

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة زيان عاشور – الجلفة
Université Ziane Achour-DJELFA
كلية علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Agropastoralisme et
Désertification

Intitulé :

Contribution à l'étude des changements climatiques dans le milieu steppique, Evaluation et Impact Cas de Djelfa

Présenté par : Mr. Boubakeur Guesmi

Soutenue devant le jury :

Président : Dr. Lahrech M. Maitre de conférences, université de Djelfa
Examineurs: Dr. Belhadj S. Maitre de conférences, université de Djelfa
Dr. Sahnoune M. Maitre de conférences, université de Tiaret
Dr. Lahrech B. Chargé de cours, université de Djelfa
Promoteur : Dr. Azouzi B. Maitre de conférences, université de Djelfa

Promotion 2009

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère d'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة زيان عاشور – الجلفة
Université Ziane Achour-DJELFA
معهد علوم الطبيعة و الحياة
Faculté des sciences de la nature et de la vie

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en agronomie
Option agropastoralisme et désertification

Intitulé :

Contribution à l'étude des changements climatiques dans le milieu steppique Evaluation et Impacts Cas de Djelfa

Présente par : Mr Boubakeur Guesmi

Soutenue devant le jury :

Président : Dr. Lahrch M. Maitre de conférences, université de Djelfa
Examineurs: Dr. Belhadj S. Maitre de conférences, université de Djelfa
Dr. Sahnoune M. Maitre de conférences, université de Tiaret
Dr. Lahrech B. Chargé de cours, université de Djelfa

Promotion 2009

Dédicaces

Tout d'abord et avant tout le monde, je dédie ce modeste travail au bon dieu عزوجل الله qui ma donné la force pour bien l'accomplir malgré les difficultés que j'ai rencontrés.

Ensuite à ma chère et compatissante mère qui est toujours à mes cotés pour me soutenir et lever le potentiel morale et m'encourager pour avancer de plus en plus dans le chemin de la réussite dans le domaine de la recherche scientifique.

A tous les gens de la science, et tous les gens qui s'intéressent à la nature et à l'environnement et s'intéressent beaucoup plus à leur protection contre toutes les menaces dont l'industrie est en premier lieu par ses effets polluants et dont la conséquence se manifeste par ce grave changement climatique contemporain.

A tous les étudiants et chercheurs qui s'intéressent à ce domaine de recherche, et aux quels je souhaite que cet ouvrage soit utile.

Remerciements

Toutes mes louanges et remerciements, je les destine à mon bon Dieu الله عزوجل qui a toute la faveur sur moi, et qui m'a fait réussir le magister et m'a fait accomplir à bien cet ouvrage que je souhaite être utile.

Je tiens à présenter mes humbles et sincères remerciements ainsi que toutes mes reconnaissances et ma profonde gratitude, à mon promoteur Docteur Mr : Azouzi B. maître de conférence à l'université de Djelfa, pour tout son dévouement lors de mon encadrement, pour son aide et ses précieux conseils ainsi que pour l'attention soutenue qu'il m'a accordée. Je remercie aussi Dr. Lahrech M. maître de conférence et doyen de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Djelfa pour m'avoir fait l'honneur et l'immense plaisir d'accepter de présider le jury. Je tiens également à remercier Dr Belhadj. S maître de conférence à l'université de Djelfa, Dr. Sahnoune M. maître de conférence et doyen de la faculté des sciences de la nature et de la vie à Tiaret Dr Lahrech B. chargé de cours à l'université de Djelfa pour m'avoir fait le grand honneur de juger et d'examiner ce modeste travail.

Je remercie aussi tous ceux qui m'ont aidé pour réaliser cet œuvre, particulièrement ma mère et ma sœur, Aussi Dr Lahrech B. qui m'est le maître et le frère et m'a beaucoup aidé et soutenu. Et aussi je dois tous les remerciements à mes amis Mr. Mourad cheikh, Mlle : Gacem Fatiha, Mr. Bou naoa Mohamed, Je remercie aussi mon maître Dr Dahia M. pour son aide et son encouragement continu, aussi que Mr Touati M. et tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

TABLEAU DES MATIERES

Dédicace.....	01
Remerciements	02
Tableau des Matières.....	03
Liste des Figures.....	10
Liste des Tableaux.....	12
INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE.....	14

L'ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

La première partie

Le climat élément moteur de l'écosystème

Chapitre 1: La climatologie et la météorologie

1 Le climat.....	20
1-1 Définitions.....	20
1-1-1 Le climat.....	20
1-1-2 La climatologie.....	21
1-1-3 La météorologie.....	21
1-1-4 Le temps.....	21
1-2 Les éléments du climat	22
1-2-1 La température.....	22
1-2-1-1 La définition	22
1-2-1-2 La distribution de la température sur la surface du globe.....	22
1-2-2 Les précipitations.....	24
1-2-2-1 Les nuages.....	24
1-2-2-1-1 La formation des nuages	24
1-2-2-1-2 Les types des nuages	25
1-2-2-2 La pluie	27

a- Définition.....	27
b-La formation de la pluie.....	27
c-La répartition spatiale de la pluie.....	27
1-2-2-3 La neige	29
1-2-2-4 Les autres formes des précipitations	29
1-2-3 La pression atmosphérique	30
1-2-3-1 Définition.....	30
1-2-3-2 La répartition spatiale des pressions (anticyclones)	30
1-2-4 Le vent	30
1-2-4-1 Définition.....	30
1-2-5 L'ensoleillement ou insolation.....	31
1-2-5-1 Définition.....	31
1-2-5-2 L'albédo ou rayonnement thermique	31
1-2-6 L'humidité.....	31
2 Les grandes divisions climatiques (Types de climat).....	32

Chapitre 2: Le climat et l'écosystème

1 La radiation solaire dans l'écosystème.....	34
1-1 L'action physique de la radiation solaire	34
1-2 L'action biologique de la radiation solaire	35
1-2-1 La photosynthèse.....	35
1-2-2 L'action biologique de rythme d'éclairement.....	36
a- Le rythme saisonnier.....	36
b- Le rythme nyctéméral ou circadien	36
2 L'eau dans l'écosystème (précipitations).....	37
2-1 Les quantités actuelles de l'eau sur la planète	37
2-2 Les propriétés physiques et chimiques utiles pour l'écosystème	38

La deuxième partie

*Les changements climatiques et la steppe***Chapitre 1: Le changement climatique**

1 Les anomalies du climat.....	42
1-1 Le changement climatique	42
• La variabilité climatique	43
• Les cycles de hautes ou de basses fréquences.....	43
• La période de référence pour l'étude du changement climatique.....	43
1-2 Le réchauffement climatique	43
1-3 L'effet de serre.....	44
1-3-1 Les gaz à effet de serre.....	45
2 Quel avenir pour le climat	45
2-1 La prévention internationale du changement climatique	45
2-2 La modélisation numérique du climat.....	47
2-3 Les prévisions climatiques de l'avenir.....	48

Chapitre 2: quel avenir pour la steppe

1 L'écosystème steppique.....	50
1-1 Les régions arides et semi-arides.....	50
1-2 La notion d'aridité	50
2 La steppe	51
2-1 Les caractéristiques climatiques de la steppe	51
2 L'avenir de la steppe.....	52
2-1 La dégradation de la steppe	53
2-2 La nécessité de la protection de la steppe	54

L'ANALYSE EXPERIMENTALE

La première Partie

La zone d'étude

Chapitre 1 : La steppe algérienne

1 vue d'ensemble de la steppe algérienne.....	58
1-1 La localisation et les limites.....	58
1-2 La nature des sols	58
1-3 Le climat.....	58
1-4 Les caractéristiques hydriques.....	59
2 L'occupation du sol et végétation.....	59
2-1 La végétation, composition et densité.....	60
2-2 La répartition de la végétation steppique par espèce.....	60
2-3 La steppe comme milieu naturellement hétérogène	60

Chapitre 2 : La wilaya de Djelfa

1 La localisation.....	62
2 La population.....	62
3 La géomorphologie.....	63
4 La pédologie.....	63
5 La végétation.....	63
6 Le réseau hydrographique.....	64
7 La climatologie de la région.....	64
7-1 Les précipitations.....	64
7-2 Les températures.....	65
7-3 Le vent	66
7-4 La neige	66
7-5 Les gelées.....	66
7-6 La synthèse climatique (indices climatiques)	66

• L'indice d'aridité de de Martonne	67
• Le diagramme ombrothermique de Gaussen	67
• Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q2)	68

La deuxième partie

Les méthodes d'analyse

Chapitre 1 : Les méthodes d'étude du changement climatique

1L'analyse de la tendance générale du climat.....	71
1-1 L'analyse des valeurs moyennes.....	71
• La comparaison des moyennes	71
- La comparaison d'une moyenne observée à une valeur théorique	71
- La comparaison de deux moyennes m_1 et m_2	72
- La comparaison de plusieurs moyennes.....	72
1-2 L'analyse à l'aide des représentations graphiques.....	72
2 L'étude de la variabilité climatique annuelle (régime annuel du climat).....	73
2-1 Le test d'homogénéité	73
2-2 La comparaison des régimes à l'aide des graphes	75
3 L'étude du changement du type du climat ou le faciès climatique.....	76
(Indices climatiques)	
3-1 Les indices climatiques globaux	76
3-1-1 L'indice pluviométrique.....	76
3-1-2 Le facteur de pluie	76
3-1-3 L'indice d'aridité de de Martonne	77
3-1-4 L'indice pluviométrique annuel.....	77
3-1-5 L'indice ombrothermique de Gaussen(1952)	78
3-1-6 L'indice xérothermique de Gaussen	78
3-1-7 Le Quotient pluviométrique d'Emberger	78
3-1-8 L'indice d'évaporation du Transeau.....	79

3-1-9 L'indice de Meyer (1926)	79
3-1-10 L'indice d'humidité Thornthwaite (1948) (Moisture index).....	79
3-2 Les indices climatiques de production.....	79

Chapitre 2 : Les méthodes d'étude de l'impact des changements climatiques

1 L'analyse de la variance (ANOVA)	82
1-1 L'ANOVA à un facteur	82
1-1-1 Le dispositif complètement randomisé.....	82
2 L'étude de corrélation	85
3 L'étude de l'impact à l'aide des représentations graphiques.....	86

La Troisième Partie :

Résultats Et Discussion

Chapitre 1 : Le changement climatique à Djelfa

1 L'évolution des moyennes au cours de ces dernières trente années (1975-2007)	89
1-1 Les moyennes annuelles de la température au cours de la période (1975-2007).....	89
1-2 Les moyennes annuelles de la précipitation au cours de la période (1975-2007).....	94
2 L'étude du régime ou de la variabilité annuelle du climat au cours de la période (1975-2007)	96
2-1 Le test d'homogénéité de répartitions des températures et des précipitations durant l'année pour les années (1975-2007).....	96
2-1-1 Les températures.....	96
2-1-2 les précipitations.....	98
3 L'analyse du facies climatique et de type du climat (Indices climatiques).....	99
3-1 L'indice d'aridité de de Martonne.....	99
3-2 L'indice ombrothermique de Gaussen.....	100
3-3 Le Quotient pluviométrique d'Emberger.....	102

Chapitre 2 : L'impact des changements climatiques à Djelfa

1 L'ANOVA à un facteur, dispositif complètement randomisé.....	105
1-1 L'influence de la température sur la hauteur piézométrique.....	105
1-2 L'influence de la précipitation sur la hauteur piézométrique.....	107
2 L'étude des corrélations.....	108
3 L'interprétation d'indépendance climat-réserve en eau.....	109
3-1 L'étude hydro géographique.....	109
CONCLUSION GENERALE.....	114
Références bibliographiques.....	115

Liste des figures

Figure 01:	L'équateur thermique.....	23
Figure 02:	Le nuage cumulo-nimbus.....	25
Figure 03:	Les nuages classés selon leur altitude et leur formation.....	26
Figure 04:	A gauche le strato-cumulus et à droite l'altocumulus	26
Figure 05:	La distribution des précipitations en fonction des latitudes.....	28
Figure 06:	La circulation atmosphérique globale.....	30
Figure 07:	La variation de la température globale depuis 1850.....	43
Figure 08:	Un parcours steppique.....	51
Figure 09:	Le sable envahit les parcours steppiques.....	54
Figure 10:	La délimitation de la steppe algérienne.....	58
Figure 11:	La wilaya de Djelfa.....	62
Figure 12:	Le digramme ombrothermique de Gausson pour la période 1997-2007.....	67
Figure 13:	L'évolution des températures moyennes annuelles au cours de la période 1975-2007.....	89
Figure 14:	L'évolution des températures annuelles maximales au cours de la période 1975-2007.....	91
Figure 15:	L'évolution des températures annuelles minimales au cours de la période 1975-2007.....	92
Figure 16:	L'évolution des précipitations moyennes annuelles au cours de la période 1975-2007.....	94
Figure 17:	L'évolution de la moyenne annuelle du nombre des jours de pluie au cours de la période 1975-2007.....	95
Figure 18 :	Les courbes d'évolution de la température moyenne au cours de l'année pour la période 1975-2007.....	97
Figure 19:	Les courbes d'évolution de la précipitation moyenne au cours de l'année pour la période 1975-2007.....	98
Figure 20:	Le diagramme ombrothermique pour la première décennie 1975-1985.....	100
Figure 21:	Le diagramme ombrothermique pour la deuxième décennie 1986-1996.....	101
Figure 22:	Le diagramme ombrothermique pour la troisième décennie 1997-2007.....	102
Figure 23:	L'évolution de la précipitation et de la hauteur piézométrique pour la période 2001-2007.....	106

Figure 24:	L'évolution de la température et de la hauteur piézométrique pour la période 2001-2007.....	107
Figure 25:	La coupe litho-stratigraphique de la synclinale de Djelfa.....	111

Liste des tableaux

Tableau 01:	Les dix années les plus chaudes entre 1880et 2006.....	44
Tableau 02:	La composition de l'air atmosphérique.....	44
Tableau 03:	L'évolution de la quantité des gaz à effet de serre sous l'action de l'homme	45
Tableau 04:	Les moyennes des précipitations la région de Djelfa selon Seltzer, 1946.....	64
Tableau 05:	Les précipitations de la décennie 1997-2007.....	65
Tableau 06:	Les températures moyennes de la décennie 1997-2007.....	66
Tableau 07:	Le nombre des jours de gel durant l'année 2007.....	66
Tableau 08:	La classification des climats suivant l'indice de de Martonne	67
Tableau 09:	Les étages bioclimatiques en fonction de Q2 et m dans la wilaya de Djelfa.....	68
Tableau 10:	La forme générale d'un tableau de contingence	74
Tableau 11:	Le tableau d'effectif théorique	75
Tableau 12:	La classification des climats en fonction de l'indice de l'aridité de de Martonne	77
Tableau 13:	Le coefficient de pondération pour l'indice xérothermique de Gaussen.....	78
Tableau 14:	L'organisation des données statistiques.....	81
Tableau 15:	Le tableau des données d' l'ANOVA à un facteur, dispositif complètement randomisé.....	82
Tableau 16:	Le tableau d' ANOVA à un facteur dispositif complètement randomisé.....	84
Tableau 17:	Les résultats du test d'homogénéité pour les températures.....	96
Tableau 18:	Les résultats du test d'homogénéité pour les précipitations.....	98
Tableau 19:	La variation de l'indice d'aridité de de Martonne durant les trois décennies 1975-2007.....	99
Tableau 20:	La variation du quotient pluviométrique d'Emberger Q2 durant les trois décennies 1975-2007	103
Tableau 21:	Les données piézométriques pour la période 2001-2007.....	105

Tableau 22:	Le tableau d'ANOVA pour les données piézométriques de la période 2001-2007.....	106
Tableau 23:	Les données piézométriques accompagnées des températures et des précipitations pour la période 2001-2007.....	108
Tableau 24:	La litho-stratigraphie et propriétés hydrologiques des différentes couches du synclinale de Djelfa.....	112

Introduction et problématique :

D'après le bilan des changements climatiques 2007 réalisé par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2008) le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et 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. Une telle activité, en particulier l'industrie excessivement exploitée à l'échelle planétaire, est devenue aujourd'hui un impact réel et un vrai défi à l'humanité toute entière en déséquilibrant le système climatique.

En effet, c'est tout le système terrestre qu'est en jeu, par le fait que le climat d'aujourd'hui est vulnérable à cause des résidus de ce développement technologique, le réchauffement climatique est sans équivoque (GIEC, 2008), se répercutant forcément sur tous les écosystèmes induisant leur déséquilibre, en commençant par les écosystèmes marginaux et fragiles dont la steppe est l'exemple type, et qui présente actuellement des signes de vieillissement et de dégradation (Pouget, 1980) déjà forcés par l'action anthropique ainsi que les changements climatiques qui pourraient la conduire dans un délai proche par la désertification en un Sahara inhabitable à jamais (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Les derniers événements climatiques fantasmiques et inexplicables vécus dans la région steppique, tel que les sécheresses, les inondations imprévues en l'occurrence celle d'Août 2007 à Djelfa, et les hivers devenus chaud et sec avec dominance des saisons estivales sèches..., ne peuvent jamais passer inaperçus sans être étudiés, ce qui nous a conduit à aborder le sujet du changement climatique dans la région steppique.

A ce point plusieurs questions se posent :

- Comment peut-on expliquer ces anomalies du climat dans la région d'étude?
- Sont-elles des anomalies sans importance et qui passent sans effet ? ou s'agit-il d'un changement climatique qui durera longtemps, pour porter ses influences sur tout l'écosystème et en premier lieu le milieu naturel après avoir détruit le couvert végétal protecteur ?
- Ce changement climatique peut-il être expliqué seulement par un réchauffement climatique dû à l'augmentation des valeurs des températures moyennes ?

- Est-ce que c'est la quantité de pluie annuelle qui est diminuée, expliquant ainsi la sécheresse climatique, ou bien cette sécheresse est-elle attribuée à la diminution de nombre de jours de pluie et l'allongement de la saison sèche ?
- Les régimes climatiques annuels à savoir le régime thermique et celui pluviale, sont-ils touchés ?
- Assistons-nous à une disparition ou bien un décalage des saisons au sein de l'année ?
- Quelle ampleur prennent ces anomalies dans nos régions steppiques qui sont apparemment incapables d'y faire face ? et quel avenir pour la population qui y vit ?
- Quel est l'impact de ces changements climatiques sur la réserve en eau de ces régions steppiques ?
- La steppe appartient-elle dans un proche délai à la sphère de l'aridité ?

Toutes ces questions et autres seront répondues ou au moins mieux éclaircies à travers les différentes parties de ce travail dont la mise en œuvre a été réalisée dans la région de Djelfa prise comme exemple d'étude de la steppe. Une période de plus de trois décennies a été choisie afin de mettre en évidence une variation de l'état du climat en étudiant ses deux principaux paramètres, température et précipitation, par les approches statistiques appropriés.

Dans le but de bien traiter ce sujet et en particulier de montrer son importance pour notre milieu steppique menacé par la désertification, nous avons opté pour une stratégie qui développe l'idée que le climat est un élément moteur de l'écosystème, et que tout changement qui s'y produit se répercute forcément sur son équilibre, en particulier s'il s'agit d'un écosystème fragile comme la steppe qui est le sujet de notre travail.

A cet effet, l'analyse bibliographique a été consacrée à l'illustration de l'impact majeur des changements climatiques sur les écosystèmes dont la steppe est l'un des plus vulnérables à ce changement. Ceci à travers deux parties :

une première partie qui montre que le climat est un élément moteur de l'écosystème, via deux chapitres dont le premier traite des généralités sur la climatologie, le deuxième explique le rôle primordiale et indispensable du climat dans l'écosystème et son fonctionnement en se basant sur des exemples de ses fonctions qui ne peuvent jamais surpasser du rôle de climat, telle que la photosynthèse qui est une réaction indispensable pour la production de la nourriture et de l'énergie pour tout l'écosystème par le biais de la chaîne trophique.

Une deuxième partie réservée au changement climatique et son impact sur l'écosystème steppique qui pourrait évoluer vers un désert en aggravant et accélérant l'effet de la désertification. De même pour cette partie, deux chapitres sont rédigés, le premier explique les changements climatiques et le deuxième porte sur l'avenir de la steppe dans le contexte de ces changements climatiques.

De ce fait et pour mieux répondre aux questions de notre problématique citée ci-dessus, la partie expérimentale s'articule autour de trois parties dont la première a porté sur la région de Djelfa prise comme zone d'étude représentant la steppe algérienne. La deuxième partie est consacrée aux analyses statistiques des deux paramètres climatiques précipitations et température par le biais de leurs valeurs moyennes, minimales et maximales, ainsi que leur évolution au sein des années comparées entre elles à l'aide des représentations graphiques et de calcul mathématique de la variation; comme elle contient aussi une étude de l'éventuel changement du faciès et de type de climat par l'emploi des indices climatiques tel que le diagramme ombrothermique de Gaussen. Comme troisième partie vient l'étude de l'impact de ces changements climatiques sur la réserve en eau par l'analyse de la variance (ANOVA), l'étude de la corrélation ainsi que des graphes comparatifs qui peuvent confirmer les résultats obtenus.

Analyse bibliographique

LA PREMIERE PARTIE

Le climat élément moteur de l'écosystème

1 LE CLIMAT

Le mot climat apparaît en français au douzième siècle, dérivant du mot latin *climatis*, dont l'origine est grecque du mot klima qui est l'inclinaison d'un point de la terre par rapport au soleil, ou bien celle des rayons solaires incidents, en fonction de laquelle les grecques de l'antiquité découpaient le globe en zones climatiques, dont la zone thermique centrale brûlant comme l'avait nommé Aristote dans son traité « les météorologiques » (Tabeaud, 2000).

Plus d'un demi siècle de recherche dans le but de définir et d'étudier le climat, l'allemand HANN parlait de " l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre" (Estienne et Godard, 1998).

Un quart du siècle plus tard, le géographe français Sorre évoquait " la série des états de l'atmosphère, au dessus d'un lieu dans leur succession habituelles " (Estienne et Godard, 1998).

Dans la perspective de HANN, il s'agit d'explorer les différents éléments du climat, et leurs conditions moyennes sur une région géographique donnée, à fin d'en aboutir à une sorte de typologie du climat et l'étude de leur répartition à la surface de la terre, sans avoir recours aux éléments explicatifs des causes de tel ou tel type de climat (Marc, 2001).

Par contre pour SORRE le climat moyen est peu représentatif de la réalité, et méconnaissant de la combinaison naturelle qu'est le temps.

1-1 DEFINITIONS

1-1-1 Le climat

D'après Tabeaud (2000), le climat est l'ensemble des états habituels et fluctuants de l'atmosphère dans leur succession saisonnière, et qui caractérisent une région donnée.

La définition du climat est subordonnée à la fois à la variabilité interannuelle des événements météorologiques, et à leurs fluctuations à long terme, d'où apparaît indispensable l'utilisation de l'outil statistique pour l'analyse des données atmosphériques prises isolément ou combinées entre elles, ainsi que le traitement des caractéristiques géomorphologiques susceptibles de modifier profondément les aspects du temps (Baldy et Stigter, 1993).

Suivant l'échelle de l'étude on distingue plusieurs types de climat tel que le macroclimat (à l'échelle des continents), le méso-climat (dans une région naturelle de dimensions limitées comme le climat du bassin occidental de la méditerranée), topo climat (spécifique a un relief donné comme le climat de la montagne ou de la plaine ou d'une vallée) et le microclimat (état de la couche d'atmosphère adjacente à une surface de sol bien limitée), c'est surtout pour les plantes qu'elle est utile) ainsi appelé phytoclimat ou bien bioclimat, et en fin crypto climat (climat d'une serre, maison) (Brochet et al, 1990).

1-1-2 La climatologie

La climatologie est définie selon Tabeaud (2000) comme étant une science de l'atmosphère, dont l'objectif est de caractériser le climat sans avoir recours à l'explication des causes des phénomènes climatiques.

Etant une science pluridisciplinaire, elle est chargée d'analyser les processus climatiques et leurs fluctuations passées, afin de prévoir les potentiels des changements futurs.

Contrairement à la météorologie qui étudie les variations du temps à l'échelle de la journée, à n'importe quel endroit sur la planète. La climatologie est une science qui s'intéresse aux variations du temps à plus long terme, généralement sur une durée d'environ **30 ans** (Leroux, 2000; Gachon, 2006). Ainsi, la climatologie tend à observer, décrire, analyser, puis comprendre les phénomènes terrestres dans leur ensemble (processus, fluctuations), et sur l'ensemble de la planète. Cette analyse fine permet de modéliser les phénomènes dans le but de prédire les événements futurs. L'importance de cette science vient du fait que les êtres vivants (dont l'homme) sont directement dépendants des conditions climatiques dans lesquelles ils vivent. Les études climatologiques se basent sur l'observation de nombreuses paramètres considérés comme variables aléatoires dont on peut citer : l'intensité du rayonnement solaire, la température de l'air, les précipitations, la pression atmosphérique, l'humidité de l'air, la force et la direction des vents, les courants marins, etc. L'observation de l'ensemble de ces variables à chaque endroit du globe, et à chaque instant représente une des principales difficultés de la climatologie (Georges et Estienne, 2003).

1-1-3 La météorologie

La météorologie, science physique qui étudie les phénomènes l'atmosphère terrestre. Elle a pour objectif d'en connaître les états pour comprendre les phénomènes qui s'y déroulent afin de décrire le temps qu'il fait et de prédire le temps qu'il fera. Elle est ainsi à la recherche des causes qui sont à l'origine de tel ou tel temps et ceci grâce à l'étude de l'atmosphère en s'appuyant sur la mécanique des fluides et la thermodynamique (Brochet et al, 1990 ; Alfred, 2002). La météorologie observe et étudie les 30 premiers kilomètres de l'atmosphère en contact avec la surface de la Terre : la troposphère et la stratosphère inférieure (Brochet et al, 1990)

1-1-4 Le Temps

D'après Le dictionnaire encyclopédique d'agro météorologie (Brochet et al, 1990), on peut citer la définition suivante:

Temps en anglais weather, il s'agit de l'état actuel de l'atmosphère en un lieu donné, cet état est caractérisé par l'aspect sensoriel de l'environnement atmosphérique : présence de nuages, d'hydrométéores, de phénomènes optiques, électriques et acoustiques, ainsi que par la valeur des principaux critères physiques mesurables tel que: pression, température, humidité, précipitations, rayonnement solaire, vent.

1-2 LES ELEMENTS DU CLIMAT

Comme tout phénomène naturel le climat a des éléments constitutifs qui participent à sa caractérisation par leur inter collaboration et leur interaction permanente, et permettent ainsi de définir le type de climat.

De ce fait le climat peut être défini à travers les éléments ou paramètres suivants :

1-2-1 La Température

1-2-1-1 Définition

Une grandeur physique qui mesure le degré de chaleur d'un corps ou d'un milieu. Les termes température et chaleur désignent deux notions distinctes: la température est une propriété thermodynamique du corps et mesure l'agitation microscopique de la matière; la chaleur est une forme d'énergie qui peut être échangée entre deux corps (Brochet et al, 1990).

On peut mesurer la température d'un corps en observant le changement de l'une de ses propriétés spécifiques, telle que la résistivité électrique. Ainsi, le thermomètre à mercure mesure la dilatation d'une colonne de mercure dans un capillaire en verre, la variation de la hauteur de la colonne étant reliée à la température (Brochet et al, 1990).

1-2-1-2 La distribution de la température sur la surface du globe

La distribution de la température sur la surface du globe est représentée sur des cartes d'iso lignes de la température qui joignent les points d'égale valeur de température appelées les cartes isothermes qui sont d'après les deux auteurs Estienne et Godard (1998) tributaires de plusieurs facteurs à savoir :

A-l'altitude : La température dépend beaucoup de l'altitude, c'est à dire des reliefs, car il est ordinairement connu que les sommets des montagnes sont toujours plus froids que leurs pieds, et ceci suivant un gradient de 0.5 à 0.6 c° de décroissance de la température pour chaque 100 mètres d'altitude (Estienne et Godard, 1998).

b-La latitude : Il est constaté que la baisse de la température est plus marquée avec l'augmentation de la latitude surtout dans l'hémisphère nord où il y'a beaucoup de continents que de mers. Les isothermes sont plus régulières au Sud qu'au Nord à cause de la présence des océans (4/5 de surface) et par conséquent pas de compensation entre saisons. Cela fait apparaître un équateur thermique distinct de celui géographique, et il est déporté vers le Nord regroupant les températures les plus élevées plus de 30c° (Fig.1) (Estienne et Godard, 1998).

