



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université ABBES LAGHROUR KHENCHELA
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département d'Ecologie et environnement

MEMOIR

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master En Ecologie et environnement
Option
Ecologie Fondamentale et appliquée

THEME

**EVOLUTION DU BILAN HYDRIQUE A L'ECHELLE DE QUELQUES BASSINS
VERSANTS DE L'EST ALGERIEN EN CONTEXTE DE CHANGEMENT
CLIMATIQUE**

Soutenu le : 24/09/2022

Présenté par : **BENZIDANE Sara**

Devant le jury :

Pr. KADI Kenza	Professeur de l'université de Khenchela	Présidente
Dr. LARBA Rabah MCB	de l'université de Khenchela	Examineur
Dr. DIB Dounia	MCA de l'université de Khenchela	Rapporteur

Promotion 2021-2022

REMERCIEMENT



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

J'adresse toute ma gratitude à M^{me} **KADI Kenza(Présidente)** Professeur à la Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, pour ses conseils et la patience dont il a fait preuve envers nous lors de la post-graduation, je tiens aussi à le remercier d'avoir accepté de participer à mon jury.

Je remercie également, Monsieur **LARBA Rabah (Examineur)** Professeur pour avoir accepté de participer à mon jury. Veuillez trouver ici l'expression de mes remerciements les plus sincères ainsi que la marque de mon profond respect.

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

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

MERCI





*Je dédie ce travail à mes très
chères parents source d'amour
De ma réussite et de mon courage
A ma sœur meriem
mon frère ilias
mes chers Moustapha et souhila
mes chers amis
A tous ma famille
A tous mes collègues*

sara



SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste des tableaux et des figures

Introduction générale 1

CHAPITRE I Généralités sur Le bilan hydrique

Introduction.....	4
Les termes du bilan hydrique.....	4
Principe de calcul d'un bilan hydrique.....	7
Les facteurs qui affectent le bilan hydrologique.....	8
Méthodes de calcul du bilan hydrique	8
Calcul du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite et Mather (1955 et 1957).....	9

CHAPITRE II CHANGEMENT CLIMATIQUE

introduction	12
le changement climatique.....	12
le systeme climatique	12
variabilité climatique.....	18
les changements climatiques observes.....	18
evolution future du climat.....	19
les causes de l'évolution climatique.....	20
le rayonnement solaire.....	20
les aérosols	21
l'effet de serre.....	21
les gaz à effet de serre.....	22
le changement climatique en algerie.....	23
les ges en algérie.....	23
projections climatiques sur l'algérie.....	26
le réseau météorologique.....	27
les consequences du rechauffement climatique.....	28
les incertitudes.....	31

CHAPITRE III LES BASSINS VERSANTS DE L'EST ALGERI

Présentation de la région d'étude.....	33
Principaux caractéristiques des bassins.....	35
Contexte géomorphologique.....	35
Les Pentes.....	36
La lithologie.....	37
Occupation du sol.....	38
Contexte climatique.....	39
Température	39
Précipitations.....	40
Climat.....	41
Réseau hydrographique.....	43
Acquisition des données.....	45
Résultats de traitement de données.....	46
Les précipitations.....	47
La variabilité des précipitations mensuelles dans le temps.....	47
La variabilité interannuelle des précipitations	49
L'évapotranspiration potentielle	50
Calcul du bilan hydrique et son évolution (2004-2017).....	51
Evolution des périodes sèches et humides.....	52
La période d'épuisement de stock.....	53
La période de déficit agricole.....	53
Synthèse des résultats de l'étude climatique.....	53

CONCLUSION..... 56

BIBLIOGRAPHI 57

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

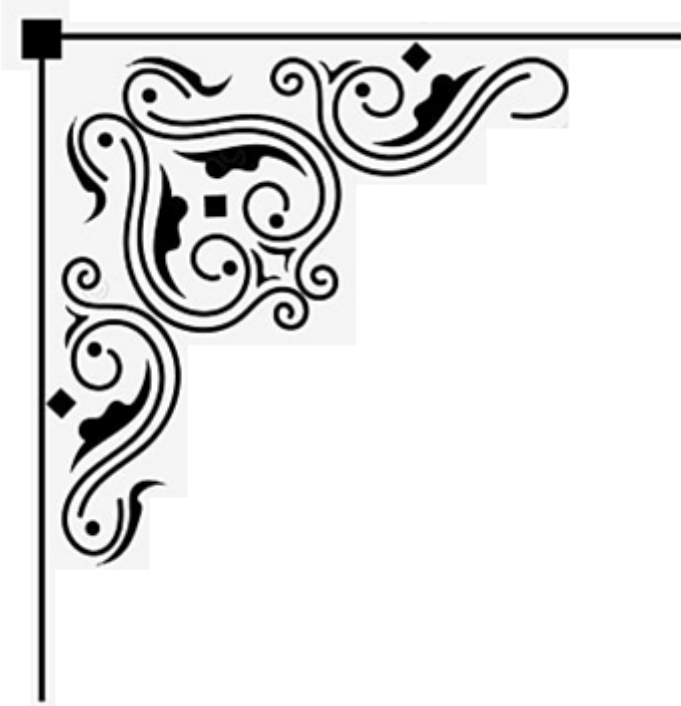
NOM DE TABLEAU	PAGE
Tableau 01:L'impact des différents facteurs qui affectent le bilan(d'après Croteau, 2006)	8
Tableau 2 : Exemple de calcul du bilan hydrique (données recueillis depuis la station synoptique d'Alger)	10
Tableau 3: Sources, durée de vie et GWP à 100 ans des principaux GES(Baranzini et al, 2000 et UNEP, 2005, p. 11)	14
Tableau 4 : les principaux gaz à effet de serre.	23
Tableau 5: Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994) (Gg).	24
Tableau 5.1 : Emissions par type de gaz et par habitant.	25
Tableau 5.2 : Emissions par type de gaz (en 1000 TE-CO2).	25
Tableau 6 : Présentation des stations d'étude (O.N.M).	27

LISTE DES FIGURES

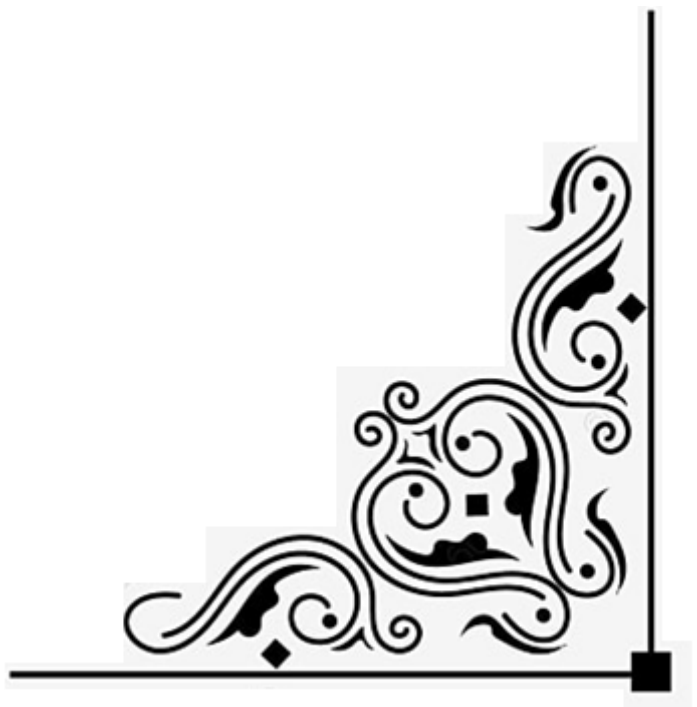
NOM DE FIGURES	PAGE
Figure 01 : Le bilan hydrique simplifié	4
Figure 02 : La relation entre le LAI et le nombre de jours de sécheresse	6
Figure 3: L'effet de serre (UNEP, 2005, p. 10)	13
Figure 4: Répartition par activité des émissions globales de CO2 en 2004(d'après IPCC, 2007c)	15
Figure 5: Variation de la température de la surface de la Terre entre 1000 et 2100	17
Figure 6: Émissions de carbone par habitant en 2002 (UNEP, 2005, p.15) Variabilité climatique	18
Figure 7 : Comparaison entre les variations de températures en Afrique et la tendance de réchauffement mondial (http://www.grida.no/publications).	19
Figure 8 : Irradiance Solaire (Willson, R C et al, 2003).	21
Figure 09 : Processus de l'effet de serre	22
Figure 10 : Emissions de CO2 en Algérie (http://www.data.un.org).	24
Figure 11 : Émissions africaines: les principales sources africaines de gaz à effet de serre; letaux d'émissions par personne; comparaison avec les émissions d'autres pays (http://www.grida.no/publications).	25
Figure 12 : Projections du climat aux horizons 2020 et 2050 (modèle UKHI) (Mate, 2003).	26
Figure 13 : Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude	27
Figure 14: Limites des bassins versants de l'Algérie. (ANRH, 2005)	33
Figure 15: Présentation des wilayas relatives aux bassins étudiés	34

LITSTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Figure 16: Carte de situation des bassins versants du Nord Est de l'Algérie projetée sur imagesatellitaire. (A.B.H Constantine, 2011)	35
Figure 17: Carte altimétrique	36
Figure 18: Carte des pentes	37
Figure 19: Carte lithologique	38
Figure 20: Carte d'occupation du sol, (BNEDER, 2010)	39
Figure 21: Carte des températures moyennes annuelles. (Mebarki, 2005)	39
Figure 22: Carte des températures moyennes annuelles, (Mebarki, 2005)	42
Figure 23: Carte des précipitations. (BNEDER, 2010)	42
Figure 24: Carte climatologique.(BNEDER, 2010)	43
Figure 25: Réseau hydrographiques des bassins versants. (A.B.H Constantine, 2011)	44
Figure 26: Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude	45
Figure 27: Variations inter-annuelles des Températures moyennes	46
Figure 28: Comparaison des moyennes mensuelles de la température entre trois périodes : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010)	47
Figure 29: Variations mensuelles des précipitations	48
Figure 30: Variations saisonnières des précipitations	48
Figure 31: Variations inter-annuelles des précipitations	49
Figure 32: Comparaison des moyennes mensuelles des précipitations entre trois périodes (1913- 1938), (1961-1985) et (1986-2010).	50
Figure 33: Evolution mensuelle de l'évapotranspiration potentielle Comme pour les variations de la température moyenne, l'ETP suit la meme évolution. Les années 1990-2010 enregistrent les valeurs les plus élevées.	51
Figure 34: Evolution du bilan hydrique (P-ETP) de la période (2004-2017)	52
Figure 35: la période de recharge	52
Figure 36: Evolution des périodes sèches et humides (2004-2017), les courbes en pointillés représentent les moyennes	53



INTRODUCTION



INTRODUCTION

Introduction

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

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

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

En ce qui concerne notre recherche, nous prenons en compte la définition du CCNUCC qui nous semble, certes d'un point de vue subjectif la mieux adaptée à ce que sera notre travail d'analyse et ceci pour mieux déceler si les changements climatiques ou les variations climatiques qui sévissent à l'Est algérien sont soit la conséquence directe ou indirecte des activités anthropiques, soit la conséquence d'une évolution naturelle, ou bien le résultat d'une combinaison entre ces deux dernières.

Dans le cadre de la recherche sur les changements climatiques, les problèmes récurrents sur lesquels les chercheurs butent sont soit l'absence totale de données sur une région d'étude, soit la discontinuité des séries de données météorologiques quotidiennes,

INTRODUCTION

mensuelles ou annuelles. On peut aussi énumérer le manque de stations météorologiques comme un des problèmes significatifs.

L'objectif de cette recherche est principalement axé sur la collecte des données climatiques, remédier à la discontinuité de ces mêmes données, rechercher des données climatiques (températures, précipitations) tels que des bulletins météorologiques quotidiens ou mensuels et enfin les homogénéiser vu l'existence de plusieurs sources. Ces étapes sont fondamentales pour que le travail d'analyse de la situation climatologique présente et passée puisse se faire. Cette recherche est principalement axée sur la période 1961-2010 soit 50 ans.

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

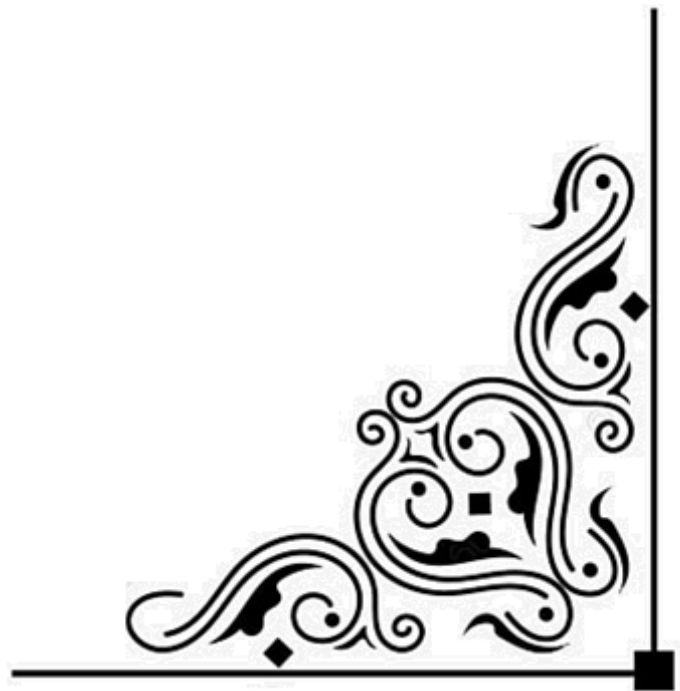
La méthodologie suivie est la suivante :

- 1- La description de la région d'étude ;
- 2- les notions de base liées au changement climatique et à la variabilité climatique ;
- 3- l'analyse statistique de données climatiques mensuelles et annuelles, permettant ainsi la caractérisation des variations spatio-temporelles des variables climatiques étudiées .



