : Les moyennes mensuelles de l'humidité relative (%) dans quelques stations de la région d'étude.

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
Annaba (1961-2010)	78,2	76,5	75,6	75,0	75,0	73,2	70,3	72,3	73,1	74,8	75,3	77,0
Béjaia (1961-2010)	76,0	74,5	75,3	75,6	76,7	75,8	73,3	74,0	74,8	74,1	73,9	74,6
Skikda (1961-2010)	74,5	74,4	73,8	73,6	74,2	73,8	72,0	73,3	74,4	73,6	73,6	74,2
Constantine (1961-2010)	78,6	75,8	73,3	71,4	66,8	57,9	48,4	51,8	62,5	67,9	67,4	72,7
Tebessa (1972-2010)	72,2	68,0	64,9	61,4	55,4	47,7	41,0	45,4	57,5	62,3	69,1	71,8
Biskra (1976-2010)	55,6	48,5	42,2	37,0	33,4	29,1	25,7	29,2	38,7	46,4	53,8	57,7

La totalité des stations étudiées enregistrent les valeurs les plus hautes pendant la saison hivernale, les valeurs les plus basses quant à elles, sont enregistrées pendant la saison estivale (figure 40) cet état de fait est largement imputé aux températures basses enregistrées pendant l'hiver et les températures hautes enregistrées en été.

La continentalité joue un rôle primordial concernant l'humidité relative, en effet, les moyennes mensuelles enregistrées au niveau des stations littorales sont supérieures à celles enregistrées au niveau des stations intérieures, cela est principalement dû au rôle que joue la mer méditerranéenne dans l'apport de l'humidité.

Trois groupes de stations se distinguent, les stations du littoral enregistrent des valeurs supérieures à 70 % le long de l'année, l'Atlas Tellien (Constantine) et les hautes plaines (Tebessa) enregistrent des valeurs supérieures à 70 % pour la première et 60 % pour la seconde avec une diminution significative en été (48,4 % en mois de juillet pour la station de Constantine et 41 % le même mois pour la station de Tebessa). La station de Biskra, plus au sud, descend jusqu'à une valeur de 25,7 % au mois de juillet.

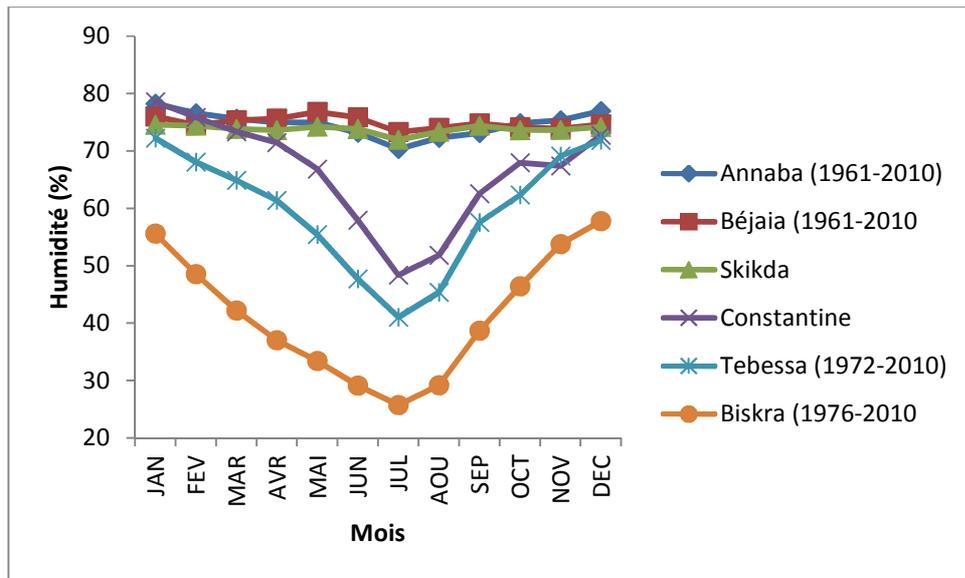


Figure 40 : La variation mensuelle de l'humidité relative moyenne mensuelle (en %).

VI-1- Le quotient pluviothermique d'Emberger

Afin de caractériser les types de climat de la région méditerranéenne L. Emberger (1930) a proposé un coefficient faisant intervenir trois paramètres: la pluie, la température et l'évaporation.

- La pluie est représentée par le total P en mm des précipitations annuelles moyennes;
- Les températures jouent un rôle primordial concernant la répartition de la végétation, cette dernière se déroulant entre deux extrêmes thermiques que l'on peut caractériser par la moyenne des minima du mois le plus froid (m) et par la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M); le facteur température peut être donc convenablement représenté par l'expression: $\frac{M+m}{2}$;
- L'évaporation n'étant qu'exceptionnellement mesurée, elle est évaluée par l'utilisation de l'amplitude extrême (M-m).

D'où le quotient pluviothermique proposé par L. Emberger (1930) :

$$Q_1 = \frac{1000 P}{2 (M - m) \frac{M + m}{2}}$$

P : précipitations annuelles moyennes (mm);

M : la moyenne des maximums du mois le plus chaud °C;

m : la moyenne des minimums du mois le plus froid °C.

Le dénominateur du quotient pouvant se formuler ainsi $1/2 (M^2 - m^2)$, l'utilisation du Q_1 telle qu'il a été formulé pose un problème majeur, dans le cas où la valeur absolue des températures exprimées en degrés centigrades peut être la même mais de signe contraire (par exemple $M = +5$ °C et $m = -5$ °C). pour pallier à cette problématique, L. Emberger (1952) a proposé d'utiliser les températures absolues d'où l'expression suivante (1955) :

$$Q_2 = \frac{1000 P}{\frac{M + m}{2} (M - m)} = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

où M et m sont exprimés en degrés absolus ($0^\circ\text{C} = 273,2^\circ\text{k}$).

P : précipitations annuelles moyennes (mm);

M : la moyenne des maxima du mois le plus chaud °k;

m : la moyenne des minima du mois le plus froid °k.

EMBERGER (1955) a donc progressivement proposé la notion de variante climatique thermique, en distinguant, dans un premier stade, trois situations caractérisées par un m nettement positif, un m nettement négatif et un m voisin de zéro. Puis, il adopte en (1966) des valeurs discriminantes précises auxquelles correspondent les variantes thermiques suivantes :

- Variante à hivers chauds $7 < m$;
- Variante à hivers tempérés $3 < m < 7$;
- Variante à hivers frais $0 < m < 3$;
- Variante à hivers froids $-10 < m < 0$;
- Variante à hivers très froids $m < -10$.

En Algérie, STEWART (1969) a développé une reformulation du quotient pluviothermique (EMBERGER 1952) de la manière suivante :

$$Q_3 = \frac{1000}{\frac{(M+m)}{2} + 273} \times \frac{P}{M-m}$$

(M et m sont exprimés en degrés absolus °k).

Celles-ci peuvent être ramenées à une constante K dont la valeur pour l'Algérie et le Maroc est égal à 3,43 d'où la nouvelle formule :

$$Q_3 = 3.43 \times \frac{P}{M-m}$$

Selon EMBERGER (1971), le quotient pluviothermique a une valeur écologique différente, suivant les valeurs des températures qui y interviennent. La valeur de m est une différentielle très importante. D'une manière générale, elle exprime des gelées, car plus m est bas plus celles-ci sont sévères. Pour en tenir compte, il est indispensable de combiner Q2 avec m.