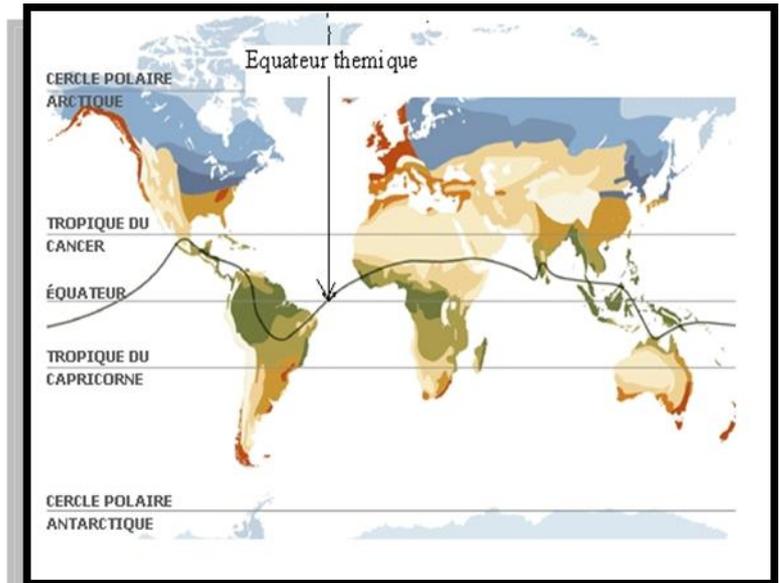


Figure 1 : l'équateur thermique

Source : Charles et al.2008

C- continents et océans : En plus de l'effet de la circulation atmosphérique d'Ouest, et l'effet d'inlandsis antarctique, les mers, les océans et les régions océaniques qui les débordent sont plus fraîches en été et plus tièdes en hiver ce qui explique l'été médiocre des régions océaniques de l'hémisphère sud.

Cette inertie thermique peut s'expliquer par les faits suivants (Brochet et al.1990; Estienne et Godard, 1998) :

- la chaleur spécifique de l'eau est bien supérieure à celui de la terre, donc l'eau se réchauffe et se refroidit plus lentement et demande beaucoup de chaleur que la terre qui se réchauffe et refroidit rapidement.
- les mouvements de l'atmosphère en particulier ceux de convection permettent aux océans d'emmagasiner une grande quantité de chaleur sur une profondeur considérable, par contre dans la terre l'énergie solaire ne se transmet qu'à faible profondeur par exemple au Sahara, pour les variations diurnes ne dépasse guère 0.5m de profondeur et celle saisonnière peut atteindre 5 à 6 m au maximum (Estienne et Godard, 1998).
- les mécanismes d'évaporation et de condensation au dessus de l'océan qui permettent un effet de serre qui limite la perte d'énergie par les longues radiations de l'eau.

d- les dissymétries ouest-est : En général aux hautes latitudes les côtes occidentales des continents et orientales des océans sont favorisées par leur température élevée, par contre dans les régions tropicales on constate l'inverse.

e-le gel : Du fait qu'elle correspond à un changement d'état physique de l'eau, la gamme de température de 0C° présente un intérêt primordial que se soit pour l'étude climatologique, biologique ou écologique. Concrètement on définit la durée et la fréquence du froid à travers le nombre des jours de gel ($t^{\circ} < 0c^{\circ}$) (Estienne et Godard, 1998). Mais pour la végétation c'est le nombre des jours sans gel qui est le plus important.

1-2-2 Les précipitations

Il est utile avant d'entamer les précipitations, de présenter les nuages et leurs mécanismes, puisqu'ils constituent la première phase ou bien l'origine de toute précipitation.

1-2-2-1 Les nuages

Dans la plupart du temps, apparaissent dans le ciel ces amas blancs avec différentes formes. Ce sont les nuages qui ne sont autre que la vapeur d'eau en phase de condensation, après avoir atteint le point de saturation de l'atmosphère dans la quelle elles existent (Estienne et Godard, 1998). Néanmoins ce processus est en fonction de paramètre de la température, ce qui fait que les nuages font un premier indice de tout réchauffement climatique, et donc ils doivent être sujets d'une étude détaillée.

1-2-2-1-1 La formation des nuages

D'après Georges, Estienne (2003) et Estienne, Godard (1998), au delà de la limite de saturation où l'humidité relative de l'atmosphère atteint 100%, la condensation se déclenche et se traduit concrètement par l'apparition des nuages où l'eau est en état de fines gouttelettes liquides ou de fins cristaux de glace solides en suspension dans l'air.

Pour que les précipitations interviennent il faut que les gouttelettes ou les cristaux aient des dimensions telles que les courants ascendants de l'air ne soient plus à la mesure de vaincre leur pesanteur. Ainsi la formation des nuages exige un refroidissement préalable de l'air pour provoquer la saturation en vapeur d'eau ; cette saturation se fait par plusieurs types de mécanismes dont les principaux sont :

-mécanisme 1 : mélange de deux volumes d'air humide non saturé et de températures différentes.

- mécanisme 2 : refroidissement par contact.

- mécanisme 3 : refroidissement par ascendance et détente qui est le mécanisme le plus connu pour la formation des nuages, cet ascendance peut être soit thermodynamique (c'est à dire suit la loi physique), ou dynamique dans les dépressions ou secteurs de convergence, ou bien ascendance forcée de type orographique lorsqu'il s'agit des crêtes des montagnes qui font l'obstacle à ces nuages.

Après la saturation vient s'amorcer la condensation qui donne naissance aux nuages.

En fait, cette condensation nécessite la présence des noyaux de condensation, qui sont de fines particules solides, qui peuvent être de la poussière, de gaz ou autres autour desquels la vapeur d'eau s'accumule pour donner souvent les gouttes d'eau de pluie.

Ces noyaux sont composés des noyaux neutres (poussières diverses, cendre volcanique, débris végétaux, pollen, petites particules hygroscopiques de sels marins) avec des particules électrisées (ions) qui s'unissent pour donner des gros ions dont le rôle est capital dans la condensation et par conséquent dans les précipitations, ainsi les brouillards des zones industrielles et poussiéreuses peut s'expliquer.

1-2-2-1-2 Les types des nuages : Les nuages sont de plusieurs types selon qu'elles sont classées par leurs aspects ou bien par leurs types de développement (Estienne et Godard, 1998).

Selon l'aspect on a les types suivant :

- * **Nuages en voiles** : quand les contours et les dimensions ne sont pas définis.
- * **Nuages en nappe** : quand la base et le sommet sont nets mais pas les bords.
- * **Nuages Cumuliformes** : quand les contours sont précis et peuvent être dessinés.

Selon le type de formation on cite deux grandes catégories des nuages (Estienne et Godard, 1998)

- Les nuages à développement verticale :

- * **Cumulus (Cu)** : nuage blanc à base plane et petites protubérances sommitales
- * **Cumulus bourgeonnant (cumulus congestus)** : en cas d'instabilité de l'atmosphère les cumulus se développent par bourgeonnement verticale donnant l'aspect d'un chou-fleur.
- * **Cumulo-nimbus (CuNb)** : Avec sommet en forme de panache ou d'enclume, d'un blanc



Figure 2: le nuage cumulo-nimbus

Source: Bertrand et al, 1998

éclatant à texture fibreuse (cristaux de glace) et à base gris sombre, sont les générateurs de pluie et de grêle (Fig. 2).

-Les autres nuages : elles sont représentées par la figure suivante (Fig. 3)

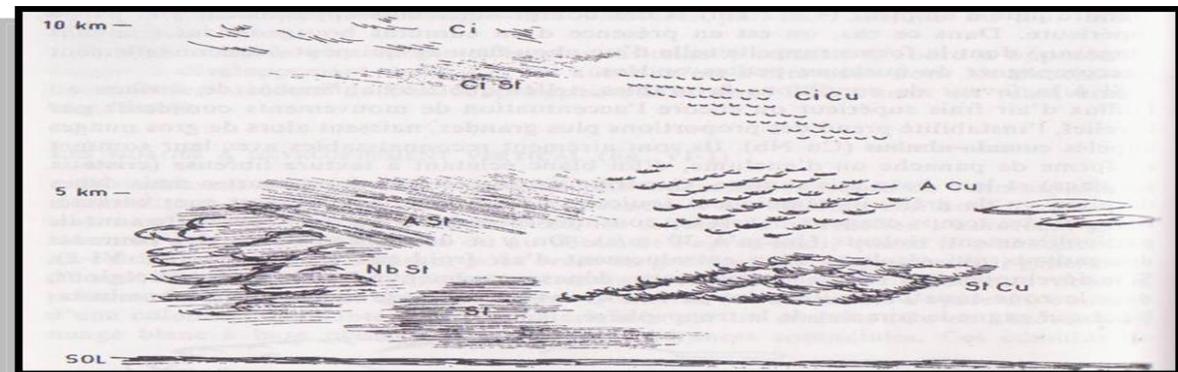


Figure 3: les nuages classés selon l'altitude et la forme
Source: Pierre.E et Alain.G, 1998

Dans la partie supérieure on constate les Cirrus (Ci) et les cirrostratus (CiCu) sont en général blancs et ridés ou bien en filaments.

Dans l'étage moyen on assiste aux altostratus (Ast) voiles gris qui peuvent donner des pluies fines; les altopcumulus (ACu) (Fig. 4) disposés en bancs avec ombre propre (ciel moutonné).

Les nuages de l'étage inférieur sont sombres, chargés d'eau, strato-cumulus (StCu) avec des pluies occasionnelles et limitées (Fig. 4).

En contrepartie les nimbostratus (Nb St) grises et qui masquent le soleil, sont à l'origine de pluie durable. Les stratus (St) uniforme et peuvent descendre jusqu'au voisinage du sol pour être difficile à distinguer du brouillard élevé.



Figure 4: à gauche le strato-cumulus et à droite l'altocumulus
Source: Bertrand et al, 1998

1-2-2-2La pluie

a- Définition

D'après Brochet et al (1990), les précipitations sont des gouttelettes d'eau dont la dimension est de l'ordre de 0.5 à 6 mm, au-delà de ces dimensions les gouttelettes d'eau s'éclatent spontanément. Il arrive que ces gouttelettes captent de la poussière et du sable apporté par le vent et donnent ainsi des pluies de boue. Et s'il s'agit de la poussière des produits chimiques produits par l'industrie on assiste ainsi aux pluies acides.

b-La formation de la pluie

C'est à peu près le même principe pour tous les types de précipitations. Après la saturation de l'atmosphère en vapeur d'eau et la condensation de cette vapeur vient en suite pour donner naissance aux nuages qui sont les précurseurs et l'origine des précipitations en suivant les mécanismes suivants (Georges, Estienne, 2003)

-crystallisation et croissance des gouttelettes : au sein des nuages les gouttelettes d'eau restent à l'état liquide même si la température est à 0c°, c'est la surfusion.

Comme il a été proposé par Bergeron in Estienne et Godard (1998), ce mécanisme exige la formation des noyaux de cristallisation ou de congélation ou dits encore les noyaux glaçogènes pour former les cristaux de gel qui vont accumuler l'eau en vapeur dans l'atmosphère. Et on assiste a une formation de glace au détriment de gouttelettes d'eau, qui à un certain taille tombent par leur poids soit sous formes de neige si les couches inferieures sont froides ou bien sous forme des gouttes de pluies après fusion (Estienne et Godard, 1998).

-coalescence des gouttelettes : qui se manifeste sous l'effet de turbulence causée surtout par les courants convectifs qui font croiser les trajectoires désordonnées des gouttelettes, ce qui donne lieu à un véritable brassage où l'électrisation qui agit plutôt comme un facteur de répulsion qui peut cesser brusquement après la foudre au cours d'un orage. Ce brassage est au profit des grosses gouttelettes qui absorbent les petites sur leur passage en tombant après avoir l'emporter sur la force ascendant de convection (Estienne et Godard, 1998).

En effet la quantité de pluie tombée est toujours supérieure à celle condensée dans les nuages, ceci est dû à la régénération continuelle des nuages (Brochet et al, 1990).

c-La répartition spatiale des pluies

D'après Estienne et Godard (1998) la quantité d'eau précipitée annuellement est importante et de l'ordre 900mm à l'échelle mondiale. L'étude de la précipitation se fait à travers plusieurs critères en plus de la hauteur moyenne, on a l'intensité (hauteur ou quantité de pluie tombée

en une unité du temps second) et c'est dans les régions méditerranéennes et en Asie du Sud qu'on note les pluies les plus intenses 900 à 1000 mm par jour.

Aussi la hauteur moyenne reste un fondement particulier pour caractériser les climats.

En effet ces précipitations sont inégalement réparties et ceci est en fonction de plusieurs facteurs (Tabeaud, 2000 ; Estienne et Godard, 1998) :

-La latitude : Les régions pluvieuses (plus de 2000mm) se localisent principalement sur l'équateur avec une continuité, cependant elles représentent quelques interruptions.

Globalement la zone intertropicale reçoit plus de la moitié de ce qui tombe sur la terre.

Deux bandes sont aussi bien arrosées et sont situées entre les 45°et 50°parallèles (Fig. 5), mais elles sont plus discontinues que les précédentes. En outre on remarque que l'hémisphère sud plus océanique reçoit plus de précipitation que celui du Nord.

Les zones sèches se localisent sur les très hautes latitudes et au voisinage du tropique. Dans les régions polaires, malgré la nébulosité les précipitations sont faibles à cause de la faible capacité hygrométrique de l'air froid et aussi le régime de la circulation atmosphérique.

Quant aux déserts tropicaux et subtropicaux, ils s'intercalent dans les régions pluvieuses, et sont caractérisés par des précipitations très faibles et très variables d'une année à l'autre.

Ces déserts faisant un ruban qui traverse l'Afrique du bout au bout constituant ainsi la région aride la plus vaste et la plus sévère du monde entier, ils constituent une barrière

géographique de première grandeur. En Asie le désert est discontinue et se localisée entre les montagnes (Estienne et Godard, 1998).

-Les dissymétries : ces dissymétries sont importantes par comparaison des façades et bordures des continents et des océans.

*-Le ruban des régions arides est parfois coupé par des cotes et des océans, et on a aussi des déserts qui débordent les océans, et ainsi le régime de précipitations varie forcément sous l'effet de cette situation.

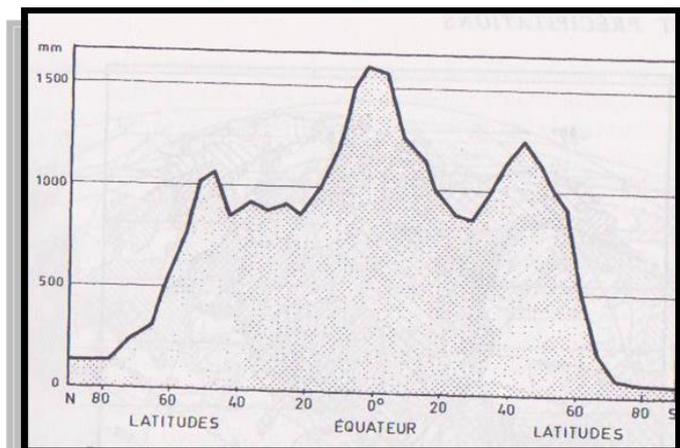


Figure 5: distribution des précipitations en fonction des latitudes
Source: Pierre.E et Alain.G, 1998

*-Aux moyennes et hautes latitudes jusqu'à 60° parallèle, les façades occidentales sont plus arrosées que les bordures orientales relativement sèches, et ceci se calque bien sur la dissymétrie thermique, et il ne peut être expliqué qu'à travers la dynamique atmosphérique (Estienne et Godard, 1998).

-Les reliefs : A l'inverse de la température, la fréquence et l'intensité des précipitations augmentent avec l'altitude en se rapprochant de point de saturation de l'atmosphère, surtout dans les montagnes.

Ainsi il se révèle important de définir en contrepartie du gradient thermique un gradient pluviométrique moins régulier, et qui n'est correct que pour certaines altitudes maximales d'optimum pluviométrique (moins de 2000 m à Java et aux îles de Hawaï) (Tabeaud, 2000).

Alors qu'en altitudes tempérées cet optimum est encore controversé et certains auteurs en nient l'existence. Ainsi faut-il prendre en considération, l'éloignement des mers, l'exposition aux vents pluvieux, et le phénomène d'abri qui est en quelque sorte le négatif du précédent facteur. Cet abri est établi par les reliefs comme le cas des chaînes côtières de l'Amérique du Nord (Baldy, 1986).

1-2-2-3 La neige

Elle est définie comme étant une forme de précipitation constituée par des cristaux de glace agglomérés en flocons ayant souvent la forme d'étoile, sa densité à l'état frais est très faible de l'ordre de 0.1 à cause de ses nombreuses inclusions d'air (1 cm neige = 1 mm d'eau), de fait de la structure lacunaire, elle constitue un excellent isolant thermique qui empêche la diffusion de la chaleur sensible du sol vers l'atmosphère, protégeant ainsi le sol et la végétation de l'agressivité du gel en hiver, puisque au dessous du tapis de neige la température ne descend guère au dessous de 0°C, par contre en son dessus elle peut aller trop au dessous de 0°C à cause de son albédo très élevé, sa faible conductivité thermique, et sa forte émissivité surtout pendant la nuit (Brochet et al, 1990).

1-2-2-4 Les autres types de précipitations

D'après le dictionnaire encyclopédique d'agro météorologie (Brochet et al, 1990) on assiste aussi aux types suivants des précipitations :

- **La grêle :** ses grêlons constitutifs dont le diamètre est de 5 à 50 mm ou plus, sont de simples globules ou morceaux de glace et ayant à peu près sa densité. Sa formation se fait par captation d'éléments surfondus grâce à la collision et la coalescence que provoque une active turbulence et ceci bien sûr dans la partie à températures négatives des nuages, ainsi on peut

parfois lutter contre l'impact de grêle par l'ensemencement artificiels des nuages en embryons de grêlons artificiel qui font qu'une grande partie des grêlons soit de petite taille et atteignent le sol à l'état fondu.

- **Le grésil** : précipitations de très fines particules de glace (diamètre < 5mm) transparentes ou translucides et de formes sphériques ou irrégulières.
- **La bruine** : pluie constituée de très fines gouttelettes d'eau (diamètre<0.5mm) mais très serrées et apparaissent flotter dans l'air.

1-2-3 La pression atmosphérique

1-2-3-1 Définition

La pression atmosphérique est la force appliquée par le poids de l'atmosphère sur une unité de surface, ainsi elle présente le poids de la colonne verticale surmontant l'unité de surface de la terre ou bien plus précisément au niveau de la mer. (Brochet et al, 1990).

1-2-3-3 La répartition spatiale des pressions (Anticyclones ou maximum

barométrique): elle est sous

l'influence de plusieurs facteurs dont les principaux sont la latitude, l'altitude et la température. (Estienne et Godard, 1998).

En fait, la figure-6 montre les grands centres d'actions pour la circulation atmosphérique en faisant apparaître les principaux anticyclones sur la terre (Fig. 6).

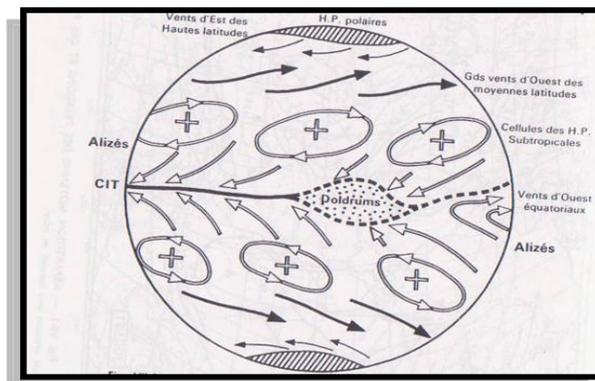


Figure 6: la circulation atmosphérique générale
Source: Pierre.E et Alain.G, 1998

1-2-4 Le Vent

1-2-4-1 Définition: le vent est né des différences et des contrastes entre les zones isobariques, en particulier entre les anticyclones et les dépressions, car les premiers où la pression est très élevée tendent toujours à se vider des masses d'air, en revanche les dépressions qui sont des zones cycloniques auront tendance à se charger, ce qui fait que la masse d'air se déplace de la zone de haute pression à celle dépressionnaire, induisant un mouvement horizontal de l'air qui est le vent (Georges et Estienne,2003).

En effet la vitesse du vent dépend du degré de contraste entre ces deux zones, ainsi il devient proportionnel aussi au resserrement des lignes isobares du champ de la pression, aussi la direction du vent est théoriquement partante des anticyclones vers les dépressions.

Néanmoins, la terre par sa rotation influe tant sur la vitesse que sur la direction du vent, et ceci grâce à la force dite de CORIOLIS, qui fait dévier la direction et fait que le vent tourne autour des centres d'action suivant la règle de Buys-Ballot. (Estienne et Godard, 1998).

En définitive, le rôle principal du vent se révèle dans le rétablissement de l'équilibre entre les anticyclones et les dépressions.

1-2-5 L'ensoleillement ou L'insolation: Ce paramètre climatique a une importance primordiale de fait de son implication dans toutes les activités physiques et biologiques (telle que photosynthèse) sur la terre.

1-2-5-1 Définition : Selon l'auteur Guyot (2001) l'ensoleillement signifie l'exposition au rayonnement solaire et aussi il signifie l'état de ce qui est atteint par ce rayonnement solaire. En terme météorologique c'est la durée pendant la quelle un lieu est exposé aux rayons du soleil, ce paramètre influe fortement le bilan énergétique.

Théoriquement La durée maximale de l'ensoleillement (photopériode) par ciel clair correspond au temps compris entre le lever et le coucher de soleil, tandis que le temps effectif en est inférieur par une heure au moins, car durant le demi- heure qui suit le lever et celui qui précède le coucher de soleil, le rayonnement solaire est très faible (négligeable), ainsi on peut définir la fraction d'insolation qui est le rapport du deuxième temps par le premier (Brochet et al, 1990).

1-2-5-2 L'albédo ou rayonnement thermique: en contrepartie des rayons de soleil, nous assistons aussi aux rayonnements de grande longueur d'ondes d'origine atmosphérique et terrestre et qui jouent un rôle important dans le bilan radiatif. (Tabeaud, 2000).

1-2-6 L'humidité: l'humidité de l'air a un rôle indéniable car elle constitue le précurseur des nuages et des précipitations, comme elle agit aussi sur plusieurs paramètres climatologiques et biologiques entre autre l'évaporation et la transpiration. Cependant, elle est parfois néfaste, quand elle donne lieu à un milieu favorable au développement des germes pathogènes.

1-2-6-1 La définition: quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, et qui ne peut dépasser un certain maximum qui correspond à la saturation, au de là de quel intervient la condensation en eau liquide (nuage, brouillard, rosée.); elle peut aussi être exprimée en

pression ou bien en tension que peut exercer cette vapeur en eau (mesuré en hectopascal) (Brochet et al, 1990).

1-2-6-2 L'humidité Relative : d'après le dictionnaire encyclopédique d'agro météorologie (Brochet et al, 1990), c'est le rapport de l'humidité par l'humidité maximale de saturation pour la même température, et ce rapport est donné en pourcentage. En fait, le facteur principal influant l'humidité est la température qui augmente toujours le degré de saturation.

2 LES GRANDES DIVISIONS CLIMATIQUES (TYPES DE CLIMAT)

La combinaison des éléments du climat avec certaines proportions et caractéristiques, donne lieu à une trame climatique mondiale, dont les principales divisions d'après Estienne et Godard (1998) sont:

2-1 Les climats polaires et subpolaires (ou de hautes latitudes)

Leurs caractéristiques principales sont la basse température, sol gelé en permanence, absence d'été, et ils comportent les types suivants :

- climat de type subpolaire océanique, -climat de type polaire océanique,
- climat de type arctique continental, -climat de type polaire à temps contrasté,
- les climats des centres d'inlandsis.

2-2 Les climats tempérés: On a à savoir :

- climat maritime de face ouest des continents (climat océanique vrai),
- climat des marges océaniques,
- les climats (tempérés) continentaux,
- climats des montagnes des zones tempérées.

2-3 Les climats méditerranéens (le domaine méditerranéen)

2-4 Les climats de la zone intertropicale : caractérisé par les cyclones, on a :

- climat équatorial et subéquatorial, -climat d'alizé,
- climat tropical, -climat de montagne.

2-5 Les climats de la face Est des continents et la mousson asiatique : On a :

- régime des moussons de l'Asie Sud-est,
- les autres façades orientales de l'Asie.

CHAPITRE 2

Le climat et l'écosystème

Les êtres vivants dépendent du climat ainsi que tout l'écosystème et la vie sur cette planète. Le climat peut intervenir dans toutes les fonctions physiques et biologiques qui se produisent au sein de l'écosystème pour servir à sa dynamique et son évolution aussi bien que son équilibre ou bien climax (Lacoste et Robert, 1999).

1 LA RADIATION SOLAIRE DANS L'ECOSYSTEME

Les prêtres de l'ancienne Égypte au moyen empire du quatorzième siècle avant J-C, enseignaient déjà que c'était le rayonnement qui faisait croître les plantes et conditionnait toute la vie (Louis, 1976).

Donc Il est indéniable que le soleil est le premier et presque l'unique source d'énergie pour toute la terre dans son système naturel, et en particulier pour la plante, et par conséquence pour tous les êtres vivants.

En effet l'énergie reçue par la terre à la limite supérieure de l'atmosphère est de 1376w/m^2 , ou bien anciennement exprimé sous la forme $2\text{cal/cm}^2/\text{min}$ cette valeur est dite la constante solaire, dont une partie seulement parvient au sol après la réflexion et l'absorption (Estienne et Godard, 1998 ; Georges, Estienne, 2001; Gérard, 2002).

Cependant cette radiation solaire est formée par plusieurs longueurs d'ondes dont les principales sont celle de domaine visible, d'ultraviolet et d'infrarouge.

Ce rayonnement solaire agit par son énergie, intensité, rythme et périodicité (Estienne et Godard, 1998).

Ainsi l'importance de ce paramètre climatique peut se traduire par :

1-1 L'action physique de radiation solaire :

En contrepartie de l'énergie utilisée dans les métabolismes biologiques telle que la photosynthèse, L'énergie solaire sert aux actions physiques qui sont dans leur majorité pour la réalisation des conditions favorables à la survie de la biocénose, cette énergie a été appelée par Margalef énergie auxiliaire (Henri et André, 2002) et son rôle peut se manifester en :

- réchauffement de l'atmosphère et de milieu ambiant, afin de le rendre capable d'abriter une biomasse active, ce réchauffement est bien la conséquence directe de l'absorption d'une partie de la radiation par la masse d'air atmosphérique (Georges et Estienne, 2003). Dans ce même contexte il est utile de noter l'importance des radiations infrarouges ou bien les radiations thermiques, car celles-ci jouent un rôle primordial surtout la nuit dans le réchauffement de l'atmosphère en étant émises par le sol, ces radiations sont aussi appelées l'albédo.
- L'évaporation de l'eau qui permet à la vapeur d'eau de rejoindre le ciel jusqu'à un point de saturation, où intervient en suite la condensation qui donne naissance aux nuages, qui vont à

leur tour se déplacer vers une zone plus froide pour donner des précipitations, et ainsi l'eau sera redistribuée et repartie sur la terre pour permettre la vie (Lacoste et Robert, 1999).

En outre, cette vapeur d'eau a le rôle majeur dans le réchauffement de l'atmosphère en émettant de l'énergie au cours de la condensation sous forme des radiations infrarouge (Guyot, 2001).

- La mise en mouvement des fluides (vent et courants marins) par l'inégale répartition du rayonnement solaire en fonction des latitudes, des altitudes et des saisons et par conséquent l'inégale répartition de la température, de quel découlent toutes les fluctuations climatiques (Estienne et Godard, 1998; Tabeaud, 2000).
- La pédogenèse est fortement influencée par la variation de la température, qui gère le phénomène de gel et de dégel, qui est à son tour à la base de la formation du sol en fissurant et affouillant les roches, et aussi en agissant sur la décomposition de la matière organique (Serge, 1999).
- Les réactions photochimiques, soit une photo-décomposition ou autres réactions catalysé par la lumière (Frontier et Pichod-Viale, 1995), Car ce dernier a une action non négligeable tant sur la matière que sur les réactions chimiques qui se produisent au sein de l'écosystèmes et même celles à l'intérieur des corps des êtres vivants surtout celles hormonales (Daniel, 2003, Maziliak, 2000), parfois ces actions sont très graves et hostiles surtout lorsqu'il s'agit des rayons non infiltrés par l'atmosphère grâce à la couche d'ozone comme l'ultraviolet très nocif. Néanmoins cette radiation a une action positive mais encore male connue, pour la synthèse d'un précurseur de la vitamine D (Henri et André, 2002).

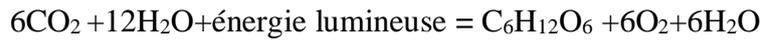
1-2 L'action biologique de la radiation solaire

1-2-1 La photosynthèse

La photosynthèse est sans doute la plus importante réaction dans le monde du vivant, car elle est à la base de la formation et la production de toute matière organique qui aide la plante à la formation de ses organes et de sa structure, qui forment à leur tour la première nourriture dans la chaîne alimentaire notamment pour les herbivores comme premiers consommateurs (Frontier et Pichod-Viale, 1995).

En effet la photosynthèse emploie comme matière première l'eau et le dioxyde du carbone et la lumière solaire comme source d'énergie qui sont des éléments du climat et influençant le climat (CO₂), pour en faire une matière organique comportant une très grande quantité d'énergie dans ses liaisons chimiques (Henri et André, 2002).

Cette réaction peut être résumée par l'équation suivante (Louis, 1976) :



1-2-2 L'action biologique du rythme d'éclairement

D'après Frontier (1999) La chronobiologie indique l'étude des rythmes temporels des fonctions biologiques, qui sont sous l'influence du rythme de la lumière ayant en outre une influence éthologique sur les animaux.