CHAPITRE I

Généralités sur Le bilan hydrique



Introduction

L'analyse des conditions climatiques moyennes (régime pluvio-thermique, fréquence des gelées...) permet d'appréhender les conditions moyennes de croissance des peuplements. Cette analyse, indispensable, peut être complétée par un calcul de bilan hydrique qui permet de suivre l'évolution dans le temps de la réserve utile en eau du sol et ainsi caractériser plus finement les niveaux de contraintes hydriques subis par les cultures ; contraintes qui affectent plus ou moins directement la production. (Aussenac et Ducrey 1974, Choisnel 1992b).

Un bilan hydrique permet donc de faire la balance entre les quantités d'eau entrant et sortant du complexe sol – végétation et d'estimer le degré de satisfaction des besoins en eau. Il quantifie l'évapotranspiration potentielle et le déficit hydrique.

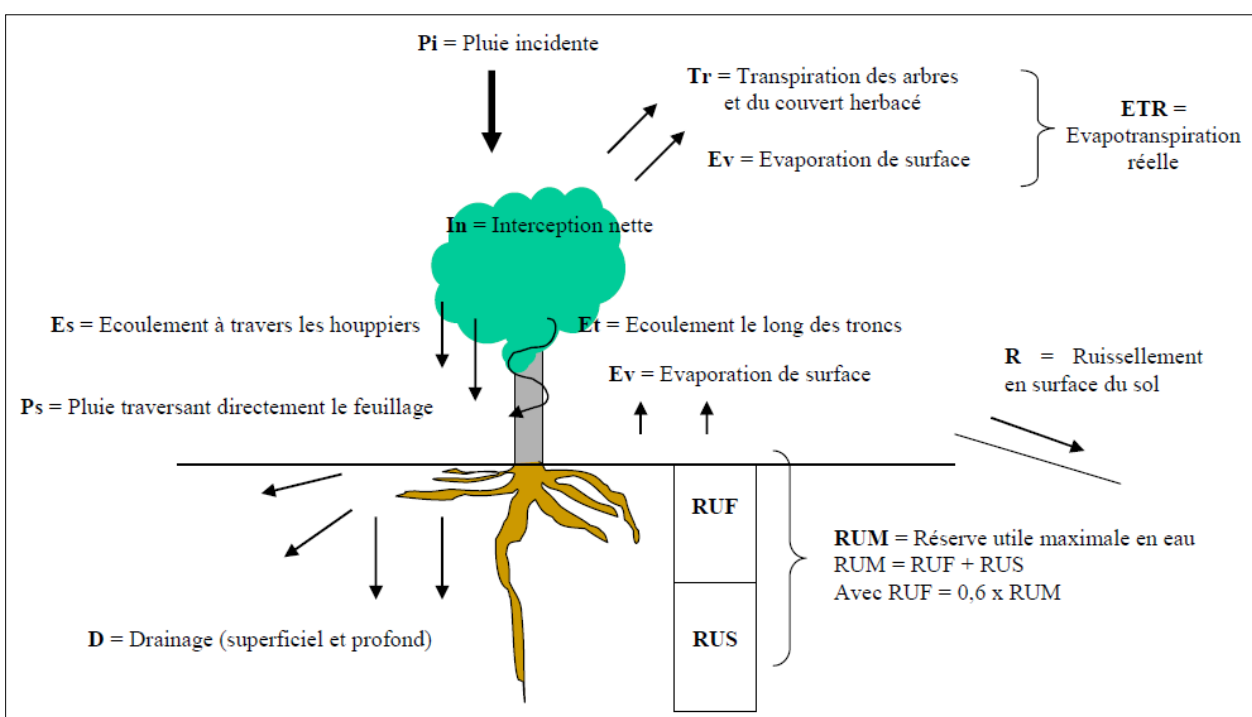


Figure 01 : Le bilan hydrique simplifié

Les termes du bilan hydrique

Les termes du bilan hydrique (figure ci-dessus) comprennent : les entrées, les sorties et les réservoirs internes.

1. Les entrées

Elles correspondent à l'eau entrant dans le système sous forme essentiellement de pluies. Les brouillards, la rosée, les apports ascendants par nappes aquifères et latéraux par ruissellement (terrain en pente) participent également aux entrées mais sont beaucoup plus difficiles à quantifier.

Concernant les pluies, toute l'eau incidente n'est pas disponible au niveau du sol pour

l'alimentation hydrique des plantes. Une partie importante est interceptée par le feuillage (surtout dans le cas où on parle d'une forêt à couvert dense). Le bilan peut s'écrire de la façon suivante. **Pi** est la part potentiellement disponible et (**Ps+Es+Et**) la fraction réellement utilisable. L'interception **In** peut se définir comme la part de l'eau que recueillent les couronnes et qui est directement évaporée :

$$\mathbf{In} = \mathbf{P} - (\mathbf{Ps} + \mathbf{Es} + \mathbf{Et}).$$

La pluie au sol, c'est-à-dire la pluie « utile » permettant au réservoir du sol de se recharger, est obtenue par différence entre la pluie incidente (**Pi**) et l'interception des précipitations (**In**) en ajoutant l'écoulement le long des troncs/tiges (**Et**). Cette pluie s'infiltré verticalement dans le sol.

L'interception des pluies va dépendre de différents paramètres liés au climat mais également au peuplement. Parmi ces paramètres, on peut citer :

- La durée et l'intensité des pluies ;
- L'espèce végétale
- La morphologie de la ramification et du feuillage ;
- La surface de la partie aérienne estimée à travers le **LAI** (*Leaf Area Index* = surface de feuille en m² par m² de surface au sol). A partir d'un LAI de 6 m²/m², on considère que le peuplement est fermé.
- Type et grosseur des troncs/ tiges ;
- La structure du peuplement à travers la densité des tiges ;
- de la saison...

A partir de différentes études, il apparaît que l'interception **In** varie de 25 à 45% pour les résineux et de 15 à 30% pour les feuillus. L'interception est considérée comme constante au cours de l'année pour les résineux. Pour les feuillus, elle peut être réduite pendant la période d'expansion des feuilles et de sénescence. Pour le calcul d'un bilan hydrique dans le cas d'un peuplement de hêtre, on retranchera, par exemple, 20% aux totaux pluviométriques mensuels pour estimer l'eau disponible pour les arbres.

Il est également important de rappeler que l'intensité des pluies incidentes joue un rôle essentiel. Des pluies incidentes de moins de 1 mm pour les feuillus et de 2 mm pour les résineux sont totalement interceptées et n'arrivent jamais au sol. Par exemple, une pluie de 2 mm par jour sur 30 jours correspond à un total de 60 mm de pluie hors couvert mais à « aucune » pluie utile pour la forêt... l'eau étant totalement interceptée par les feuilles.

La surface foliaire agit non seulement sur l'interception mais gouverne également la transpiration du couvert. C'est un élément essentiel du bilan hydrique.

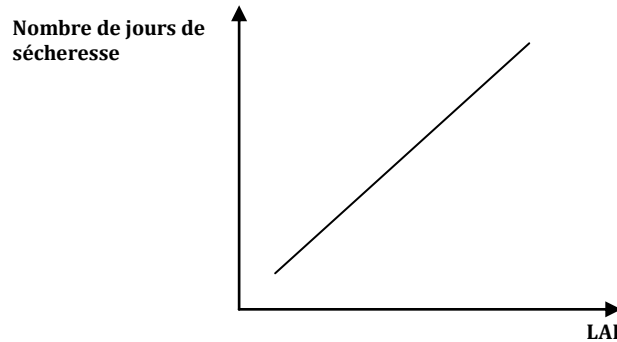


Figure 02 : La relation entre le **LAI** et le nombre de jours de sécheresse

2. Les sorties

Un calcul de bilan hydrique nécessite la prise en compte de l'eau perdue naturellement, par évaporation ou par évapotranspiration, et par ruissellement et aussi les eaux destinés au besoin. En plus de la faible quantité d'eau reçue par nos barrages à cause de la sécheresse qui a touché le pays depuis une vingtaine d'années, cette quantité se trouve menacée par trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'évaporation intense, l'envasement accéléré et les fuites d'eau surtout à travers les appuis (Toumi et Remini 2002).

Elles correspondent à l'eau sortant dans le système par drainage **D** superficiel et profond dans le sol hors de la zone d'exploitation des racines, au ruissellement **R** sur les pentes, à l'évapotranspiration qui associe la transpiration **Tr** du couvert et l'évaporation **Ev** de surface. L'essentiel dans les sorties est l'estimation de l'évapotranspiration.

3. Les stocks d'eau

Ils correspondent essentiellement au stock du sol que l'on peut estimer à travers le calcul de la réserve utile maximale en eau (**RUM**). La réserve utile en eau est un paramètre essentiel du modèle car, reflétant la capacité du sol à stocker l'eau, elle conditionne, en grande partie, la capacité de résistance des plantes à des réductions de précipitations et à des sécheresses pendant la saison de croissance.

La détermination et les caractéristiques de chaque horizon reposent sur différents principes. La profondeur de chaque horizon est définie à partir des descriptions pédologiques des sols et de l'enracinement observé à chaque niveau (densité et taille des racines). Pour chaque horizon, la réserve utile maximale potentielle en eau (**RUM**) a été estimée à partir des coefficients (**T**) de réserve potentielle en eau associés à chaque texture, des charges en éléments grossiers (**CC**) et de l'épaisseur de la couche de sol correspondante (**E en cm**).

$$RUM_h = T \times E \times \left[\frac{100 - CC}{100} \right]$$

Par exemple, les valeurs du coefficient T pour chaque classe de texture peuvent être obtenues à partir du Tableau suivant :

<i>Texture</i>	S	SL	SA	LIS	LS	LmS	LSA	LAS	LI	Lm	LA	AS	A	AL	Alo
<i>Coef T</i>	0.70	1.00	1.35	1.20	1.45	1.60	1.65	1.75	1.30	1.75	1.95	1.70	1.75	1.80	1.65

Par exemple :

Horizon 1 : E=35 cm, LS=1.45 et CC=10%

$$RUM_1 = 1,45 \times 35 \times \left[\frac{100 - 10}{100} \right] = 45,7mm$$

Horizon 2 : E=70 cm, AS=1.70 et CC=25%

$$RUM_2 = 1,70 \times 70 \times \left[\frac{100 - 25}{100} \right] = 89,2mm$$

Le sol a une réserve utile maximale potentielle en eau de :

$$RUM_{totale} = 45,7 + 89,2 = 134,9 = 135mm$$

Cette **RUM** correspond à l'eau potentiellement disponible. Cette **RUM** se décompose en une **RUF** ou réserve utile facilement utilisable et une **RUS** ou réserve utile de survie. La **RUF** correspond à **60%** de la **RUM** (ici RUF = 0,6 x 135 = 81 mm). La **RUS** correspond à **40%** de la **RUM** (ici = 54 mm). Ces valeurs sont importantes à considérer car elles conditionnent l'estimation de l'**ETR**.

Principe de calcul d'un bilan hydrique

Equation du bilan hydrologique Du point de vue hydrologique, la première étape de la gestion des bassins versants est d'évaluer les pratiques de gestion passées, présentes et proposées sur un bassin versant en ce qui concerne le bilan hydrologique des bassins versants. Le terme de l'équilibre "Water shed water" se réfère à l'équilibre entre les apports d'eau à un bassin versant sous forme de précipitations et l'écoulement de l'eau du bassin versant de l'évapotranspiration, le débit des eaux souterraines et le débit d'écoulement.

Le bilan hydrologique dans un bassin versant prend en compte les données de l'évapotranspiration des plantes et dans ce cas en a appelé le bilan hydrique du bassin versant. Ce dernier est en fait l'application de l'équation de conservation de la masse, et constitue une simple opération de calcul à l'intérieur d'un système donné, on parle alors d'une approche systématique (Anctil, 2005).

Un bilan hydrique permet de suivre l'évolution dans le temps de la réserve utile en eau du sol. La variation du contenu est donc **la différence entre les entrées et les sorties** :

$$\Delta RU = Pu - D +/- R - ETR$$

ΔRU = Variation de la réserve hydrique du sol sur la période considérée

ETR = évapotranspiration réelle

Pu = pluie utile ($P_i - I_n + E_t$)

D = Drainage

R = Ruissellement

Les facteurs qui affectent le bilan hydrologique

Tableau 01:L'impact des différents facteurs qui affectent le bilan(d'après Croteau, 2006)

Types de données	Exemple d'impact sur le bilan
Donnée météorologiques (température, précipitation, vent, rayonnement solaire et humidité relative)	Quand le sol est gelé, l'eau ne pas s'infiltrer.
Couverture végétale (profondeur des racines, densité du couvert végétal et saison de croissance des végétaux)	Plus la végétation est mature et dense, plus la transpiration est importante.
Pente de terrain (Dérivées de carte topographique et du modèle numérique de terrain)	Plus la pente est abrupte, plus le ruissellement de surface est important
Carte pédologique (type de sol de surface)	Plus le sol est fin et compact, plus le ruissellement de surface est important
Image satellite d'utilisation du sol	En zone urbaine le ruissellement est plus important qu'en zone cultivée.
Densité du drainage de surface (cours d'eau et drainage agricole)	La présence de nombreux cours d'eau et système de drainage agricole réduit l'infiltration efficace donc la recharge.
Cartes géologique du socle rocheux et des dépôts meubles (porosité, fracturation, ordre et superposition des unités géologiques)	Si l'aquifère est recouvert d'argile ou s'il est peu poreux et non fracturé, le ruissellement hypodermique sera très important et la recharge sera très faible.