La confrontation des résultats climatologiques avec les observations qu'il a pu faire sur la végétation méditerranéenne et plus particulièrement au Maroc, ont conduit EMBERGER à

subdiviser l'aire du climagramme en zones caractéristiques par des aridités croissantes de haut en bas, ce sont les étages bioclimatiques de végétation.

VI-1-1- Climagramme d'Emberger

Deux grands ensembles peuvent être tirés de la figure 41: Le premier sur la partie supérieure du climagramme qui comprend les sites des stations du littoral dans l'étage bioclimatique humide et sub-humide avec la station de Jijel dans l'étage humide et les stations de Skikda, de Bejaia et d'El-Kala dans l'étage sub-humide supérieur, et inférieur pour les stations d'Annaba, d'Alger et de Souk Ahras. Le deuxième ensemble comprend les stations de l'intérieur qui s'étalent sur le sub-humide moyen au semi-aride inférieur avec des variantes allant d'un hiver tempéré à un hiver frais; exception faite pour la station de Souk Ahras qu'on retrouve dans l'étage sub-humide tempéré. Seule la station de Biskra est située dans l'étage saharien supérieur à hiver chaud.

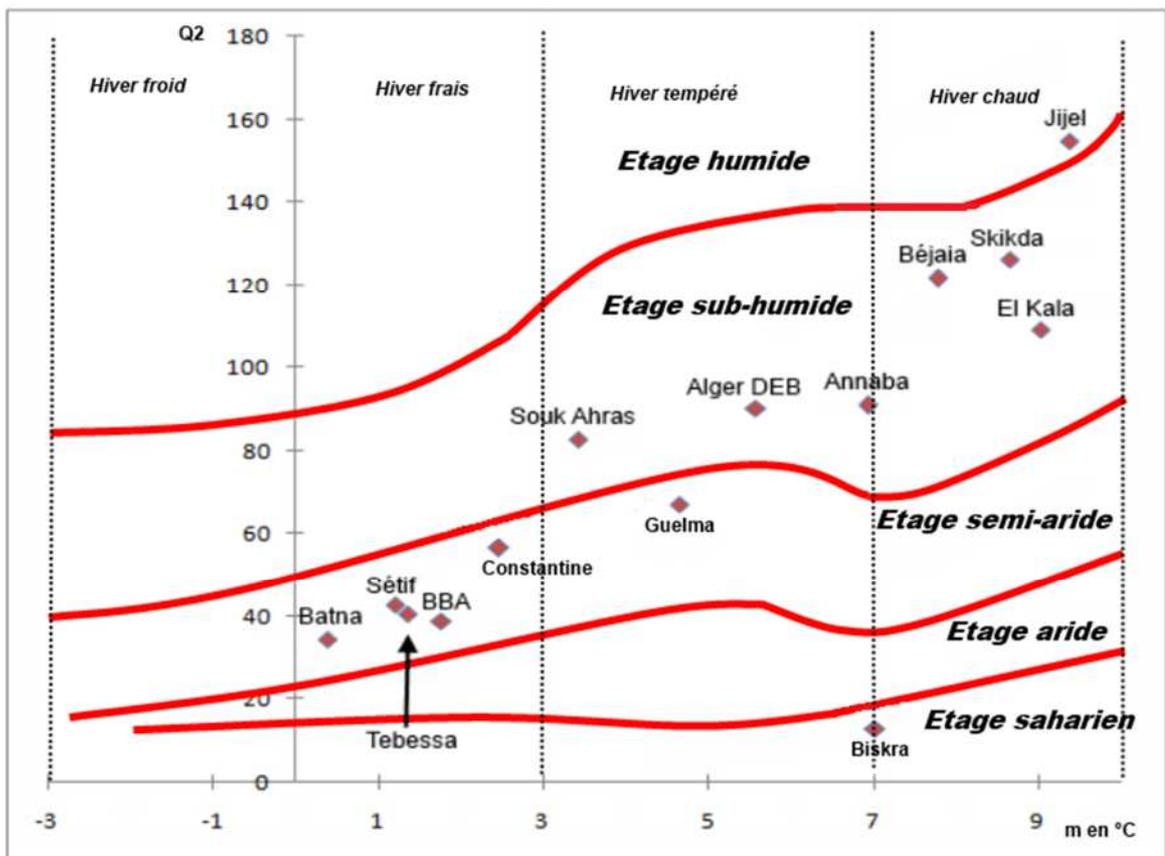


Figure 41 : Climagramme du quotient pluviothermique d'Emberger (Q₂). Période (1961-2010).

Nous divisons la période d'étude en trois périodes distinctes de 25 ans chacune, comprenant la période de Seltzer (1913-1938) et les deux périodes de (1961-1985 et 1986-2010), dans le but de procéder à une analyse comparative du Q₂ entre les deux périodes (figure 42, voir annexe), afin de mieux cerner l'évolution bioclimatique qui s'est déroulée durant une période de 75 ans.

Le climagramme d'Emberger indique la migration de la totalité des stations, ces migrations peuvent être soit dans le même étage bioclimatique, soit d'un étage à un autre ou d'une variante hivernale à une autre.

Les stations littorales ayant migré dans le même étage bioclimatique le long des trois périodes sont : la station de Skikda, la station de Béjaia et celle d'Alger (DEB), concernant les stations de l'Atlas Tellien et celles des hautes plaines, elles sont au nombre de cinq représentées par la station de Constantine, de Bordj Bou Arréridj, de Sétif, de Batna et celle de Tebessa.

Les stations ayant migré d'un étage bioclimatique à un autre, sont au nombre de deux concernant la région littorales, elles sont représentées par les stations de Jijel et El Kala, cette dernière s'est déplacée de la bordure de l'étage humide inférieure (1913-1938) vers l'étage sub-humide moyen (1961-1985 et 1986-2010) quant à la station de Jijel, elle s'est en premier lieu déplacée de l'étage humide supérieure (1913-1938) vers l'humide inférieure (1961-1985) et enfin vers l'étage sub-humide supérieure (1986-2010) ; au niveau de la région de l'intérieure, il n'y'a que deux stations ayant connu ce genre de migration, la station de Guelma qui s'est déplacé de la bordure de l'étage sub-humide inférieur (1938-1938) vers l'étage semi-aride supérieure (1961-1985 et 1986-2010) et la station de Biskra qui a migré de la bordure supérieure de l'étage saharien (1913-1938) vers l'étage saharien moyen à hiver tempéré (1961-1985) puis dans le même étage vers une variante à hiver chaud (1986-2010).

Les stations ayant migré d'une variante hivernale à une autre, au niveau de toute la région d'étude sont au nombre de deux, la station littorale d'Annaba qui s'est déplacé de l'étage sub-humide à hiver chaud vers la variante à hiver tempéré (1961-1985 et 1986-2010) et la station de Souk Ahras (Atlas Tellien) qui a migré de l'étage sub-humide à hivers frais (1913-1938) vers l'étage sub-humide à hiver tempéré (1961-1985 et 1986-2010).