Comme l'illumination (ensoleillement) est périodique avec à la fois un rythme nyctéméral ou circadien de 24 heures et des rythmes saisonniers, elle va susciter :

- Des comportements périodiques,
- Des adaptations aux périodicités naturelles, avec synchronisation des cycles biologiques sur le rythme des époques favorables et défavorables. Ces adaptations se font généralement par des mécanismes hormonaux, tant chez les animaux que chez les végétaux.

A- Le rythme saisonnier : D'après Frontier et Pichod-Viale (1995) la quantité journalière d'énergie reçue dépend de la latitude et de la saison, cependant le rythme lumineux dépend des phénomènes astronomiques et il est donc extrêmement stable.

On constate alors qu'en écologie, les variations de la lumière servent souvent de déclencheurs suscitant des adaptations aux variations attendues du climat, citons quelques exemples :

-adaptation des végétaux à la photopériode qui désigne en physiologie la durée d'éclairement au cours des 24 heures duquel dépend la mise à fleur et d'autres phénomènes biologiques par l'intermédiaire du contrôle hormonal.

- le diapause de nombreux invertébrés (arthropodes terrestres, rotifères et spongiaires des eaux doucesetc.) est soumis à un contrôle hormonal dirigé par la photopériode.

-chez les oiseaux des régions tempérées, la maturation des gonades a lieu quand la longueur des jours augmente. Il en est de même pour le déclenchement de la migration.

-chez les mammifères, la croissance du pelage est plus rapide et plus importante quand les jours sont courts. La mue est déclenchée de la même façon chez les animaux de la montagne.

B- les rythmes nyctéméraux ou circadiens

Il se produit dans l'écosystème une alternance activité /repos selon l'alternance jour et nuit ou lumière/obscurité qui gère à son tour le mode d'intervention de chaque espèce dans l'écosystème (Frontier et Pichod-Viale, 1995).

L'exemple est très évident par les écosystèmes aquatiques (lac et mer) où la phytoplancton photosynthétique produit le jour une biomasse végétale qui sera consommée la nuit par un zooplancton herbivore qui migre le jour en profondeur moyen pour qu'il soit à son tour

consommé par des animaux planctonique de plus grande taille qui eux même s'enfoncent en profondeur pour sévir de nourriture pour les calmars et autres micro-organisme profonds (Lacoste et Robert, 1999).

D'autres adaptations précises sont parfois liées à ces rythmes migratoires. On observe ainsi éventuellement des coïncidences entre cycles ontogéniques (cycles liés au développement des individus : morphogenèse, croissance, reproduction), les migrations, et dans les écosystèmes aquatiques, les déplacements des masses d'eaux (Hassan, 1999).

En outre il y'a des rythmes internes qui sont en fonction des rythme lunaire en particulier à travers la marée de la mer (Lacoste et Robert, 1999).

2 L'EAU DANS L'ECOSYSTEME (PRECIPITATION)

L'eau est la base de la vie, raison pour la quelle elle constitue 80% de la biomasse. Cet élément a un rôle inéluctable dans toutes les réactions physiologiques et biologiques qui soutiennent La vie, ainsi que les autres réactions chimiques et physiques, il a un rôle primordiale puisqu'il constitue le véhicule le plus important de l'énergie auxiliaire qui assure dans l'écosystème des conditions ambiantes favorables (Ismail, 2004 et Serge, 2001).

Cette importance de l'eau est due à certains nombre de propriétés, telles que son aptitude d'être dans l'intervalle des températures compatible de la vie sous les trois états physiques : solide (glace), liquide et gazeux (Gérard, 2001)

2-1 La *Quantité actuelle de l'eau sur la planète*

La Terre est souvent appelée la « **planète bleue** » parce que l'eau recouvre la majorité de sa surface (environ 71 % de la surface). D'après Marc (2001), La réserve totale d'eau est de 1 342 409 250 km³.

Une partie de 97% de l'eau présente dans notre système climatique est contenue dans les océans ; reste 3% d'eau douce.

L'eau douce se répartit dans les glaces (77,2%), le sol et le sous-sol (22,5%), les lacs, rivières et fleuves (0,3%) et l'atmosphère (0,03%).

Les volumes (en km³) de l'eau dans ses différents états s'établissent ainsi :

- eaux salées : mers, océans, lacs 1 304 000 000
- eau douce utilisable :

Glaciers et calottes polaires	29 500 000
Eaux souterraines (jusqu'à 800 m de profondeur)	4 000 000
Eaux souterraines (de 800 à 6000 m de profondeur)	4 600 000
Humidité du sol	66 000

Fleuves et rivières	1 250 (35 000 par an)
Lacs	124 000
Humidité atmosphérique	13000

Les précipitations annuelles moyennes sont estimées sur les océans à 870 mm pour 970 mm d'évaporation et sur les continents à 670 mm pour une évaporation de 420 mm et un écoulement de 250 mm (Marc, 2001).

Cette eau est en permanente redistribution, grâce au cycle hydrologique qui permet la disponibilité de l'eau dans tout l'écosystème, au lieu de rester stagnée dans les océans et les mers et il permet aussi la redistribution de l'énergie reçue du soleil (Lacoste et Robert, 1999).

2-2 Les propriétés physiques et chimiques utiles de l'eau pour l'écosystème :

-Ses trois états physiques (solide, liquide et gazeux) ont une action très particulière, comme par exemple l'effet de la glace dans la pédogenèse grâce au phénomène de gel et de dégel. L'eau liquide intervient dans la quasi-totalité des réactions qui se produisent sur la terre, que se soit des réactions biologiques ou physiques comme la dissolution des sels minéraux pour qu'ils soient assimilables par les plantes, et incorporés dans la structure du sol. Son ruissellement et son infiltration ont aussi une grande influence en pédogenèse et en topographie du paysage (Ramade, 2003).

L'état gazeux ou bien la vapeur d'eau est à l'origine de l'humidité de l'air qui est un paramètre météorologique très important fortement influencé par la température comme premier facteur de l'évapotranspiration. Cette humidité à son tour influe et commande plusieurs phénomènes naturels tels que la précipitation car en arrivant au point de saturation qui est encore en fonction de la température, la condensation se déclenche pour aboutir à des précipitations. La pression atmosphérique est aussi en fonction de cette humidité (Estienne et Godard, 1998).

En outre, la transpiration des plantes est en fonction de l'humidité, parce que un air sec implique une transpiration excessive, qui sera limitée par une auto-fermeture des stomates, aussi cette transpiration est le moteur qui permet la remontée de la sève brute des racines jusqu'aux feuilles (Maziliak, 2000).

-Sa chaleur spécifique est plus élevée, elle se réchauffe lentement et se refroidit lentement, ce qui lui attribue un rôle primordial dans les régulations thermiques tant à l'intérieur des corps vivants qu'à l'extérieur dans le milieu ambiant, une propriété qui intervient à grande échelle dans la formation des climats, et en particulier, en la conservation de la chaleur de l'écosystème en réchauffant l'air pendant la nuit par l'émission des radiations thermique infrarouges et par conséquent permet de protéger l'écosystème et les êtres vivants

en particulier contre le froid nocturne suite à la disparition de la chaleur fournie par les rayons solaires (Estienne et Godard,1998).

-Son pH neutre le rend un milieu favorable à toutes les réactions chimiques et physiologiques qui se produisent au sein de l'écosystème.

Toutes ces propriétés n'auront une valeur que grâce au cycle d'eau qui permet de transporter l'eau de ses lieux d'origine mer et océans vers les écosystèmes continentaux, et ceci grâce au phénomène de la précipitation qui constitue un paramètre météorologique de premier ordre (Zakaria, 2005).



LA DEUXIEME PARTIE

Les changements climatiques et la steppe



CHAPITRE 1

Le changement climatique

1 LES ANOMALIES DU CLIMAT

En contrepartie des variations naturelles du climat, Il commence d'apparaître des variations et des changements anormaux du climat qui ne sont pas de sa nature et représentent un défi à toute l'humanité (Météo-canada, 2007 ; Cécile, 2003 et Le perchech, 1995).

Des variations telles que le réchauffement climatique, les inondations, et autres...qui sont causés dans la plupart par l'action de l'homme (Gachon et al, 2006).

1-1 Le changement climatique

Comme c'est mentionné en introduction de ce travail, le changement climatique est définie par le GIEC(2008) Comme une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés persistant pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus.

Trois vérités sont vécues et indéniables. En premier lieu , depuis un siècle la température de la planète a augmenté à environ 0.6 à 0.8 °c (Serge, 2001; Randal et al, 2008 ; Le perchech ,1995) et davantage dans certaines régions données, la deuxième est une augmentation parallèle de taux de gaz à effet de serre dans la l'atmosphère (Fouquart, 2002 ; Richard et al ,2007 ; Le Perchech, 1995) et la dernière est que ces deux augmentations se coïncident avec la révolution industrielle et l'accentuation des activité humaines génératrices de ces gaz à effet de serre (Isabelle et Alain, 2008). Ce réchauffement climatique ou encore dit planétaire est le changement climatique le plus remarquable, c'est pour quoi le terme de changement y est souvent réservé.

Or le lexique du changement est plus général et très vaste pour renfermer tout les phénomènes climatiques anormaux et fantasques, et toutes les anomalies du climat dont les causes sont souvent d'origine anthropique, comme par exemple le phénomène d'aridification des climats, la sécheresse sahélienne,etc.

Le changement climatique peut être aussi défini comme un changement du type du climat dans un lieu donné, c'est-à-dire le changement de rythme habituel et de la périodicité des différents paramètres du climat ainsi que leurs combinaisons spécifiques génératrices de leurs temps caractéristiques, et de cette façon l'idée ou le concept serait très proche de ce qui signifie la terminologie du changement climatique. Donc c'est un terme général sous le quel toute une gamme d'anomalies climatiques est listée. Néanmoins il est largement utilisé pour indiquer le réchauffement planétaire.

En effet dans ce même contexte Gachon et al (2006) font une bonne distinction entre quatre concepts comme suit :

- **Le changement climatique** : s'exprime comme une variation statistiquement significative ou variabilité persistante sur une longue période de temps (une décennie ou plus) et il est attribué à l'activité humaine comme l'émission des gaz à effet de serre.
- **La variabilité climatique** : s'exprime comme une différence par rapport à une tendance ou un état moyen (fluctuation à court terme qui peut se superposer à un changement climatique si elle persiste), et cette variabilité est attribuée à des causes naturelles.
- **Les cycles de hautes ou de basse fréquence** : comme les inondations, les sécheresses qui ne sont pas des changements climatiques à moins qu'ils durent sur plusieurs décennies.
- **La période de référence pour l'étude des changements climatiques** : est au moins trois décennies consécutives (c.à.d. 30 ans) comme celle choisie par cet auteur et qui est la période 1961 à 1990, et c'est ainsi qu'on a choisit notre période d'étude de 1975 à 2007.

1-2 Réchauffement climatique

Le réchauffement en elle-même est un phénomène tout à fait naturel en paléoclimatologie, car il existe naturellement une alternance de glaciation et de déglaciation (Marc, 2001), mais l'anomalie réside dans l'aggravation de ce phénomène par l'action de l'homme dont la conséquence est l'effet de serre (Isabelle et Alain, 2008); (Richard et al, 2007).

En effet, Les mesures terrestres de la température réalisées au cours du XX^e siècle montrent une élévation de la température moyenne (Fig. 7). Ce réchauffement serait déroulé en deux phases, la première de 1910 à 1945, la seconde de 1976 jusqu'à nos jours. Ces deux phases semblent être séparées par une période de léger refroidissement (Sylvie et al, 2007).

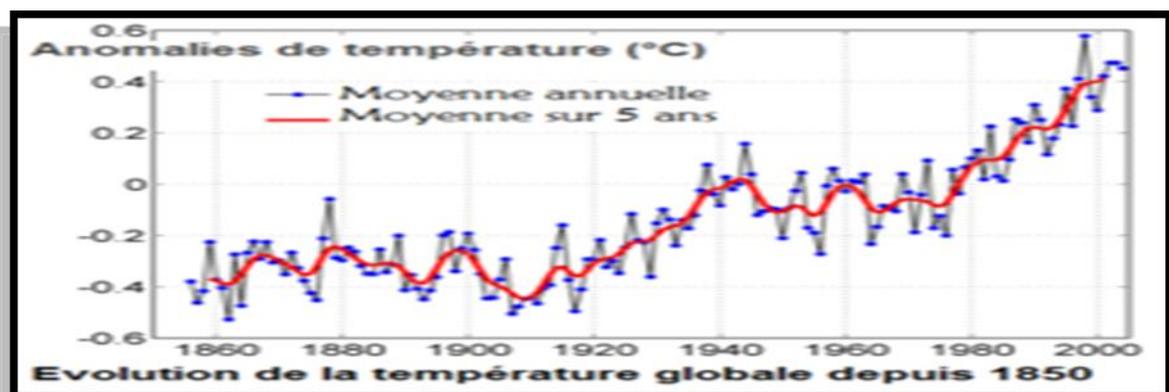


Figure 7: La variation de la température globale de la terre depuis 1850
Source: Leroux M., 2000

Ce réchauffement planétaire serait de plus corrélé avec une forte augmentation dans l'atmosphère de la concentration de plusieurs gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote (Guyot, 2001)

L'élévation de la température moyenne du globe au cours du XX^e siècle aurait donc été de 0,6 °C. Cependant Une polémique a été déclenchée sur la validité de ces mesures (Richard et al, 2007). Le tableau-1 listerait les années les plus exceptionnellement chaudes entre 1880 à 2006, en fait c'est l'année 2005 qui la plus chaude et même pour les autres sont à peu près dans leur ordre cardinale car on assiste à l'ordre 1990,1995,1997 et sont progressivement chaudes , ce qui suggère une augmentation progressive de la température avec une certaine perturbation durant les années 2000(21eme siècle)(NASA GISS, 2007 in GIEC, 2007)

1-3 L'effet de serre

Comme nous l'avons déjà vu dans les chapitres précédents, qu'en contrepartie du rayonnement émis par le soleil, la terre aussi émet un flux de rayonnement de grande longueur d'onde dit infrarouge ou bien le rayonnement thermique dit aussi albédo (Tabeaud, 2000), alors que le rayonnement solaire est relativement peu absorbé par l'atmosphère, le rayonnement terrestre est fortement absorbé par certains composants gazeux. Ceux-ci s'échauffent et réémettent ainsi un flux de rayonnement vers la surface terrestre souvent appelé rayonnement atmosphérique, qui s'oppose au refroidissement de la terre et de l'atmosphère (Guyot, 2001) dont la composition est représenté par le tableau-2, elle ne contient pas d'origine les gaz à effet de serre, qu'en très infimes quantités: le Co₂ en particulier, la vapeur d'eau (concentration variant entre 0et 0.04% en volume), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), l'ozone (O₃). Et depuis quelques années, les gaz dits CFC (chlorofluorocarbures) tous présents à l'état de trace (Guyot ,2001).

Ordre	Années	Écarts par rapport à la moyenne de 1951–1980
1.	2005	+0,63 °C
2.	1998	+0,57 °C
3.	2002	+0,56 °C
4.	2003	+0,55 °C
5.	2006	+0,54 °C
6.	2004	+0,49 °C
7.	2001	+0,48 °C
8.	1997	+0,40 °C
9.	1995	+0,38 °C
10.	1990	+0,38 °C

Tableau 1 : les dix années les plus chaudes entre 1880 et 2006

Source : NASA GISS

Gaz constituants	Concentration volumique (%)
<i>Gaz principaux</i>	
Azote (N ₂)	78.09
Oxygène (O ₂)	20.95
Argon (A)	0.93
Anhydride de carbonique (CO ₂)	0.035
<i>Gaz traces</i>	
Néon (Ne)	1.8 × 10 ⁻³
Hélium (He)	5.24 × 10 ⁻⁴
Méthane (CH ₄)	1.7 × 10 ⁻⁴
Krypton (Kr)	1.0 × 10 ⁻⁴
Hydrogène (H ₂)	5.0 × 10 ⁻⁵
Xénon (Xe)	8.0 × 10 ⁻⁶
Ozone (O ₃)	1.0 × 10 ⁻⁶
Oxyde nitreux (N ₂ O)	3.1 × 10 ⁻⁸
Radon (Rn)	6.0 × 10 ⁻¹⁸

Tableau 2: composition de l'air atmosphérique

Source : Gérard Guyot, 2001

Des calculs relativement simplistes permettent de mettre en évidence le rôle thermique joué par l'atmosphère, en comparant la température moyenne de la surface terrestre avec celle qui peut être obtenue sans tenir compte de l'effet de l'atmosphère (Émilie, 1978).

Cependant cette effet de serre ayant d'origine une action bénéfique pour la biosphère et tout l'écosystème (Baldy et Stigter, 1993), il à été accentué d'une façon abusive par les activités humaines surtout depuis le début de l'ère industrielle, et la conséquence était une élévation très grave de la température de la terre toute entière et ainsi il est devenue néfaste (Richard et al, 2007).

1-3-1 Gaz à effet de serre: Selon Guyot (2001) les gaz à effet de serre sont les suivants :

- **Le gaz carbonique:** l'augmentation de sa teneur de 25% est du à l'utilisation des combustibles fossiles (hydrocarbures) et à la déforestation.

- **Le méthane:** Il a plus que doublé à cause du processus de fermentation anaérobie dans les marécages et lors du transit digestif des ruminant, qui est lié à l'accroissement démographique et au développement de l'agriculture.

Type de gaz	CO ₂ (10 ⁶)	CH ₄ (10 ⁶)	N ₂ O (10 ⁹)	CFC11 (10 ¹²)	CFC12 (10 ¹²)
Avant la période industrielle	280	0.80	288	0	484
En l'année 1990	354	1.70	310	280	
Accroissement annuel de concentration(%)	0.5	0.9	0.25	4	4
Durée du séjours dans l'atmosphère (an)	50-	10	150	60	120
	200(2)				

Tableau 3: évolution de la quantité des gaz à effet de serre sous l'action de l'homme

Source : Gérard Guyot .2001

- **L'oxyde nitreux:** lié à l'agriculture, et son émission résulte de l'action des micro-organismes sur les composés azotés dans le sol et dans l'eau.

- **Les chlorofluorocarbures (CFC) :** ce sont des composés très stables créés par l'industrie chimique. Ils sont utilisés comme fluide pour les systèmes réfrigérants, comme agents propulseurs dans les bombes aérosol, comme agent pour l'expansion de mousses plastiques.

2 QUEL AVENIR POUR LE CLIMAT

2-1 LA PREVENTION INTERNATIONALE DU CHANGEMENT

CLIMATIQUE

Le monde tout entier est encore en retard en matière de protection de la nature, et en matière de prise en compte de son importance et du danger que peut causer la moindre perturbation de l'un des éléments constitutif de notre environnement (Josef, 2005).

En effet, l'homme ne s'intéressait qu'au développement technologique et industriel, sans la moindre prévoyance ou de perspective de futur. Cela est de sa nature et son aspect égoïste, qui le pousse de chercher toujours son propre gain rapide sans y prévoir les conséquences, action qui conduit à une autodestruction certaine, dont la situation actuelle en est un vrai témoin et déclare clairement que l'homme détruit son habitat.

Malheureusement, la communauté internationale ne s'éveille que trop tard après avoir vécu des catastrophes naturelles à grande échelle, qu' étaient étranges et inexplicables par manque d'étude et des recherches climatologiques (Zakaria, 2005).

A cet égard, des organisations mondiales ont été établit pour faire face à ce danger (Académie et conseil économique et social européen, 2006).

En fait, l'Organisation des Nations unies (ONU) place pour la première fois la question environnementale sur le devant de la scène internationale en 1972 lors de la conférence de Stockholm à l'issue de laquelle est créé le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Cette prise de conscience des incidences des activités humaines sur l'environnement aboutit à la première conférence mondiale sur le climat à Genève en 1979(ONU, 2005).

En 1988, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le PNUE créent le Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC); en anglais, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cet organisme est en charge de rassembler les connaissances scientifiques sur les changements climatiques (observations et simulations). Ses rapports d'évaluation successifs (1990, 1995, 2001, 2007) servent de référence quant à l'avancée des connaissances scientifiques internationales (Costanza et Rand, 1992 ; ONU, 1997).

Ainsi, le premier rapport d'évaluation du GIEC sert de base de travail pour la deuxième conférence de Genève (1990), au terme de laquelle il est recommandé de prendre immédiatement des mesures préventives pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, en raison de la gravité des menaces qui pèsent sur l'environnement. La conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement qui se tient à Rio de Janeiro en juin 1992, appelée Sommet de la Terre, lance Action 21 (ou Agenda 21), vaste programme visant notamment à promouvoir au XXI^e siècle le développement durable, défini comme un « développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Au total, 178 États, dont la France, signent une Convention-cadre sur les changements climatiques (ou Convention de Rio), par laquelle les pays industrialisés s'engagent à diminuer leurs émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre, puis à les stabiliser à un niveau non dangereux pour le système climatique (Dian et al,

1999). Pour lutter contre le réchauffement climatique, le protocole de Kyoto (ONU, 1997) centre son action sur la réduction d'émission de six gaz à effet de serre (dont CO₂, CH₄, N₂O). Une réduction globale de 5,2 % d'ici 2008-2012 par rapport à son niveau de 1990 est signée par les principaux pays pollueurs. Les pays industrialisés acceptent des réductions supérieures : - 8 % pour l'Union européenne, - 7 % pour les États-Unis et - 6 % pour le Japon. Les pays en voie de développement n'ont pas d'engagement particulier à tenir. Les États-Unis, premiers pollueurs au monde en CO₂ et pourtant signataires du protocole sous l'administration Clinton, n'ont toutefois pas ratifié le protocole sous l'administration Bush. Le protocole de Kyoto doit être officiellement mis en œuvre lorsque 55 pays signataires de la ratification représenteront au moins 55 % des émissions mondiales. La conférence de La Haye (2000) se solde par un échec pour faire pencher la balance dans ce sens, tandis que la conférence de Bonn (2001) permet de fixer le cadre juridique. La ratification par la Russie, l'un des principaux pollueurs de la planète, à la fin de l'année 2004, permet enfin l'entrée en vigueur du protocole le 16 février 2005. Au niveau de l'Union européenne, un système d'échange des droits d'émission est mis en place depuis 2005 dans le but de respecter les quotas fixés. Des permis de polluer doivent permettre de faire payer les pays pollueurs suivant la formule « pollueurs payeurs ». La France présente un des degrés d'émission en dioxyde de carbone parmi les plus faibles des pays européens étant donné l'option nucléaire choisie pour sa production énergétique, ce qui n'est pas sans poser d'autres problèmes environnementaux(ONU, 1997).

2-2 LA MODELISATION NUMERIQUE DU CLIMAT

Des scénarios théoriques du climat peuvent être simulés et étudiés par ordinateur, c'est la méthode de la « modélisation numérique ». Les modèles numériques de climat permettent de conforter des hypothèses sur les mécanismes gouvernant le climat (forçages). Ils sont utilisés pour reproduire les climats passés, connus seulement par des données indirectes (Richard, 1930).

Ils servent également à prévoir le comportement futur du climat (Cécile, 2003). Notamment en fonction des différents scénarios envisageables des forçages anthropiques. Suivant leur but, les modèles représentent pour la Terre entière la circulation de l'atmosphère et des océans, la fonte des glaces, les pollutions humaines, etc. La prévision météorologique est également réalisée par des modèles numériques, qui sont constamment remis à jour avec les observations climatiques journalières (Cécile, 2003; Marc, 2001; Randal and al, 2008).

2-3 LES PREVISIONS CLIMATIQUES DE L'AVENIR

- ***Le comportement des gaz à effet de serre***

La concentration d'un gaz à effet de serre dans l'atmosphère est régulée par :

- *□□ les processus, naturels ou anthropiques, qui émettent les gaz à effet de serre
- *□□ les processus qui le font disparaître : le CO₂ est échangé avec les océans et la biosphère, le N₂O est détruit par le rayonnement solaire (GIEC, 2007).

Si les émissions anthropiques sont supérieures à l'absorption du gaz, sa concentration atmosphérique augmente. Actuellement, le CO₂ augmente dans l'atmosphère car son taux d'émission (6,4 GtC/an) est supérieur à son absorption (3,6 GtC/an). Le réchauffement tend à diminuer la séquestration du carbone atmosphérique par la végétation et l'océan ; la part des émissions anthropiques restant dans l'atmosphère augmente.

Il faudrait un arrêt presque complet des émissions anthropiques de CO₂ à la fin du 21^{ème} siècle, pour stabiliser sa concentration et le forçage climatique induit (GIEC, 2007).

- ***Les prévisions climatiques pour le 21^{ème} siècle***

*Pour tous les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, la température s'élèvera de manière comparable jusqu'en 2050 (GIEC, 2007). Le réchauffement augmentera ensuite différemment suivant les scénarios : de 1,8°C pour des émissions faibles à 4°C pour des émissions élevées. Entre les périodes 1980-1999 et 2090-2099. En association à ce réchauffement, les canicules, les vagues de chaleur et les événements de fortes précipitations augmenteront.

*□ Le niveau de la mer s'élèvera de 18 à 59 cm au cours du 21^{ème} siècle (GIEC, 2007).

*□ Les autres effets déjà observés actuellement du réchauffement moderne s'accroîtront : Acidification des océans, fonte de la neige et du pergélisol, etc. Pour tous les scénarios, la banquise de l'Arctique et de l'Antarctique diminue. Dans certaines simulations, la glace arctique de la fin d'été disparaît presque entièrement vers la fin du 21^{ème} siècle (GIEC, 2007).

*□ La circulation océanique globale ralentira au cours du 21^{ème} siècle. Une transformation importante telle qu'un arrêt de cette circulation reste très improbable au 21^{ème} siècle mais n'est pas encore prévisible à plus long terme (GIEC, 2007 ; Randal et al, 2008).

CHAPITRE 2

Quel avenir pour la steppe

1 ECOSYSTEME STEPPIQUE

Parmi les écosystèmes terrestres, certains sont marginaux et fragiles ou bien sont actuellement en état de déséquilibre (Pouget, 1980; Le Houerou, 1969; Kadik, 2008), souvent favorisé par une action extrinsèque dont l'agent causateur est souvent l'homme par son agressivité et son imprévoyance

Néanmoins, cette action anthropique n'a fait qu'aggraver et accélérer la situation désastreuse de ses milieux, dont la caractéristique principale est l'aridité qui représente un vrai défi et une vraie contrainte à la vie humaine et au développement (FAO, 2008).

En effet ses régions arides et semi arides sont d'une grande importance, car elles occupent le tiers des terres émergées et sont peuplées par 15% de la population mondiale (près de la moitié des pays du monde) (Bâtisse, 1969 in Le Floch et al, 1992).

Malheureusement, ces écosystèmes ne cessent d'évoluer de pire en pire et sont devenus très sensibles et très vulnérables à la moindre perturbation dans l'un de ses éléments constitutifs.

En fait, le climat comme étant l'élément moteur de l'écosystème, avec ses changements et ses anomalies peut être un danger qui menace en premier lieu ce type d'écosystèmes et qui peut même les anéantir sans le moindre espoir de réhabilitation (Jean-Claude, 1998; Mélanie et al, 2002).

1-1 LES REGIONS ARIDES ET SEMI ARIDES

La steppe, les savanes et les fourrés en sont les principaux domaines, elles sont caractérisées par la rareté et la forte variabilité dans le temps et dans l'espace des précipitations, par l'intensité de l'évaporation et par la précarité des ressources en eau. Dans ces zones souvent prédisposées à l'apparition des phénomènes érosifs, la surexploitation des systèmes écologiques naturellement fragiles conduit à des changements irréversibles et à la dégradation des potentiels de production (Le Floch et al, 1992; FAO, 2008 ; Guyot, 2001).

C'est pourquoi la meilleure et l'idéale exploitation de ce milieu ne peut être qu'à travers les activités pastorales, car l'élevage ovin surtout en l'ancien système de nomadisme y convient bien comme vocation et peut en tirer profit sans lui porter préjudice.

1-2 LA NOTION D'ARIDITE

Selon Tabeaud (2000) et Le Floch et al (1992) l'aridité est l'état d'un espace affecté par un bilan hydrique déficitaire, c'est-à-dire où les apports par les précipitations (P) sont inférieurs quantitativement aux pertes par évaporation sur les nappes d'eau (E) ou évapotranspiration du sol et des êtres vivants (Et) en bilan annuel ($P-E < 0$ ou $P-Et < 0$).

Ce terme d'aridité n'est pas synonyme de sécheresse, qui qualifie un déficit plus bref (saisonnier par exemple) ou de terme de désert, qui fait référence à la raréfaction de la biomasse (flore et faune) que l'on observe dans certaines régions continentales arides (Le Floch et al, 1992).

L'aridification est la modification vers l'aride d'un climat. Bien souvent, l'évolution à la baisse des précipitations, associée à un changement du fonctionnement du système climatique, qui s'accompagne de modifications locales du milieu dont l'origine est anthropique (comme le cas de Sahel après 1968) (Le Floch et al, 1992).

2 LA STEPPE

On peut énoncer les définitions suivantes :

a- Formation herbacée basse plus ou moins ouverte et suffisamment continue pour dominer le paysage (Fig. 8). Ces formations sont déterminées par des précipitations faibles et supposent de très grandes amplitudes thermiques, ce qui justifie leur répartition à la périphérie des déserts tropicaux et aux hautes et moyennes latitudes en domaine continental (Aboub, 2008).