Méthodes de calcul du bilan hydrique

Les méthodes de calcul du bilan hydrique sont nombreuses et dépendent de l'échelle spatiale et temporelle considérée. Les modèles les plus complexes utilisent des données journalières et estiment le bilan à une échelle fine mais ceux là ne sont pas applicables d'une façon simple.

Le modèle présenté ici est largement utilisé car il utilise des données mensuelles facilement accessibles et mettent en jeu des calculs aisés. Il s'agit de la méthode de *Thornthwaite*.

Calcul du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite et Mather (1955 et 1957)

Contrairement à la méthode de **Palmer**, la méthode de **Thornthwaite** considère un sol à une couche **S** dans lequel l'évolution du contenu en eau suit une exponentielle négative dans le cas où $P < ETP$. **S** correspond au stock d'eau dans le sol pour chaque période. ΔS correspond à la diminution du stock d'eau entre deux périodes. **AWC** correspond à la réserve utile maximale en eau du sol en mm (**RUM**, Available Water Content). **DE** correspond au déficit d'évapotranspiration. **Dh** correspond au déficit d'humidité du sol c'est-à-dire à la différence entre le contenu en eau maximale et l'état de la réserve pour la période considérée. Enfin,

Dr correspond au drainage de l'eau en excès.

Le principe de calcul est le suivant :

Il faut toujours commencer par comparer **P** et **ETP**.

Pour un mois donné **n**,

*** Si $P > ETP$ alors**

$$S = \min [(P - ETP + S(n-1)) ; AWC]$$

$$\Delta S = S - S(n-1)$$

$$ETR = ETP$$

$$DE = ETP - ETR$$

$$Dh = AWC - S$$

$$Dr = P - ETP - \Delta S$$

***Si $P < ETP$ alors**

$$S = S(n-1) * \exp [-(ETP-P)/AWC]$$

$$\Delta S = S - S(n-1)$$

$$ETR = P - \Delta S$$

$$DE = ETP - ETR$$

$$Dh = AWC - S$$

$$Dr = 0$$

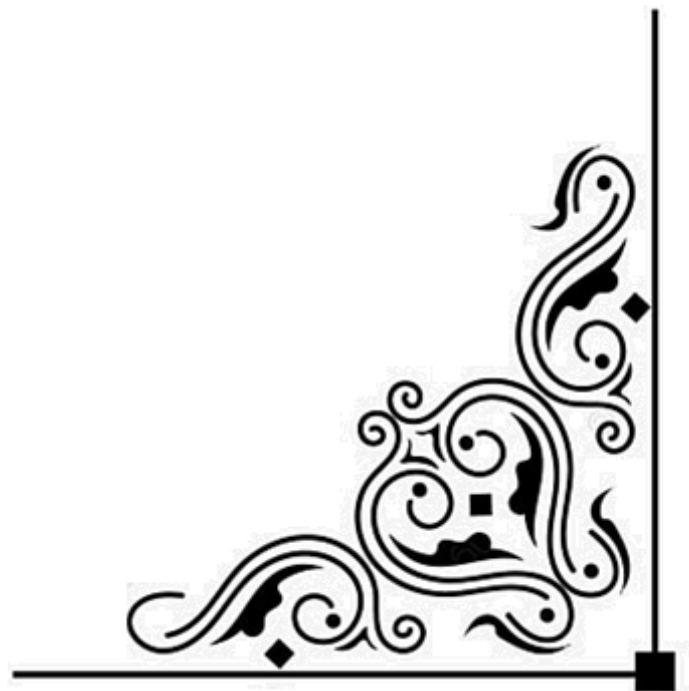
Tableau 2 : Exemple de calcul du bilan hydrique (données recueillis depuis la station synoptique d'Alger)

	T	P	ETP	S	ΔS	ETR	Dh	Dr	DE
	RFU = 100								
J	1,5	116	19,73	80,00	0	19,73	0,00	96,27	0,00
F	7,2	76	22,47	80,00	0	22,47	0,00	53,53	0,00
M	6,9	57	37,94	80,00	0	37,94	0,00	19,06	0,00
A	9,6	65	60,15	80,00	0,00	60,15	0,00	4,85	0,00
M	13,8	36	109,95	0,00	-80,00	116,00	80,00	0	-6,05
J	19,4	14	185,56	0,00	0,00	14,00	80,00	0	171,56
Jt	19	2	286,15	0,00	0,00	2,00	80,00	0	284,15
A	19,3	4	294,42	0,00	0,00	4,00	80,00	0	290,42
S	14,6	27	224,03	0,00	0,00	27,00	80,00	0	197,03
O	11,2	84	117,63	0,00	0,00	84,00	80,00	0,00	33,63
N	8,5	93	56,67	36,33	36,33	56,67	43,67	0,00	0,00
D	5,1	117	28,08	80,00	43,67	28,08	0,00	45,25	0,00



CHAPITRE II

CHANGEMENT CLIMATIQUE



INTRODUCTION

Le climat de la Terre n'a cessé d'évoluer à travers les millénaires, mais jamais les changements n'étaient intervenus à un rythme aussi rapide que depuis ces dernières années : recul des glaciers, inondations catastrophiques, canicules, sécheresses, cyclones plus fréquents et destructeurs sont autant de signes tangibles d'un bouleversement de notre système climatique qui ne peut pas être entièrement expliqué par des causes naturelles. Les émissions massives de gaz à effet de serre dans l'atmosphère depuis la révolution industrielle portent une importante responsabilité dans cette situation.

Le changement climatique et ses conséquences potentiellement dramatiques sur l'environnement naturel, économique et humain sont devenus suffisamment préoccupants pour que la communauté internationale réagisse à la fin des années 1970. En 1979, une première conférence mondiale sur le climat a ouvert la voie à la négociation d'un accord international visant à réduire les émissions anthropiques de gaz à effet de serre puis d'un Protocole imposant des objectifs chiffrés à certains pays industrialisés, dont la modeste contraste pourtant avec l'importance de l'enjeu.

Ce premier chapitre fait un bref état des lieux du problème climatique actuel, des conséquences du réchauffement et des incertitudes existantes. Puis il présentera la réponse de la communauté internationale à ce problème, soulignant les difficultés des négociations et détaillant le contenu de la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC) et du Protocole de Kyoto qui la complète.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le système climatique de la Terre est particulièrement complexe puisqu'il est régi par les interactions de nombreux éléments tels que les courants océaniques, la couverture nuageuse, les aérosols, les vents, le flot d'énergie provenant du Soleil et les activités humaines.

LE SYSTEME CLIMATIQUE

La Terre reçoit du Soleil un rayonnement continu, mais seule une partie de ce rayonnement, environ 70%, atteint sa surface, les 30% restant sont réverbérés dans l'espace (Figure 1). L'atmosphère terrestre est composée de différents gaz dont des gaz traces dits à "effet de serre". Présents dans les couches supérieures de l'atmosphère et représentant moins de 1% de sa composition totale, le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), l'ozone (O₃), les chlorofluorocarbones (CFC) et la vapeur d'eau agissent comme une couverture, ou une serre, autour de la surface de la Terre en piégeant une partie du rayonnement provenant du Soleil. Sans cet effet de serre, la température sur la planète serait de 30°C plus froide: avec une moyenne globale de -18°C et non de +15°C, l'eau ne serait pas à l'état liquide et il n'y aurait pas de vie sur Terre.

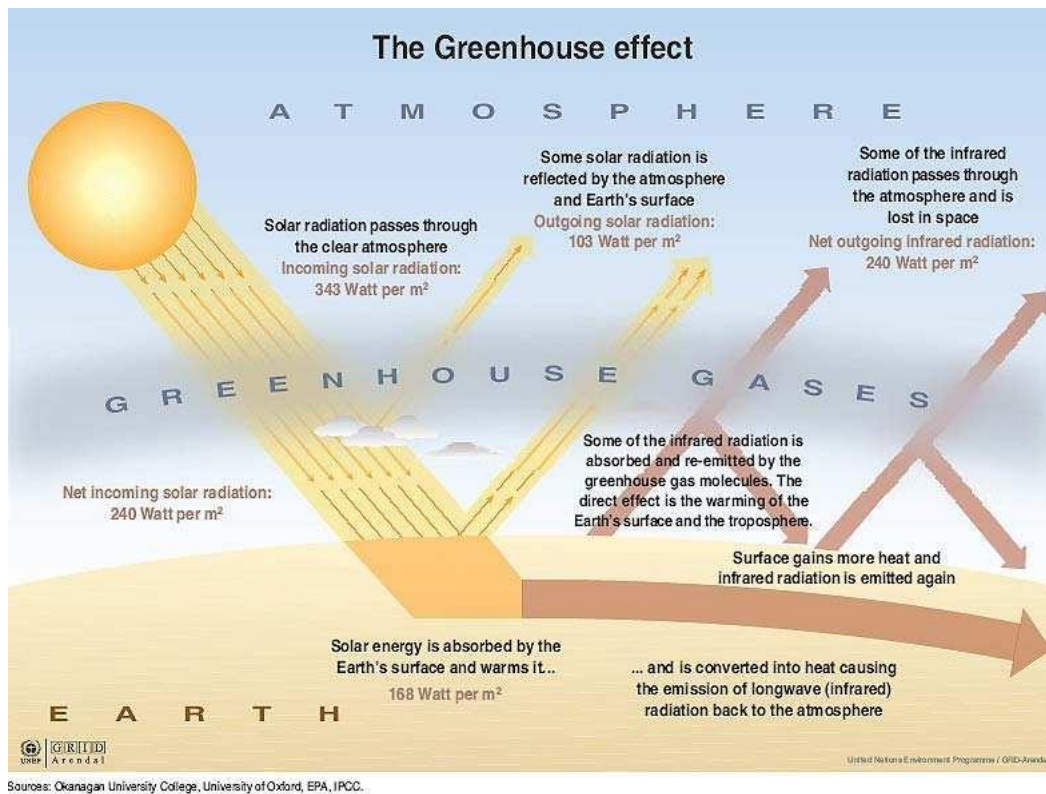


Figure 3: L'effet de serre (UNEP, 2005, p. 10)

Le climat de la Terre a constamment évolué, à l'échelle géologique ou historique. Des données provenant de l'analyse de sédiments marins, de dépôts terrestres de faune, de flore et de loess, de l'étude des anneaux de croissance des arbres (dendrochronologie), des pollens, des coraux et de carottes de glace montre que la fin de l'ère Quaternaire, c'est-à-dire le dernier million d'années, se caractérise par des périodes glaciaires et interglaciaires d'environ 100'000 ans (Petit et al., 1999). Ces changements climatiques sont dus à des variations internes du système climatique et à des facteurs extérieurs naturels et anthropiques. En l'absence d'intervention humaine, la Terre se serait lentement acheminée au cours des 5'000 prochaines années vers une glaciation, puis un léger réchauffement se serait produit avant le retour de conditions glaciaires d'ici à 60'000 ans (Rebetez, 2002, p.18). Les modifications naturelles du climat sont liées à la position orbitale de la Terre, au rayonnement solaire dont l'intensité énergétique augmente depuis deux ou trois milliards d'années mais qui a été compensée sur Terre par l'apparition de végétation, ainsi qu'au volcanisme et à la circulation océanique. Si le réchauffement climatique de la première moitié du XXe siècle peut être attribué à des causes naturelles, elles ne suffisent pas à expliquer celui qui se produit depuis les années 1950 (ibid., p. 25).

Les gaz à effet de serre liés aux activités humaines ne sont pas émis en proportion égale. Le CO₂ est la principale source de GES puisqu'il représentait 77% des émissions anthropiques en 2004 (IPCC, 2007a). Les émissions annuelles actuelles de CO₂ se montent à près de 27 milliards de tonnes de CO₂ soit environ 1% de la masse totale de CO₂ dans l'atmosphère (UNEP/IUC, 1998). Depuis 1750, les activités humaines ont provoqué une augmentation sans précédent des concentrations de GES dans l'atmosphère (IPCC, 2001a et IPCC 2007a): +27% pour le dioxyde de carbone (CO₂), une concentration jamais atteinte depuis 650'000 ans, et probablement pas depuis 20 millions d'années : de 280 ppm¹ environ

à l'époque pré-industrielle, les concentrations de CO₂ atteignent en 2005 379 ppm. 75% des émissions anthropiques de CO₂ est du à l'utilisation de combustibles fossiles, le reste provient de la modification de l'utilisation des sols, surtout le déboisement. La moitié des émissions anthropiques de CO₂ est absorbée par la terre et les océans; +60% pour le méthane (CH₄) : d'environ 715 ppb² à l'époque pré- industrielle jusqu'à 1732 ppb au début des années 1990 et 1774 ppb² en 2005 L'augmentation de cette concentration, jamais atteinte depuis 650'000 ans, s'est nettement ralentie depuis le début des années 1990. Un peu plus de la moitié de ces émissions sont d'origine humaine: combustibles fossiles, bétail, culture du riz, décharges;

- +15% pour l'oxyde nitreux (N₂O) : de 270 ppb à 319 ppb entre l'époque pré-industrielle et 2005, et cette concentration continue de croître. Un tiers des émissions actuelles de N₂O provient d'activités humaines: terres cultivées, aliments pour bétail, industrie chimique;

Les gaz halocarbonés (par exemple les CFC) appauvrissent la couche d'ozone et sont des GES. Interdits depuis la mise en œuvre du Protocole de Montréal³, la concentration de ces gaz augmente moins rapidement, voire même diminue. Cependant, les gaz utilisés pour remplacer les CFC, comme les perfluorocarbones (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆), sontaussi des GES dont les concentrations atmosphériques augmentent nettement.