Les stations du littoral se localisant dans l'Ouest de la région d'étude (la station d'Alger (DEB), de Béjaïa et de Jijel) connaissent la même tendance migratoire et convergent toutes dans le sens de l'aridité. La station de Constantine est la station la plus stable au niveau de la région d'étude.

VI-1-2- ACP des précipitations et des températures

Pour cette étude, nous avons combiné trois paramètres; les précipitations mensuelles, les températures moyennes maximales (M) et les températures moyennes minimales (m) comme variables et les 14 stations précitées comme individus. Le but est de voir la variabilité des individus (stations) sur le plan factoriel. Ce qui nous donne la matrice (36 ; 14) ; 36 variables (12 mois x M) + (12 mois x m) + (12 mois x P) et 14 stations.

Les résultats de cette ACP révèlent que les deux premières composantes expliquent 86,71 % de la variance totale, avec 53,33 % pour le premier axe et 33,38 % pour le second. Seuls ces deux axes sont pris en considération, étant donné que le troisième axe (6,46 %) explique moins de 10,62 % de l'inertie générale et marque une nette rupture sur le graphe (figure 43).

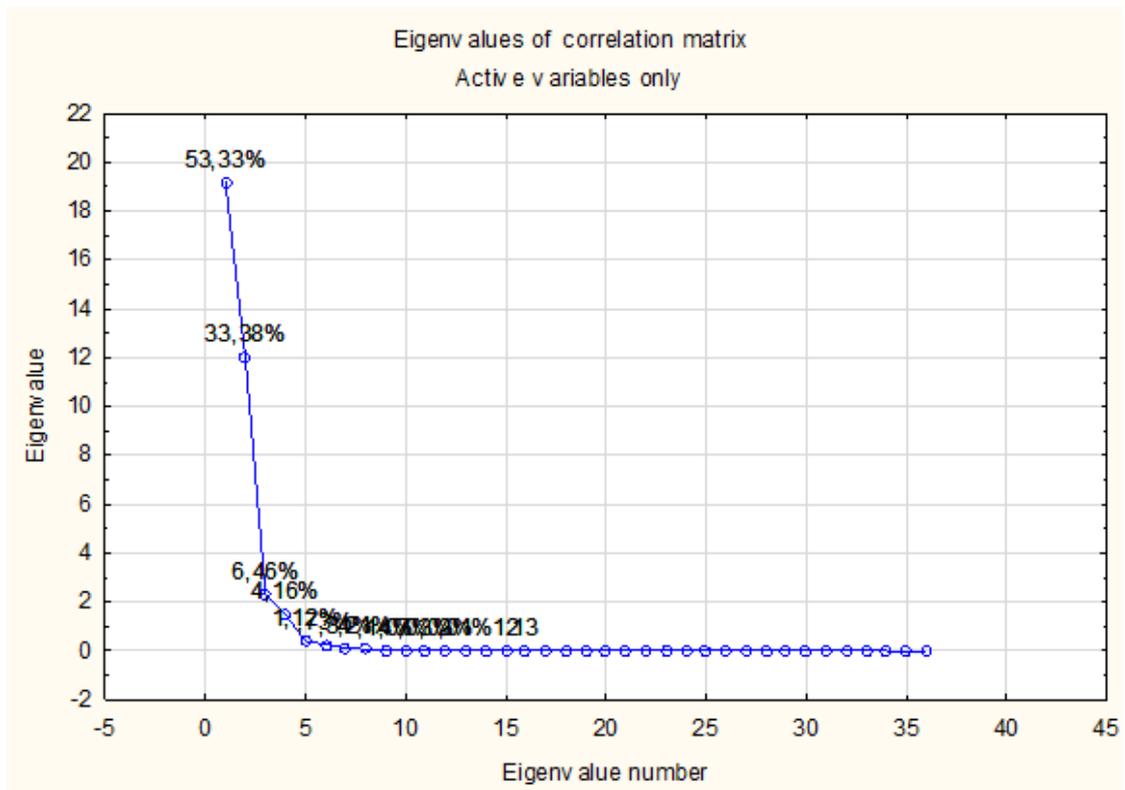


Figure 43 : Eboulis des valeurs propres des 36 composantes (précipitation et températures (moyennes maximales et minimales)).

La projection des individus (14 stations) sur les deux axes pris en considération fait ressortir plusieurs groupes ou individus épars (figure 44), pour une meilleure compréhension de cette répartition sur le plan factoriel, nous avons procédé à une comparaison avec le climagramme d'Emberger (figure 41), cette dernière nous permet de constater que le premier axe peut se référer à la variante température qui caractérise les étages bioclimatiques, la répartition des stations est hiérarchisée soit du côté positif de l'axe soit du côté négatif ; nous en déduisant donc que le côté négatif du dit axe représente respectivement de gauche à droite : le chaud et le tempéré quant au côté positif, il représente respectivement de gauche à droite: le tempéré et le frais; les stations de Constantine et celle de Souk Ahras présentent une exception à cet état de fait.

Le second axe quant à lui peut se référer à l'humidité qui caractérise les étages bioclimatiques car les stations sont réparties d'une façon telle qu'elles sont hiérarchisées soit du côté positif de l'axe, soit du côté négatif ; nous en déduisons donc que le côté négatif du dit axe représente respectivement de bas en haut : l'humide (station de Jijel), le sub-humide (la station de Souk Ahras et toutes les stations du littoral à part celle de Jijel) et le côté positif représente respectivement de bas en haut : le semi-aride (station de Guelma, de Constantine et toutes les stations des hautes plaines) et enfin tout en haut le saharien représenté par la station de Biskra