Figure 8: Un parcours steppique

Source: HCDS, 2004

b- La steppe est un étendu de territoire marqué par une végétation xérophile clairsemée, souvent herbacées, des régions tropicales et des régions de climat continental semi-arides et caractérisée par un quotient P/ETP entre 0,065 et 0,28 recevant des précipitations moyennes annuelles variant de 100 à 400 mm (Le Houerou, 1969 ; Aboub, 2008).

2-1 LES CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE LA STEPPE

D'après Aboub (2008) Le climat steppique est défini comme « continental aride et semi-aride» marqué par :

-l'irrégularité du régime des pluies dans le temps et dans l'espace;

-L'insuffisance pluviométrique néfaste pour la végétation steppique soumise à deux périodes défavorables: hiver froid rigoureux et été long et sec.

***Température**

Selon la classification faite par Le Houérou (1969):

-l'amplitude thermique annuelle généralement inférieure à 20 C°,

- La moyenne des températures minimales comprises entre -1 C° et -6 C° en hiver,

- La moyenne des températures maximales comprises entre 35 C° à 37 C° en été.

*** les vents caractérisés par**

-Leur persistance, leur force et leur violence ,

-Leur action néfaste pour les sols (érosion éolienne).

Vent le plus catastrophique est : le sirocco

- vent chaud et sec venant du Sahara,

- souffle de 20 à 30 jours/an de Juillet à Août.

*** la neige et le gel**

- Il neige en moyenne 5 à 18 jours dans l'année,

- cette moyenne augmente un peu en altitude,

- gel sur les hautes plaines 40 à 60 jours de gelée blanche annuellement.

***Été chaud et sec** entravant la vie végétative particulièrement de la troisième strate des arbres.

***pluviosité** : deux gradients pluviométriques:

Un gradient décroissant Nord-Sud et un gradient croissant Ouest –Est, ce dernier est lié aux pluies d'origine saharienne.

-La pluviosité est caractérisée par sa brutalité (averse et orage).

-Elle est à la fois faible et variable évoluant selon les régions entre 100 et 300

Ou 400 mm de pluies par an.

3 L'AVENIR DE LA STEPPE

Les études paléontologiques dans les régions steppiques en particulier celle de l'Afrique septentrionale, montrent qu'un immense forêt fut comme l'écosystème dominant et caractéristique (Jean-Claude, 1998), comment explique –t-on donc cet état de la steppe contemporaine ?

Une question pertinente qui peut confirmer la culpabilité des changements climatiques et son effet destructrice dans ces milieux qui sont devenus aujourd'hui fragiles et vieillissent et incapable de se réhabiliter à eux seuls (Pouget, 1980).

Est-ce que cet état peut s'expliquer par un vieillissement de l'écosystème forestier qui existait auparavant?

Ce vieillissement est-il naturel ou bien accéléré par des facteurs perturbateurs extrinsèques ?

En effet, cette dernière question touche beaucoup à la réalité vécue.

Autrefois l'homme était en équilibre avec son milieu naturel, et ceci grâce à une adaptation parfaite entre les nomades et les parcours, n'ayant été productif que pour un certain temps de l'année, le quel correspond à l'arrivée du nomades en steppe pour faire nourrir leurs cheptels, l'autre temps les nomades se déplaçaient à la recherche de l'herbe, en laissant ainsi les parcours steppiques se reposer et se régénérer. C'était un magnifique équilibre et cohérence entre l'homme et la nature, soutenu aussi par la faible démographie qui y vivait à l'époque (Le Houérou, 1969).

Cependant avec l'arrivée du colonisateur en Algérie, les nomades commençaient d'être sédentarisés et à pratiquer d'autres activités, dont l'agriculture et le labour qui sont des pratiques inconvenables et inappropriés dans tel type de sol steppique ayant la profondeur à peine de quelque centimètre et les propriétés physiques sont instable et fragiles (Pouget, 1980).

Tout cela fait que toute sédentarisation prolongée de l'homme portait préjudice au milieu naturel. Or la population locale n'a pas respecté cette règle naturelle et continuait à dégrader les parcours par leur croissance démographique rapide accompagné d'une croissance de l'effectif du cheptel élevé en steppe ainsi que leurs activités agressive envers la nature.

3-1 LA DEGRADATION DE LA STEPPE :

« L'état écologique de la steppe est depuis déjà de longues années, extrêmement préoccupant. La désertification s'étend de façon dramatique: déjà en 1985 un expert estimait que le potentiel de production fourragère de la steppe serait réduit de 75 % entre 1975 et 1985 » (Bedrani et Elloumi, 1994).

La dégradation des parcours steppiques constitue actuellement une réalité préoccupante, une dynamique régressive nettement perceptible et confirmée par un diagnostic écologique qui a mis en évidence la dégradation du couvert végétal.

Le couvert végétal naturel y est soumis à un double stress édapho-climatiques d'une part et anthropogène d'autre part.

Le diagnostic de l'écosystème steppique permet d'identifier cinq principales causes de dégradation agissant en synergie (Chehema, 2008) :

- Surpâturage (problème central) : outre l'effectif des têtes ovines qui ne fait que croître, grâce à l'amélioration des conditions d'élevage. Le cheptel est devenu sur le parcours durant toute l'année ce qui implique une destruction du couvert végétal, et du sol par le piétinement et la mise à nue du sol, qui devient sous l'impact direct des agents climatiques, qui induisent sans doute l'érosion du sol par voie éolienne et hydrique.
- Pauvreté des sols : les sols sont déjà squelettiques et peu fertiles
- Episodes de sécheresses : le climat se caractérise par des précipitations faibles et irrégulières, et parfois on assiste à la succession de plusieurs années sans pluie
- Extension des labours : le défrichage des parcours au profit de l'agriculture est un vrai échec dont témoigne la réalité vécue, car c'est une région à vocation pastorale, la mise en culture ne peut avoir lieu que dans les dépressions et les dayas à sol profond et fertile
- L'érosion éolienne : après avoir reçu l'action des facteurs précédent le sol sera prêt d'être emporté par les vent, pour recouvrir d'autres parcours ou culture, et c'est le phénomène d'ensablement qui une amorce de la désertification. Car à ce stade les particules fines du sol (argiles et limon) sont les premiers transportés par le vent et il ne reste que le sable qui sera aussi transporté par des vents violents (vent de sable) pour couvrir la végétation d'un autre parcours (Fig. 9) en le rendant stérile et petit à petit devient un grand étendu de sable pour devenir un Sahara

2-2 LA NECESSITE DE PROTECTION DE LA STEPPE :



Figure 9: Le sable envahit la steppe

Source: HCDS, 2004

Face à cette désertification certaine des parcours steppiques, et l'arrivée immanquable du Sahara et du sable, plusieurs mesures de lutte doivent être prises le plus tôt possible et doivent être strictement et vigoureusement mises en œuvre, car c'est la vie de toute une population qui est en jeu.

Au fait La Convention des Nations Unies de Lutte contre la Désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, adoptée le 17 juin 1994 et qui a été signée par l'Algérie Le 14/10/1994, et ratifiée le 22/05/1996 est entrée en vigueur le 26/12/1996. Cette convention, comme premier instrument international juridiquement contraignant, a pour moteur essentiel à l'échelle nationale le PAN (Programme d'Action National) qui est faite pour faire régulièrement le point sur l'état d'avancement des actions qui y sont retenues.

A cet égard on assiste à plusieurs actions qui sont entreprises et doivent continuer (HCDS, 2004) :

- *la protection des parcours,
- *la mise en défens,
- *l'évaluation de valeur fourragère des parcours, pour déterminer la charge animale à respecter
- *la replantation des parcours et le reboisement des forêts (barrage vert),
- *fixation et replantation des dunes,
- *Défendre les labours et les cultures inappropriés,
- *protection des richesses floristiques locales,
- *protéger les ressources en eau de la région steppique.

Notamment, tout ceci nous conduit à mener un nouveau mode de vie qui convient bien à l'environnement et exige de s'adapter avec lui, pour enfin s'inscrire sous le nouveau concept de **développement durable** qui est une notion récente impliquant le développement à long terme, suivant le quel l'homme peut remplir ses besoins sans porter préjudice à la nature .pour bien sûr garantir la survie et l'avenir des générations futures, en effet c'est un développement qui sert à satisfaire les besoins du présent sans compromettre le potentiel des générations futures (Edwin, 1999).

Analyse expérimentale

LA PREMIERE PARTIE

La zone d'étude

CHAPITRE 1

La steppe algérienne

1 VUE D'ENSEMBLE DE LA STEPPE ALGERIENNE

Il paraît utile de faire tout d'abord un aperçu sur la steppe algérienne qui aidera par la suite de généraliser les résultats obtenus dans la zone de Djelfa sur toute la steppe.

1-1 LA LOCALISATION ET LES LIMITES

La steppe est cet ensemble géographique dont les limites sont définies par le seul critère bioclimatique. D'une

superficie estimée à environ 20 millions d'hectares, elle est cette « bande longitudinale dont la largeur va en diminuant d'Ouest en Est et située entre les isohyètes 100 et 400 mm » (Abdelmadjid, 1983). Elle se localise entre deux chaînes de montagnes en

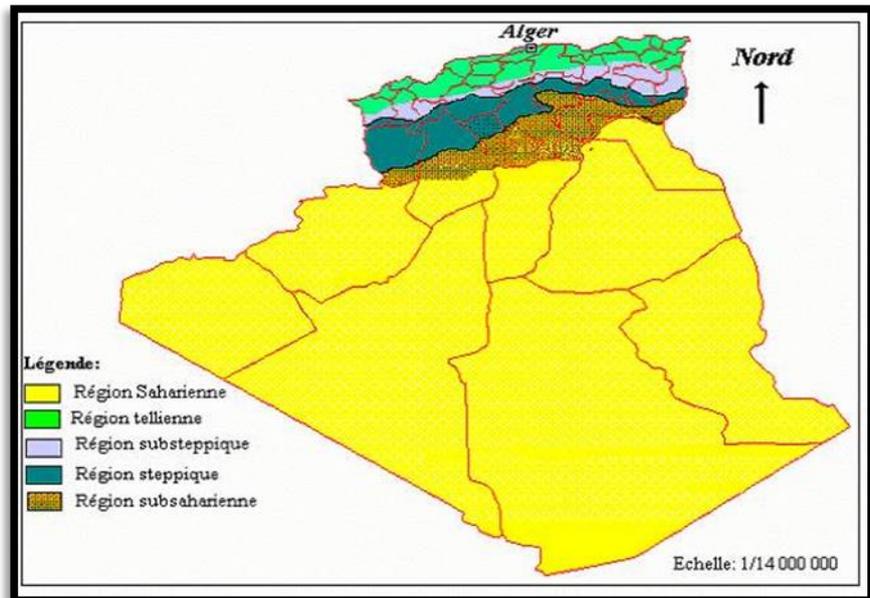


Figure 10: La délimitation de la steppe algérienne

Source: Aboub, 2008

l'occurrence, l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud (Fig. 10). C'est ce qu'on appelle « *bled el ghnem* » (pays du mouton) car elle se caractérise par sa principale production le mouton. (Djebaili, 1984).

1-2 LA NATURE DES SOLS

D'après Pouget (1980) les sols steppiques sont squelettiques, c'est-à-dire pauvres et fragiles à cause de la rareté de l'humus et de leur très faible profondeur. Nous trouvons en effet, des sols récents, des sols dégradés et des sols évolués.

L'existence des sols fertiles est très limitée. Ces derniers sont destinés aux cultures et se localisent dans les dépressions, les lits d'Oued, les dayas et les piémonts de montagnes du fait que leur situation permet une accumulation d'éléments fins et d'eau.

1-3 LE CLIMAT

Selon Djebaili (1984) deux caractéristiques principales marquent le climat steppique : une faible pluviosité et des fortes amplitudes thermiques. La pluviosité est à la fois faible et

irrégulière. Elle présente une variation spatio-temporelle très importante et oscille entre 100 et 400 mm de précipitations par an tombant souvent sous forme de pluies violentes (orages).

La température dépasse les 40 °C en été mais provoque des gelées au cours de l'hiver. Une autre caractéristique du climat steppique est le vent violent, celui d'hiver occasionne des dégâts et celui d'été venant du Sahara (sirocco) est le plus catastrophique. C'est un vent chaud qui souffle de 20 à 30 jours par an et a des effets pervers sur la végétation.

En somme, le climat steppique se caractérise en général par son hétérogénéité. La pluviométrie (Pouget, 1980) définit du Nord au Sud trois étages à savoir

- Le semi-aride inférieur : entre 300 et 400 mm par an,
- L'aride supérieur : entre 200 et 300 mm par an,
- L'aride inférieur : entre 100 et 200 mm par an.

1-4 LES CARACTERISTIQUES HYDRIQUES

Les ressources en eau de cet espace sont insuffisamment connues. On distingue

- Les eaux superficielles : issues des pluies, sont

* souvent orageuses et à l'origine d'écoulement torrentiel, qui causent d'importants dégâts par manque d'ouvrages de mobilisation, elles sont caractérisées par une perte d'une grande partie par évaporation.

- Les eaux souterraines : estimées à 1.4 milliards de mètre cube, elles constituent la principale ressource utilisée pour l'abreuvement du cheptel et l'irrigation. Même qu'elles sont inégalement réparties et aussi elles sont faiblement renouvelées et anarchiquement exploitées. (ANRH, 2005).

2 L'OCCUPATION DU SOL ET VEGETATION

Les 20 millions d'hectares que compte la steppe se répartissent en parcours, terres improductives, forêts et maquis et cultures marginales.

L'importance que représente la part des parcours (soit plus de 80% de la superficie totale de la steppe en 1995) est liée à la vocation même de cet espace pastoral.

En termes d'évolution de l'occupation du sol, plusieurs remarques sont à retenir. En premier lieu une augmentation de la superficie des parcours dégradés et donc une régression de la superficie des parcours palatables. D'autre part, on constate une augmentation de la superficie des cultures marginales. Ceci dit que cette dernière est développée au détriment des superficies des parcours palatables. (HCDS, 1996)

2-1 LA VEGETATION, COMPOSITION ET DENSITE

En éliminant les zones de cultures, les forêts et les zones improductives, il reste 15 millions d'hectares de végétation steppique qu'occupent les parcours. (HCDS, 1996).

La végétation steppique est dominée par l'alfa (*Stipa tenacissima*) qui occupe 4 millions d'hectares, suivie par le *chih* (*Artimisea herba alba*) avec 3 millions d'hectares, puis le *Sennaghe* et le *Guettaf* avec respectivement 2 et 1 million d'hectares. Le reste est occupé par des associations diverses. (HCDS, 1996).

2-2 LA REPARTITION DE LA VEGETATION STEPPIQUE PAR ESPECE

Selon Pouget (1980) La combinaison des facteurs pédo-climatiques et la répartition spatiale de la végétation fait ressortir trois types de steppes :

- La steppe à graminées à base d'alfa et/ou de sparte se trouvant dans les sols argileux à texture plus fine. Sur les sols sableux, nous trouvons la steppe à *Drine*.
- La steppe à armoise blanche qui occupe les sols à texture fine. L'armoise est consommée par les troupeaux et constitue de ce fait un excellent parcours.
- La steppe à halophytes qui occupe les terrains salés à proximité des chotts. On y trouve les *Salsola* et aussi les *Atriplexes* qui constituent eux aussi un bon fourrage.

2-3 LA STEPPE EN TANT QUE MILIEU NATURELLEMENT HETEROGENE

Le milieu physique de la steppe est hétérogène et ce en raison de plusieurs facteurs à savoir:

- La variation de la pluviosité qui définit trois étages bioclimatiques ;
- La répartition de la végétation au niveau d'un même étage ;
- Et l'avancement de la dégradation du milieu naturel, c'est-à-dire, celle de la végétation et du sol.

D'une manière générale, la spécificité de la steppe reste liée aux facteurs homme, climat, végétation et sol. Ces facteurs, sous différentes formes de combinaisons, déterminent la production de la steppe (Djebaili, 1984).

CHAPITRE 2

La wilaya de Djelfa

Vue sa localisation centrale, La wilaya de Djelfa est l'une des fameuses régions steppique de l'Algérie. Raison pour la quelle cette wilaya peut être prise comme un échantillon très représentatif pour tout étude du milieu naturel steppique soit du point de vue botanique, écologique ou bien climatique.

1 LA LOCALISATION

D'après le DPAT (2004), cette wilaya est située au centre de l'Algérie du Nord, à 300km au Sud de la capitale,

Avec une superficie de 32, 280,41 km² soit 1,36% de la superficie totale de territoire national. Localisée entre la latitude nord 33°et 35°et entre les longitudes 2°et 5°.

Elle est délimitée par :

- Au Nord : par les wilayates de Médéa et Tissemsilt.
- A l'Ouest par les wilayates de Laghouat et Tiaret
- Au Sud par les wilayates d'Ouargla, Ghardaïa et Laghouat



Figure 11: La wilaya de Djelfa

Sour ce: DPAT, 2004

-A l'Est par les wilayates de Biskra et M'sila.

Elle comprend actuellement 36 communes regroupées en 12 daïras (Fig. 11).

2 LA POPULATION

Comme étant l'agent perturbateur du milieu naturel et de climat, l'homme et par conséquent la population doit bénéficier d'une étude analytique particulière, en particulier l'évolution démographique et industrielle qui en résulte et qui est dans la plupart des cas émettrices des gazes à effet de serre, dans les meilleurs des cas en utilisant des chauffages à gaz.

D'après le recensement de l'année 2008 la wilaya de Djelfa est classée la quatrième wilaya au niveau nationale avec une population de 1.4million d'habitant. Cela peut avoir des

répercussions sur son milieu et ses ressources naturelles déjà fragiles à cause de l'exploitation abusive qui peut mener à une désertification accélérée par un éventuel changement climatique. Cela est déjà commencé dans certains parcours, où la végétation est presque disparu à cause de surpâturage et l'exploitation agricoles inapproprié, surtout suit à la subvention étatique de la mise en culture des ces régions dont la vocation est le pastoralisme, action dont le résultat est sans doute une destruction du milieu naturel steppique (HCDS, 2004).

3 LA GEOMORPHOLOGIE

Vue sa localisation centrale Sud algérois, Nord saharien, la wilaya de Djelfa renferme une partie importante des reliefs algériens (DPAT.2004; Guesmi et Ben brika, 2004; Lahrech, 2006),

- **Les hautes plateaux** : situés dans la partie nord, formant une partie monotone du piémont sud de l'atlas tellien jusqu'au piémont nord de l'atlas saharien, leur altitudes varient de 650 à 900 m. malgré la platitude de cette entité, elle renferme des dépressions, des dayas et des chottes, des plaines telle que celles de M'aalba et Mouilah à l'Est de la wilaya.
- **L'atlas saharien** : avec une altitude de 1000 à 1500 m, ces reliefs sont très contrastés, parfois très accidentés d'une pente allant de 15 à 25°, comme le cas de djebel Sen alba (1589m), djebel Sahari (1273m) au Nord et djebel essbaa (1064m) au Sud.
- **Le Sahara** : elle s'étend du piémont Sud de l'atlas saharien jusqu'aux limites de la willaya, dominé par la présence en grand nombre des cuvettes qui sont dans la plupart des dayas, des chottes ou des sebkhas.

4 LA PEDOLOGIE

Comme toute région aride ou semi aride les sols de cette wilaya sont en générales des sols peu évolués, squelettiques, fragiles. Et dans la plupart des cas, ils sont des sols minéraux peu profonds, mise à part les dépressions et les dayas où s'accumulent des sols profonds hydro morphes (Pouget, 1980)

5 LA VEGETATION

Dans cette région le couvert végétal se distingue par sa grande discontinuité et sa faible densité en particulier dans les parcours.

On distingue 3 formations naturelles typiques (Pouget 1980) :

- les formations forestières et de dégradation forestière (forêt et matorral)

-les formations steppiques : à base de graminées vivaces (alfa, sparte et drin) et à base des chamaephytes (armoïse blanche, armoïse champêtre,..), elles couvrent 823.285 ha soit 36.6% de la superficie de la wilaya (HCDS, 2004).

-Les parcours représentent 82% de la wilaya soit 1.844.049 ha (DPAT, 2004).

6 LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

C'est un réseau endoréique, plusieurs des ses cours d'eaux aboutissent à la sebkha. L'oued mellah présente une salure assez élevée car il rentre en contact avec les trias du rocher du sel (Lahrech, 2006). D'autres comme oued koriereche, Mesrane et Zirez ascendant des montagnes, constituant en quelques sorte le principal agent de salinisation, à cause de leur contact des terrains et des roches salées et ainsi ils contribuent à la salinisation de la nappe.

7 LA CLIMATOLOGIE DE LA REGION

D'après Pouget(1980), le climat de la steppe sud algéroise dont la région de Djelfa ,est de type méditerranéen contrasté avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse, fraîche sinon froide. Ce climat particulièrement caractérisé par :

- des précipitations, plus faibles, présentent une grande variabilité inter-mensuelle et interannuelle.
- des régimes thermiques, relativement homogènes, très contrastés, de type continental.

Cependant, ce climat varie du Nord au Sud allant du semi aride en aride avec une augmentation des températures et de la durée de l'ensoleillement. Avec des précipitations allant de 200mm à 500mm de pluie par ans dans la partie nord de la wilaya et moins de 200mm da sa partie sud (Lahrech, 2006).

7-1 LES PRECIPITATIONS : dans le but d'en illustrer la variation nous donnons les données de SELTZER, 1946 et celle de la station météo pour la décennie 1997-2007 :

Mois	jan	fev	mars	avril	Mai	juin	juill	Aout	Sept	oct	nov	dec	Totale
Précipitations (mm)moyenne de plusieurs années	34	28	29	21	35	22	6	10	31	23	34	35	308

Tableau 4 : les moyennes des précipitations de la région de Djelfa selon SELTZER, 1946

Source : M. Pouget, 1980

année	jan	fev	mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec	TOTAL
1997	39	5	1	87	43	9	2	45	77	11	55	17	391
1998	7	26	5	35	38	2	nt	19	28	5	3	9	177
1999	61	24	25,1	0,9	3	13	3	16,6	25	29	26	69	295,6
2000	nt	nt	1	10	27	3,2	0,4	1,5	63	8	15	23,1	152,2
2001	60	12	2	3,7	3	nt	0,4	22,8	78	28	12	17	238,9
2002	11	5,3	2	38	4,9	5,9	13	35,6	7,6	15	37,9	36,1	212,8
2003	53,3	45,3	13	18	14,8	2,8	5	0,3	6,3	41	41,3	54	295,3
2004	6	0,5	29,2	33	97,4	3,7	7,3	51,4	38,1	28	39,4	42	376
2005	2	20,5	13	6,8	1	35	12	tr	64	49	19	25,5	247,8
2006	49,6	43,4	3,1	47	36,5	1,1	19,2	9,9	17,3	0,7	18,9	41	288
2007	4,8	26,6	72,6	29	31	16	12,8	18,2	32,2	38	12,3	3,5	297,4
moyenne	29,37	20,9	15,2	28	27,2	9,2	7,51	22	39,7	23	25,4	30,7	270,2

Tableau 5: précipitation de la décennie 1997-2007

Source : météo-Djelfa, 2008

A première vue, il est à constater que les précipitations totales annuelles ont diminué de 308mm (donnée par Seltzer dans le tableau4) à 270.2mm quantité annuelle durant cette dernière décennie, il est à noter aussi la chute des précipitations du mois de juin entre ces deux période d'étude (celle de Seltzer et celle de la dernière décennie) ce qui indique que la saison estivale devient de plus en plus rude et sèche.

- **Origine des pluies**

Elle est double et on distingue:

- d'une part, les pluies dues aux vents pluvieux de secteurs Ouest et Nord-Ouest qui abordent le Maghreb par le littoral durant la saison Froide (Seltzer, 1946 in Pouget, 1980). Leur influence diminue au fur et à mesure Que l'on s'éloigne de la mer: l'Atlas saharien en bénéficie cependant davantage que les Hautes Plaines en raison de son altitude plus élevée.

- d'autre part, les précipitations orageuses dues aux perturbations atmosphériques engendrées par les dépressions en provenance des régions sahariennes (Dubief, 1963 in Pouget, 1980) surtout à la fin du printemps et même en période estivale dans l'Atlas saharien notamment.

7-2 LES TEMPERATURES

De même pour les températures, Seltzer (1946) cité par Pouget (1980) note que la température moyenne de la région de Djelfa à cette époque (des année 40) est en moyenne de 13.4 °C tandis que pour la décennie de 1997à 2007 elle est de 19,1 °C ce qui indique que la région était plus froide et il y a eu une augmentation de la température impliquant un changement climatique qui à son tour dû à la croissance démographique et à l'activité anthropiques.

année	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	dec	moyenne
1997	5,4	7,6	8,4	11,1	17,7	23,3	26,3	25,8	19,1	14,5	9,5	6,3	14,6
1998	4,8	6,4	8,8	12,4	15,1	23,2	27,6	28,5	22,0	12,4	9,0	4,0	14,5
1999	4,6	3,8	8,4	13,4	20,4	25,1	26,4	28,4	21,5	17,5	7,5	4,9	15,2
2000	2,2	6,5	10,5	13,3	19,3	22,5	27,4	25,2	20,5	13,2	9,7	6,8	14,8
2001	5,3	5,6	12,7	12,4	16,9	25,3	28,0	26,7	21,6	19,2	8,9	5,3	15,7
2002	4,5	7,2	10,4	12,5	17,6	24,2	25,6	24,5	20,0	15,8	9,9	7,2	15,0
2003	4,3	4,6	9,8	131,0	18,0	24,6	28,4	###	209,0	16,6	9,3	4,6	60,2
2004	5,3	8,0	10,0	11,2	13,2	22,9	26,3	26,7	20,6	17,5	7,8	5,1	14,6
2005	2,5	3,1	10,3	13,6	21,1	23,7	28,9	26,5	20,1	16,3	9,1	4,7	15,0
2006	2,7	4,5	10,5	15,5	19,9	24,5	27,4	26,1	19,5	18,4	10,7	5,9	15,5
2007	6,6	8,3	7,5	12,3	17,4	24,5	27,6	26,9	21,6	15,7	8,6	4,9	15,2
moyenne	4,4	6,0	9,8	23,5	17,9	24,0	27,3	47,9	37,8	16,1	9,1	5,4	19,1

Tableau 6: les températures de la décennie 1997-2007

Source : météo-Djelfa, 2008

7-3 LE VENT : comme agent d'érosion il a un rôle important de façonnement du paysages des ces régions arides.

En hiver les vents dominants sont de directions O – NO.

Les vents du Nord sont généralement secs alors que les vents du Sud amènent les pluies orageuses et le sirocco dont la durée varie de 20 à 30 jours par ans (Météo- Djelfa, 2008).

7-4 NEIGE: le tableau suivant montre le nombre de jours de neige durant l'année 2007.

Mois	jan	fév	mars	avr	mai	juin	jui	aout	sep	oct	nov	dec
Nj de Neige	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tableau 7: le nombre des jours de gel durant l'année 2007

Source : météo-Djelfa, 2008

7-5 LES GELEES : les jours de gelées blanches sont très fréquents en hiver et au printemps dans la quasi-totalité du territoire de la wilaya et varient entre 40 et 60 jours par an (Météo- Djelfa, 2008).

7-6 LA SYNTHÈSE CLIMATIQUE : (indices climatiques)

Pour la classification des bioclimats plusieurs indices sont utilisés en combinant par des formules mathématiques simples deux ou plusieurs paramètres climatiques tel que les températures, les précipitations, ETP..... Parmi ces indices on peut citer :

- **Indice annuel d'aridité de MARTONNE**

$$A=P/(T+10)$$

P = Pluviosité annuelle moyenne

T = Température annuelle moyenne

A	20-30	10-20	7.5-10	5-7.5	<5
Climat	tempéré	Semi-aride	Steppique	Désertique	Hyperaride

Tableau 8: classification des climats suivant l'indice de de Martonne
Source: Ben-Hamida, 2001

Pour la région de Djelfa $A=270.2/(19.1+10)=9.28$ ce qui implique que cette région se place d'après les données de Seltzer dans l'étage semi aride.

- **Diagramme ombrothermique de Gausson**

Pour Gausson un mois est sec lorsque ses précipitations sont inférieure au double des températures enregistrées au cours du même mois. En représentant ça graphiquement nous obtenons la période sèche de l'année incluse entre les deux courbes, celle de température et celle de précipitations (Fig. 12).