La durée de vie des GES dans l'atmosphère revêt une importance considérable à cause de l'inertie du système climatique. Si certains gaz ne subsistent que quelques années (par exemple, 9 à 15 ans pour le CH₄), d'autresont une durée de vie nettement plus longue, comme le CO₂ (50 à 200 ans) ou les PFC, 2'600 à 50'000 ans (voir Tableau 3).

Gaz à Effet de Serre	Concentrations Préindustrielles (ppm)	Concentrations en 1998 (ppm)	Sources Anthropiques	Durée de vie (années)	GWP(100 ans)
Vapeur d'eau	1 à 3	1 à 3		Quelques jours	
Dioxyde de Carbone (CO ₂)	280	365	Combustibles fossiles, production de ciment, déboisement et autres changements d'utilisation des terres	Variable (50-200)	1
Méthane (CH ₄)	0,7	1,75	Bétail, rizières, déchets solides, mines de charbon, production de pétrole et de gaz naturel	12	23
Oxyde Nitreux (N ₂ O)	0,27	0,31	Production de Nylon, production d'acide nitrique, combustion de biomasse, sols cultivés, automobiles avec pots catalytiques	114	296
HydroFluoroCarbones (HFC)	0	0,000005 – 0,000014	Produits chimiques manufacturés, réfrigérants, procédés industriels	1,4-260	120 – 12'000
PerFluoroCarbones (PFC)	0 – 0,00004	0,000003 – 0,00008	Produits chimiques manufacturés, production d'aluminium	2'600- 50'000	5'700 – 11'900
Hexafluorure de Soufre (SF ₆)	0	0,0000042	Produits chimiques manufacturés	3'200	22'200

Tableau 3: Sources, durée de vie et GWP à 100 ans des principaux GES (Baranzini et al, 2000 et UNEP, 2005, p. 11)

L'efficacité relative des GES à capturer la chaleur de la Terre se mesure en termes de potentiel de réchauffement global (global warming potential, GWP). Le GWP détermine l'effet radiatif cumulatif des gaz pendant un certain laps de temps, en général 20, 100 ou 500 ans par rapport à un gaz de référence. Par exemple, même si les émissions d'halocarbones (HFC, PFC et SF6) sont très faibles, leur GWP est des milliers de fois plus grand que celui du CO2 par unité moléculaire. C'est pour cette raison qu'ils sont inclus dans le Protocole de Kyoto. Pour calculer l'impact d'un gaz sur le réchauffement planétaire, il faut prendre en compte sa concentration, sa durée de vie et son GWP. Par exemple, du CH4 émis dans les années 1980 aura environ 80% de l'impact des émissions de CO2 de cette décennie entre 1990 et 2010, mais seulement 30% entre 1990 et 2090. Les émissions de GES peuvent se mesurer en unités "équivalent CO2" en multipliant leurs émissions en tonnes métriques par leur GWP. Le GWP permet aussi d'établir une équivalence entre les impacts climatiques des différents GES pour comparer les réductions d'émission des pays (Baranzini et al, 2000).

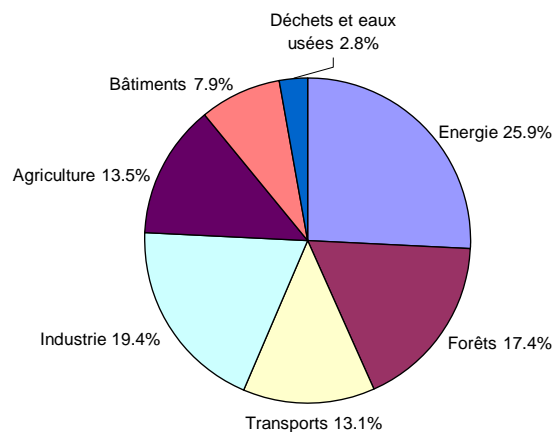


Figure 4: Répartition par activité des émissions globales de CO2 en 2004(d'après IPCC, 2007c)

Les principales activités humaines émettent des GES. En particulier, la combustion de charbon, de pétrole et de gaz naturel pour la production d'énergie, le déboisement et certaines pratiques agricoles et industrielles altèrent la composition de l'atmosphère et contribuent au changement climatique. Le recours aux énergies fossiles compte pour environ trois-quarts des émissions de CO2. Le Tableau 1 et la Figure 2 montrent que les émissions anthropiques de GES proviennent majoritairement de la production d'énergie. Entre 1970 et 2004, la plus forte augmentation d'émission de GES a été le fait de ce secteur : + 145%. Dans le même temps, les émissions dues au secteur des transports augmentaient de 120%, celles de l'industrie de 65% et celles liées au changement d'affectation et d'utilisation des terres de 40% (IPCC 2007c, p. 3). Les émissions anthropiques de méthane sont surtout dues à l'agriculture et aux déchets.

La concentration des GES dans l'atmosphère résulte de la différence nette entre leur production par des sources (utilisation de combustible fossile, agriculture) et leur absorption par des puits, c'est-à-dire les végétaux terrestres et les océans. L'homme peut donc contribuer à accroître ces GES de deux manières: en renforçant les sources ou en affaiblissant les puits. Les sources anthropiques sont souvent plus faciles à quantifier que les puits, qui sont pourtant

très importants car ils permettent d'éliminer une partie du CO₂.

D'après le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur les Changements Climatiques (GIEC), "un nombre croissant d'observations nous donne aujourd'hui une image d'ensemble d'une planète qui se réchauffe et de plusieurs autres changements dans le système climatique" (IPCC 2001a). Dans son quatrième rapport d'évaluation, le GIEC affirme que la croissance des émissions de gaz à effet de serre n'a pas cessé depuis l'époque préindustrielle, avec une augmentation de 70% entre 1970 et 2004 (IPCC, 2007a). Ce réchauffement a pu être mesuré aussi bien à une altitude de 8000m que dans les profondeurs des océans, jusqu'à 3000m sous la surface (Rebetez, 2002, p. 13 et IPCC, 2007a, p 5). Entre 1906 et 2005, la température moyenne globale à la surface du sol et de la mer s'est accrue de 0,74°C en moyenne (IPCC, 2007a, p. 5).

Ces moyennes ne reflètent pas une grande diversité de situations régionales, ni temporelles : ainsi, dans les plaines européennes, les températures moyennes minimales nocturnes ont fortement augmenté alors que les maximales diurnes augmentaient deux fois moins vite. La tendance inverse s'observe en montagne. Les différences sont importantes entre les saisons dans les régions de moyenne latitude :

le réchauffement est plus marqué en hiver et en été que dans les saisons intermédiaires. Cette hausse moyenne s'explique par une période 1995-2000 caractérisée par des températures élevées.

L'essentiel du réchauffement du XXe siècle est intervenu entre 1910-1945 et 1976-2000. La décennie 1990-2000 a été la plus chaude du siècle et 1998 l'année la plus chaude depuis 1861. A Neuchâtel, par exemple, la température moyenne de 1996, année la plus froide de la dernière décennie du XXe siècle était de 9,6°C tandis que celle de l'année la plus chaude de la première décennie de ce même siècle, 1904, n'était que de 9,9°C (Rebetez, 2002, p. 37). La hausse moyenne des températures est plus sensible dans les régions continentales que dans les zones côtières. Ainsi le climat de la Suisse s'est réchauffé 2,3 fois plus vite que l'ensemble de l'hémisphère nord, avec une augmentation moyenne de 0,57 degrés depuis les années 1970 (Rebetez et Reinhard, 2007).

Ce réchauffement est le plus important dans l'hémisphère Nord depuis 1000 ans. Il existe très peu de données sur le climat dans l'hémisphère sud avant 1861 pour permettre une évaluation similaire.

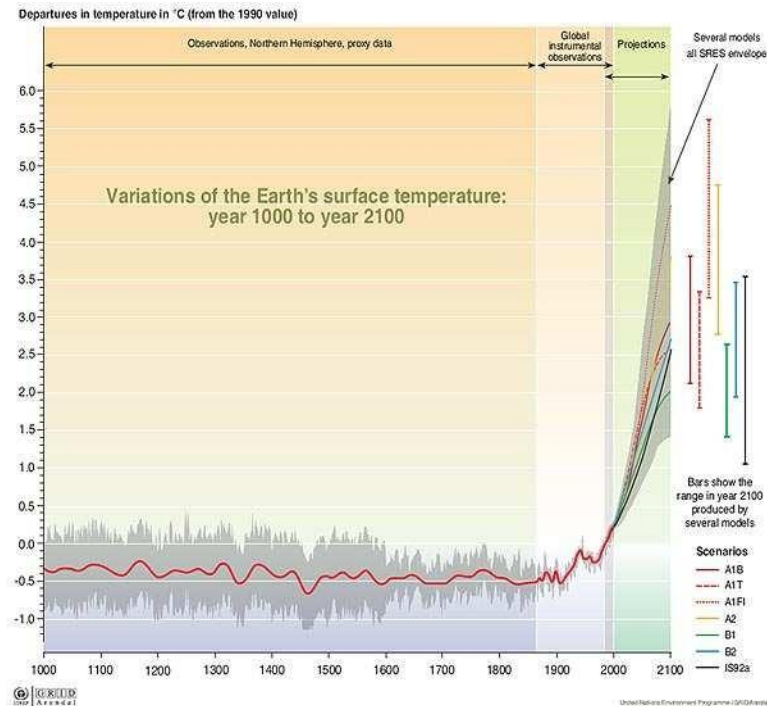


Figure 5: Variation de la température de la surface de la Terre entre 1000 et 2100 (GRID-Arendal 2005)

Les modèles du GIEC prévoient une poursuite de ce réchauffement dû aux activités humaines au XXI^e siècle: entre +1,8°C et +4°C en moyenne⁶ (IPCC, 2007a, voir Figure 3). Historiquement, ce réchauffement est dû aux émissions liées à l'utilisation de combustibles fossiles (charbon, pétrole) dans les pays industrialisés. Actuellement, les pays industrialisés émettent deux tiers des émissions anthropiques de CO₂ alors qu'ils ne représentent qu'un quart de la population du globe (Etats-Unis en tête: 23% des émissions de la planète; Suisse: 0,2%). Si l'on prend en considération les émissions par tête, on constate qu'un Américain rejette dix fois plus de GES (21,2 MteqC) qu'un Chinois (2 MteqC, voir Figure 4). Pourtant, les émissions de la Chine comptent pour 13% des émissions globales et augmentent rapidement. Les émissions des pays en développement sont en très forte augmentation. Dans les années 2020, ces pays pourraient devenir les principaux émetteurs de GES à cause d'une consommation d'énergie accrue de leur part.