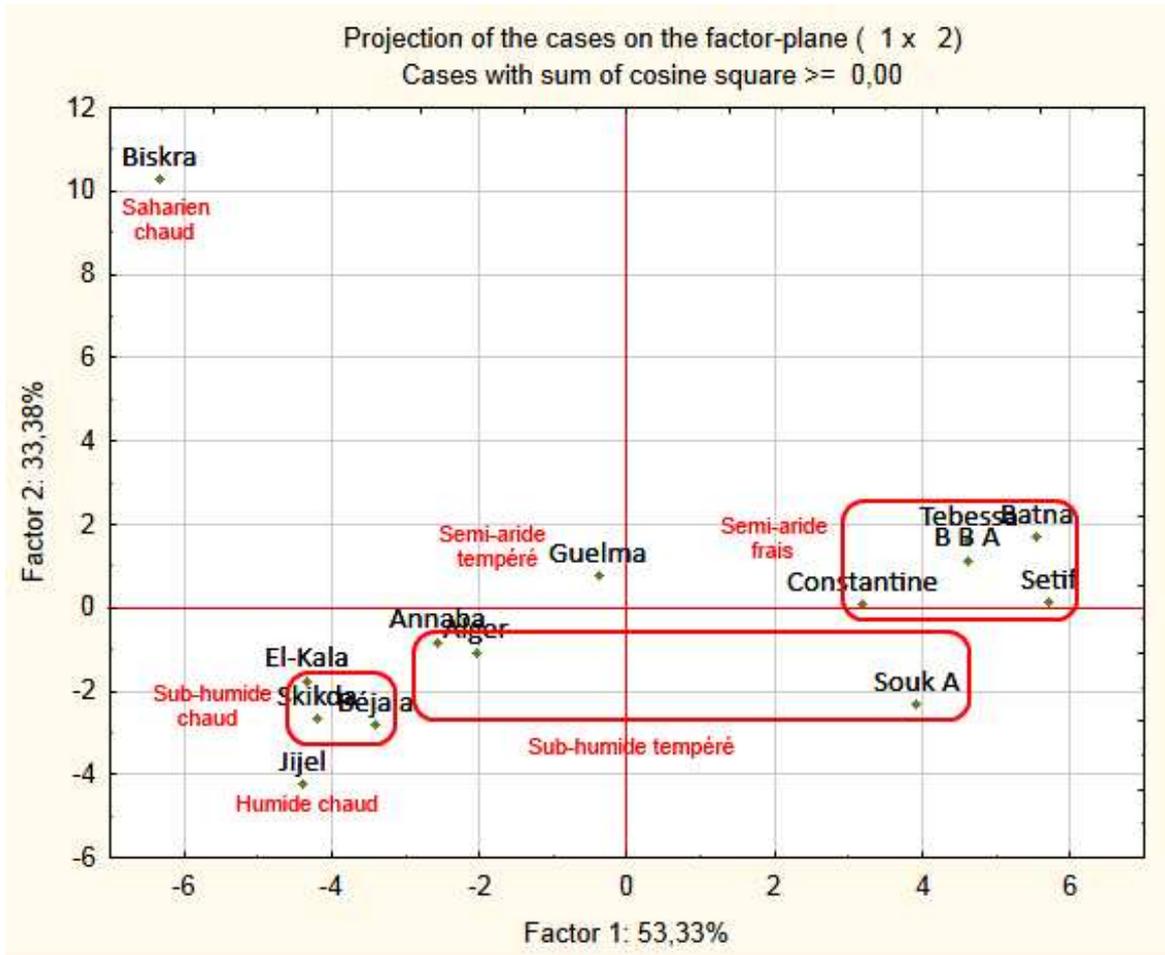


Figure 44 : La projection des individus (14 stations) sur le plan factoriel (1x2). Variables : les Températures et les Précipitations.

VI-2- Indice ombrothermique de Gaussen

Pour Gaussen (1952), un mois est sec si le quotient des précipitations mensuelles P exprimées en mm, par la température moyenne T exprimée en $^{\circ}\text{C}$, est inférieur à 2.

La représentation sur un graphique se fait de cette manière: en abscisse nous mettons les mois, en ordonnée les températures et les précipitations, ce qui nous permet d'avoir le diagramme ombrothermique qui met immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses.

Les échelles prises en ordonnée sont telles que 1°C corresponde à 2 mm de précipitations. Nous considérons que nous avons une période humide chaque fois que la courbe

des précipitations passe au-dessus de la courbe des températures et une période sèche dans le cas inverse.

Les diagrammes ombrothermiques de Gausson des stations de notre région d'étude pour la série (1961-2010) sont représentés par la figure 45 (voir annexes).

Nous pouvons tirer deux ensembles pour les stations du littoral, le premier ensemble est caractérisé par les stations situées plus à l'Ouest de notre région d'étude (stations d'Alger, de Béjaïa et de Jijel), ces dernières enregistrent une période sèche d'environ 3 mois, s'étalant de la deuxième quinzaine du mois de mai jusqu'à la fin du mois d'août; quant au deuxième ensemble, il est caractérisé par les stations situées plus à l'Est de notre région d'étude (stations de Skikda, d'Annaba et d'El Kala), ces dernières enregistrent une période sèche d'environ 5 mois, allant de la deuxième quinzaine du mois de mai jusqu'à la première quinzaine du mois de septembre; pour toutes les stations du littoral, nous avons une période où les précipitations sont supérieures à 100 mm, cette période concerne les mois de novembre et de décembre pour la station de Jijel, les mois de janvier et de décembre pour les stations de Skikda et de Béjaïa, le mois de novembre pour la station d'El Kala et le mois de décembre pour les stations d'Annaba et d'Alger (station de Dar El Baida).

Concernant les stations de l'Atlas Tellien, la période sèche fluctue entre 3 mois et 4 mois; pour les stations de Constantine et de Guelma la période sèche s'étale de la deuxième quinzaine du mois de mai jusqu'à la deuxième quinzaine du mois de septembre, quant à la station de Souk Ahras la période sèche est plus courte, s'étendant de la première quinzaine du mois de juin jusqu'à la deuxième quinzaine du mois d'août.

Pour les stations des hautes plaines, la période sèche est plus longue, elle dure environ 5 mois, et s'étend de la deuxième quinzaine du mois de mai jusqu'à la deuxième quinzaine du mois d'octobre.

La station de Biskra quant à elle, enregistre une période sèche le long de l'année; cette tendance confirme le caractère désertique de la région.

VI-3- indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité de De Martonne (1927) a été tiré à partir de la modification du facteur de pluie de Lang en 1923. Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température, selon l'équation suivante :

$$I_{DM} = \frac{P}{T+10}$$

Où :

P : les hauteurs annuelles des précipitations en mm;

T : les températures moyennes annuelles en °C;

10 : constante, utilisée pour éviter les valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0 °C.

Cet indice simple a été, largement, utilisé par les géographes. Il prend des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et d'autant plus faibles que le climat est plus sec (tableau 22).

Tableau 22 : Classification des climats selon l'indice de De Martonne.

Indice	Type de Climat	Exemple de régions
0 < I < 5	Hyper aride	Déserts absolus. Ex : Reg du Tanezrouft (Sahara), Atacama (Chili)...
5 < I < 10	aride	Régions désertiques. Ex : Le désert du Sahara, le désert du Thar (Inde)...
10 < I < 20	semi-aride	Le Sahel (Afrique), Chaco (Argentine), Nordeste (Brésil)...
20 < I < 30	semi-humide	La région méditerranéenne...
30 < I < 55	humide	

Les diagrammes à bandes (figure 46, voir annexes) des stations de notre région d'étude pour la série (1961-2010) illustrent les variations du climat entre les différentes années.

Pour la quasi totalité des stations du littoral, la tendance générale est au semi-humide avec une fréquence d'environ une année sur deux, entrecoupée par des années semi-arides excepté la station de Jijel où la tendance est à l'humide entrecoupée par des années semi-humides et semi-arides; concernant la station d'Annaba, l'année 1961 est la seule année aride, quant aux années à climat humide, la fréquence est d'environ une année sur douze; les stations d'Alger et d'El Kala ont presque la même fréquence concernant les années à climat humide avec environ une année sur cinq, quant aux stations de Bejaïa et Skikda la fréquence des années humides est respectivement de deux années sur cinq et d'environ une année sur trois.

Pour les stations de l'Atlas Tellien, la tendance oscille entre le climat semi-aride et semi humide, avec des années à climat humide à répartition éparse durant la période d'étude; la station de Souk Ahras est une exception, la tendance oscille entre l'humide et le semi-humide avec une fréquence d'une année sur cinq pour les années semi-arides.