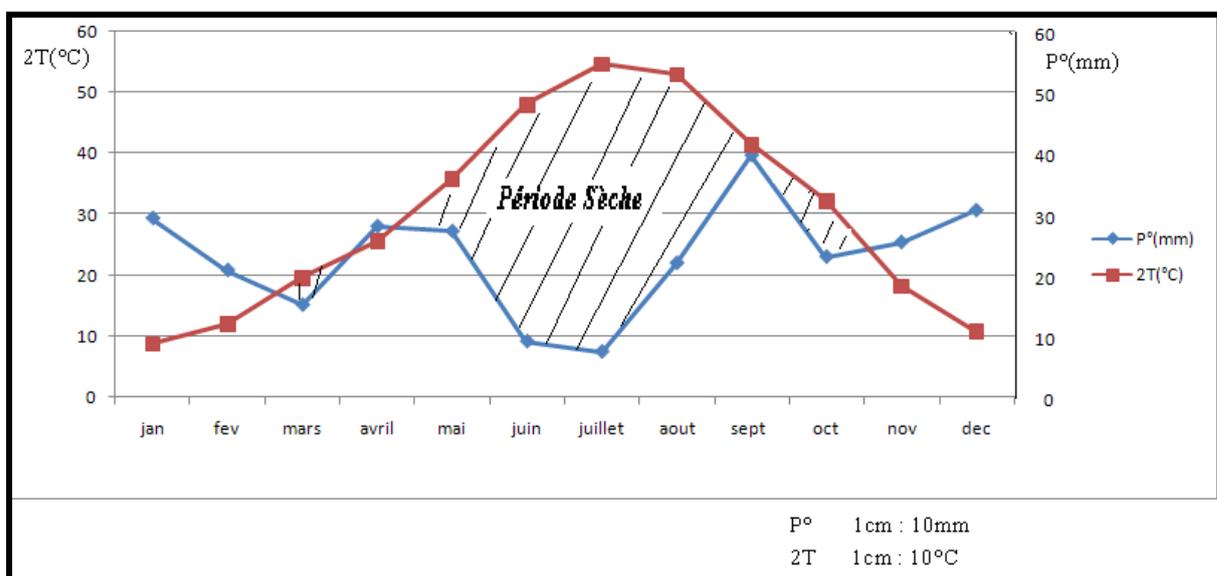


Figure 12: Le diagramme ombrothermique de Gausson pour la période 1997-2007
Source: Météo-Djelfa, 2008

Le diagramme montre que la saison sèche pendant cette dernière décennie est allongée pour couvrir la quasi-totalité de l'année du mois de mars à octobre une période de huit mois environ, ce qui indique que cette saison progresse d'une façon importante dans cette région.

- **Quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q2) (1955)**

$$Q2 = 2000 P / (M2 - m^2)$$

P est exprimé en mm; Tmax et Tmin en degrés Kelvin.

Les valeurs de Q2 sont reportées sur un diagramme pluviométrique avec: m en abscisse et Q2 en ordonnée. Sur ce graphique, EMBERGER Trace les limites des différents étages bioclimatiques.

Calculé par Stewart (1969) cité par Pouget (1980), le $Q2=35.44$ fait appartenir la wilaya à un étage partant de semi aride froid au semi aride frais.

En le combinant avec les températures minimales on obtient la distribution suivante (Tableau8).

Station	Q2	m	Etage bioclimatique
Djelfa	31.2	-1.1	Semi aride inferieur froid
Ain el Gotia	36.5	-0.9	Semi aride moyen froid
Taadmit	24.4	-0.82	Aride supérieur froid
Ain Oussara	24.5	+1.1	Aride moyen frais
Messaad	23.2	+1.3	Aride inferieur frais

Tableau 9: les étages bioclimatiques en fonction de Q2 et m dans la wilaya de Djelfa

Source: DSA-Djelfa, 1987

LA DEUXIEME PARTIE

Les méthodes d'analyse

CHAPITRE 1

Les méthodes d'étude du changement climatique

Dans le but de savoir en premier lieu s'il y a vraiment un changement qui se produit au sein de notre climat local, et afin de le qualifier et le quantifier nous avons partagé cette partie en trois types d'analyse :

Une première analyse concerne les valeurs moyennes de la température et des précipitations pour savoir s'il y a une hausse ou bien une baisse (réchauffement, refroidissement, humidification ou bien une sécheresse) en s'appuyant particulièrement sur les graphes qui donnent une bonne illustration informative.

Une deuxième analyse consacrée à l'étude du régime climatique à travers l'étude des distributions des températures et des précipitations le long de l'année.

En fin et à l'aide des indices climatiques nous pouvons aussi voir la variabilité du type du climat ou bien le changement des facies climatiques et certaines de ses qualités telles que l'aridification, sévérité, humidificationsEtc.

1 L'ANALYSE DE LA TENDANCE GENERALE DU CLIMAT

1-1 L'ANALYSE DES VALEURS MOYENNES

En fonction de la distribution des valeurs au sein d'une série statistique, la moyenne arithmétique peut être d'une grande importance lorsqu'il s'agit d'une comparaison des séries.

1-1-1 La comparaison des moyennes : cette méthode est plus compliquée pour notre cas d'analyse, car il s'agit de comparer plusieurs moyennes entre elles en une seule fois, et ces moyennes correspondent elles même à des séries statistiques indépendantes et différentes, représentant des séries climatiques annuelles soumises à de nombreuses variations à cet effet cette méthode est citée à titre d'indication seulement.

- ***La comparaison d'une moyenne observée m à une valeur théorique v***

D'après Azouzi (2006) et Madeleine (1993) Soit un échantillon dont l'effectif est n

-Si $n > 30$ (assez grand) :

On calcule l'écart réduit ε : donné par la formule $\varepsilon = (m-v)/(S/\sqrt{n})$

Où S : est l'écart type

Puis on cherche dans la table de l'écart réduit la valeur de α pour faire la comparaison et voir si la différence est significative.

-Si $n < 30$ (petit) : dans ce cas, on calcule le t de Student et on le compare avec celui donné par la table de t de Student à $ddl = n-1$

$$t = (m-v)/(S/\sqrt{n})$$

- **La comparaison de deux moyennes m_1 et m_2 de deux échantillons indépendants de tailles n_1 et n_2**

D'après azouzi (2006) et Madeleine (1993), Dans ce cas on teste l'intersection entre leurs intervalles de confiance (IC)

-cas de n_1 et $n_2 > 30$ (grands échantillons).

$$IC_1 = M_1 \pm t_\alpha S_1 / \sqrt{(n_1 - 1)} \quad IC_2 = M_2 \pm t_\alpha S_2 / \sqrt{(n_2 - 1)}$$

Où à 5% $t = 1.96$ et à 1% $t = 2.58$

- cas de n_1 et $n_2 < 30$ (petits échantillons) : les intervalles de confiance gardent leurs formules avec le t de Student se calcule cette fois-ci à partir de la table de Student avec $ddl = n - 1$

Suivant l'intersection on dispose trois cas

1-les intervalles de confiances sont disjointes, ce qui indique qu'il y'a une différence significative entre les deux moyennes

2-il y'a une intersection entre les deux intervalles et les deux moyenne appartiennent à leur partie commune, ceci signifie que la différence n'est pas significative entre les deux moyennes

3-l'intersection de deux intervalle ne renferme pas les moyennes

- cas de n_1 et $n_2 > 30$ (grands échantillons)

$$\varepsilon = (m_2 - m_1) / \sqrt{((s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2))}$$

Au seuil de 5% si

$\varepsilon \geq 1.96$ la différence est significative

$\varepsilon < 1.96$ il n'y'a pas de différence significative

- cas où l'un ou les deux échantillons est petit inférieur à 30 :

Pour ce cas on calcule le **T de Student** par la formule suivante :

$$t = (m_2 - m_1) / \sqrt{((s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2))}$$

Et on cherche le t théorique dans la table de t de Student en prenant

$$ddl = (n_1 + n_2 - 2)$$

En suite on fait la comparaison pour savoir si la différence est significative et à quel degré.

- **La comparaison de plusieurs moyennes observées** : ceci demande des méthodes statistiques et mathématiques très avancées et demande beaucoup de calcul compliqué, ce qui rend son usage très difficile pour notre cas de calcul déjà excessif.

1-2 L'analyse à l'aide des représentations graphiques

Mathématiquement parlant, le graphe est la représentation plane d'un ensemble d'éléments parmi les quels certains couples sont en relation qui se traduit par une ligne joignant les

éléments de ces couples, cette représentation permet donc d'illustrer la relation existante entre certains paramètres en générale au nombre de deux. Et d'y établir un modèle mathématique qui n'est autres que la fonction du graphe, qui aide beaucoup à simplifier l'étude de ces paramètres et d'en prévoir l'évolution future.

Ainsi, il permet de visualiser la hausse ou bien la baisse d'un paramètre étudié, et permet par son allure de montrer si elles sont discrètes ou bien progressives et continue.

En effet il ya plusieurs types de représentation graphique tel que :

- *L'histogramme*
- *Le graphique en bâtons*
- *Les courbes*
- *La représentation en secteur*

Ainsi pour les deux paramètres climatiques les plus importants et générateurs du temps et de climat, qui sont bien sûr la température et la précipitation, des graphes (courbes) dont l'abscisse représente le facteur temps parfois par mois durant une année et parfois au cours des années pour permettre une comparaison multiple

- pour apprécier la hausse ou la baisse ; un graphe dont les moyennes annuelles sont en ordonnées et les années en abscisses, est tracé pour une période de 30 ans correspondants au trois dernières décennies, période pendant la quelle la région a subi une forte surpeuplement et une sédentarisation des la population autrefois nomades et en permanentes déplacements ,tout cela pèse sur le milieu naturel surtout par l'activité industrielle dont l'impact est sur le climat, et cela peut être établi a partir du tableau qui renferme les températures annuelles moyennes et les précipitations annuelles moyenne (données fournies par la météo de Djelfa)

2 L'ETUDE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ANNUELLE

(REGIME CLIMATIQUE)

Cette étude vise l'analyse et l'illustration du changement qui se produit au niveau du rythme annuel du climat, c'est-à-dire le régime selon le quel évoluent les différents paramètres du climat (température, précipitation.....) Au cours de l'année, et ceci nous amène à traiter le régime saisonnier et les changements qui pourraient y être produit, ou autrement dit l'étude d'un éventuel décalage des saisons au cours de l'année, tout cela se fait à l'aide les méthodes suivantes

2-1 Le Test d'homogénéité: test de comparaison des distributions ou des séries statistiques, cette comparaison permet de savoir si la manière des distributions des valeurs ou

de l'effectif par les différentes modalités de la variable étudié est la même pour l'ensemble des séries statistiques. La méthode statistique pour ce fait est la suivant (Azouzi, 2006) :

Si on note par i le nombre des populations visées par l'étude, ce test consiste à opposer une hypothèse nulle suivante:

H_0 : le caractère étudié se distribue exactement de la même façon dans toutes les populations

Par l'hypothèse

alternative H_1

H_1 : il existe au

moins une

population dans la

quelle le caractère

étudié se distribue

différemment.

Ce test nécessite le

prélèvement d'un

échantillon aléatoire

simple, prélevé dans

chacune des I

populations et les I

échantillons doivent être prélevés indépendamment les uns des autres. Ces échantillons sont représentés dans un tableau de contingence dont le type est le

Tableau 10

Dans ce tableau, la quantité n_{ij} figurant à l'intersection de la $i^{\text{ème}}$ ligne et de la $j^{\text{ème}}$ colonne, représente le nombre d'individus de l'échantillon P_i pour les quels le caractère étudié C appartient à la classe C_j .

Le test d'homogénéité se base sur une comparaison entre ces effectifs observés n_{ij} et les effectifs v_{ij} espérés théoriquement sous H_0 . Cette comparaison s'établit par le calcul de la statistique d'ajustement

$$A = \sum_i \sum_j ((n_{ij} - v_{ij})^2 / v_{ij}) = [\sum_i \sum_j (n_{ij}^2 / v_{ij})] - N$$

Sous l'hypothèse H_0 , le caractère (C) a la même distribution dans chacune des populations ; cette distribution théorique sous H_0 se présente par le tableau 11.

Caractère C	C1	C2	...	C _j	total
Populations					
P1	n_{11}	n_{21}	n_{31}		
P2	n_{12}				
·					
·					
P _i				n_{ij}	
total					N

Tableau 10: forme générale d'un tableau de contingence

Source: Azouzi.B, 2006

Classes c_j	C_1 C_2 C_3 C_j
Effectif théorique P_j	P_1 P_2 P_3 P_j

Tableau 11: Tableau d'effectifs théorique

Source: Jean-Pierre bélisle et Jacques Desrosiers ,1983

La meilleure façon d'évaluer la proportion théorique P_j sous H_0 consiste à l'estimer par la division du nombre total d'observations par la classe C_j par le nombre totale d'observations dans les I échantillons N

$$P_j = n_{.j}/N$$

L'effectif v_{ij} espéré théoriquement sous H_0 se déduit ensuite par

$$v_{ij} = n_i \times P_j = n_i \times (n_{.j}/N)$$

On obtient donc globalement la statistique d'ajustement comme suit

$$A = \sum_i \sum_j [(n_{ij} - (n_i \times n_{.j}/N))^2 / (n_i \times n_{.j}/N)]$$

$$= [\sum_i \sum_j (n_{ij}^2 / (n_i \times n_{.j}/N))] - N$$

On peut alors démontrer que sous H_0 , si la taille des échantillons est suffisamment grande (>30) et si tout les effectifs v_{ij} espérés théoriquement sont plus grandes ou égaux à 5, alors la statistique d'justement A obéit a une loi de κ^2 où le nombre de degré de liberté vaut $d.d.l = (I-1)(J-1)$. Puis en se basant sur le tableau de κ^2 et à un niveau de signification donné, on détermine la valeur théorique de A et on fait la comparaison. Si il est inférieur à celui calculé l'hypothèse nulle H_0 est rejetée.

Pour notre cas d'étude de régime climatique en particulier le régime thermique et celui de précipitations, nous allons faire la comparaison entre les régimes correspondant à trente (30) années que nous avons étudié.

Et cela en faisant un tableau de contingence dont les lignes représentent les années et les colonnes représentent les mois de janvier à décembre, et on fait la même procédure expliqué ci-dessus.

2-2 LA COMPARAISON DES REGIMES A L'AIDE DES GRAPHES : à

cet égard la représentation graphique est plus claire et efficace pour faire une telle comparaison. Et pour cela nous pouvons procéder de deux façons :

-soit on trace la courbe d'évolution de la température et de précipitation en fonction des mois pour chaque année prise individuellement, et en fin on fait la comparaison de l'allure des courbes annuelles

-ou bien on regroupe tous ces courbes annuelles en succession sur le même graphe qui comporte les années partagées en mois. Et ainsi deux informations sont à la fois données, une à propos de la hausse ou la baisse du paramètre étudié, et l'autre pour la comparaison des rythmes d'évolution du paramètre étudié au cours de chaque année.

3 L'ETUDE DU CHANGEMENT DU TYPE DU CLIMAT

(ÉTUDE DES INDICES CLIMATIQUES)

L'appréciation du changement climatique peut en grande partie être faite grâce à l'étude des indices climatiques qui en majorité, donnent une idée globale et synoptique sur le type climatique, raison pour laquelle, ces indices se trouvent dans la plupart des études sous le titre de la synthèse climatique.

En effet les indices climatiques ont été créés afin d'établir des critères de comparaison et de classification entre les climats par des séries climatologiques. Cette notion a évolué par la suite, lorsque les indices ont tenté d'inclure d'autres critères tels que, les propriétés des sols et le comportement de la végétation. Il existe deux grands types d'indices climatiques en fonction de leur finalité (Delécolle, 1991 in Guyot, 2001) : les indices climatiques globaux et les indices climatiques de production.

3-1 LES INDICES CLIMATIQUES GLOBAUX : Ces indices fournissent des

variables synthétiques qui combinent généralement des données climatiques moyennes (souvent annuelles) calculées à partir de séries climatologiques. De tels indices ont été utilisés historiquement pour classer les climats en fonction de leur aridité par les hydrologues et les géomorphologues (Lang, de Martonne, Gaussen, Moral) puis par les botanistes (Emberger, Thornthwaite) (Baldy, 1986).

3-1-1 L'indice pluviométrique

Proposé par Angot au début du 20^{ème} siècle, il ne faisait intervenir que les précipitations mensuelles :

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

3-1-2 Le Facteur de pluie

Proposé par Lang en 1920, cet indice est le premier indice combinant pluie et température. Il s'écrit simplement :

$$I_L = P/T$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : température moyenne annuelle (°C).

3-1-3-L'indice d'aridité de de Martonne

Le facteur de pluie de Lang a été modifié par de Martonne en 1930,

Valeur de l'indice	Type de climat
$0 < I_{DM} < 5$	Hyper-aride
$5 < I_{DM} < 10$	Aride
$10 < I_{DM} < 20$	Semi-aride
$20 < I_{DM} < 30$	Semi-humide
$30 < I_{DM} < 55$	humide

Tableau 12: la classification des climats en fonction de l'indice de de Martonne

Source: Guyot, 2001

De manière à éviter d'avoir des valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0°C. Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température (De Martonne, 1926) :

$$I_{DM} = P / (T + 10)$$

Du fait de sa simplicité, cet indice a été très largement utilisé par les géographes. Il a des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et des valeurs d'autant plus faibles que le climat est plus sec. De Martonne a ainsi proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice qui sont données dans le Tableau 12

Cet indice est aussi utilisé à l'échelle mensuelle et dans ce cas, les précipitations prise en compte sont celles du mois considéré multiplié par 12 afin d'aboutir à une valeur comparable à celle de l'indice annuel (Leroux, 2000; Ben Hamida, 2001).

3-1-4- indice pluviométrique annuel

Proposé par Moral en 1964 in George et Vigneau (2001), cet indice est surtout bien adapté pour la classification des climats dans la zone intertropicale :

$$I_M = P / (T^2 - 10T + 200)$$

Pour cet auteur, la limite entre l'humidité et la sécheresse est donnée par la hauteur des précipitations (en mm) fournie par l'expression ci-dessus.

I_M est donc inférieur à 1 pour un climat sec et supérieur à 1 pour un climat humide (Leroux, 2000).

3-1-5-*indice ombrothermique de Gaussen (1952)*

Il est très utilisé depuis très longtemps à cause de sa simplicité et de son efficacité. Pour Gaussen, un mois est sec si le quotient des précipitations mensuelles P en mm par la température moyenne T en °C, est inférieur à 2.

La représentation sur un même graphique des températures moyennes multiplié par deux(2) et des précipitations moyennes mensuelles avec en abscisse les mois, permet d'obtenir les diagrammes ombrothermique qui mettent immédiatement en évidence les périodes sèches et les périodes pluvieuses, comme le montre l'exemple de diagramme ombrothermique de Djelfa pour la dernière décennie 1997-2007(voir la figure12 dans le chapitre précédent).

Les échelles prises en ordonnées sont telles que 1°C correspond à 2 mm de précipitations. On a une période sèche chaque fois que la courbe des températures passe au-dessus de la courbe des précipitations et une période humide dans le cas inverse.

3-1-6-*indice xérothermique de Gaussen*

Il désigne le nombre des jours secs observé en moyenne au cours des mois secs de l'année .les jours secs doivent être non seulement des jours sans précipitations mais leur humidité relative moyenne doit également être inférieur à 40%.si l'humidité relative moyenne quotidienne est comprise entre 40 et 100%les coefficients de pondération donnés par le tableau 13 doivent être utilisés (Guyot, 2001;Leroux, 2000).

Humidité relative	coefficient de pondération
<40%	1.0
40-60%	0.9
60-80%	0.8
80-100%	0.7

Tableau 13: Le coefficient de pondération pour l'indice xérothermique de Gaussen

Source: Guyot, 2001

3-1-7-*Quotient pluviométrique d'Emberger*

Il est destiné à caractériser le climat méditerranéen et ses nuances. En effet, Emberger (1930)cité par Leroux(2000) a remarqué que dans les régions méditerranéennes ,l'amplitude thermique annuelle est un facteur important de la répartition de la végétation. Le paramètre pluviométrique pris en compte est le produit n.P du nombre moyen de jours de précipitations par an par la hauteur moyenne de celles-ci. Pour les températures, il considère la moyenne m

des températures minimales du mois le plus froid et la moyenne M des températures maximales du mois le plus chaud. Le quotient pluviométrique s'exprime ainsi :

$$Q_E = (n.P) / [3.655(M+m)(M-m)]$$

Si l'on ne connaît pas le nombre de jours de précipitations, Emberger a proposé une forme simplifiée :

$$Q'_E = 2P / (M+m)(M-m)$$

L'interprétation du quotient pluviométrique nécessite l'emploi d'un abaque dû à Sauvage (1963) rapporté par Leroux, qui permet de placer une station dans l'une des cinq classes du climat méditerranéen qui ont été définies (Guyot, 2001).

3-1-8-indice d'évaporation de Transeau

Proposé en 1905, il s'écrit comme suit :

$$I_T = P/E \quad \text{avec } E \text{ est l'évaporation d'une nappe d'eau libre (mm).}$$

3-1-9-indice de Meyer (1926)

L'état de sécheresse de l'air est caractérisé par le déficit de saturation et l'indice proposé est le quotient des pluies (mm) par le déficit de saturation de l'air exprimé en mm de mercure.

3-1-10-indice d'humidité de Thornthwaite (1948) (moisture index)

Thornthwaite botaniste et climatologue américain inclut dans son indice d'humidité les besoins en eau de la végétation. L'idée originale consiste à comparer les apports d'eau aux pertes, qui sous un climat donné résultent des phénomènes d'évaporation. Thornthwaite a ainsi été le premier à introduire les notions d'évapotranspiration potentielle ETP et réelle ETR (Guyot, 2001). Pour le calcul de l'indice d'humidité Thornthwaite introduit deux indices : l'indice d'humidité I_h et l'indice d'aridité I_a qui peuvent s'écrire ainsi :

$$I_h = 100(P-ETR)/ETP$$

$$I_a = 100(ETP-ETR)/ETP$$

ETP et ETR sont des valeurs moyennes annuelles qui sont déterminées à partir des formules empiriques, l'indice d'humidité est alors donné par l'expression suivante :

$$I_m = I_h - 0.6 I_a$$

3-2-INDICES CLIMATIQUE DE PRODUCTION

Ces indices sont d'usage agronomique et agro météorologique, car ils sont destinés à permettre une estimation de la production d'un type de culture pour une période et dans une zone donnée (Guyot, 2001). l'exemple le plus simple de ces indices est celui des sommes des températures qui s'appuient sur l'hypothèse de la linéarité de la relation de la vitesse de développement avec la température au-dessus d'un seuil de sensibilité. Et il y'en a d'autre comme l'indice Papadakis(1975), indice héliothermique de Geslin(1947) et autres qui sont destinés à estimer la production à l'échelle mondiale.

CHAPITRE 2

Les méthodes d'étude de l'impact des changements climatiques

Pour bien mettre en évidence l'impact des changements climatiques sur l'écosystème, nous avons opté pour l'étude de l'impact sur l'eau, car cet élément est la source de base et de son abondance ou sa pénurie dépend tout type de vie, raison pour la quelle le désert là où la vie est difficile ou parfois impossible est souvent définie comment étant le lieu sans eau (FAO, 2008; Chehema, 2007).

En fait l'étude de l'impact de l'un ou plusieurs facteurs climatiques sur la réserve en eau dans une région quelconque peut se faire grâce à la méthode statistique qui permet d'étudier l'influence d'un ou de plusieurs facteur sur un autre suivant les démarches suivant (Azouzi, 2006) :

- Nous devons en premier lieu avoir des données mesurables des facteurs dont nous voulons étudier l'impact, en effet ces facteurs peuvent être soit mesurés ou contrôlés c'est-à-dire que nous pouvons leur changer les valeurs à volonté.

Cependant dans notre cas les paramètres sont mesurables, car ils s'agissent de la température de l'air et de la précipitation dont les mesures sont disponibles au niveau des stations météorologiques chargées des relevés climatiques journaliers qui portent sur plusieurs paramètres climatiques.

- En contre partie nous devons disposer des données du facteur qui subit l'influence, et dans ce cas ces données sont seulement observé et mesuré car ils sont sous l'influence d'autres facteurs pour les quels nous voulons étudier l'effet.

Dans notre cas d'étude, ces données correspondent aux hauteurs piézométriques pour la même période que celle des données climatiques. Ces données piézométriques sont disponibles au niveau de l'agence nationale des ressource en eau (ANRH) chargée du suivie et du contrôle de l'eau de point de vue qualité et quantité dans une région donnée.

- ces données climatiques et piézométriques doivent être organisées dans un tableau qui met en évidence les valeurs ou les modalités du facteur étudié ou bien qui influe, confrontés aux valeurs observées du variable influencé qui leur correspondent (Tableau14).

Variable qui influe	Valeur 1 V_1	V_2 V_3	V_n
Variable influence	Valeur 1 V_1	V_2 V_3	V_n

Tableau 14: organisation es données statistiques

Source: Azouzi.B, 2006

Après collecte des données, l'influence peut être découverte par plusieurs types d'analyse statistique dont l'analyse de la variance (ANOVA), et l'analyse de corrélation simple (régression simple entre deux facteurs) ou bien multiple (entre plusieurs facteurs).

1- ANALYSE DE LA VARIANCE (ANOVA)

1-1-ANOVA A UN FACTEUR

Il s'agit ici de l'étude de l'influence d'un seul facteur sur un autre, cette influence est étudiée à travers plusieurs échantillons de taille (n) qui sont considérés comme des répétitions, améliorant la fiabilité de l'étude. Chaque modalité du facteur est donc appliquée à n échantillon, c'est-à-dire répété (n) fois.

Et selon l'homogénéité des échantillons et la possibilité d'existence d'autres paramètres à contrôler, on distingue plusieurs dispositifs d'ANOVA : en bloc, en carré latin ou bien en randomisation totale lorsqu'il y a les modalités du facteur étudié sont aléatoirement réparties.

1-1-1-Dispositif en randomisation totale : C'est le cas où la population de laquelle sont issus les échantillons, soit parfaitement homogène. Ainsi le tableau statistique qui comporte les données prend la forme suivante

(Azouzi ,2006):(tableau 15)

Dans ce tableau de contingence les valeurs ou bien les modalités du facteur qui influe (dans notre cas la température ou la précipitation) sont dans la première ligne, et les échantillons ou bien les répétitions sont dans la première colonne, et dans les intersections se trouvent les valeurs observées du variable influencé correspondant ainsi chacune à un couple Valeur /échantillon.

Facteur qui influe	V1	V2	V3	V _j	v _j	
Echantillons (répétitions)								
Repetition1	V11							
Repetition2	Valeurs du facteur influencé							
·	v _{ij}							
·								
Répétition i								
·								
·								
Les moyenne par colonne	M1	M2	M3	M _j	M _J	Moyenne générale MG

Tableau 15: tableau des données pour l'ANOVA à un facteur, dispositif complètement randomisé

Source: Azouzi, B, 2006

Après avoir établi ce tableau il y a une démarche à suivre pour étudier l'influence à un degré de signification donné (Azouzi, 2006) :

1-en premier lieu on calcule les moyennes par colonnes et la moyenne générale

2- calcul des sommes des carrés des écarts SCE qui sont :

- La somme des carrés des écarts factorielle pour la variable qui influe SCE_V : C'est la somme des carrés des écarts entre les moyennes par colonne ou aussi dites marginales et la moyenne générale

$$SCE_V = \sum_j (M_j - MG)^2$$

- La somme des carrés des écarts totale SCE_T : est la somme des carrés des écarts entre toutes les valeurs que prend la variable influencée et la moyenne générale

$$SCE_T = \sum_{ij} (V_{ij} - MG)^2$$

$$\text{Et aussi la relation : } SCE_T = SCE_V + SCE_r$$

- La somme des carrés des écarts résiduelles SCE_r : c'est la variation ou les écarts dus aux répétitions, elle est égale à la différence entre la somme des carrés des écarts totale et celle factorielle

$$SCE_r = SCE_T - SCE_V$$

3-calcul des carrés moyens CM :

- Carré moyen factoriel CM_V :

$$CM_V = SCE_V / ddl_V$$

ddl : c'est le degré de liberté pour le facteur influant, il est égal au nombre des traitements ou valeur ou bien les modalités de ce facteur (J) diminué de un (01)

$$ddl_V = J - 1$$

- Carré moyen résiduelle CM_r :

$$CM_r = SCE_r / ddl_r$$

$$\text{Où } ddl_r = I - J$$

I : nombre des échantillons ou répétitions

J : nombre des traitements du facteur

4-calcul de F observé :

Pour ce dispositif un seul F observé factoriel (F_V) est calculé, car on a un seul facteur qui influence les résultats.

$$F_V = CM_V / CM_r$$

5-déduction du F théorique F_α : Ce F_α théorique ou appelé aussi valeur critique de Fischer-Snedecore est déduit à partir d'un tableau établi par Fischer et cela en choisissant le degré de

signification α qui est le plus souvent 0.05 et par intersection entre le **ddl**_v factoriel et le **ddl**_r résiduel dans le tableau de Fischer- Snedecore nous obtenons la valeur de **F_α**

6- la comparaison entre **F** observé et le **F** théorique **F_α** :

- **Si $F \geq F_{\alpha}$ implique** que l'hypothèse nulle H_0 est rejetée, et cela indique qu'il existe une différence significative entre les différents traitements du facteur (influencé), ce qui signifie qu'à un degré de signification α ce facteur dont on étudie l'influence influe sur le paramètre étudié et ensuite on va chercher le traitement le plus significatif et ceci par la méthode de la comparaison des moyennes multiple CMM.
- **Si $F < F_{\alpha}$ implique** que l'hypothèse nulle est vraie et retenue et par conséquent il n'y a pas des différences significatives entre les traitements c'est-à-dire ce facteur n'a aucune influence sur le paramètre étudié.