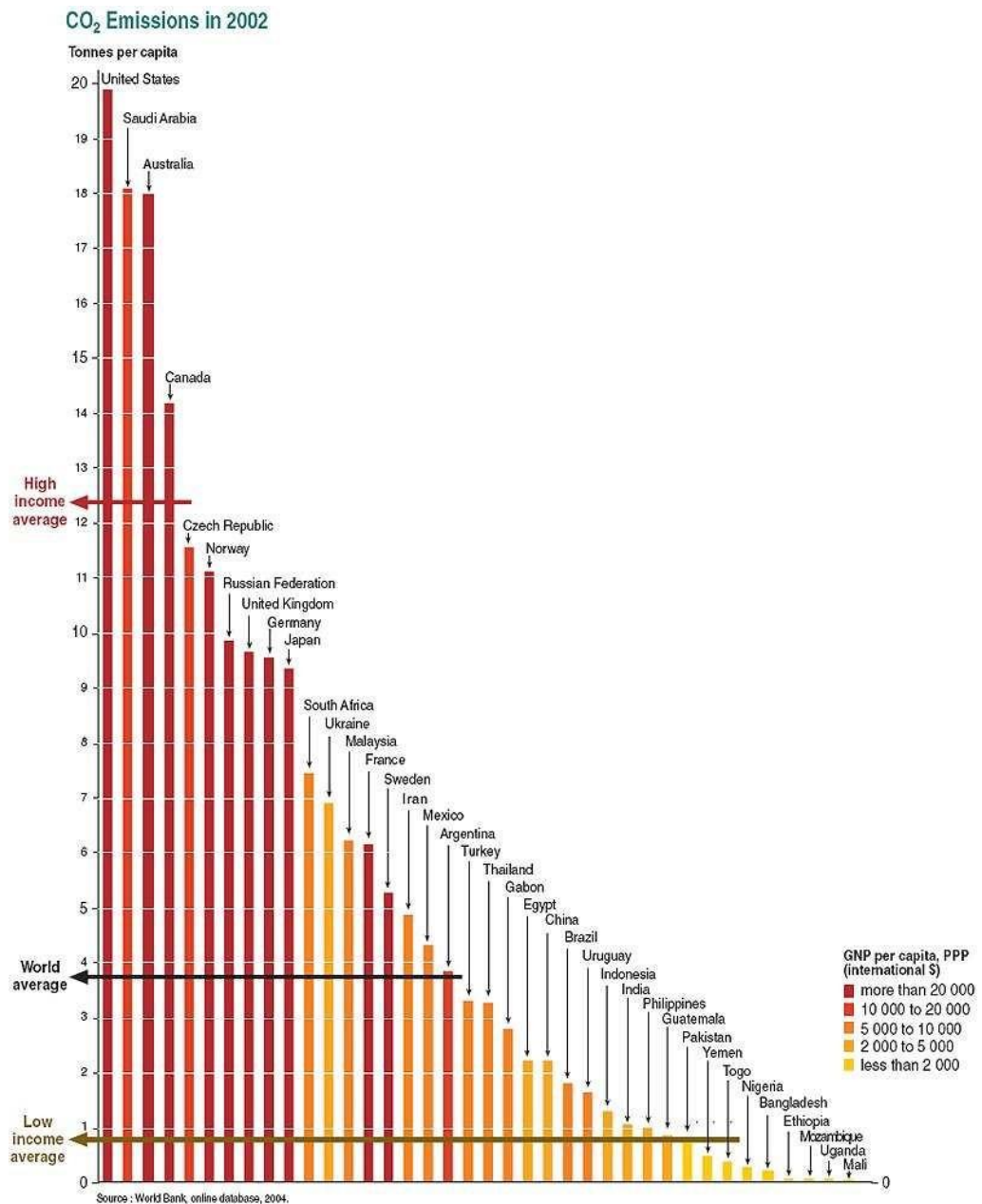


Figure 6: Émissions de carbone par habitant en 2002 (UNEP, 2005, p.15)

Variabilité climatique

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

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES OBSERVÉS

Les observations mettent en évidence un changement de la composition de l'atmosphère (augmentation des concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre tels que le CO₂ et le méthane (CH₄), etc.), ainsi qu'un changement du climat mondial (températures,

précipitations, niveau de la mer, glace marine, et dans certaines régions, phénomènes climatiques extrêmes, y compris vagues de chaleur, fortes précipitations, et sécheresses, etc.).

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

Cette évolution n'est pas uniforme et tend à varier d'une région à une autre, par exemple, le réchauffement en Afrique est légèrement plus élevé par rapport à la tendance mondiale en 2001 (Figure 7).

On ne peut dire à l'heure actuelle si l'accélération du rythme qui a été constatée entre 1993 et 2003 traduit une variation décennale ou un renforcement de la tendance à long terme.

Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'Est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le Nord de l'Europe et dans le Nord et le Centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud.

Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970.

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

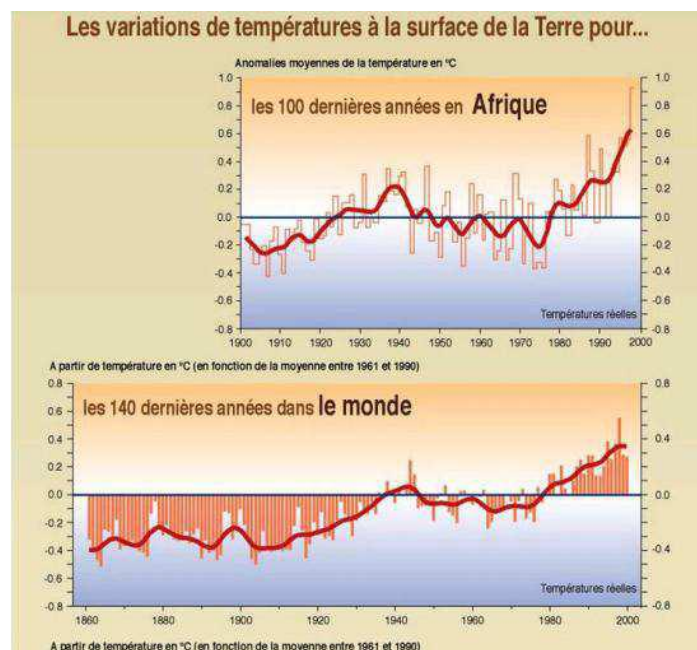


Figure 7 : Comparaison entre les variations de températures en Afrique et la tendance de réchauffement mondial (<http://www.grida.no/publications>).

Evolution future du climat

Pour quantifier les possibles futurs changements climatiques, les climatologues ont d'abord utilisé des situations idéalisées plus communément appelées scénarios ; quels seraient les changements climatiques si la concentration de CO₂ doublait ? Ou bien, si la

concentration de CO₂ augmentait de 1 % par an (ce qui conduit à un doublement tous les 70 ans) ?

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

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

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

selon les modèles. En ce qui concerne la répartition géographique, les résultats font apparaître que :

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

LES CAUSES DE L'EVOLUTION CLIMATIQUE

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

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

Le rayonnement solaire

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

Ces fluctuations se sont traduites par des variations de la température à la surface de la Terre. Le graphique (Figure 9) montre la variation de « l'irradiance solaire » de 1978 à 2008 ;

Elle est d'un peu moins de 2 W/m² pour une irradiance moyenne de 1366 W/m², ceci se traduit par une variation du rayonnement reçu par unité de surface de la Terre de l'ordre de

0,3 W/m² (appelé « solar forcing » sur le graphique ou forçage solaire en français).

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

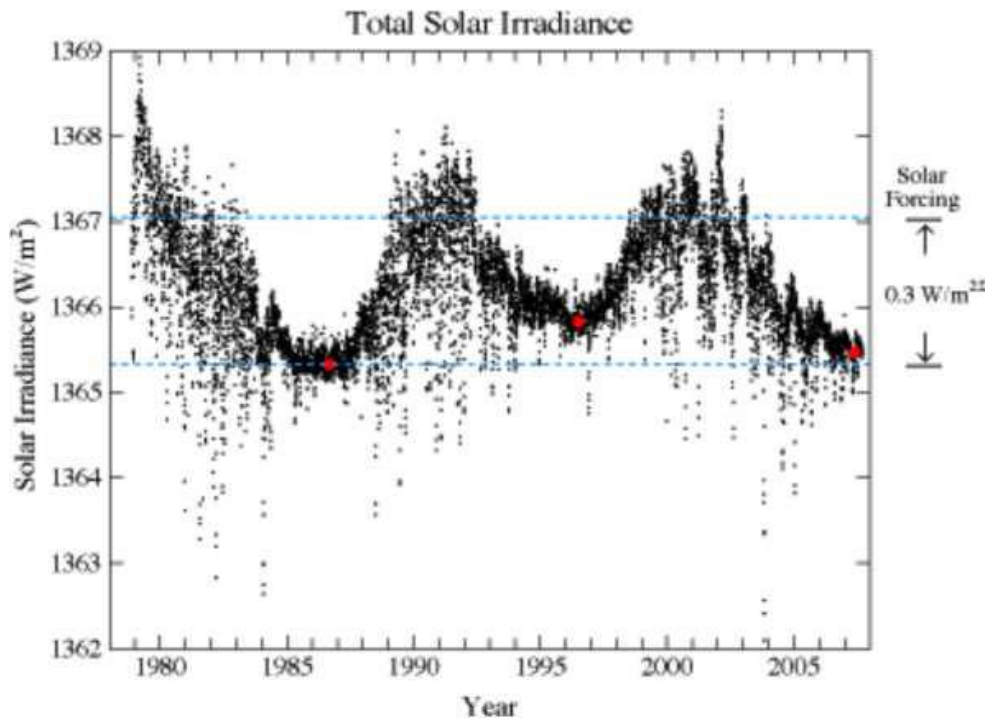


Figure 8 : Irradiance Solaire (Willson, R C et al, 2003).

Les aérosols

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

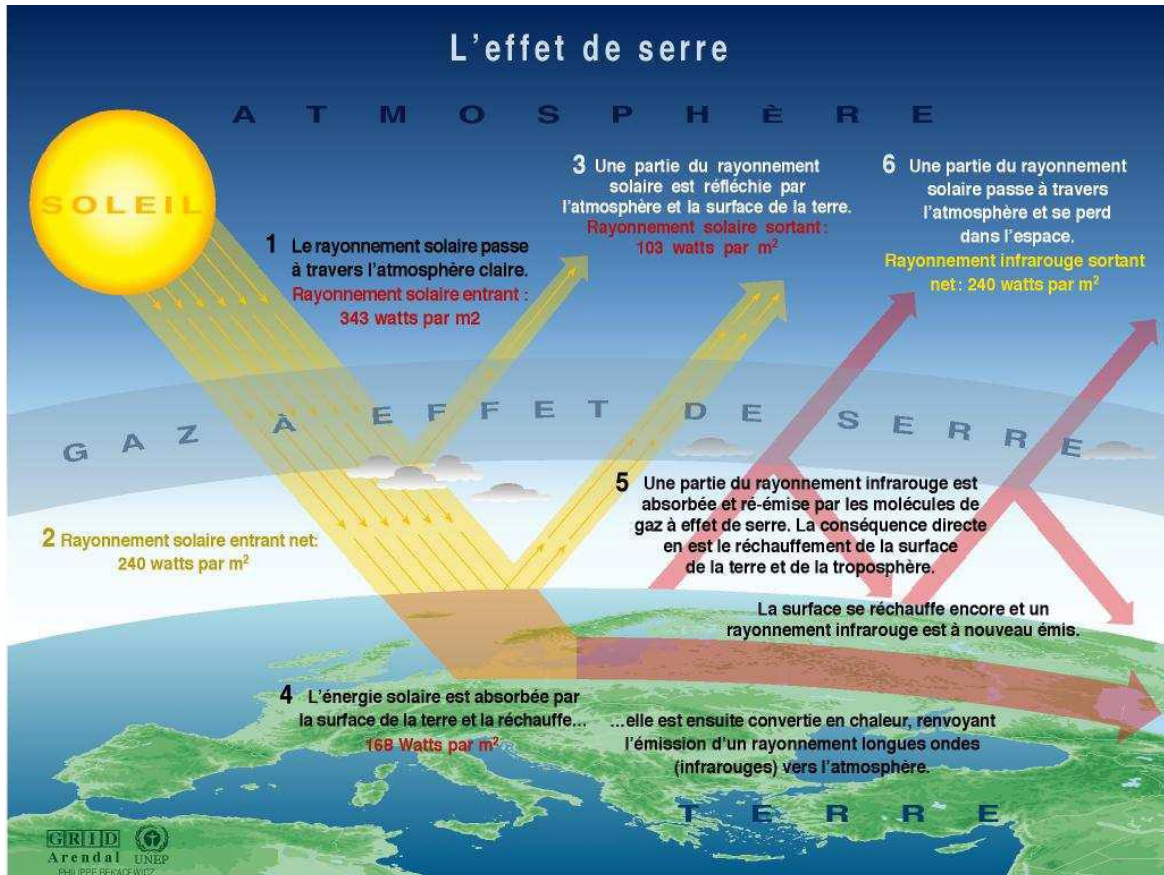
- directement, en agissant et en absorbant le rayonnement ;
- indirectement, en agissant comme noyaux de condensation pour la formation de nuages ou la modification des propriétés optiques et de la durée de vie des nuages (Dumas P et al, 2005).

L'effet de serre

définition

Les gaz à effet de serre absorbent efficacement le rayonnement infrarouge thermique émis par la surface de la Terre, par l'atmosphère elle-même en raison de la présence de ces gaz et par les nuages. Le rayonnement atmosphérique est émis dans toutes les directions, y compris vers la surface de la Terre. Par conséquent, les gaz à effet de serre retiennent la chaleur dans le système surface-troposphère: c'est ce qu'on appelle « l'effet de serre » (figure 10). Dans la troposphère, le rayonnement infrarouge thermique est étroitement lié à la température de l'atmosphère à l'altitude à laquelle il est émis, cette température diminuant en général avec l'altitude. En fait, le rayonnement infrarouge émis vers l'espace provient d'une altitude où la température est en moyenne de -19°C, en équilibre avec le rayonnement solaire net incident, alors que la surface de la Terre se maintient à une température beaucoup plus élevée, de +14°C en moyenne. Une augmentation de la concentration de gaz à effet de serre accroît l'opacité

de l'atmosphère au rayonnement infrarouge et entraîne donc un rayonnement effectif vers l'espace depuis une altitude plus élevée et à une température plus basse. Il en résulte un forçage radiatif qui entraîne un renforcement de l'effet de serre; c'est ce qu'on appelle « l'effet de serre renforcé » (GIEC, 2008).



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

Figure 09 : Processus de l'effet de serre

Les gaz à effet de serre

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

Les gaz à effet de serre présents traités dans le protocole de Kyoto sont (tableau 4):

- le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO₂) provenant essentiellement de la combustion

des énergies fossiles et de la déforestation ;

- le méthane (CH₄) qui a pour origine principale l'élevage des ruminants, la culture du riz, les

décharges d'ordures ménagères, les exploitations pétrolières et gazières;

- les halocarbures (HFC, PFC) sont les gaz réfrigérants utilisés dans les systèmes de climatisation et la production de froid, les gaz propulseurs des aérosols;
- le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O) provient de l'utilisation des engrais azotés et de certains procédés chimiques;
- l'hexafluorure de soufre(SF₆) utilisé par exemple dans les transformateurs électriques (Dumas P et al, 2005).