Concernant les stations des hautes plaines la tendance est nettement au semi-aride entrecoupée d'années semi-humides et arides; les stations de Sétif, de Tebessa et de Bordj Bou Arréridj ont environ le même climat semi-aride avec une fréquence d'années semi-arides d'environ trois années sur quatre, en 1963 nous remarquons la présence d'une année semi-humide à la station de Sétif et l'absence d'années arides, leur présence est plus marquée au niveau des stations de Tébessa et de Bordj Bou Arreridj avec une fréquence d'environ une année sur dix; la station de Batna quant à elle à une fréquence d'années semi-arides de deux années sur trois, cette dernière est la station avec le plus d'années arides à son actif au sein des stations intérieures avec une fréquence d'environ une année sur quatre.

La station de Biskra est caractérisée par une oscillation entre le climat aride et hyper aride, cela confirme l'influence directe du climat saharien sur cette dernière.

VI-4- Indice pluviométrique annuel de Moral

Proposé par Moral en 1964, cet indice est bien adapté pour la classification des climats situés dans la zone intertropicale. Il se calcule, selon la formule suivante :

$$I_M = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Où :

P : les hauteurs annuelles des précipitations en mm;

T : les températures moyennes annuelles en °C.

Le climat est considéré comme : - Sec, lorsque $I_M < 1$;

- Humide, lorsque $I_M > 1$.

Les diagrammes à bandes (figure 47, voir annexes) des stations de notre région d'étude pour la série (1961-2010) illustrent les indices annuels de Moral entre les différentes années.

Concernant les stations du littoral et de l'Atlas Tellien, cet indice fait ressortir au moins une année sèche pour toutes les stations, exception faite pour la station de Souk Ahras où toutes les années sont humides; les années sèches sont: l'année 1961 pour les stations de Skikda, d'Annaba et d'El Kala, l'année 1983 pour les stations de Bejaïa et de Constantine, l'année 1994 pour la station de Jijel, l'année 1989 pour la station d'Alger et enfin les années 1961 et 1983 pour la station de Guelma; globalement, nous remarquons que la sécheresse marque la moitié des stations du littoral pendant les années 1961 et 1983.

Pour les stations des hautes plaines, l'indice de Moral fait ressortir de 5 à 14 années sèches, avec une fréquence moyenne d'environ une année sur dix; la station de Sétif est celle présentant le moins d'années sèches avec comme fréquence une année sèche sur cinq, en second c'est la station de Bordj Bou Arréridj avec comme fréquence environ une année sèche sur six, puis c'est la station de Tebessa avec une fréquence d'environ une année sur cinq et enfin la station de Batna qui a comme fréquence environ une année sèche sur quatre.

Pour la station de Biskra, l'indice pour toutes les années ne dépasse pas la valeur 1, les années qui la caractérisent sont donc toutes considérées comme sèches.

VI-5 - Indice pluviométrique d'Angot

Cet indice a été proposé par Angot, au début du siècle, il étudie l'évolution des précipitations au cours d'une année, ainsi que leur répartition saisonnière. Pour cela il fait intervenir les sommes des précipitations mensuelles qu'il calcule selon la formule suivante :

$$I_a = \frac{\sum P (6 \text{ mois les plus chauds})}{\sum P (6 \text{ mois les plus froids})}$$

Où :

P : précipitations mensuelles en mm.

Quand : $I_a < 1$: la période froide est plus arrosée que la période chaude;

$I_a > 1$: la période chaude est plus arrosée que la période froide.

L'indice d'Angot a été appliqué aux 14 stations de l'Est algérien pour la période 1961-2010. Cet indice étudie le rapport entre les précipitations de la saison chaude et de la saison froide au cours d'une année.

Les résultats de cet indice sont représentés dans la figure 48 (voir annexes).

Pour les stations du littoral, la distribution des valeurs de l'indice évolue en dents de scie, d'une année à l'autre le long de la période 1961-2010. Nous remarquons que dans la quasi totalité des stations, les précipitations de la saison froide (mois de : septembre, octobre, novembre, décembre, janvier, février) sont supérieures aux précipitations de la saison chaude (mars, avril, mai, juin, juillet, août) car les valeurs de l'indice ne dépassent jamais la valeur 1, exception faite au niveau de la station de Bejaia en 1970 où les précipitations de la saison chaude sont supérieures à celles de la saison froide.

Concernant les stations de l'Atlas Tellien, le nombre d'années où la saison chaude reçoit plus de précipitations que la saison froide augmente, cette tendance peut être remarquée au niveau de toutes les stations surtout celle de Souk-Ahras où la fréquence est d'environ une année sur trois; nous pouvons aussi remarquer que le régime des précipitations de la saison chaude augmente au fur et à mesure que nous nous dirigeons vers l'Ouest dans l'Atlas Tellien.

Le nombre d'années où la saison chaude reçoit plus de précipitations que la saison froide augmente nettement au niveau des stations des hautes plaines; le même constat que celui des stations de l'Atlas Tellien est fait car on peut aussi remarquer que le régime des précipitations de la saison chaude augmente au fur et à mesure que nous nous dirigeons vers l'Ouest.

Au niveau de la station de Biskra, la fréquence où la saison chaude reçoit plus de précipitations que la saison froide est d'environ deux années sur cinq; la valeur de cet indice atteint son maximum en 1998 au niveau de Biskra et toute la région d'étude avec une valeur de 7,47.

VII-1- Projections climatiques à l'horizon 2050

Les projections climatiques ont été effectuées à l'aide du logiciel MAGICC/SCENGEN 5.3 version 2 de Climatic Research Unit (CRU) de l'université d'East Anglia de Norwich en Angleterre (Hulme et al., 1995 ; Wigley, 2008), ce dernier est une combinaison d'un modèle climatique (MAGICC) et d'une base de données de scénarios climatiques (SCENGEN), ensemble, ils forment un générateur de scénarios climatiques.

MAGICC (Model for Assessment of Greenhouse-gaz Induced Climate change) est un modèle informatique qui sert à estimer les moyennes annuelles mondiales de la température de surface, ainsi qu'à évaluer le niveau de la mer par rapport à des scénarios donnés.

SCENGEN (SCENario GENERator) est comme son nom l'indique un générateur de scénarios climatiques, c'est une simple base de données incluant les résultats d'un très grand nombre d'expériences faites avec une vingtaine de MCGAO (Modèle de Circulation Générale couplé Atmosphère Océan).

Pour notre étude, nous avons choisi trois modèles climatiques globaux : CCSM 3.0 (Community Climate System Model), GFDL-CM 2.1 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), GISS-EH (Goddard Institute for Space Studies) et deux scénarios de gaz à effet de serre (A2-ASF et B2-MES).

Les scénarios A2-ASF et B2-MES appartiennent respectivement aux familles A2 et B2. Le scénario A2-ASF (Atmospheric Stabilisation Framework model) met l'accent sur un développement économique régionale similaire au schéma actuel ; le scénario B2-MES (MESSAGE: Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact) quant à lui est axé sur un développement plus respectueux de l'environnement et est plus orienté vers un modèle de développement durable.