En fin et dans le but d'organiser cette analyse on regroupe tous ces calculs dans un tableau dit le tableau d'ANOVA, qui s'établit comme suit :(tableau 16)

Source de la variation	ddl	SCE	CM	F	F _α	P	Ecart type ET	CV
Variation factorielle	J-1	SCE _v	CM _v	F _v				
Variation résiduelle	N-J	SCE _r	CM _r					
Variation totale	N-1	SCE _T	CM _T					

Tableau 16: tableau d'ANOVA à un facteur, dispositif complètement randomisé

Source: Azouzi. B, 2006

CV : coefficient de variation qui égale à $CV = (\sqrt{CM_r/MG}) 100\%$

$ET = \sqrt{CM_r}$

En fait, pour notre étude nous allons utiliser cet ANOVA à un facteur en dispositif complètement randomisé, car nous avons les deux facteurs température et précipitation qui influent différemment (effet antagoniste) sur la hauteur piézométrique, qui à son tour, donne une idée sur la réserve en eau.

On dispose, à cet effet, de 12 relevés piézométrique pour 5 échantillons qui représente des répétitions pour l'analyse de l'ANOVA, on va chercher les données climatiques qui leur correspondent en faisant la moyenne des données du quatre mois ou du semestre qui précède chaque relevé piézométrique, une période qui correspond à l'alimentation de la nappe par les

eau de pluie et en contrepartie son assèchement par l'évapotranspiration dont l'agent principale est la température .

2 L'ETUDE DE LA CORRELATION

L'étude d'un impact ou d'influence des facteurs climatiques sur la réserve en eau peut être aussi testé à travers l'étude de la corrélation entre l'évolution de chacun des facteurs climatiques température et précipitations prise individuellement d'une part et la fluctuation de la réserve en eau représentée par la hauteur piézométrique d'autre part .

La corrélation est évaluée à travers le coefficient de corrélation de Pearson noté (r) dont la formule est (Azouzi, 2006 ; Madeleine, 1993):

$$r = \text{Cor}(x,y) / \sqrt{(\text{var}(x) \cdot \text{var}(y))} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

$$r = \text{Cor}(x,y) / \sigma_x \cdot \sigma_y$$

x et y : les deux variables entre les quelle on veut estimer la corrélation

Ce coefficient de corrélation est un terme sans unité qui varie de -1 à +1 et parfois exprimé en pourcentage. Lorsqu'il est négatif, la corrélation entre les deux variables est négative suivant une droite décroissante. Tandis que pour une valeur positive de **r** la corrélation est positive suivant une droite croissante.

Parfois il est commode de calculer la valeur de r^2 dont les valeurs sont positives [0.1] et cette fois-ci il est appelé coefficient de détermination.

Cependant le coefficient de corrélation à lui seul n'est pas suffisamment informatif et peut parfois être insuffisant pour évaluer la corrélation. Qui n'indique pas forcément la causalité même qu'il soit bonne.

A cet effet, il est préférable de faire toujours le teste de signification de corrélation qui consiste à vérifier l'hypothèse nulle : $r=0$

Ce teste se fait par deux méthodes (Azouzi, 2006 ; Madeleine, 1993; Bernard, 1972) :

*t-test : on calcule le t de Student et on le compare avec le t_α lu a la table de Student au seuil de α et à ddl =n-2.

$$t = r \cdot (\sqrt{n-2}) / \sqrt{(1-r^2)}$$

Si $t \geq t_\alpha$ H_0 est rejetée et au seuil de signification α le coefficient de corrélation r est significatif c'est-à-dire qu'il ya une corrélation entre les deux variables.

*utilisation de la table de coefficient de corrélation : ces tables sont établies à laide de la formule précédente de t de Student. On peut directement y lire le r_α théorique :

Si $r \geq r_\alpha$ t_α H_0 est rejetée et au seuil de signification α le coefficient de corrélation r est significatif c'est-à-dire qu'il ya une corrélation entre les deux variables.

3 L'ETUDE DE L'IMPACT A L'AIDES DE RESENTATION

GRAPHIQUE

En faisant confronter les courbes d'évolution de chacun des facteurs climatique avec celle de la hauteur piézométrique nous pouvons avoir une idée sur le type de relation entre ces paramètres, et ce moyen est très importante pour s'assurer des résultats fournis par les méthodes précédentes car elle met en évidence le résultat et permet de faire une comparaison concrète à l'œil nue, suggérant le type de corrélation entre les facteurs étudiés.

En fait, les deux logiciel informatique *EXCEL* et *STATISTICA* nous ont permis, d'appliquer toutes ces méthodes avec une extrême précision et une fiabilité d'analyse .

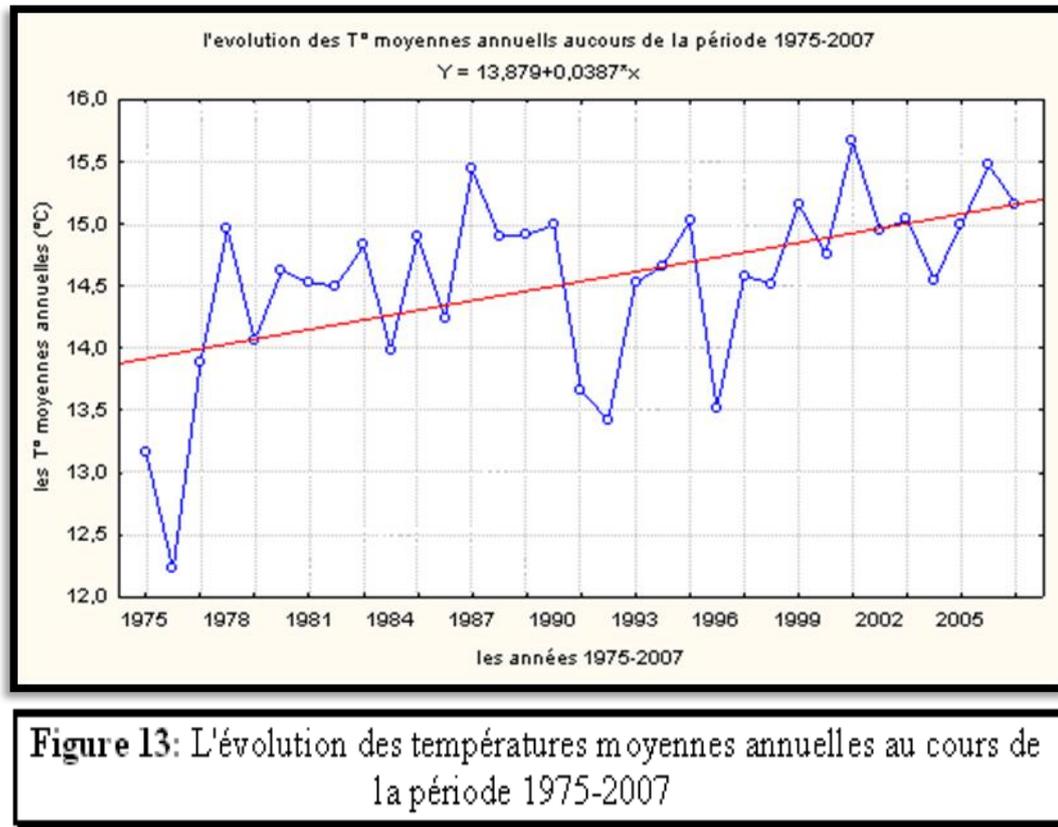
LA TROISIEME PARTIE
Résultats et discussion

CHAPITRE 1

Les changements climatiques à Djelfa

1 L'EVOLUTION DES MOYENNES AU COURS DES CES DERNIERES TRENTE ANNEES

1-1 LES MOYENNES ANNUELLES DE LA TEMPERATURE AU COURS DE LA PERIODE 1975-2007



Cette courbe (Fig. 13) montre l'évolution des moyennes annuelles de la température au cours de ces trois dernières décennies, c'est-à-dire la moyenne pour chaque année de la période 1975 à 2007.

L'allure générale de ce graphique montre qu'il y a une tendance générale vers une augmentation de la moyenne annuelle de la température et celle-ci peut être mise en évidence par la ligne d'ajustement en rouge dans le graphe.

Cette ligne rouge peut aussi nous permettre de quantifier cette hausse de la température moyenne annuelle.

En effet la fonction d'une droite est sous la forme de :

$$Y = aX + b$$

Où (a) est la tangente de cette droite, et cette tangente représente le quotient des coordonnées par les abscisses autrement dit le quotient des Y par X

$$a = Y/X$$

Donc $Y = a \times X$

De ce fait nous allons se servir de ces propriétés mathématiques pour déterminer la hausse observée de la température.

La fonction de droite d'ajustement en rouge dans le graphe est donnée comme suit :

$$Y = 0.0387 \times X + 13.879$$

C'est-à-dire $a = 0.0387$

Y : c'est la hausse de la température

X : c'est la période en question c'est dire $x = 2007 - 1975 = 32$ ans

Donc $Y = a \times X = 0.0387 \times 32 = 1.2384 \text{ }^\circ\text{C}$

L'augmentation de la température annuelle moyenne pendant la période 1975 -2007 est d'environ $1.2384 \text{ }^\circ\text{C}$

En outre, nous remarquons à travers cette courbe que les fluctuations interannuelles tendent à diminuer au fur et mesure de l'augmentation de la température, une donnée qui renforce le résultat précédente et indique par conséquent que le climat subit un réchauffement progressif permanent.

Pour bien s'assurer de cette conclusion au quelle on a aboutit à partir du graphe précédent et que le réchauffent climatique est globale et concerne tout le système thermique du climat et non seulement due à une augmentation des températures maximales ou minimales ou bien les deux à la fois, nous devons aussi analyser de la même façon et au cours de la même période les températures maximales et minimales.

Et ainsi le changement dont on assiste sera beaucoup plus mis en évidence, par une possibilité d'explication de sa nature et sa qualité.

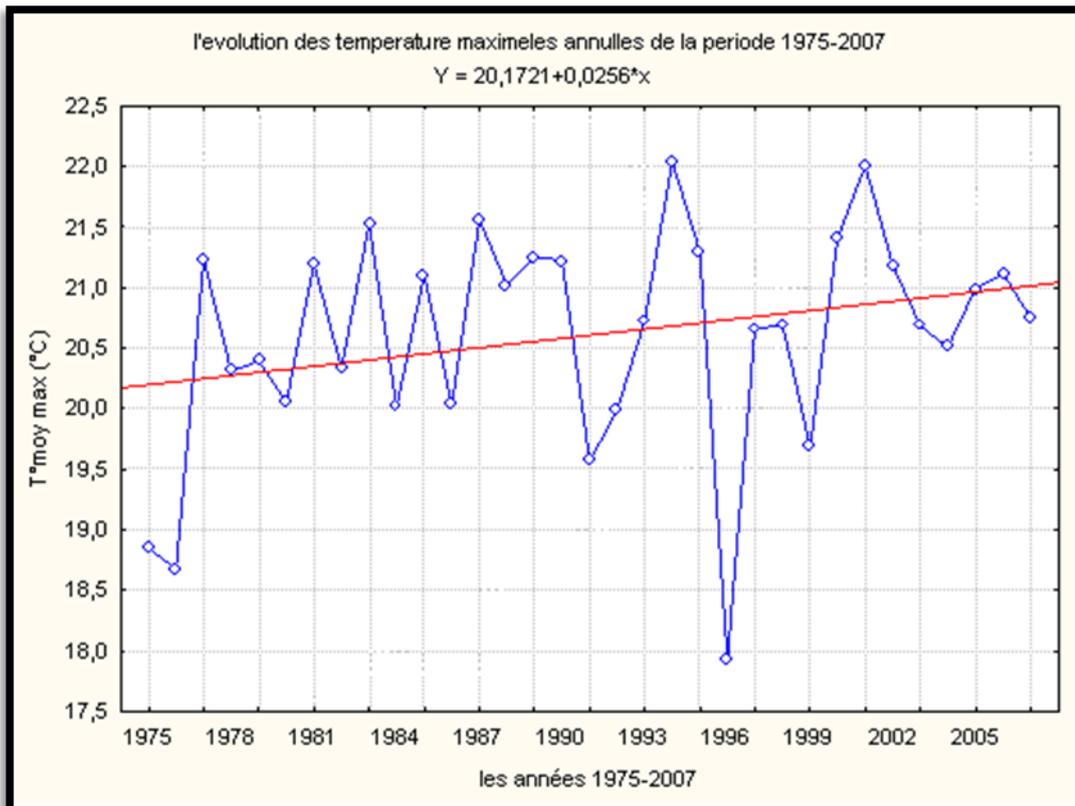


Figure 14: L'évolution des températures annuelles maximales au cours de la période 1975-2007

Cette courbe de l'évolution des températures annuelles maximales (Fig. 14) durant ces trois décennies montre :

En première vue que l'augmentation de la valeur générale existe mais il s'agit d'une légère hausse par rapport à celle de la température moyenne. Ceci peut aussi être mis en évidence à travers la tangente de sa droite d'ajustement en rouge qui est évidemment inférieure à celle précédente et donc moins d'augmentation par rapport à la précédente.

En effet cette augmentation peut être calculée de la même façon :

La fonction de la droite est : $Y = 0,0256 X + 20,1721$

$$a = y/x$$

$$y = a * x = 0,0256 * 32 = \mathbf{0,8192 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

En contrepartie des températures moyennes les températures maximale n'ont augmenté que par environ 0.8192 °C, cela indique qu'elles ont subi moins de variations

En deuxième lieu, on constate que les variations interannuelles des températures maximales sont accrues durant la dernière décennie surtout entre 1990-2002 pour qu'il s'atténuent ensuite et deviennent moins contrastées qu'avant la décennie.

Ces contrastes ont un effet important sur le réchauffement, car elles jouent un rôle négatif contre une augmentation progressive et excessive de la température annuelle moyenne, autrement dite le réchauffement aurait pu être plus grande à ce que nous assistons et la hausse des températures serait plus grande de ce que nous avons trouvé réellement (1.2384 °C).

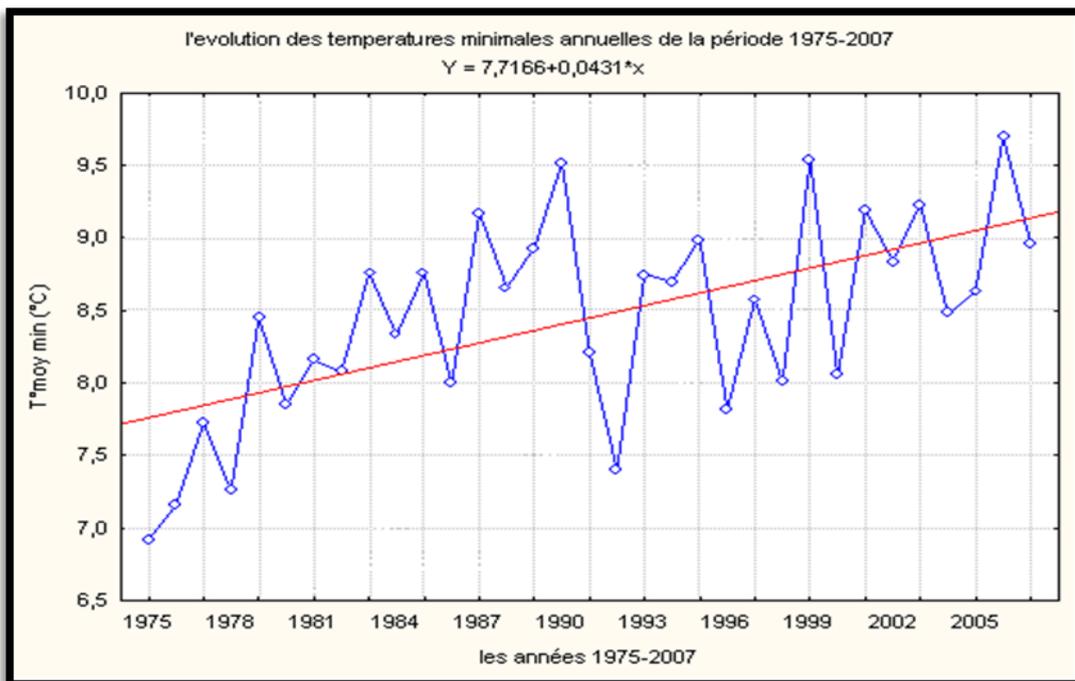


Figure 15: L'évolution des températures annuelles minimales au cours de la période 1975-2007

Tandis que les températures max ont montré une légère augmentation, la courbe des températures minimales (Fig. 15) montre une augmentation accrue pendant cette période de 1975-2007, comme l'indique clairement la représentation de la droite d'ajustement en rouge dans le graphique. Dont la tangente est la plus grande par rapport aux deux précédentes,

En effet la fonction de la droite est $Y = 0.0431 X + 7.7166$

$\text{tg}(\alpha) = a = 0.0431$

Et donc la valeur de l'augmentation moyenne des températures minimales est :

$Y = 0.0431 \times 32 = 1.3792 \text{ °C}$

Cette valeur est évidemment supérieure aux deux autres, ce qui indique sa grande part d'importance dans ce réchauffement global, dans ce cas et au contraire des températures maximales l'effet est positif, c'est-à-dire qu'il contribue dans le réchauffement.

En outre la grande augmentation de la courbe présente une certaine régularité indiquant le faible contraste interannuel sauf pour les années 1990-1993 aux quelles correspond une chute d'environ 2 °c.

En générale le contraste ou l'amplitude interannuel ne dépasse guère 1 °c.

A ce point nous vérifions que outre l'augmentation générale et de grande valeur, cette faible fluctuation ressemble parfaitement à celle de la première courbe des températures moyennes, ce qui nous amène à déduire une éventuelle corrélation entre les deux courbes et que le réchauffement climatique observé est beaucoup plus attribué à l'augmentation des valeurs des températures minimales (confirmé par la forte ressemblance entre les deux courbes Fig. 13 et Fig. 15).

Le fait que les trois températures (moyennes, minimales et maximales) croissent, confirme que le réchauffement climatique est global et concerne tous les paramètres thermiques du climat.

En conclusion nous pouvons dire que le climat de la région de Djelfa a subi durant ces trois dernières décennies un réchauffement global permanent et progressif qui s'observe par une augmentation générale des trois valeurs de la température (moyenne, maximale et minimale). Ce réchauffement est à notre avis dû beaucoup plus à l'augmentation des valeurs minimales de la température, raison pour la quelle nous assistons à un climat de moins en moins froid, et ceci est prouvé par la réalité vécue de la région qui fut autrefois caractérisé par un climat très froid. Donc nous assistons ainsi à une tendance vers un climat sans froid ou bien tiède.

Il est à noter aussi que si les valeurs maximales n'avaient pas de tels contrastes le réchauffement aurait pu être plus important que la situation qu'on vient de montrer.

1-2-LES MOYENNES ANNUELLES DE LA PRECIPITATION AU COURS DE LA PERIODE 1975-2007

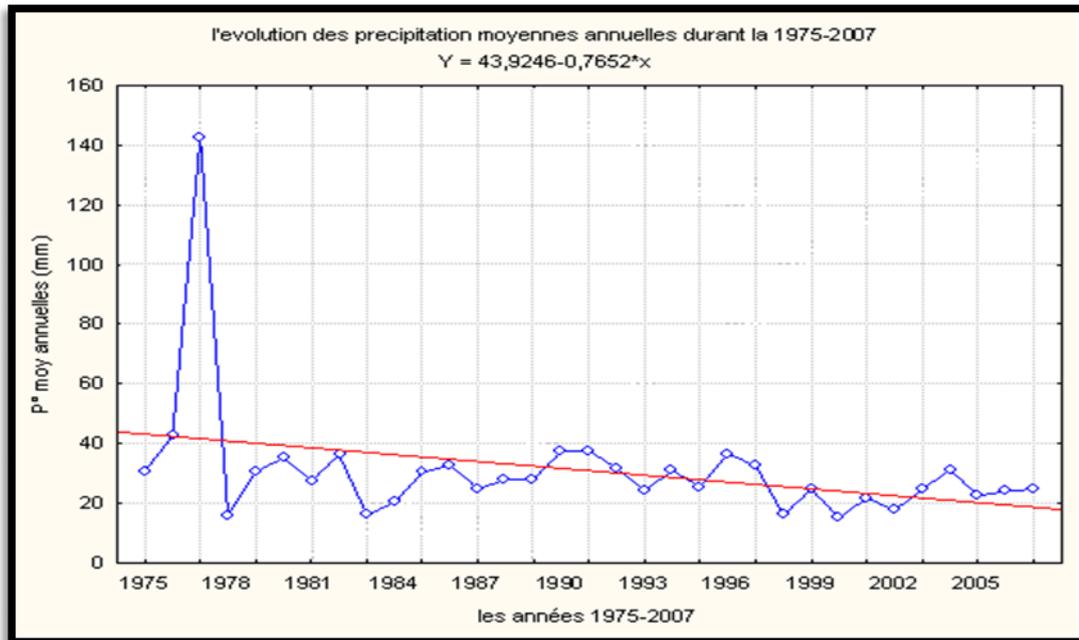


Figure 16: L'évolution des précipitations moyennes annuelles au cours de la période 1975-2007

Contrairement aux températures, la courbe de l'évolution des moyennes annuelles des précipitations (Fig. 16) montre une diminution progressive surtout après la pluviosité exceptionnelle de l'année 1977 qui a été de 142 mm et qui a chuté par la suite à moins de 20 mm (Météo-Djelfa, 2008).

La période d'après, c'est-à-dire de 1978 à 2007 peut être partagée en fonction des précipitations moyennes en deux :

**une période de 20ans qui se caractérise par des précipitations oscillantes de 20 mm à 40 mm c'est la période allant 1978 à 1998

** une période de précipitations qui ne dépassent guère les 30 mm et peut descendre au-dessous des 20 mm, et elle correspond à la décennie de 1998 à 2007.

Les précipitations dans ces périodes consécutives montrent cependant une diminution régulière et continue comme la montre la droite d'ajustement rouge dans la figure, dont la fonction est :

$$Y = - 0.7652 X + 43.9246$$

La première remarque tirée de cette fonction est la tangente qui est très grande

$$a = \text{tg}(\alpha) = 0.7652$$

Ce qui indique que la pente de la droite est grande et le graphe ne la pas montré par défaut de la grande pas d'échelle prise en ordonnées et qui est égale à 20mm/cm

On déduit donc en premier lieu que la baisse des précipitations est très importante et grave, puisqu'elle ressemble à un fort déclin.

En deuxième lieu on peut déduire la valeur de cette diminution par le simple calcul suivant :

$$Y = x \operatorname{tg}(\alpha) = 32 \times 0.7652 = 24,4864 \text{mm}$$

Cette baisse de précipitations durant ces trois décennies est d'environ 24.4864mm qui une valeur très grande. Ce qui signifie que les précipitations ont beaucoup diminué et le climat s'assèche de plus en plus d'une façon très grave et alarmante, en particulier dans tel climat déjà semi-aride et fréquenté par les épisodes de sécheresse et dans tel milieu fragile et sensible. En outre une représentation graphique de l'évolution des nombres des jours de pluie par année durant cette période (Fig. 17) pourrait nous être utile pour comprendre et expliquer dans quelle façon et en quelle qualité cette diminution des précipitations est aggravée.

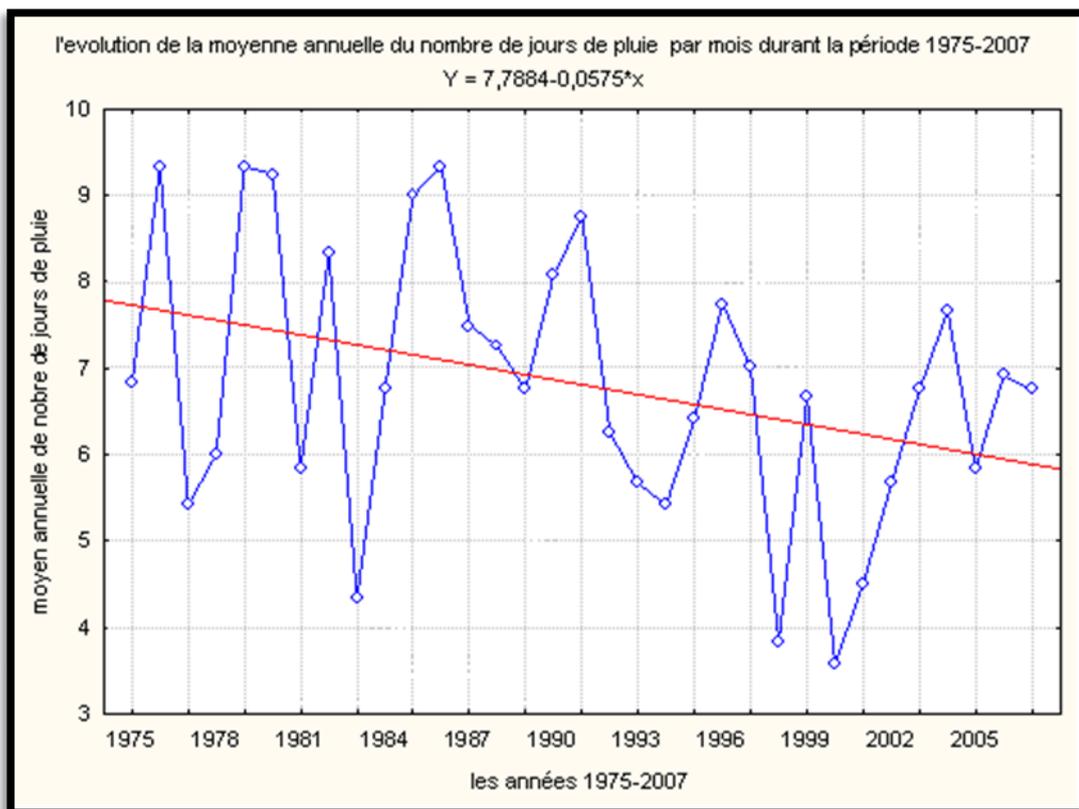


Figure 17: L'évolution de la moyenne annuelle du nombre des jours de pluie au cours de la période 1975-2007

Durant cette période, le nombre de jours de pluie par mois a diminué, mais cette diminution peut-elle être à l'origine de la diminution de la quantité des précipitations ?

La fonction de droite de diminution est $Y = -0.0575 X + 7.7884$

Sa tangente de 0.0575 est beaucoup plus faible que celle des précipitations ce qui fait que la diminution de nombre de jours de pluie est loin d'être la seule et l'unique cause.

La diminution de nombre de jours de pluie peut être évaluée comme suivant :

$$y = 32 \times 0.0575 = 1.84 \text{ jours}$$

Elle est donc d'environ 2 jours de pluie diminués par mois ce qui signifie un allongement de la saison sèche au détriment de celle pluvieuse, qui peut causer en partie la baisse de la hauteur annuelle moyenne des précipitations. Mais la grande part de cette baisse est due à la diminution de la quantité de pluie tombée.

2 ETUDE DU REGIME OU DE LA VARIABILITE ANNUELLE DU CLIMAT AU COURS DE LA PERIODE 1975-2007

2-1 TEST D'HOMOGENEITE DE REPARTITION DES VALEURS DE LA TEMPERATURE ET DES PRECIPITATIONS DURANT L'ANNEE

Ce test consiste à calculer le χ^2 et le comparer avec celui tiré de la table pour déduire s'il y'a une différence significative ou non.

Ceci se fait en calculant les valeurs théoriques et en faisant leur soustraction des valeurs observées. En appliquant cette procédure par le logiciel Statistica on obtient les résultats suivants :

2-1-1 Les températures

Le tableau 17 portant les résultats de test d'homogénéité, montre que le χ^2 observé est très petit et moins significatif

D'après ce test il n'y'a pas de différence

significatives entre les différentes répartitions annuelles des températures au cours de la période 1975-2007.

	TESTE D'HOMOGENEITE		
	Colon. 1	Colon. 2	Totaux Bruts
Effectifs, ligne 1	12	12	24
%age du total	25,000%	25,000%	50,000%
Effectifs, ligne 2	12	12	24
%age du total	25,000%	25,000%	50,000%
Totaux colonne	24	24	48
%age du total	50,000%	50,000%	
Chi-deux (df=1)	0,00	p=1,0000	
V-deux (df=1)	0,00	p=1,0000	
Chi ² corrigé de Yates	,08	p=,7728	
Phi-deux	0,00000		
p exact Fisher, unilatéral		p=,6134	
bilatéral		p=1,0000	
Chi ² de McNemar (A/D)	,04	p=,8383	
Chi-deux (B/C)	,04	p=,8383	

Tableau 17: résultats du test d'homogénéité pour les températures

Cela nous permet de dire que le régime de la variabilité (périodicité) annuelle de la température n'a pas subi des changements au cours de cette période, c'est-à-dire la façon suivant la quelle la température varie au cours de l'année n'a pas changé.