Tableau 4 : les principaux gaz à effet de serre.

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

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE EN ALGERIE

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

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

D'après des études réalisées par l'ONM sur l'évolution des températures, elles ont révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, date du début des émissions à effet de serre. Concernant la pluviométrie en Algérie, l'étude fait ressortir un recul de 12% pour la période 1990-2005 en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bab El Oued en 2001 et dans la ville d'El Taref en 2012.

L'évolution des températures en Algérie montre une hausse sur l'ensemble du territoire au cours des saisons d'hiver et d'automne et une hausse nette des températures minimales et maximales dans toutes les stations de l'Algérie du Nord et se prolonge jusqu'à nos jours. Durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales.

Quant aux précipitations, pour les mêmes périodes l'examen montre qu'en automne et en hiver, il y a diminution des pluies sur le Nord, et en printemps dans l'Est du pays.

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

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

Les GES en Algérie

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

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

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

Tableau 5: Synthèse des émissions et des absorptions de GES en Algérie (1994) (Gg).

Secteur	CO ₂ émissions	CO ₂ absorptions	CH ₄	N ₂ O	NOX	CO	COVM	SO ₂
Energie	59245,74	0	515,57	0,3	238,41	916,09	184,46	31,69
Procédés Industriels	4437,8	0	0,24	0,88	2,47	5,35	92,91	7,89
Solvants	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
Agriculture	0	0	168,04	27,45	0,88	921,43	NC	0
Sols/Forêts	12166,55	4331,46	20,61	1,42	5,12	180,34	NC	0
Déchets	0	0	209,51	1,34	0	100	NC	0
Total	758711,09	4331,46	913,97	31,39	246,86	1123,21	277,37	39,58

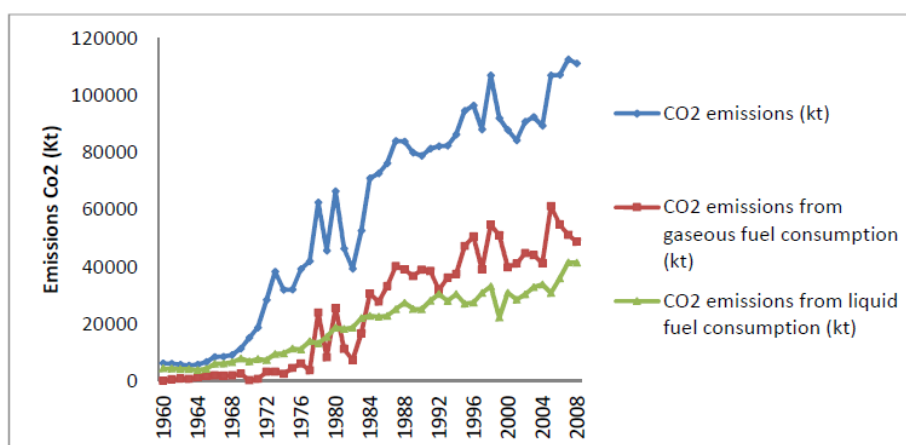


Figure 10 : Emissions de CO₂ en Algérie (<http://www.data.un.org>).

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

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

En tenant compte des PRG des trois principaux gaz à effet de serre (tableau 3.1), 72,40

% des émissions totales proviennent du CO₂, ce qui s'explique par l'ampleur de l'activité énergétique de l'Algérie, 18,31% proviennent du CH₄ et 9,29 % du N₂O.

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

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

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

Tableau 5.1 : Emissions par type de gaz et par habitant.

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

Tableau 5.2 : Emissions par type de gaz (en 1000 TE-CO₂).

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

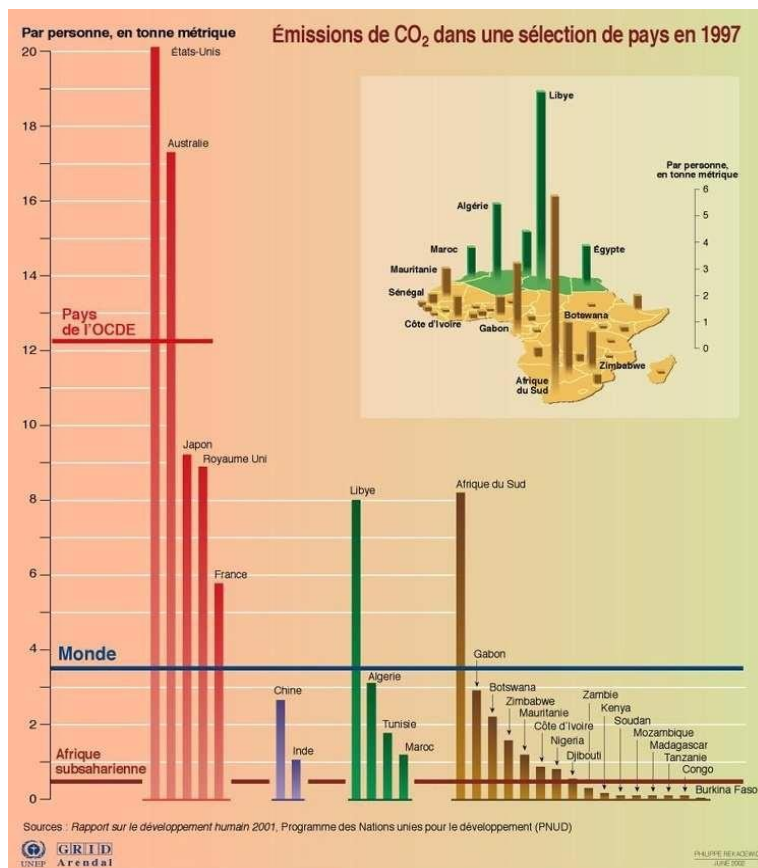


Figure 11 : Émissions africaines: les principales sources africaines de gaz à effet de serre; le taux d'émissions par personne; comparaison avec les émissions d'autres pays (<http://www.grida.no/publications>).

Projections climatiques sur l'Algérie

Pour la période 1990 – 2020, la hausse de la température moyenne sera comprise entre 0,8°C et 1,1°C et la baisse des précipitations moyennes sera de l'ordre de 10 %. L'élévation du niveau de la mer sera comprise entre 5 cm et 10 cm. L'intensification de l'évaporation due à l'augmentation de la température s'ajoute à la baisse des précipitations pour diminuer encore plus la quantité des eaux mobilisables au niveau des barrages et des nappes souterraines.

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

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

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

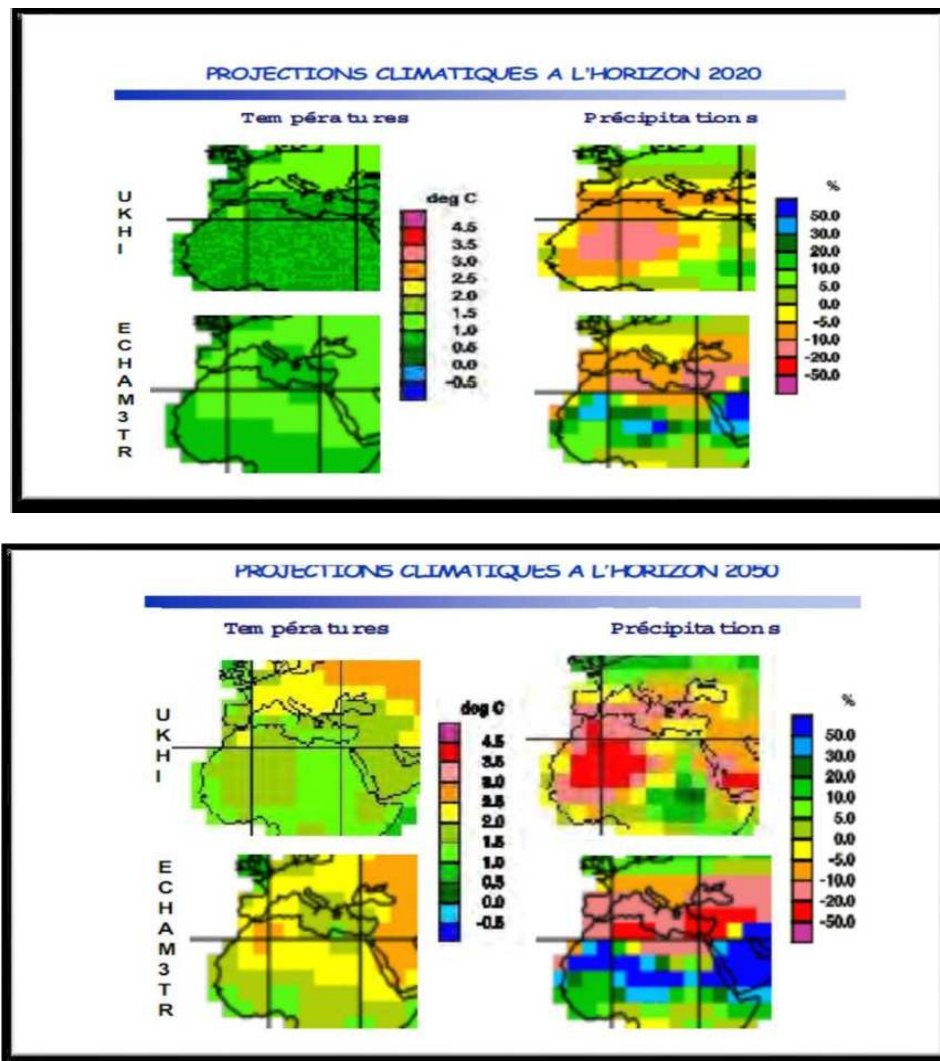


Figure 12 : Projections du climat aux horizons 2020 et 2050 (modèle UKHI) (Mate, 2003).

Le réseau météorologique

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

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

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

Tableau 6 : Présentation des stations d'étude (O.N.M).

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

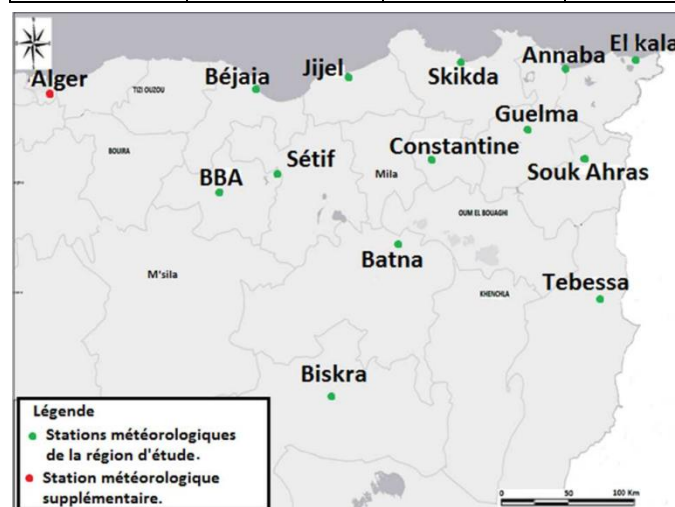


Figure 13 : Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude.

LES CONSEQUENCES DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

D'après le Quatrième Rapport d'Évaluation du GIEC (IPCC, 2007a), ce réchauffement climatique global a d'ores et déjà d'importantes conséquences sur l'écosystème terrestre. Les experts du GIEC constatent des précipitations plus importantes dans l'hémisphère nord mais moins évidentes dans les zones tropicales et sub-tropicales et dans l'hémisphère sud. La couverture nuageuse a augmenté de 2% (IPCC, 2001a), entraînant une diminution des écarts de température journaliers. Les températures très basses sont moins fréquentes contrairement aux températures très élevées. La fréquence et l'intensité des sécheresses ont augmenté dans le Sahel, le bassin méditerranéen, l'Afrique australe et certaines parties d'Asie du sud. Ailleurs, les épisodes de sécheresse grave ou de précipitations catastrophiques se sont accrus.

Ces températures plus douces ont entraîné un allongement de la période sans gel dans les latitudes moyennes ou élevées ainsi qu'une réduction de la couverture neigeuse d'environ -10% depuis la fin des années 1960. Les étendues glaciaires aussi diminuent: la durée annuelle de gel des lacs et cours d'eau s'est réduite de deux semaines environ dans les latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère Nord. Les glaciers de montagne, ailleurs que dans les régions polaires, reculent. L'épaisseur de la glace dans l'océan Arctique s'est réduite d'environ 40% entre la fin de l'été et le début de l'automne. Le niveau moyen global des mers a monté de 0,17 mètre au XX^e siècle et les épisodes de réchauffement du phénomène El Niño sont plus fréquents depuis le milieu des années 1970. On peut affirmer avec plus de certitude que l'élévation du niveau des mers n'est pas seulement le fait de la dilatation thermique mais aussi celui de la fonte de glaciers au Groenland et en Antarctique.

Cependant, certains aspects importants du climat ont peu ou pas changé, notamment en Antarctique et dans certaines parties des océans de l'hémisphère sud. Le GIEC ne relève pas de modification systématique de la fréquence des tornades, des journées d'orage ou de chutes de grêle. Pourtant, "l'influence des activités humaines continuera à modifier la composition atmosphérique tout au long du 21^e siècle" (IPCC, 2001a).