MAGICC/SCENGEN estime les valeurs saisonnières des variables climatiques, dans notre cas c'est la température moyenne et les précipitations, ces valeurs sont produites pour une période de 30 années centrée sur 2050 (2040-2069).

VII-1-1- Projections des températures sur l'Est algérien à l'horizon 2050

Le tableau 23 (voir annexes) indique l'augmentation de la température moyenne pour les deux scénarios A2-ASF et B2-MES, dans l'ensemble, il semble que cette augmentation soit plus marquée dans le scénario A2-ASF, cet état de fait peut s'expliquer par des projections plus optimistes concernant le scénario B2-MES.

Les projections climatiques concernant le scénario A2-ASF indiquent :

- que pour l'automne, le modèle climatique global CCSM 3.0 montre une augmentation variant de 2 °C à 2,5 °C pour toute la région d'étude, les modèles climatiques globaux GFDL-CM 2.1 et GISS-EH quant à eux indiquent une augmentation fluctuant entre 2 °C et 2,5 °C.
- que pour l'hiver, il y'a une augmentation des températures variant de 1,5 °C à 2 °C pour le modèle CCSM 3.0, de 2 °C à 2,5 °C pour le modèle GFDL-CM 2.1 et de 1 °C à 1,5 °C pour le modèle GISS-EH qui se montre là aussi le plus optimiste des modèles ;
- pour la saison printanière les deux modèles CCSM 3.0 et GFDL-CM 2.1 indiquent une augmentation de 1,5 °C à 2 °C, le modèle GISS-EH indique une augmentation fluctuant entre 1,5 °C et 3.5 °C.
- la saison estivale concernant le modèle CCSM 3.0 montre une augmentation variant entre 1 °C et 2°C; concernant le modèle GFDL-CM 2.1, il y'a une augmentation fluctuant entre 2 °C et 2,5 °C, enfin le modèle GISS-EH indique une augmentation de 2,5 °C à 4.5 °C .

Selon le scénario A2-ASF, l'automne et l'été sont les deux saisons qui connaîtront l'augmentation la plus significative des températures moyennes.

Les projections climatiques concernant le scénario B2-MES indiquent :

- que pour l'automne, le modèle climatique global CCSM 3.0 montre une augmentation variant de 1.5 °C à 2 °C pour toute la région d'étude concernant les deux modèle CCSM 3.0 et GISS-EH, le modèle climatique global GFDL-CM 2.1 indique quant à lui, une augmentation variant entre 2 °C et 2,5° C ;
- que pour l'hiver le scénario, il y'a une augmentation des températures variant de 1 °C à 1,5 °C pour les modèle CCSM 3.0 et GISS-EH et 1,5 °C à 2 °C pour le modèle GFDL-CM 2.1 ;

- pour la saison printanière les deux modèles CCSM 3.0 et GFDL-CM 2.1 indiquent une augmentation de 1 °C à 1,5 °C, le modèle GISS-EH indique une augmentation fluctuant entre 1,5 °C et 3 °C;

- la saison estivale concernant le modèle CCSM 3.0 montre une augmentation variant entre 1 °C et 2 °C; concernant le modèle GFDL-CM 2.1, il y'a une augmentation fluctuant entre 1,5 °C et 2 °C, enfin le modèle GISS-EH indique une augmentation de 2 °C à 3,5°C.

VII-1-2- Projections des précipitations sur l'Est algérien à l'horizon 2050

Le tableau 24 (voir annexes) indique la variation des précipitations pour les deux scénarios A2-ASF et B2-MES, dans l'ensemble, il semble qu'il y'ait une diminution des précipitations dans la région d'étude jusqu'à des valeurs inférieures à 9 %.

Concernant l'automne, les modèles CCSM 3.0 et GDFL-CM 2.1 indiquent des valeurs inférieures à 9 % pour les deux scénarios, le modèle GISS-EH quant à lui indique une baisse des précipitations de 3 à 15 %.

Concernant l'hiver, les modèles CCSM 3.0 et GDFL-CM 2.1 indiquent là aussi des valeurs inférieures à 9 % pour les deux scénarios.

Le printemps indique pour les trois modèles et pour les deux scénarios des valeurs inférieures à 9 %

La saison estivale indique des précipitations inférieures à 9 % pour le modèle GISS-EH et les deux scénarios ; les précipitations sont en hausse en ce qui concerne le modèle CCSM 3.0 qui indique des valeurs entre 6 % et 18 % dans la région d'étude enfin le modèle GFDL-CM 2.1 indique une hausse des précipitations variant entre 3 et 6 % dans la région .

Conclusion

L'étude du régime des températures sur 50 ans, permet de constater l'effet de trois facteurs : l'altitude, la latitude et la proximité par rapport à la mer méditerranée. La latitude détermine une décroissance de la température du Sud vers le Nord. Cette décroissance est d'autant accélérée dans une région située à une altitude plus élevée par rapport aux autres stations voisinant la même latitude. Sur les côtes, les effets de la latitude et de l'altitude sont affaiblis par la proximité des stations par rapport à la mer.

La comparaison des températures moyennes mensuelles, s'étalant sur 70 ans entre la période de Seltzer (1913-1938) et les deux dernières périodes issues de la série d'observation (1961-2010) font ressortir :

- une augmentation des températures entre la période de Seltzer et la période (1986-2010) ;
- une diminution des températures entre la période de Seltzer et la période (1961-1985) ;
- une augmentation des températures entre la période (1961-1985) et la période (1986-2010).

L'Analyse de la série d'observations (1961-2010) par la régression linéaire met en évidence deux tendances :

- une tendance à la baisse entre 1961 et 1976 ;
- une tendance à la hausse qui s'exprime par une augmentation entre 1977 et 2010.

Le régime des précipitations est plus marqué au niveau des stations littorales avec une pluviométrie supérieure à 700 mm par an pour descendre à une valeur supérieure à 400 mm dans la région de l'Atlas Tellien et les hautes plaines ; Biskra quant à elle n'enregistre que 125 mm.

Cette étude met en évidence l'existence de cycles pluvieux et d'autres non pluvieux, les cycles pluvieux sont au nombre de six, du point de vue temporel nous pouvons distinguer deux cycles de quatre années (de 1962 à 1965 et de 2002 à 2005), un cycle de trois années (de 1996 à 1998) et enfin trois cycles de deux années (de 1971 à 1972, de 1976 à 1977 et de 1979 à 1980). Les cycles non pluvieux quant à eux sont au nombre de quatre, nous pouvons distinguer deux cycles de trois années (de 1987 à 1989 et de 1993 à 1995) et deux cycles de deux années (de 1974 à 1975 et de 2000 à 2001).

La comparaison des précipitations moyennes mensuelles, s'étalant sur 70 ans entre la période de Seltzer (1913-1938) et les deux dernières périodes (1961-1985 et 1986-2010) permet de constater :

- une diminution des précipitations entre la période de Seltzer et la période (1986-2010) ;
- une diminution des précipitations entre la période de Seltzer et celle de (1961-1985) ;
- une très légère augmentation des précipitations entre la période (1961-1985) et celle de (1986-2010).