Comme nous pouvons aussi le confirmer en traçant les courbes de l'évolution de la température au cours de l'année pour la période en question, sur le même graphe afin de pouvoir découvrir la ressemblance entre elles. (Fig.18)

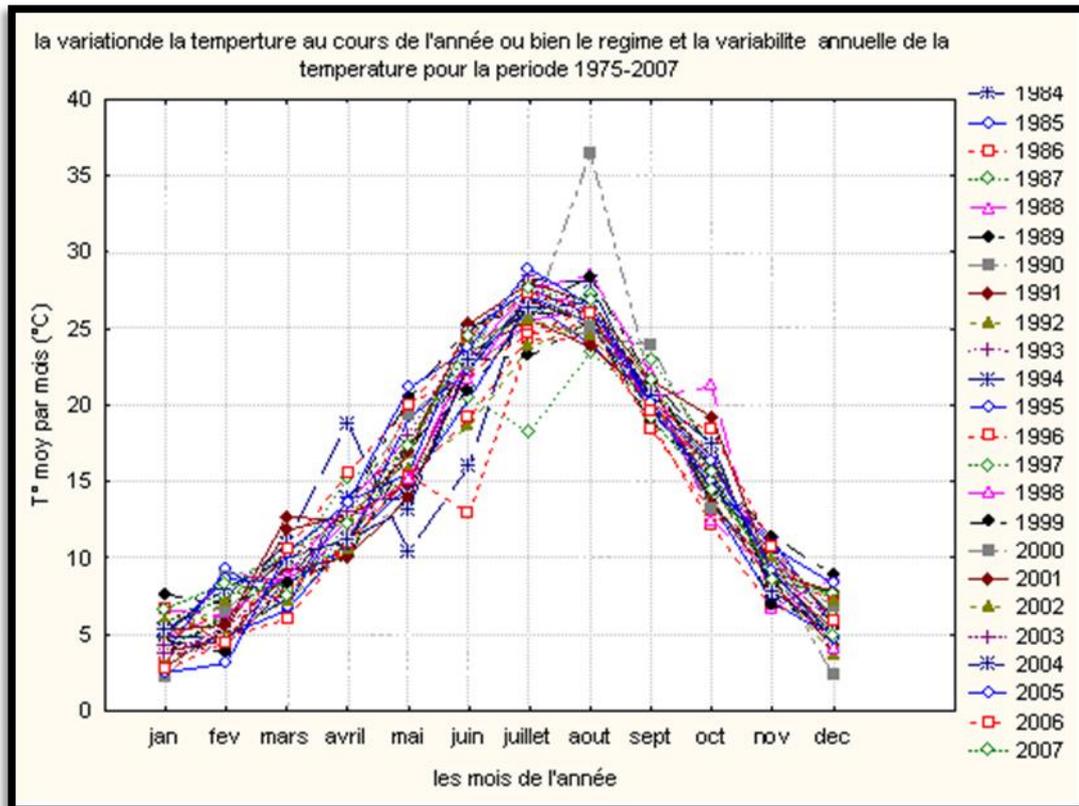


Figure 18: les courbes de l'évolution de la température moyenne au cours de l'année pour la période 1975-2007

A vrai dire, ce graphe est une preuve de la stabilité du régime thermique annuelle. Car il montre la forte ressemblance entre les façons suivant les quelles la température varie au cours de l'année. Ceci nous permet de confirmer la stabilité du régime thermique annuel durant ces trois dernières décennies.

2-1-2 Les précipitations

Le test d'homogénéité des répartitions annuelles des précipitations pour les années de 1975 à 2007 donne les résultats suivant : (tableau 18)

Même pour les précipitations le test d'homogénéité indique un χ^2 très faible et moins significatif, ce qui signifie que la répartition annuelle des précipitations durant ces trois décennies n'a pas changé d'allure. Le régime annuel des précipitations est donc aussi constant et présente une certaine stabilité. De la même

façon, pour s'assurer on fait la représentation graphique des régimes pluviaux annuels des années 1975 à 2007. (Fig. 19)

	teste d'homogeneité P°		
	Colon. 1	Colon. 2	Totaux Bruts
Effectifs, ligne 1	12	12	24
%age du total	25,000%	25,000%	50,000%
Effectifs, ligne 2	12	12	24
%age du total	25,000%	25,000%	50,000%
Totaux colonne	24	24	48
%age du total	50,000%	50,000%	
Chi-deux (dl=1)	0,00	p=1,0000	
V-deux (dl=1)	0,00	p=1,0000	
Chi ² corrigé de Yates	,08	p=,7728	
Phi-deux	0,00000		
p exact Fisher, unilatéral		p=,6134	
bilatéral		p=1,0000	
Chi ² de McNemar (A/D)	,04	p=,8383	
Chi-deux (B/C)	,04	p=,8383	

Tableau 18: résultats du test d'homogénéité pour les précipitations

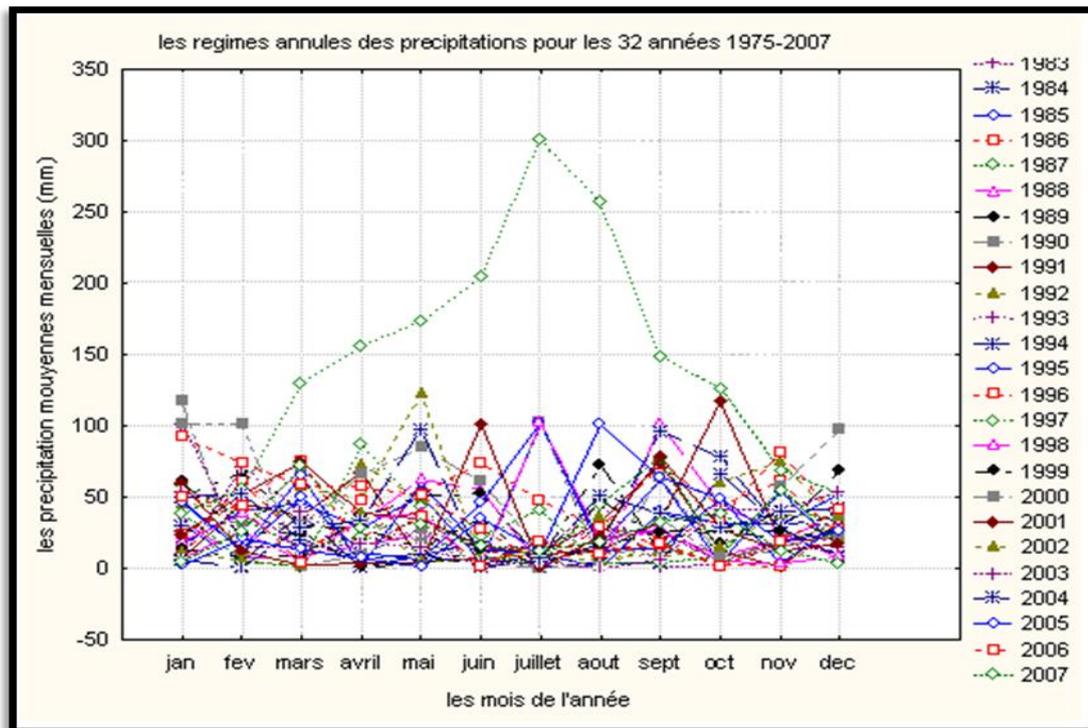


Figure 19: les courbes de l'évolution des précipitations moyennes au cours de l'année pour la période 1975-2007

En effet la courbe montre une extrême ressemblance entre les régimes annuels de la précipitation pour la quasi-totalité des années de la période en question mise à part l'année

1977 qui une année exceptionnelle, vue sa pluviosité très grande et dont le maximum est atteint à l'été au mois de juillet (Météo-Djelfa, 2008) comme le montre la figure 19.

3 ANALYSE DU FACIES CLIMATIQUES ET LE TYPE DU CLIMAT (INDICES CLIMATIQUES)

Les indices climatiques donnent une idée générale sur un climat en définissant son aspect et ses caractéristiques globales telles que l'aridité, le froid, la sécheresse, humidité et suivant ces indices on peut faire une classification des climats et des bioclimats comme les climats humide, subhumide, arides, semi-aride....etc.

Parmi ces indices nous avons choisi trois les plus souvent utilisés.

3-1 L'indice d'aridité de de Martonne

$$I_{DM} = P / (T + 10)$$

Dans notre cas nous avons choisi de faire le calcul pour chacune des trois décennies étudiées et en se basant sur le tableau de classification des climats de de Martonne (tableau 12) nous avons obtenu les résultats suivante :

La décennie	La Première	La Deuxième	La troisième
I_{DM}	1.6099	1.2526	0.9287
Type de climat	Hyper-aride	Hyper-aride	Hyper-aride

Tableau 19: variation de l'indice d'aridité de de Martonne durant les trois décennies 1975-2007

Les données de ce tableau montrent qu'il y a longtemps que le climat de la région est devenu hyperaride malgré que les anciennes études le classe dans le type de semi-aride.

En deuxième lieu nous remarquons que cet indice d'aridité de de Martonne ne cesse de diminuer jusqu'à sa chute au-dessous de la valeur 1 au cours de la dernière décennie, ce qui signifie qu'une aridité accrue est venu de dominer le climat steppique et cela se répercute en premier lieu sur les ressource naturelles et par conséquent sur la vie dans ces régions.

3-2 L'indice ombrothermique de Gausсен

Cet indice donne une idée claire sur la longueur des périodes sèches et humides au cours de l'année. En traçant le diagramme ombrothermique de Gausсен nous avons obtenu :

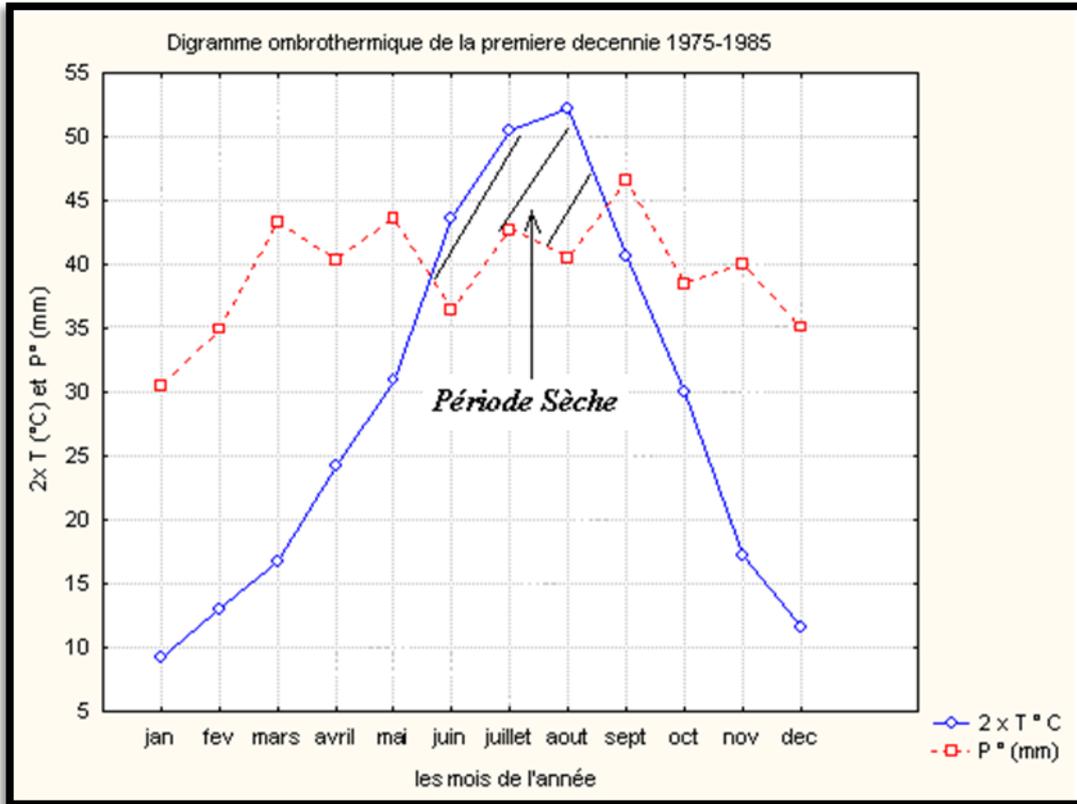


Figure 20: Le diagramme ombrothermique pour la première décennie 1975-1985

Pour la première décennie de 1975-1985 la période sèche était très réduite et ne dure à peine que trois mois de juin, juillet et Aout (Fig. 20) et ceci semble être tributaire des précipitations qui ont été abondantes à l'époque et aussi de fait de leur stabilité d'une année à l'autre et cela paraît clairement sur la courbe des précipitations qui gardait en majorité son aspect horizontal.

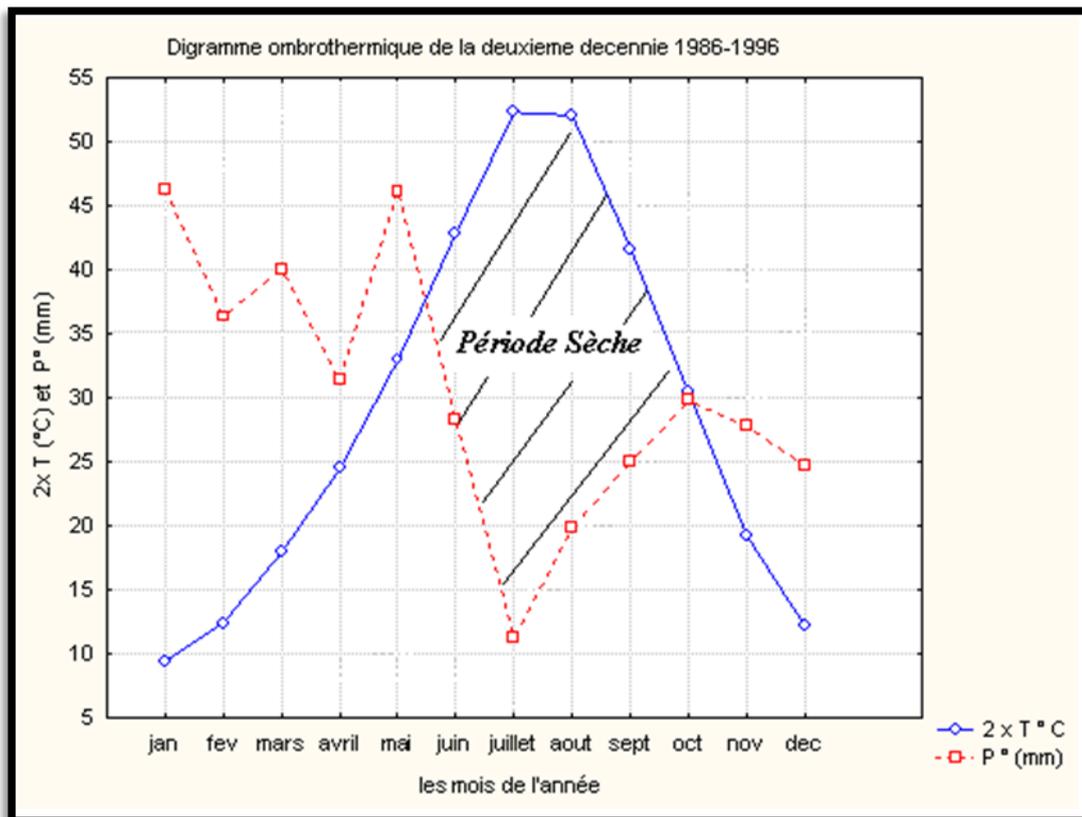


Figure 21: Le diagramme ombrothermique pour la deuxième décennie 1986-1996

Durant la deuxième décennie on constate que par suite d'une diminution des précipitations la période sèche s'est allongée beaucoup pour devenir étalée sur toute la période de mi-mai à octobre c'est une période d'environ quatre mois et demi (Fig. 21) et par conséquent il semble être que la saison d'été s'allongeait au détriment de l'automne pour que ce dernier n'aurait lieu qu'en fin d'octobre et de cette façon il se réduit de plus en plus pour en fin disparaître et il n'y aurait par conséquent que deux saisons dans l'année, l'hiver et l'été ou autrement dit une saison pluvieuse et autre sèche.

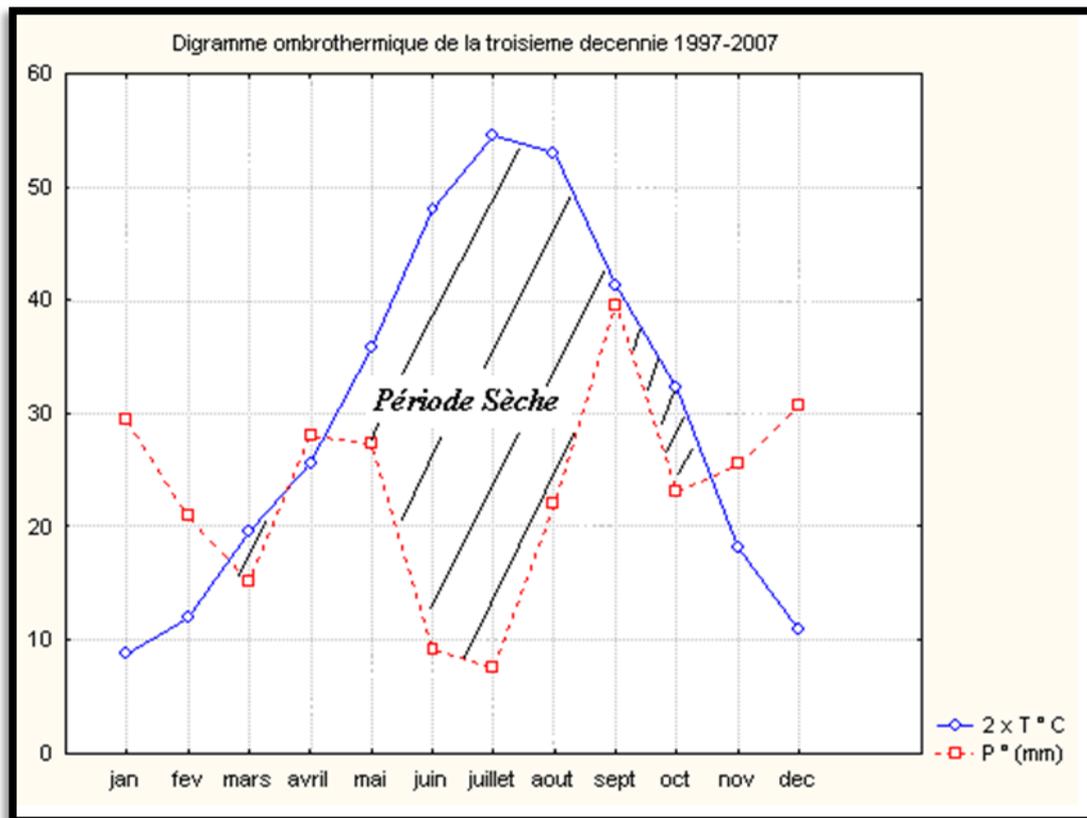


Figure 22: Le diagramme ombrothermique pour la troisième décennie 1997-2007

Enfin et durant la troisième décennie 1997-2007 ou bien la décennie du changement climatique proprement dit, la remarque la plus importante et évidente c'est qu'au contraire de la deuxième décennie cette fois-ci la période ou bien la saison sèche s'allongeait d'une façon éminente en arrière c'est-à-dire au détriment du printemps pour aller au milieu du mois de février et couvrir la quasi-totalité de l'année en allant du mi-février jusqu'au mi-octobre qu'est une période d'environ huit mois (Fig.22) ce qui signifie une aridification très grave du climat de la steppe attribué toujours à la grave baisse des précipitations surtout durant cette dernière décennie

3-3 Le quotient pluviométrique d'Emberger

On le calcule pour faire le classement des bioclimats selon le tableau de classification ou bien l'abaque du Sauvage.

$$Q_E = (n.P) / [3.65(M+m)(M-m)]$$

Ou bien si on ne connaît pas le nombre de jours de pluie on utilise la formule :

$$Q'_E = 2P / (M + m)(M - m)$$

Les décennies	La Première	La Deuxième	La troisième
$Q'_E = \frac{2P}{(M+m)(M-m)}$	22.195735	17.4585685	12.9668711
Facies climatique	Aride supérieur	Aride inférieur	Aride inférieur

Tableau 20: variation du quotient pluviométrique d'Emberger Q₂ durant les trois décennies 1975-2007

En se basant sur le quotient pluviométrique d'Emberger dont les résultats pour ces trois dernières décennies sont inscrits dans le tableau 20. On déduit qu'il y'a longtemps que la région de Djelfa n'est plus dans le semi aride comme le définissaient autrefois les auteurs comme Emberger et Pouget et autres pour les années 40.

Donc la région était pour la première décennie de 1975-1985 dans l'étage bioclimatique aride supérieur et suite aux changements climatiques vécus en particulier ceux attribués à la diminution des précipitations, la région est devenue dans un étage bioclimatique d'aride inférieur surtout durant cette dernière décennie de 1997-2007 dont le quotient pluviométrique est devenu très faible à environ de 12 et il continue sans cesse de diminuer. Ainsi on présume que si ça continue dans le même rythme, la région va entrer dans un climat saharien et devient par la suite un désert ou plus exactement un Sahara.

CHAPITRE 2

L'impact des changements climatiques à Djelfa

L'ANALYSE DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le GIEC (2008) dans le bilan 2007 des changements climatiques apporte que 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.

De ce fait et le fait des résultats du chapitre précédent indiquant que le changement climatique est beaucoup plus observé et accentué durant cette dernière décennie, en outre que les données piézométrique que nous avons pu apporté avec une grande difficulté concernent cette même période, en particulier la période 2001-2007 durant la quelle 12 relevées piézométriques sont à notre disposition, nous avons opté de faire l'analyse de l'impact pour cette période.

1 L'ANOVA UN FACTEUR (DISPOSITIF EN RANDOMISATION TOTALE)

1-1 L'INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA HAUTEUR

PIEZOMETRIQUE

En mettant dans un tableau de contingence la température (T (°C)) comme facteur mesuré influant sur un autre facteur qui est la hauteur piézométrique (H (m)) avec cinq échantillons ou bien répétition nous obtenons le tableau des données suivant (tableau 21)

T (°C) H (m) Echantillon	24,2	8,7	24	8	25	8,6	22,3	7,4	25	8,3	8,7	25,2
1	30,45	36,80	31,30	32,10	31,85	30,9	28,85	32,83	35,5	33,88	29,9	30,7
2	10,70	11	10,85	8,55	10,20	8,8	8,8	9,15	10,85	7,8	7,9	8,63
3	27,55	27,90	27,75	27,97	27,85	27,75	27,68	27,7	27,15	27,65	27,73	27,1
4	14,75	15,00	15,83	15,78	18,70	16,7	16,88	16,23	27,68	16,5	16,8	17,5
5	11,70	12,10	12,10	13,05	13,15	12,66	13,15	12,6	13,45	13,2	13,1	13,5

Tableau 21: les données piézométriques pour la période 2001-2007

Source: ANRH-Djelfa, 2008

On pose l'hypothèse nulle H_0 : il n'y a pas de différences significatives entre les hauteurs piézométriques, ce implique que les deux facteurs température et précipitation n'ont pas d'influence sur cette hauteur piézométrique.

Après analyse de la variance de ces données nous avons obtenu les résultats résumés dans le tableau d'ANOVA (tableau 22).

Source de la variation	ddl	SCE	CM	F	F _α (5%)
Variation factorielle	11	63,40	5,76397576	0,06064016	1.92
Variation résiduelle	48	4562,50	95,0521164		
Variation totale	59	4625,90532	78,4051749		

Tableau 22: Tableau d'ANOVA pour les données piézométriques de la période 2001-2007

$$F_{\text{observé}} < F_{\text{théorique}}$$

En effet le $F_{\text{observé}}$ est très faible et beaucoup inférieur au $F_{\text{théorique}}$, ce qui implique que l'hypothèse nulle est retenue, C'est-à-dire au seuil de signification de 5% le niveau piézométrique est constant durant cette dernière décennie. La température n'a pas d'influence sur la hauteur piézométrique et par conséquent elle n'influe pas sur la réserve en eau de la région. Et de même pour les précipitations. En faite une représentation graphique de l'évolution de ces deux paramètres durant cette dernière décennie (Fig. 23) semblait être utile

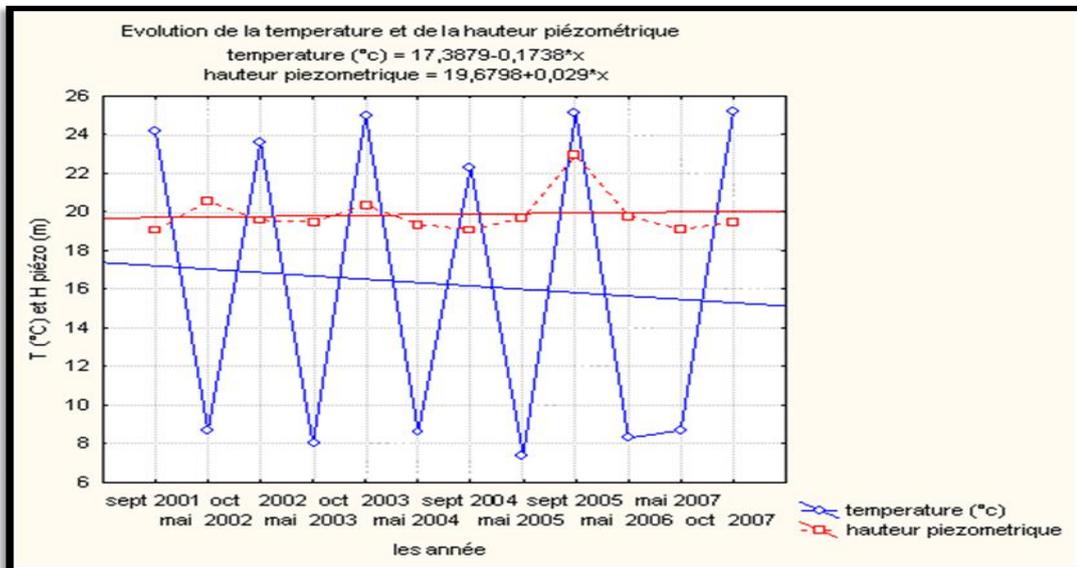


Figure 23: L'évolution de la température et de la hauteur piézométrique pour la période 2001-2007

comme un témoin et une confirmation de l'indépendance entre elles.

Dès la première vue nous découvrons l'indépendance totale des deux variables de température et de la hauteur piézométrique et ceci est beaucoup plus clarifié par les lignes droites d'ajustement.

Notamment celle de la hauteur piézométrique qui garderait plus ou moins son aspect horizontal ou bien il présente une légère hausse, par contre la température marque un abaissement et des fluctuations accrues, en plus que certaines hausses de la température correspondaient à des hausses de cette hauteur piézométrique, en particulier pour les années 2003 et 2005. Cela témoigne de plus en plus que la température est loin d'être une cause de la fluctuation des réserves en eau. Malgré son effet évaporant qui peut y contribuer.

1-2 L'INFLUENCE DES PRECIPITATIONS SUR LA HAUTEUR

PIEZOMETRIQUE

Vue que dans la plus part des cas, l'alimentation de la nappe se fait par les eaux de pluie. Il est fort possible que les précipitations auront une grande influence sur la réserve en eau de cette nappe dont l'indicateur est l'hauteur piézométrique.

On trace tout d'abord le graphe d'évolution de ces deux paramètres précipitation et hauteur piézométrique (Fig. 24) :

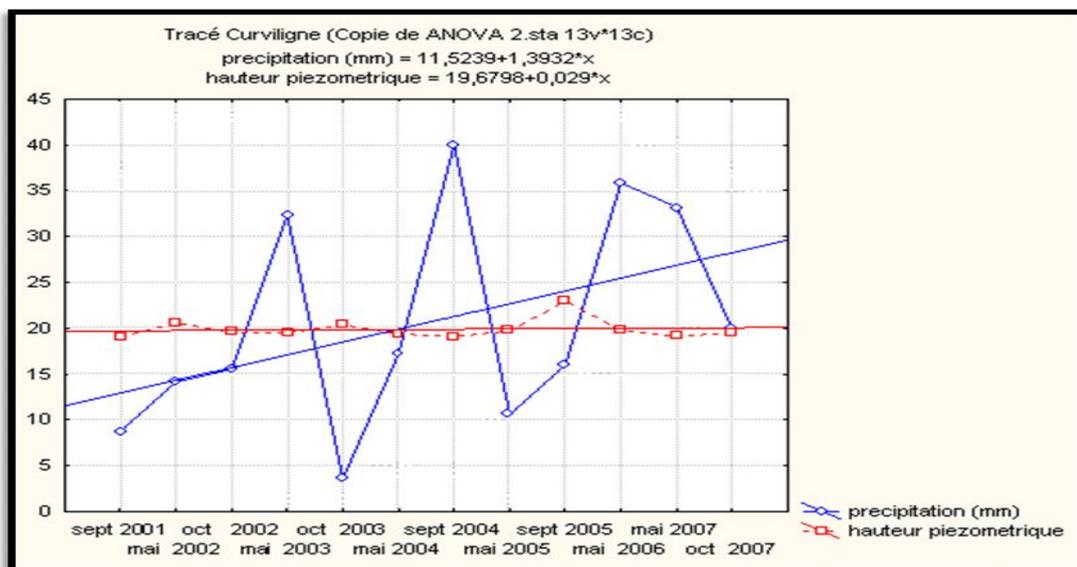


Figure 24: L'évolution de la précipitation et de la hauteur piézométrique pour la période 2001-2007

On remarque que le niveau piézométrique est presque constant mis a appart une légère augmentation en 2005 qui peut être la conséquence de précipitation de 2004, par contre les précipitations subissent de fortes fluctuations durant cette décennie avec une certaine augmentation generale.