Pour le futur, les projections du GIEC montrent que plus les concentrations de CO₂ augmentent, moins les océans et les terres absorbent les émissions anthropiques de GES. D'après les modèles, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère en 2100 pourraient être de 75 à 350% plus importantes qu'en 1750. Le reboisement pourrait aider à réduire cette concentration de CO₂, mais dans une assez faible mesure.

Tous les scénarios prévoient une augmentation de la température moyenne globale et du niveau moyen de la mer. Ainsi, la température moyenne globale à la surface devrait augmenter de 0,4°C au cours des vingt prochaines années. Les températures en 2090-2099 devraient être entre 0,6°C et 4°C plus élevées qu'en 1980-1999 (IPCC, 2007a, p. 13)⁷. Ce réchauffement ne sera pas le même dans toutes les régions de la planète. Par exemple, les régions septentrionales de l'Amérique du Nord et d'Asie et l'Asie centrale devraient connaître un réchauffement supérieur de plus de 40% au réchauffement moyen global. Le niveau moyen de la mer pourrait augmenter de 0,18 à 0,59 mètres d'ici à 2099. En Suisse, les scénarios indiquent des précipitations plus fréquentes en hiver, ce qui accroît le risque d'inondations à grande échelle et la perte de la couche supérieure des sols à cause de l'érosion. En été au contraire le nombre de jours de pluies tendrait à diminuer tandis que les vagues de chaleur et de sécheresse se produiraient à un rythme plus élevé (Furher et. al., 2006).

La couverture neigeuse et la glace de mer dans l'hémisphère Nord vont continuer à diminuer de même que les glaciers et calottes glaciaires. Cependant, si la masse glaciaire du Groenland se réduit, celle de l'Antarctique devrait augmenter à cause de précipitations plus importantes.

Les concentrations de vapeur d'eau devraient augmenter et les précipitations moyennes globales être plus importantes au XXI^e siècle. Après 2050, les précipitations seront accrues en hiver sous les latitudes moyennes et élevées des régions septentrionales et en Antarctique. Les zones où se projette une augmentation des précipitations moyennes connaîtront d'importantes variations des pluies d'une année à l'autre.

Presque toutes les terres émergées connaîtront des événements extrêmes: températures maximums plus élevées et minimums moins basses; davantage de journées chaudes, moins de journées froides et de gel; réduction des écarts diurnes de température; augmentation de l'indice de chaleur⁸. Le risque desécheresse est accru dans les régions situées à l'intérieur des continents et sous des latitudes moyennes. Dans certaines zones, l'intensité des vents les plus forts et des précipitations dans les cyclones tropicaux augmentera. Les moussons d'été en Asie seront plus variables.

Le phénomène el Niño devrait peu changer au cours du nouveau siècle. Cependant, le réchauffement global va accroître le risque de sécheresse et d'inondation inhérent à ce phénomène dans de nombreuses régions.

La circulation thermohaline (le Gulf Stream dans l'océan Atlantique) s'affaiblit dans les océans, entraînant une réduction du transport thermique vers les latitudes élevées de l'hémisphère Nord. Mais le réchauffement en Europe continue à cause de l'augmentation des GES. Cette circulation ne devrait pas s'arrêter complètement avant 2100, mais après, elle pourrait s'arrêter définitivement.

“Les changements climatiques d'origine humaine vont se poursuivre pendant encore de nombreux siècles” (IPCC 2001a), à cause de l'effet durable sur l'atmosphère et le climat des émissions de GES à longue durée de vie (CO₂, N₂O, PFC et SF₆) et de l'inertie caractérisant le système climatique terrestre. Plusieurs siècles après une émission de CO₂, environ le quart de l'augmentation de la concentration de CO₂ provoquée par cette émission est encore présent dans l'atmosphère. “Après stabilisation des concentrations de GES les températures moyennes globales à la surface devraient augmenter à un rythme de seulement quelques dixièmes de degrés par siècle”. Plus le niveau de stabilisation des concentrations est élevé, moins la température totale change. Les augmentations de la température moyenne globale à la surface et le relèvement du niveau de la mer devraient se poursuivre pendant plusieurs siècles après la stabilisation des concentrations de GES à cause des périodes extrêmement longues dont ont besoin les grands fonds des océans pour s'ajuster aux changements climatiques. “Les nappes glaciaires continueront à réagir au réchauffement climatique et à contribuer au relèvement du niveau de la mer pendant encore des millénaires après la stabilisation du climat” (IPCC 2001a). Au Groenland, par exemple, le réchauffement devrait être une à trois fois supérieur à la moyenne globale, ce qui pourrait provoquer la fonte quasi totale de sa nappe glaciaire si ce réchauffement se poursuivait pendant plusieurs millénaires.

Les conséquences de ce changement climatique ont d'importantes répercussions sur l'écosystème terrestre et sur les activités humaines (IPCC, 2001b et IPCC, 2007b). On a

ainsi pu constater que certains événements printaniers se produisent plus tôt, par exemple les migrations de certaines espèces d'oiseaux, la ponte d'œufs, l'éclosion des premières feuilles des arbres. Certaines plantes et animaux ont été observés à des latitudes et altitudes plus élevées que la normale. Des modifications dans les systèmes biologiques des eaux douces et salées découlent de l'augmentation de la température de l'eau et des changements dans la couverture glaciaire, la salinité, les concentrations et la circulation d'oxygène : déplacements d'algues, de plancton et de poissons dans les océans de latitudes élevées, accroissement des concentrations d'algues et de zooplancton dans les lacs de latitudes et d'altitudes élevées. Le nombre d'espèces menacées d'extinction augmenterait sensiblement. La biodiversité pourrait grandement souffrir de l'augmentation des températures qui influence négativement les interactions écologiques entre les espèces et les structures des écosystèmes.

Du point de vue anthropique, des domaines aussi essentiels que les ressources en eau, l'agriculture et la sécurité alimentaire, la pêche, les établissements humains ou encore la santé humaine risquent d'être affectés, s'ils ne le sont pas déjà, par ces modifications du climat, de même que des services financiers comme les assurances ou le tourisme. Ainsi, les agriculteurs suisses estiment à plus de 300 millions d'euros les pertes dues à des effets du réchauffement climatique (Beniston, 2007). Ces activités seront plus ou moins touchées selon la situation géographique, économique et sociale des pays concernés. Les projections montrent une baisse de la disponibilité des ressources en eau dans les régions subtropicales, une augmentation de la mortalité due à la chaleur et à l'exposition à certaines maladies comme le paludisme ou le choléra. L'élévation du niveau des mers et des pluies plus abondantes exposent à des risques accrus d'inondation des dizaines de millions de personnes à travers le monde. Enfin la hausse des températures provoquera un accroissement de la demande en énergie pour la climatisation des bâtiments. Mais le GIEC relève certains effets positifs du changement climatique, notamment une augmentation de la productivité des cultures dans les régions de latitude moyenne à élevée, une offre mondiale en bois plus abondante et provenant de forêts mieux gérées, une baisse de la mortalité en hiver dans les régions de latitudes moyennes à élevées et une réduction de la demande en énergie pour le chauffage des bâtiments l'hiver. Certains pays se réjouissent des nouvelles routes maritimes ouvertes par la fonte des glaces de l'océan Arctique et l'exploitation de potentielles réserves de pétrole dans cette région.

Pays industrialisés et en développement ne sont pas sur un même pied d'égalité face au changement climatique. Leur capacité d'adaptation varie fortement selon leur richesse, les moyens techniques et les infrastructures dont ils disposent, les compétences de leur population ou les ressources naturelles auxquelles ils ont accès. La capacité d'adaptation des pays en développement est plus faible que celle des pays industrialisés. Ils sont donc plus vulnérables aux dommages causés par le changement climatique. "L'élévation de la température moyenne à l'échelle du globe entraînera des pertes économiques nettes" pour la plupart des pays en développement (IPCC, 2001b). L'Afrique est le continent le plus exposé aux conséquences du réchauffement climatique à cause de multiples handicaps et d'une faible capacité d'adaptation (IPCC, 2007b). Au contraire, pour les pays industrialisés une hausse limitée des températures entraînerait à la fois des gains et des pertes économiques. Ceci pourrait accroître les différences de niveaux de vie entre pays industrialisés et en développement.

LES INCERTITUDES

Malgré les importants progrès réalisés ces dernières années dans la recherche scientifique et la modélisation sur le climat, la connaissance et la compréhension de phénomènes climatiques complexes s'étalant sur plusieurs dizaines voire centaines d'années souffrent encore d'un manque de données et de recul. Par exemple, il subsiste encore beaucoup d'incertitudes au sujet des aérosols d'origine anthropique, dus surtout à la combustion de sources d'énergie fossile, à la biomasse, à la dégradation de la qualité de l'air et aux retombées acides, qui ont des effets notamment sur la formation des nuages.

Certains scientifiques mettent en doute les informations et projections des rapports du GIEC. En particulier, il n'y a pas de consensus clair sur le niveau de stabilisation des concentrations de GES qui permettrait d'éviter des interférences dangereuses avec le climat, selon la formule de la CCNUCC. Selon eux, des aspects des variations climatiques sont sous-estimés, notamment l'influence du cycle solaire sur le climat. Ces incertitudes conduisent certains observateurs à affirmer qu'il serait plus simple, et moins coûteux, de prendre les mesures nécessaires pour s'adapter à un réchauffement apparemment inéluctable de la planète plutôt que de chercher à le fléchir.

Pourtant, les modèles de projection climatique sont de plus en plus fiables. Les connaissances sur l'évolution du climat se sont améliorées, notamment en ce qui concerne la vapeur d'eau, la dynamique des glaces de mer et le transport thermique océanique. De nouvelles preuves confirment que le réchauffement des cinquante dernières années est bien dû aux activités humaines, bien que de nombreuses incertitudes subsistent encore.

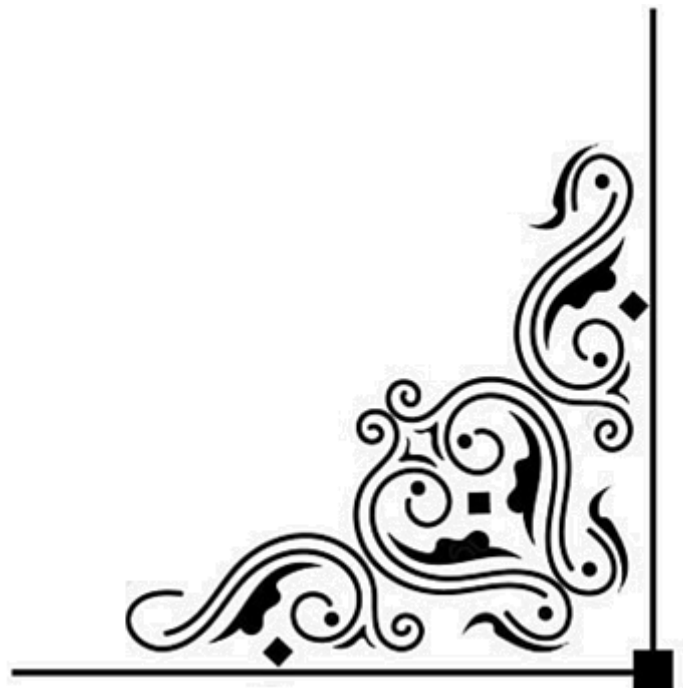
En 1990, le premier rapport d'évaluation du GIEC estimait qu'une réduction de 60% à 80% des émissions anthropiques de carbone était nécessaire pour stabiliser les concentrations de GES à leurs niveaux de l'époque. Certains scientifiques estimaient nécessaire une réduction des émissions dues aux combustibles fossiles de -30% à -50% en 2010 par rapport à 1990 pour les pays industrialisés. Considérant la durée de vie dans l'atmosphère des GES, des émissions plus importantes dans le futur nécessiteront des réductions d'émissions en proportion plus importantes pour atteindre le même niveau de concentrations. Même si les concentrations de CO₂ se stabilisent à deux ou trois fois leurs niveaux pré-industriels, cela ne garantit pas une innocuité pour le système climatique (Baranzini et al, 2000).

Il existe cependant un consensus général pour affirmer que les objectifs du Protocole de Kyoto ne suffiront pas à stabiliser les concentrations de GES dans l'atmosphère à un niveau évitant des interférences dangereuses avec le climat. Même si les pays industrialisés réussissent à atteindre leurs objectifs de réduction selon le Protocole de Kyoto, la date du doublement des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère ne serait repoussée que de cinq ans (UNEP/IUC, 1998). Le recours aux puits de carbone pour capturer le CO₂ ne peut avoir qu'un effet limité car une fois ces puits saturés en carbone ils commenceront à retourner le CO₂ dans l'atmosphère. Ceci signifie que les engagements futurs de réduction de leurs émissions de GES des pays industrialisés après 2012 devront être beaucoup plus importants et qu'il sera nécessaire de réduire aussi les émissions des pays en développement. Le quatrième Rapport d'Evaluation du GIEC propose un scénario de réduction des émissions mondiales d'au moins 50% d'ici à 2050 afin de stabiliser les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère entre 445 et 490 ppm, soit un réchauffement de l'ordre de 2 à 2,4°C. Ce scénario implique un pic des émissions mondiales entre 2017 et 2023 et un effort de réduction de la part des pays industrialisés de 25 à 40% (IPCC, 2007c).