L'indice pluviothermique d'Emberger montre que toutes les stations de la région d'étude ont une tendance à s'aridifier, Les stations du littoral se localisant dans l'Ouest de la région d'étude (la station d'Alger (DEB), de Béjaïa et de Jijel) connaissent la même tendance migratoire et convergent toutes dans le sens de l'aridité ; la station de Constantine est la plus stable au niveau de la région d'étude.

La projection climatique sur l'Est algérien à l'horizon 2050 montre une augmentation des températures et une baisse des précipitations plus importantes dans la partie Ouest que dans la partie Est de la région d'étude ; les effets du changement climatique sont plus perceptibles durant l'automne et l'été.

L'augmentation des températures observée depuis l'année 1977 peut résulter soit d'un changement climatique induit par l'homme, soit d'une variabilité climatique dont les causes sont naturelles, ainsi, cette augmentation peut faire partie d'un cycle climatique naturelle ; dans les deux cas l'évolution des températures dans le futur lointain reste incertaine. L'Analyse de la variabilité des températures de la période 1901 – 1960 serait très utile pour compléter cette étude, en effet il serait intéressant de connaître la variabilité des températures avant la baisse de ceux-ci entre 1961 et 1976.

Bibliographie

A.N.R.H., 1993, Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (2 feuilles, une notice de 49 p.), Ministère de l'Équipement, Alger, Ed. I.N.C.

ANGOT, A., 1881. Étude sur le climat de l'Algérie (température, pression barométrique et pluie). *Ann Bur Cent Météo Paris* 1881 : B7-36.

ABDESSEMED, K., 1981. Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica Menetti*) dans les massifs de l'Aurès et du Bélezma : Etude phytosociologique, problème de conservation et d'aménagement. Thèse Doc. Ing. Univ. Aix-Marseille, 200p.

AZZI, A., 2011. La tendance générale des pluies dans le nord centre de l'Algérie cas : le bassin versant de la Soummam. Séminaire sur la prévision saisonnière et services climatiques pour la gestion des ressources et l'adaptation aux changements climatiques 24 au 26 janvier 2011 à Alger- Algérie.

BEAULIEU, C., TAHA, B. M. J, O & SEIDOU, O., 2007, Synthèse des techniques d'homogénéisation des séries climatiques et analyse d'applicabilité aux séries de précipitations, *Hydrological Sciences Journal*, 52:1, 18-37. Disponible ici : <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.52.1.18>.

COTE, M., 1998a (in Mébarki Azzedine., 2005), Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, *Rhumel*, n° 6, pp. 57-71.

DESBOIS, M., 2008, Cycle solaire et réchauffement climatique. <http://www.tv5.org/climats>.

DUCHAUFOR, Ph., 1975. Atlas écologique des sols du monde. Ed.Masson. pp 11- 92.

DUMAS, P., RIBOLI-SASCO, L., SPYRATOS, V & KURITA, F., 2005, Fonctionnement du système climatique, perturbations humaines, dérèglements dangereux ?, 2005. pp17.

FAO., 2005, Utilisation des engrais par culture en Algérie pp 4.

FOSA., 2002, L'étude prospective du secteur forestier en Afrique ; pp 61.

FRIEDLINGSTEIN, P & DUFRESNE, J-L., 2005, Cycle du Carbone et climat : une accélération des changements climatiques, Paris, N° ISSN : 1021 7711.

GIEC., 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, p. 30.

GIEC., 2008. Glossaire du document technique VI, le changement climatique et l'eau.

HULME, M., RAPER, S.C.B & WIGLEY, T.M.L., 1995. An integrated framework to address climate change (ESCAPE) and further developments of the global and regional climate modules (MAGICC). Energy Police, vol. 23, 347–355.

International Center for Tropical Agriculture, 2010. Disponible ici : (<http://www.scidev.net/global/farming/news/north-african-crops-to-be-hit-hardest-by-climate-change.html>).

LEPAGE, M-P., BOURDAGES, L & BOURGOIS, G., 2011. Interprétation des scénarios de changements climatiques afin d'améliorer la gestion des risques pour l'agriculture, CRAAQ, Québec, Publication no PAGR0102.

TABET-AOUL, M., 2008. Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb, Les notes d'alerte du CIHIM n 48, juin 2008.

MARRE, A., 1987. Etude géomorphologique du tell oriental algérien : de Collo à la frontière Tunisienne. O.P.U, Tome 1, Thèse Doct. Univ. Aix Marseille II. 411p.

MASLIN, M., 2004. Global Warming, a very short introduction. Oxford University Press, Oxford.

MATE., 2003. Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, pp 465.

MEBARKI, A., 2005. Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eaux, aménagement et environnement thés doc Univ Mnetouri ; pp 349.

MEDJERAB, A & HENIA, L., 2005. Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord-occidentale. Revue géographique de l'Est, vol 45/2.

MEEHL, G.A., STOCKER, T.F., COLLINS, W.D., FRIEDLINGSTEIN, P., GAYE, A.T., GREGORY, J.M., KITO, A., KNUTTI, R., MURPHY, J.M., NODA, A., RAPER, S.C.B., WATTERSON, I.G., WEAVER, A.J. AND ZHAO, Z.-C., 2007. Global Climate Projections. Chapter 10 in: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

MOISELIN, J-M., SCHNEIDER, M., CANELLAS, C & MESTRE, O., 2002. Les changements climatiques en France au XX^e siècle, Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations, La Météorologie - n° 38 - août 2002

NEDJRAOUI, D., 2003. profil fourrager «Algérie » Rapport FAO 2003 pp8. Disponible ici : <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/PDF%20files/Algeria-French.pdf>.

ONERC., 2007, Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique, Paris, ISBN : 978-2-11-00-6618-0.

PEDELABORDE, P & DELANOY, H., 1958. Recherches sur les types de temps et le mécanisme des pluies en Algérie. In : Annales de géographie.1958, t. 67, n°361. pp. 216-244.

PETTITT A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Statist., 28(2), 126-135.

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

SELTZER, P., 1946. Le climat de l'Algérie. Alger. Carbonel. 1946 ; 219p.

TATAR, H., 1997., Les éléments du climat et les risques d'incendie de forêts (cas de la cote orientale algérienne), *Rhumel* n°5, Université de Constantine, pp. 53-61.

United Nations Framework Convention on Climate Change (CCNUCC), 2008, Accra Climate Change Talks 2008.

WILLSON, Richard C & MORDVINOV, Alexander V., 2003. Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21–23, *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 30, NO. 5, 1199.

WMO., 1983. Guide to Climatological Practices. Second edition, WMO-No. 100, Geneva (updates available at <http://www.wmo.int/web/wcp/ccl/>).

WMO., 1989. Calculation of monthly and annual 30-year normals ; 14p. Disponible ici : http://www.inmet.gov.br/html/clima/OMM_WCDP_N10.pdf.

WMO., 2007. The role of climatological normals in a changing climate, WCDMP-No. 61, WMO-TD No. 1377 ; 46p.

WMO., 2008. Guide to meteorological instruments and methods of observation ; 681p.

WIGLEY T.M.L., 2008. MAGICC/SCENGEN 5.3: user manual (version 2), National Center for Atmospheric Research, Colorado, 81 pp.

Résumé :

Afin de détecter un changement ou une variabilité climatique, une analyse des variations climatiques a été effectuée sur 13 stations de notre région d'étude sur une période de 50ans (1961-2010).