Cela est aussi confirmé par l'analyse de l'ANOVA précédent, qui a démontré qu'il n'y a pas une variation significative du niveau piézométrique durant cette dernière décennie.

Cela permet de dire qu'il n'ya aucun dépendance entre les précipitations et la hauteur piézométrique.

On peut donc avoir aussi recours à l'étude de corrélation pour bien s'assurer de ces résultats.

2 L'ETUDE DE CORRELATION (COEFFICIENT DE CORRELATION DE PEARSON r)

Pour le calcul de coefficient de corrélation **r** on dispose des données dans le tableau 23, qui a pour la variable **Y** les hauteurs piézométriques et pour la variable **X** on a une fois les valeurs de la température et pour une deuxième fois les valeurs des précipitations qui correspondent tous à la même période .

Y	La hauteur piézométrique	19,03	20,56	19,566	19,49	20,35	19,36	19,072	19,702	22,926	19,796	19,086	19,486
X	Les précipitations	8,733	14,125	15,525	32,35	3,6	17,175	39,95	10,575	16	35,85	33,2	19,875
	La température	24,2	8,7	24	8	25	8,6	22,3	7,4	25	8,3	8,7	25,2

Tableau 23: les données piézométriques accompagnées des températures et des précipitations de la période 2001-2007

On fait le calcul comme suit :

$$\text{Cor (H ,P°) = -42,3784427}$$

$$\text{Cor (H ,T°)= 23,4631333}$$

$$r = \text{Cor (x,y)}/\sigma_x \cdot \sigma_y$$

Le test de signification (t-test) : $t = r (\sqrt{n-2}) / \sqrt{1-r^2}$

$r_{H,P} = 0,16705099$ qui est égale à environ 16.7% avec $(t=0.535) < (t\alpha=0.576)$

$r_{H,T} = 0,13015784$ qui est égale à environ 13% avec $(t=0.414) < (t\alpha=0.576)$

Pour les deux cas la corrélation n'est pas significative, ce qui prouve qu'il n'ya pas de corrélation entre la hauteur piézométrique et les deux paramètres température et la précipitation.

3 L'INTERPRETATION DE L'INDEPENDANCE CLIMAT- RESERVE EN EAU

Cette Independence confirme que malgré son importance surtout en ce qui concerne les précipitations, le changement climatique pour cette dernière décennie n'a pas influencé les réserves en eau de la région.

A ce point là plusieurs questions se posent :

-comment peut –on expliquer cette indépendance si on connaît déjà que les eaux pluviales ont un rôle primordiale dans l'alimentation de la nappe donc un influence direct sur les réserves en eau ?!

-peut-on –attribuer ça au fait que ces changements ne sont pas encore à la mesure de porter influence sur la réserve en eau de la région ???

-la nappe, est elle à l'abri de ces changements climatiques, ou bien est-elle une nappe captive fermée?

-est ce que ces changements sont encore au début, et les impacts ne peuvent apparaitre qu'après longtemps ?

-y'a-t-il une source qui joue le rôle d'équilibrer la nappe et de remédier aux impacts ?

Pour répondre à ces question nous devons comme premier pas avoir recours à l'étude des aquifères de la région et qui correspondent sans doute au synclinale du Djelfa.

3-1 L'ETUDE HYDRO-GEOGRAPHIQUE

Le synclinal de Djelfa occupe la partie centrale de l'Atlas saharien. Il est situé à **300 Km** au Sud d'Alger, à **110 Km** au Nord de Laghouat et à **110 Km** au Sud- ouest de Boussaâda (Ndjeimi, 2005).

Sa position méridionale dans l'Atlas saharien (monts des Ouled Nails) permet d'assurer la transition entre le Nord du pays et le Sahara.

L'étude de la litho stratigraphie de la zone en question permet d'établir le profile suivant (Fig. 25) (Ndjeimi, 2005).

En prospectant les caractéristiques géologiques et hydrol géologiques des différentes formations rocheuses nous aboutissons à l'établissement de la coupe litho- stratigraphique illustrée par la figure 25. Par la description géologique des terrains ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation, on a pu établir le tableau 24 qui synthétise et combine les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de chaque étage. Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la region d'étude, a permis de distinguer un ensemble d'aquifères à savoir :

- Les grés de Barrémien,
- Les grés de l'Albien,
- Les calcaires fissurés de Turonien,
- Le Mioplio-Quaternaire.

Les Formation Aquifères suivantes sont ainsi distinguées :

A-Les gres de Barrémien

Formés par les grès rouges, blanchâtres ou jaunâtres de nature compacte de granulométrie fine et homogène. Ces formations sont caractérisées par l'existence des diaclases, fractures et quelques petites failles.

B-Les grès de L'Albien

L'albien est représenté par des grés rouges compacts passant parfois à des grés quartzeux et quartzites. Dans sa partie inférieure les passages marneux sont fréquents Le pendage très régulier des couches est de **40°**à **45°**de direction Sud –Est. Les diaclases et les failles de faibles rejets sont fréquentes. Ces dernières sont à l'origine de sources qui sortent au contact des grés et des marnes imperméables de l'Aptien.

C-Les calcaire de Turonien

Cette formation est de calcaires dolomitiques et de dolomies massives, caractérisée par l'existence des fissures et diaclases, jouant un rôle important en favorisant l'infiltration des eaux. Ces calcaires reposent sur les séries marneuses du Cénomaniens et sont surmontés par des séries imperméables marneuses et marno-calcaires du sénonien inférieur.

D-Moi- plio- Quaternaire

Au niveau de la partie centrale de ce synclinal affleurent des argiles rouges, par endroit recouvert de galets fluviatiles. La teneur en sable dans les argiles est très faible, les bancs de sables ne sont délimités. Les formations du Mio-Plio- Quaternaire reposent sur le sénonien, dont les niveaux marneux assurent la rétention des eaux.

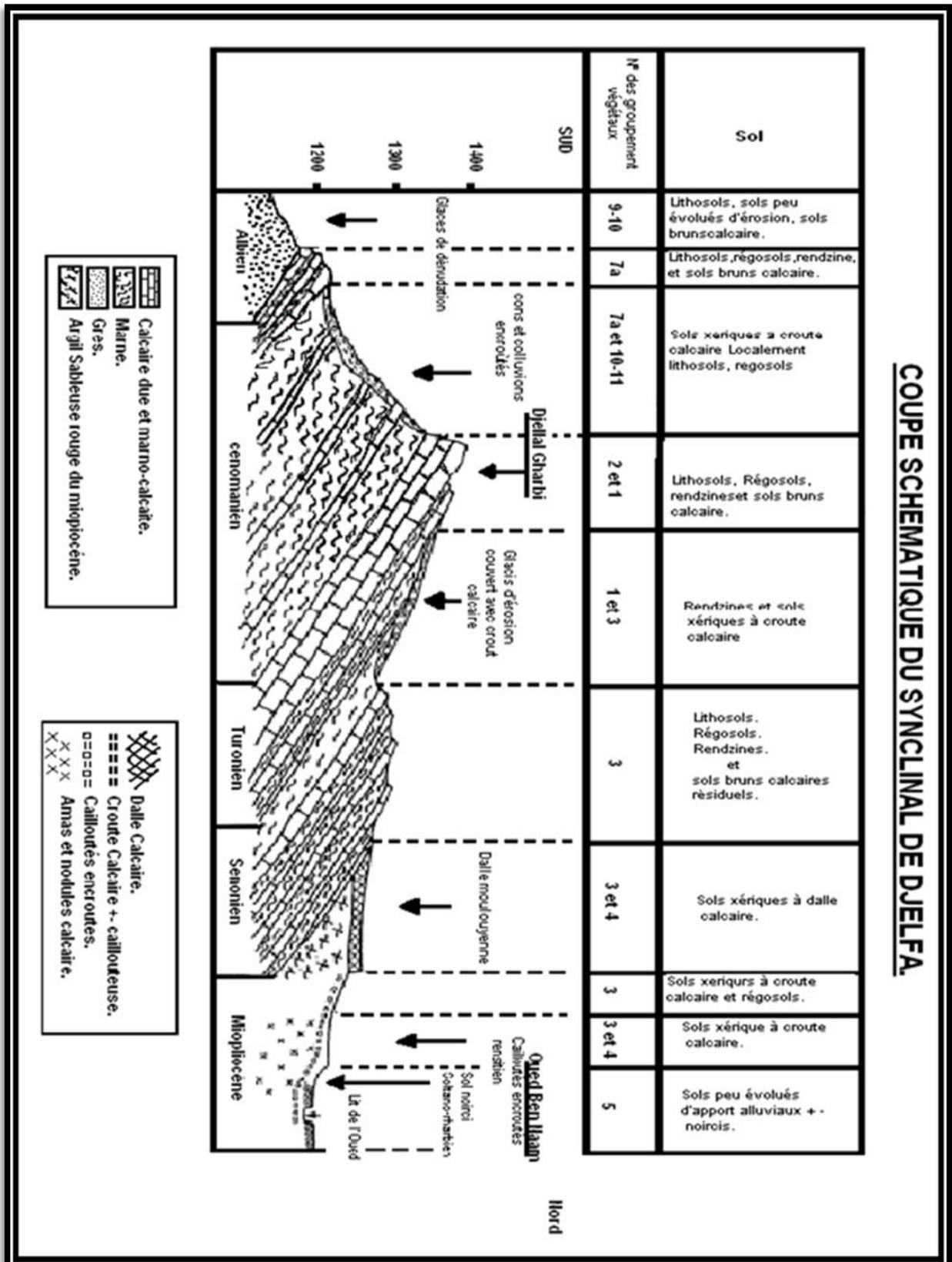


Figure 25: La coupe litho-stratigraphique de la synclinale de Djelfa
Source: ANRH-Djelfa, 2007

étages et épaisseurs		litho stratigraphie	hydrogéologie
1	Mio-plio- quaternaire (250 à 300 m)	Des limons sableux, des croûtes calcaires, des argiles et des marnes rouges aussi que des lentilles de grès calcaire conglomératiques	peu perméable, exploité par des puits de grand diamètre et de faible profondeur.
2	Sénonien (plus de 500 m)	Calcaires et marnes en alternance et des lentilles de gypses assez fréquentes vers la partie sommitale.	Peu perméable et peu productif.
3	Turonien (300 à 500 m)	Des bancs de calcaires vers le sommet, des marnes et des calcaires dans la partie médiane et des gypses à la base.	Type Karstique très productif
4	Cénomani (plus de 500 m)	Présence de calcaires vers la partie sommitale et des marnes dans la partie médiane et basale.	Perméable et sommet.
5	Albien Supérieur (150 à 200 m)	Calcaires et marnes en alternance.	Perméable
6	Albien Inférieur (400 m)	Grès massifs lins, intercalés par des passées d'argiles grisâtres	Aquifère important
7	Aptien (100 à 200 m)	Calcaire et marnes en alternance.	Imperméable.

Tableau 24: la litho-stratigraphie et propriétés hydrologiques des différentes couches de la synclinale de Djelfa

Source : ANRH-Djelfa, 2007

En conclusion de cette étude hydrogéologique, La première remarque importante tirée de ce tableau est que les couches supérieures sont en quasi-totalité imperméable ou peu perméable. Ce qui est d'une grande importance pour confirmer notre hypothèse de l'indépendance entre la nappe et les précipitations.

En fait cette imperméabilité permet de présumer que les aquifères sont peu ou pas de tout alimentés par les eaux pluviales qui tombent dans la région de Djelfa.

Donc ce synclinale peut être à l'exutoire d'un autre bassin versant, qui l'alimente en permanence, et dans ce cas une analyse chimique de ses eaux peut donner une idée sur leur origine.

Conclusion générale

Conformément à la définition de GIEC (2008) donnée pour les changements climatiques, on a voulu contribuer par le biais des approches purement statistiques à étudier ce changement dans notre zone steppique et d'en tirer l'alarme sur son impact sur l'écosystème et les ressources hydriques dans cette région.

A l'issue de cette modeste étude on peut dégager plusieurs conclusions.

En effet, on assiste dans ces régions déjà sensibles et fragiles, à un changement climatique qui peut s'expliquer par :

*réchauffement due à une augmentation continue des températures moyennes et il est beaucoup plus attribué à la hausse des températures minimales, ce qui implique une tendance vers la disparition du froid hivernale, autrefois connue par sa sévérité surtout à Djelfa (ancien pays du froid), donc ceci se traduit par une tendance générale vers un climat sans froid. Et ceci pourrait aussi conduire à la disparition de gel qui caractérisait cette région depuis longtemps. Cette dernière remarque est très conforme au constat actuel de Djelfa dont le gel est devenu très rare .

* sécheresse climatique qui se manifeste à travers la diminution de la quantité de pluie effectivement tombée, et l'allongement de la saison sèche qui couvrait actuellement huit mois de l'année et presque la totalité de l'année.

*le climat steppique dont le facies était semi-aride (Seltzer, 1946 in Pouget, 1980), est devenu aujourd'hui de type aride inférieur.

Cependant et malgré leur impact agressif sur la végétation et le sol, ces changements climatiques ne sont pas encore à la mesure d'affecter la réserve en eau de la région, dont le niveau piézométrique marque une certaine stabilité. Un tel résultat ne peut s'expliquer que par le fait que la nappe n'est pas alimentée par ces mêmes pluies qui tombent dessus, à cause de l'imperméabilité de ses couches supérieures. Ou bien elle est totalement fermée (nappe captive), pour mieux convenir à cette stabilité de niveau piézométrique.

En outre de ces explications, nous pouvons penser que les changements climatiques sont encore en leur début et ne sont pas encore à la mesure d'affecter la réserve d'eau, et même s'il y'a un impact il ne peut se manifester que plus tard après une période suffisamment longue pour que le changement climatique ait une influence sur la nappe. Donc c'est un impact à long terme.

Mais ce qui est sûr, est qu'après avoir détruit le couvert végétal et édaphique, ces changements climatiques vont être la cause principale d'une forte désertification dont le résultat est un milieu saharien qui envahira la steppe.

Références bibliographiques

- Aboub A. A. (2008): *Economie de la steppe*. Cours de magister, CUD Djelfa, 73p.
- Académies et conseil économique et social, groupe de réflexion (2006): *Partager la connaissance et ouvrir le dialogue: Le changement climatique*. Rapport de synthèse, France, 30p.
- Alfred A. (2002): *Météorologie*. l'INRP-France, 23p.
- ANRH (2005): *Données piézométriques de Djelfa (données et commentaires)*. 15p.
- ANRH (2007): *Données piézométriques du synclinale de Djelfa (données et commentaires)*. 2p.
- Azouzi B. (2006): *L'outil statistique en expérimentation*. première édition, OPU, Alger, 163p.
- Baldy C. (1986): *Agro climatologie et développement des régions arides et semi arides*. édition INRA, Paris ,114P.
- Baldy C. et Stigter C.J. (2000): *Agro météorologie des régions chaudes*. Première édition, Armand Colin, France, 246p.
- Bélisle J. et Jacques D. (1983) : *Introduction à la statistique*. 1ere édition, Gaëtan Morin éditeur, Canada, 281p.
- Ben Hamida A. (2001): *Analyse physique et proposition d'aménagement Intégré de la région de Djelfa*. thèse d'ingénieur, C.U.D Djelfa.107P.
- Bertrand E. (1998): *Le petit Larousse illustré*. nouvelle édition paris-France, 1784p.
- Bernard G. (1972): *Manuel statistique descriptive*. Troisième édition, DUNOD, Paris, 280p.
- Brochet P., Payen D. et De Parcevaux S. (1990): *Dictionnaire encyclopédique de l'agro climatologie*. INRA, France, 319p.
- Charles L. C., Jean-Paul A., Lucien D., Gautier E. (2008): *Eléments de géographie physique*. Edition Bréal, 463 p.
- Chehma A. (2008): *Les parcours steppiques et sahariens* (cours de post-graduation). option agropastoralisme et désertification, C.U.D-Djelfa, 52p.
- Costanza et Rand Daly H.E. (1992): *Natural capital and sustainable development*. article Conser.biol6, (37-46).

- Dalila B. (2008): *La steppe est dans état de dégradation avancé. (lutte contre la désertification)* Revue électronique en science de l'environnement, DGF, Alger, 2p.
- Daniel R. (2003): *Physiologie des animaux (physiologie cellulaire et fonctions de nutrition)*. tome1, Nathan université, 352p.
- Dian J. Gaffen, Michael A. Sargent, Habermann R. E., and John R. Lanzante(1999) : *Sensitivity of Tropospheric and Stratospheric Temperature Trends to Radiosonde Data Quality*, Journal of climate, volume13, (1776-1796) p.
- Djebailli S. (1984): *Steppe Algérienne phytosociologie et écologie*. université des sciences et de la technologie Languedoc, Montpellier. France, 174p.
- Djebbara M. (2004): *La principale contrainte du développement d'une agriculture irriguée classée en grande hydraulique en Algérie acte de séminaire modernisation de l'agriculture irriguée*. Rabat de19 au 23 avril 2004, Maroc, 18p.
- DPAT(2004) Département de planification et d'aménagement de territoire de Djelfa: *Monographie de Djelfa*. Djelfa, 224p.
- DSA-Djelfa (1987): *Rapport phytoécologique et pastorale de la wilaya de Djelfa*.32p.
- Edwin Z. (1999): *Développement durable (caractéristiques et interprétation)*. in Cahiers du CEDD. N°4, Série A séminaire méditerranéennes numéro39 - CIHEAM-Montpellier –France, 12-18p.
- Emilie G. (1978): *Cours de Paléoclimatologie*. (L3-S5).cours, licence master climatologie, université bourgogne, 67p.
- Estienne E. et Godard A. (1998): *Climatologie* .nouvelle présentation. ARMAND COLIN, Paris, 368p.
- FAO (2008): *Développement des terres arides et lutte contre la désertification* (département des forets), 21p.
- Fouquart Y. (2002): *Le climat de la terre, fonctionnement de la machine climatique, influence humaine et évolution probable*, (série : les savoir mieux), presse universitaire septentrion, université Charles De Gaulle, lille3, France, 159p.
- Frontier S. (1999): *Les écosystèmes*, première édition, PUF, France, 447 p.
- Frontier S. et Pichod-viale D. (1995): *Ecosystèmes (structure, fonctionnement, évolution)*, deuxième édition, Masson, Paris-Milan-Barcelone, 447p.

- Jean-Claude Gall(1998) : *paléoclimatologie, paysages et environnements disparus*, deuxième édition, Paris, Milan, Barcelone, 238p.
- Gachon P. (2006): *Variabilité, extrêmes et changements climatiques au Québec: de l'observation à la modélisation*. 74eme congrès de l'ACFAS /université Mc Gill Montréal, 124p.
- Georges V. et Vigneau P. (2001): *Eléments de climatologie pour une approche concrète des phénomènes climatiques*. faculté de géographie, deuxième édition, Nathan université, Paris, 300p.
- Gérard L. (2001): *La terre chauffe-t-elle ?le climat de la terre en question*. édition EDP science, France, 223p.
- GIEC (2007): *futur of climatic changes in aspect of increasing value of green-house gases*.group1, 3 and 4, IPCC, Australie.23p.
- GIEC (2008): *Bilan 2007 des changements climatique*. Contribution des Groupes de travail I,II etIII au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, Genève, Suisse, 103 p.
- Guesmi B. et Benbrika Z. (2004): *Etude d'un écosystème dunaire après fixation (composition en plantes médicinales et fourragères) cas d'El- mousrane w Djelfa*. CUD Djelfa, 90p.
- Guyot G. (2001): *Climatologie de l'environnement*. deuxième édition, DUNOD, paris, France, 525p.
- Henri J. et André L. (2002): *La photosynthèse*. 2eme cycle capés agrégation, deuxième édition, Dunod, France, 268p.
- HCDS (1996): *Notice bibliographiques sur quelques plantes fourragères et pastorales*. Ministère de l'agriculture et de pêche,16p.
- Isabelle B. et Alain L. (2008): *climat et effet de serre (Enquête sur le réchauffement de la planète)*. la revue en ligne de (Science actualité), 28p.
- Josef P. (2005): *Changement du climat dans l'espace alpin Effets et défis exposition1 : Les changements climatiques dans l'espace alpin : tendances, retombées et défis*. Par le Prof. Dr. Wolfgang Seiler, Garmisch-Partenkirchen, Allemagne), N08/07,8p.
- Kadik B. (2008): *Les changements climatiques, nécessité d'une stratégie d'adaptation*. Article publié sur le site www.vitamineDZ.COM, mai 2008.1p.

- Lacoste A. et Robert S. (1999): *Eléments de la biogéographie et d'écologie (une compréhension de la biosphère par l'analyse des composantes majeures de l'écosystème)*. deuxième édition, Mathan université, paris, 300p.
- Lahrech N. (2006): *Composition chimique et activité antibactérienne de l'huile essentielle de mentha pulegium*. These d'ingénieur, C.U.D Djelfa, 137p.
- Le Floch E. (1992): *L'aridité une contrainte au développement*. Première édition, ORSTOM Paris, 597p.
- Le Houerou H.N (1969): *La végétation de la Tunisie steppique avec référence aux végétations analogues d'Algérie. de Lybie et du Maroc*. France, 395p.
- Le Houerou H.N (1995): *Bioclimatologie et biogéographie des steppes du Nord de l'Afrique (diversité biologique, développement durable et désertisation)*. Options méditerranéennes, série B, étude et recherche numéro 10, CIHEAM, Montpellier, ACCT, Paris, (15-49).
- Lepeltier S. (2004): *Face au changement climatique, agissons ensemble*. Plan climat2004, ministère de l'écologie et de développement, France, (53-60).
- Le Perchec S. (1995): *Ecosystèmes et changements globaux*. Dossiers de l'environnement n : 8 INRA-paris-France, (20-36).
- Leroux M. (2000): *La dynamique du temps et du climat*. Deuxième édition, Masson science, DUNOD, Paris, 367p.
- Louis R. (1976): *La photosynthèse(1)*. Série : les plus importantes réactions chimiques sur la terre, (32-45).
- Madeleine A. (1993): *Statistique traitement des données d'échantillon*. (Tome 1 : les méthodes, Tome 2 : les applications), édition presses universitaires de Grenoble, France, 302p.
- Marc M. (2001): *Les évolutions du climat*. IRD et l'AGROPOLIS, Montpellier-France, 46p.
- Mélanie R. D. et Marc B.C. (2002): *Désertification et environnement mondial (de projets de développement localises a la notion de biens publics mondiaux)*. Résumé exclusif de l'étude réalisé dans le cadre du contratAFD n° 2002/dpe/fem/rg/vf/141p.
- Météo-Algérie (2008): *Rétrospective de l'année 2007*. La rubrique (événement météorologique), Site météo- Algérie ,3p.

- Météo-Canada (2007): *Manipuler le thermostat de la terre*, article publié dans la revue de la science du changement climatique, canada, 5p.
- Météo-Djelfa (2008): *Données climatiques de la vile de Djelfa*, 2p.
- Cecile M. (2003): *Climats du passé, quels renseignements pour l'avenir de la planète*. Science actualité, n21, (15-24).
- Nedjraoui D. et Bédrani S. (2008): *La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte*. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 1 | avril 2008, (7-15).
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (2007): *Climatic data for the world*. USA, 4p.
- NOAA-NCDC (2008): *Climate of 2008 may in historical pespective*. Article publié le 6juine 2008 sur le site www.NOAA.org, USA, 6p
- ONU (1997): *Protocole de Kyoto à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques*. Kyoto, Japon.
- ONU(2005): *L'intervention des Nations Unies sur la lutte contre La désertification*. Canada, 5p.
- Organe national de coordination sur la lutte contre la désertification –DGF-(ministère de l'agriculture et de développement rural) (2004): *Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la convention de lutte contre la désertification*. Alger, 35p.
- Maziliak P. (2000): *physiologie végétale 2(croissance et développement)*. Collection méthodes, deuxième édition Hermann éditeurs des sciences et des arts, 575p.
- Pouget M. (1980): *Les relations sol végétation dans les steppes sud algérois*, O.R.S.T.O.M. - Paris -569p.
- Ramade F.(2003): *Eléments d'écologie (cours 1ere, 2eme,3eme année master)*, édition Dunod, 690p.
- Randal (2008): *Climat change and variability*. N : 211 in NOAA's climatic review, NOAA-USA, 34p.
- Richard Alley (2007): *Climat change 2007 (The physical science basis)*. 10th session of working group1 of IPCC, Paris ,79p.
- Richard G. (1930): *Weather reccurences and weather cycles*. In Monthly Weather Review, Washington, 82p.

- Serge f. (1999) : *les écosystèmes*, collections que sais je, le point des connaissances actuelles, éditions PUF ,128p.
- Sylvie J. (2007): *Climate change research in France 2007*. INSU- France, 20p.
- Tabeaud M. (2000): *La climatologie* (1er cycle cours et entrainement). Première édition, ARMAND COLIN Paris, 175p.
- Tabeaud M. (2004): *La climatologie générale*. Faculté de géographie, première édition, ARMAND COLIN Paris, 96p.
- William A. (2006): *Climat and climat temp data collection*. NCDC- NOAA, NCDC- USA, 38p.

- محمد إسماعيل عمر (2004): *مقدمة في علوم البيئة*. الطبعة الأولى - القاهرة - . 505 صفحة .
- الدكتور حسن ابو سمور (1999): *الجغرافية الحيوية*. الطبعة الأولى دار صفاء للنشر و التوزيع. الأردن-. 321 صفحة.
- الدكتور زكريا محمد عبد الوهاب طاحون (2005): *إدارة البيئة نحو الإنتاج الانضف*. سلسلة صون البيئة الطبعة الأولى -القاهرة-215 صفحة.
- المحافظة السامية لتطوير السهوب HCDS (2004) : *المحميات الرعوية*, وزارة الفلاحة و الصيد البحري -طبع من طرف CNMA-Kouba-ALGER

ملخص:

إن الظواهر الجوية الخطيرة التي تشهدها السنوات الأخيرة لدليل قاطع على أن مناخنا الأرضي يعاني حالة مرضية. العامل الممرض فيها أي المسبب هو الإنسان بعدم تبصره ونشاطاته الباعثة للغازات التي تشكل في الجو غلاف غازيا يمنع خروج الأشعة الحرارية (مافوق الحمراء) المنبعثة من الأرض فتبقى بذلك محبوسة و تؤدي إلى رفع درجة حرارة الأرض. كل هذا ينعكس سلبا على الأنظمة البيئية خاصة الهشة منها و المعرضة للإصابة مثل النظام السهبي الذي هو نظام مستنزف ومنهك. نظام يؤول يوما بعد يوم إلى شيخوخة سرعتها وزادت من حدتها التغيرات المناخية الحديثة.

حقا أن هناك تغيرات مناخية تم رصدها بالجلفة كمنطقة سهبية مشهورة تتمثل هذه التغيرات في ارتفاع درجة الحرارة العامة للجو ونقص خطير في كمية الأمطار المتساقطة في إطار عام يؤول فيه جو المنطقة إلى جو حار جاف بدون برودة في الشتاء وبدون صقيع وهو الملاحظ في واقع المنطقة

ولكن و على الرغم من أثرها المدمر للغطاء النباتي فإن هذه التغيرات المناخية لم تصل بعد إلى حد التأثير في مخزون المياه الجوفية لهذه المنطقة

Summary:

The meteorological phenomena seen at these last years, give an uncontestable evidential idea That Our climat is suffering à dangerous state of illness, that the pathologic factor is man, with his no carfuland polluting activities which emit greenhouse gazes. All those actions are destroying Natural ecosystems, starting by those weak and vulnerable, whose steppe is the well known example, because It Is an ecosystem already dried up and tired That tends speedily to its senility accelerated by recent climat changes.

Sure enough, at Djelfa as à typical steppic region, an effective climate changes has occurred explained by a global heating of local climat of This region, caused by increasing of temperature values and important decreasing of precipitations. That gives a general tendency to a dry climate without cold and without frost, thing with is conformed by the actual state of the region.

But, in spite of their destructive impacts against vegetal coat, climate changes in this region have not yet been able to affect water reserve.

Abstract :

Les derniers événements météorologiques et les les météores fantasques vécus ces dernières années sont un témoin et une preuve incontestable que notre climat terrestre souffre d'un grave état de maladie, dont l'agent pathogène est bien l'homme par son imprévoyance et en particulier par ses activités polluantes et émettrices des gaz à effet de serre. Tout cela se répercute négativement sur nos écosystèmes, commençant par ceux plus fragiles et plus vulnérable, dont la steppe qui est un écosystème déjà épuisé et fatigué et tend à son vieillissement aggravé et accéléré par le contexte des changements climatiques récents.

En effet à Djelfa une région typique de la steppe algérienne, un changement se produit effectivement au sein de son climat local et il s'git d'un réchauffement qui s'explique par une augmentation des températures et une grave diminution des précipitations, avec une tendance vers un climat sec sans froid et sans gel, et c'est ce qui est prouvé par le constat actuel de la région.

Néanmoins, malgré leur impact destructif sur le couvert végétal, ces changements climatiques ne sont pas encore à la mesure d'affecter la réserve en eau de la région.