Deux tendances ont affecté notre région d'étude, la première est une tendance à la baisse des températures qui s'étale sur 16 ans avec une diminution de 1,44°C, la deuxième est une tendance à la hausse des températures qui s'étale sur avec une augmentation de 34 ans avec une augmentation de 1,33°C.

La variabilité de la température sur 75 ans (période de Seltzer incluse) montre que la température a augmenté de 0,22 °C entre (1913-1938 et 1986-2010), qu'elle a diminué de 0,75°C entre (1913-1938 et 1961-1985) et qu'elle a augmenté de 0,97°C entre (1961-1985 et 1986-2010).

La variabilité des précipitations pendant 50 ans indique la présence de cycles pluvieux qui sont au nombre de six et de cycles non pluvieux qui sont au nombre de quatre. L'indice pluviothermique d'Emeberger montre que toutes les stations de la région d'étude ont une tendance à s'aridifier. La station de Constantine reste la station la plus stable de la région d'étude.

Summary

To detect a change or a climate variability, an analysis of climate's variabilitions was performed on 13 stations in our study area over a period of 50 years (1961-2010).

Two trends have affected our study area, the first is a downward trend in temperatures which expands over 16 years with a decrease of 1.44 ° C, the second is an upward trend in temperatures which expands over 34 years with an increase of 1.33 ° C.

The temperature variability over 75 years (Seltzer's period included) shows that the temperature has risen by 0.22 ° C between (1913-1938 and 1986-2010), it decreased by 0.75 ° C between (1913-1938 and 1961-1985) and risen by 0.97 ° C between (1961-1985 and 1986-2010).

Rainfall variability for 50 years indicates the presence of wet cycles with a number of six and dry cycles with a number of four. The pluviothermic Emeberger quotient shows that all stations in the study area have a tendency to aridifier. Constantine's station remains the most stable station in the study area.

للكشف عن التغير المناخي، تم إجراء تحليل لتقلب المناخ في 13 محطة في منطقة دراستنا على مدى 50 عاما (1961-2010).

لقد أثر على منطقة دراستنا تيارين، الأول هو انخفاض في درجات الحرارة قدره 1.44 درجة مئوية على مدار 16 عاما، والثاني هو الاتجاه التصاعدي في درجات الحرارة مع زيادة قدرها ب 1.33 درجة مئوية على مدار 34 عاما.

التغير في درجة الحرارة خلال 75 عاما (الفترة شملت سيلتزر) يبين أن درجة الحرارة قد ارتفعت بنسبة 0.22 درجة مئوية ما بين (1938-1913 و 2010-1986)، انخفضت بنسبة 0.75 درجة مئوية بين (1938-1913 و 1985-1961) و ارتفعت بنسبة 0.97 درجة مئوية ما بين (1985-1961 و 2010-1986).

. دراسة هطول الأمطار لمدة 50 عاما يدل على وجود دورات رطبة و عددها ستة و دورات جافة عددها أربعة. يظهر مؤشر Emeberger pluviothermic أن جميع المحطات في منطقة الدراسة لديهم ميول إلى الجفاف. تبقى محطة قسنطينة الأكثر استقرارا في منطقة الدراسة .

Nom : **FARAH**

Date de soutenance :

Prénoms : **ABDELHAFID KARIM**

Titre : Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien

Résumé :

Afin de détecter un changement ou une variabilité climatique, une analyse des variations climatiques a été effectuée sur 13 stations de notre région d'étude sur une période de 50ans (1961-2010).

Deux tendances ont affecté notre région d'étude, la première est une tendance à la baisse des températures qui s'étale sur 16 ans avec une diminution de 1,44°C, la deuxième est une tendance à la hausse des températures qui s'étale sur avec une augmentation de 34 ans avec une augmentation de 1,33°C.

La variabilité de la température sur 75 ans (période de Seltzer incluse) montre que la température a augmenté de 0,22 °C entre (1913-1938 et 1986-2010), qu'elle a diminué de 0,75°C entre (1913-1938 et 1961-1985) et qu'elle a augmenté de 0,97°C entre (1961-1985 et 1986-2010).

La variabilité des précipitations pendant 50 ans indique la présence de cycles pluvieux qui sont au nombre de six et de cycles non pluvieux qui sont au nombre de quatre. L'indice pluviothermique d'Emeberger montre que toutes les stations de la région d'étude ont une tendance à s'aridifier. La station de Constantine reste la station la plus stable de la région d'étude.

Summary

To detect a change or a climate variability, an analysis of climate's variabilisation was performed on 13 stations in our study area over a period of 50 years (1961-2010).

Two trends have affected our study area, the first is a downward trend in temperatures which expands over 16 years with a decrease of 1.44 ° C, the second is an upward trend in temperatures which expands over 34 years with an increase of 1.33 ° C.

The temperature variability over 75 years (Seltzer's period included) shows that the temperature has raised by 0.22 ° C between (1913-1938 and 1986-2010), then decreased by 0.75 ° C between (1913-1938 and 1961-1985) and raised again by 0.97 ° C between (1961-1985 and 1986-2010).

Rainfall variability for 50 years indicates the presence of wet cycles with a number of six and dry cycles with a number of four. The pluviothermic Emeberger quotient shows that all stations in the study area have a tendency to aridifier. Constantine's station remains the most stable station in the study area.

ملخص

للكشف عن التغير المناخي ، تم إجراء تحليل لتقلب المناخ في 13 محطة في منطقة دراستنا على مدى 50 عاما (1961-2010).

لقد اثر على منطقة دراستنا تبارين، الأول هو انخفاض في درجات الحرارة قدره 1.44 درجة مئوية على مدار 16 عاما، والثاني هو الاتجاه التصاعدي في درجات الحرارة مع زيادة قدرها ب 1.33 درجة مئوية على مدار 34 عاما.

التغير في درجة الحرارة خلال 75 عاما (الفترة شملت سيلتزر) يبين أن درجة الحرارة قد ارتفعت بنسبة 0.22 درجة مئوية ما بين (1913-1938 و 1986-2010)، انخفضت بنسبة 0.75 درجة مئوية بين (1913-1938 و 1961-1985) و ارتفعت بنسبة 0.97 درجة مئوية ما بين (1961-1985 و 1986-2010).

. دراسة هطول الأمطار لمدة 50 عاما يدل على وجود دورات رطبة و عددها ستة ودورات جافة عددها أربعة . يظهر مؤشر Emeberger pluviothermic أن جميع المحطات في منطقة الدراسة لديهم ميول إلى الجفاف. تبقى محطة قسنطينة الأكثر استقرارا في منطقة الدراسة .

Mots clés : Températures, Précipitations, Est Algérien, Climat, Quotient pluviothermique d'EMBERGER, Analyse en Composantes Principales (ACP), MAGICC, SCENGEN.

Jury :

Président : **Mr. ALATOU Djamel**

Professeur

Univ. Constantine

Rapporteur : **Mr. BENDERRADJI. M.H**

Professeur

Univ. Constantine

Examineur : **Mr. RAHMOUNE Chaabane**

Professeur

Univ. Constantine

Examineur : **Mr. MEBARKI Azzedine**

Professeur

Univ. Constantine