CHAPITRE III

LES BASSINS VERSANTS DE L'EST ALGERIE



Ce chapitre se propose de rappeler les principaux bassins de l'Est Algérien, de présenter leurs caractéristiques morphologiques, hydrologiques et édaphiques. Cela servira à obtenir une base de données permettant d'évaluer l'influence de la structure du réseau hydrographique sur le bilan hydrique.

Présentation de la région d'étude

L'Algérie est découpée en 17 grands bassins versants codés d'après l'ANRH de (01) jusqu'à (17) et 226 sous bassins.

La présente étude concerne les bassins versants situés au Nord-Est de l'Algérie, soit approximativement entre (5° et 9°E) de longitude et (35° et 37°N) de latitude. Cette région hydrographique est limitée naturellement par la mer méditerranée au Nord, au Sud par le bassin du Chot Melhrir codé (06), à l'Ouest par la région hydrographique de l'Algérois-Hodna- Soummam qui inclut les bassins de la Hodna codé (05), celui de la Soummam codé (15) et le bassin des Côtiers Algérois codé (02). Quant à l'Est, la région est limitée par la frontière Tunisienne, (**figure 14**).

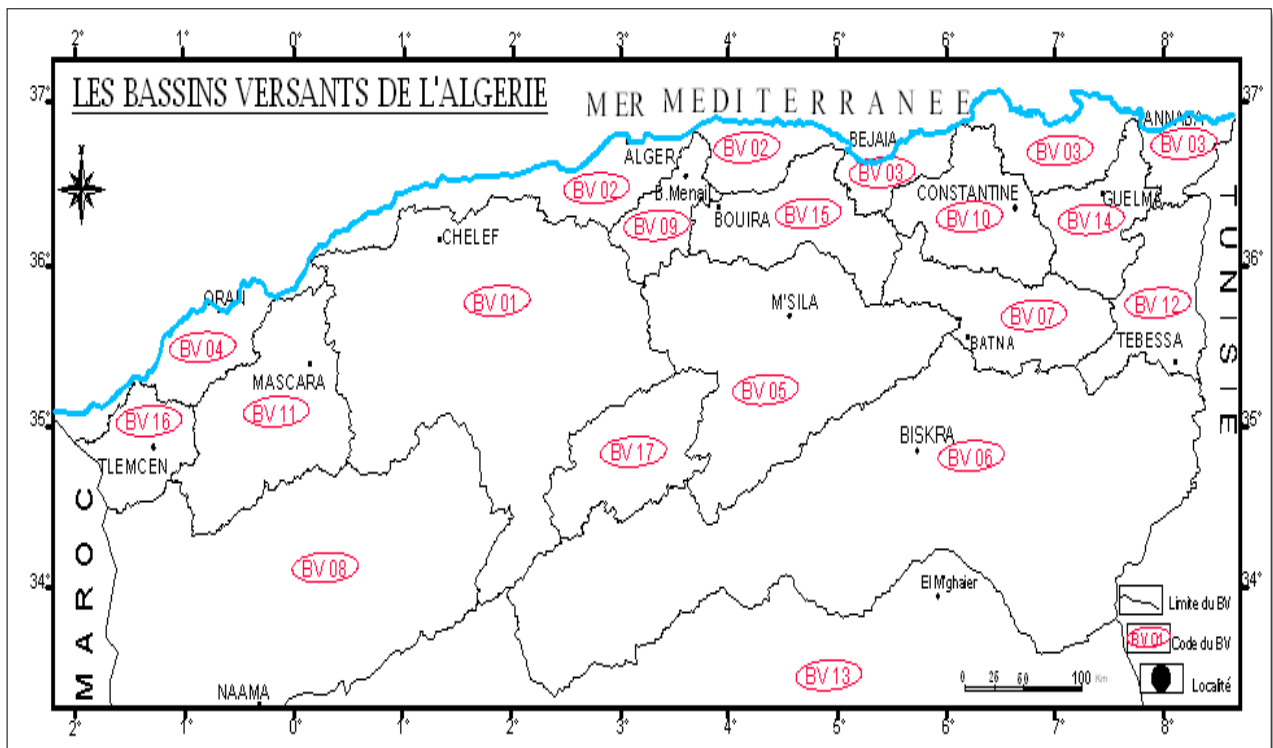


Figure 14: Limites des bassins versants de l'Algérie. (ANRH, 2005)

Cette région couvre administrativement quatorze (14) wilayas : Annaba, Souk Ahras, Tebessa, Khenchela, Oum El Bouaghi, Guelma, Bejaia, Jijel, Skikda, El Tarf, Setif, Mila, Constantine et Batna (**figure 15**).

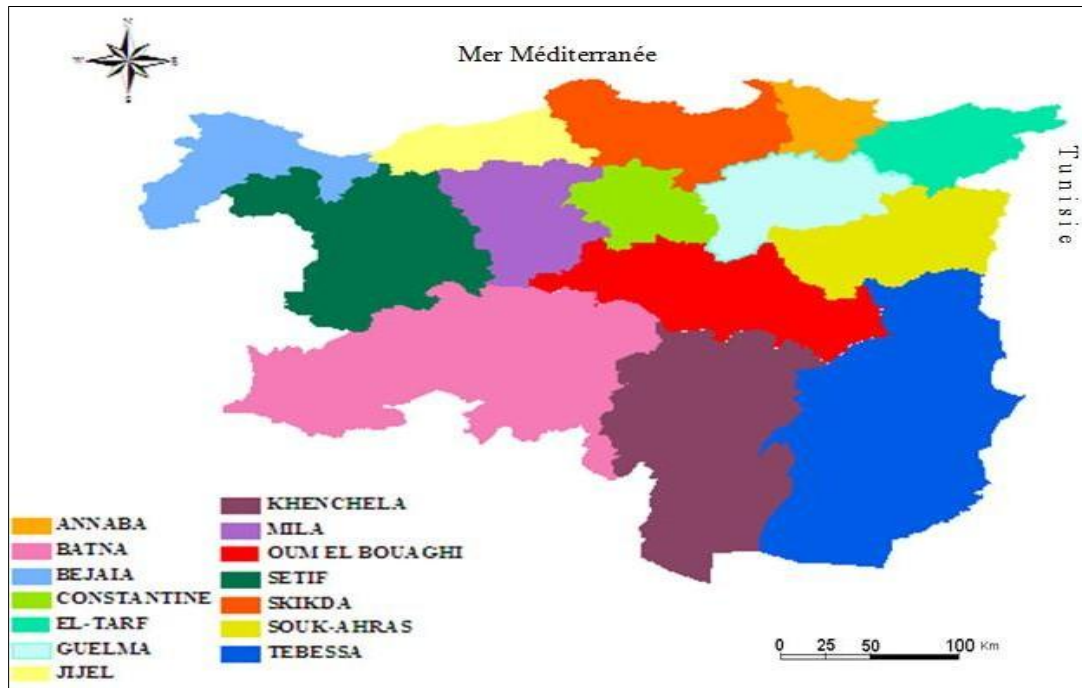


Figure 15: Présentation des wilayas relatives aux bassins étudiés.

Cet espace représente la région hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (CSM). Ces régions hydrographiques sont conçues dans le cadre du projet PDARE (Plan Directeur d'Aménagement de Ressources en Eau) lancé par le Ministère des ressources en eau en Aout 1996. Celui-ci est conçu comme un outil d'aménagement et de planification à l'échelle des régions hydrographiques, gérées par les Agences de bassin Hydrographiques (ABH).

La région d'étude CSM englobe 43 sous bassins qui forment les cinq (05) grands bassins, Côtiers constantinois, codé (03), Hauts Plateaux, codé (07), Kebir-Rhumel, codé (10), Medjerda, codé (12) et la Seybouse, codé (14). La région CSM s'étend sur une superficie de 43796Km², (**figure 16**).

Le choix de cet espace d'étude se justifie par, l'insuffisance des analyses détaillées au niveau de la région Méditerranéenne du Nord Est Algérien, notamment avec le changement climatique remarquable au niveau mondial, d'une part, et d'autre part, par la volonté de travailler dans un espace hétérogène, qui a une diversité de point de vue géomorphologique et Climatologique, et de participer aux efforts fournis à ce jour et améliorer les résultats en essayant de trouver les corrélations possibles.



Figure 16: Carte de situation des bassins versants du Nord Est de l'Algérie projetée sur imagesatellitaire. (A.B.H Constantine, 2011)

Principaux caractéristiques des bassins

Contexte géomorphologique

Dans le contexte géomorphologique, on s'est intéressé à l'altitude, les pentes, la lithologie, l'érosion et l'occupation du sol, relatifs aux bassins objet de cette étude. Cette base de données était la seule source trouvée lors de la collecte des données, qui possède un système d'information géographique, notamment celle des réseaux hydrographiques et des précipitations et qui a été élaborée avec la collaboration de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

Topographie et relief

A la lumière de la carte altimétrique, établie et représentée à la **figure 17**, le relief de la région d'étude est divisé en quatre zones selon un axe Nord-Sud :

Zone à faible altitude (0-400 m)

Cette zone est représentée au Nord par la bande côtière qui constitue partiellement l'Atlas Tellien, commençant de l'Ouest vers l'Est par la vallée de la Soummam, les plaines et les collines de Jijel, les vallées des oueds Guebli et Safsaf, dépression de Azzaba, les plaines de Guerbes, et à l'Est celles de Annaba-Skikda, les plaines de Annaba et Tarf et les collines côtières d'El-Kala.

Zone à moyenne altitude (400-800 m)

Cette zone est représentée par les monts de Collo, Skikda-l'Eddough, les hautes plaines de Chelghoum-Laid, Sadrata-Taoura, Oum-El-Bouaghi, Ain-Beida, El-Madher-Chemora, Bir-El-Ater et que les collines d'Oued Zenati.

Zone à altitude élevée (800-1200 m)

Cette zone est représentée par les hautes plaines de Setif, celles de Khenchela et de Aïn-Djasser.

Zone à altitude très élevée (1200-2200 m)

Cette zone couvre les massifs de Sétif (Ain- Abessa et Boutaleb), ceux des Aurès (El-Mahmel 2200 m) et les monts de Tébessa.

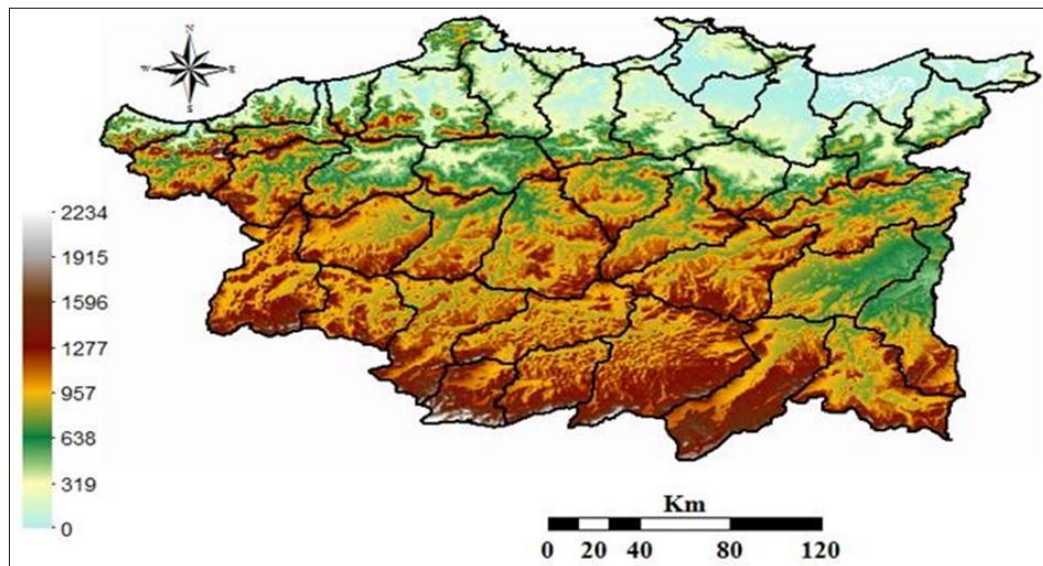


Figure 17: Carte altimétrique

Les Pentes

Concernant les pentes, elles sont subdivisées en quatre classes :

Classe 1 : $0\% \leq \text{Pente} \leq 5\%$

Cette classe représente les zones à faible et moyenne altitude. Ces pentes caractérisent les vallées des oueds Guebli et Safsaf, les plaines de Guerbes, et celles d'Annaba-Skikda, les plaines d'Annaba et Tarf, à l'exception de la région Nord qui se caractérise par des pentes importantes.

Classe 2 : $5\% \leq \text{Pente} \leq 15\%$

Cette classe se caractérise par la bande qui se trouve entre le Nord et le Sud de la région

d'étude, essentiellement, les hautes plaines et les collines déjà décrites.

Classe 3 : $15\% \leq \text{Pente} \leq 35\%$.

Cette classe couvre les zones à altitude plus ou moins élevée où se trouvent les hautes plaines et les collines sus mentionnées.

Classe 4 : $\text{Pente} > 35\%$.

Cette classe concerne les zones montagneuses où les altitudes sont importantes au Sud (Bassin des Hauts-Plateaux constantinois) et au Nord (Bassin des Côtiers- Constantinois) où se trouvent les fortes déclivités. Ces zones sont caractérisées par un potentiel de ruissellement élevé, (figure 18).

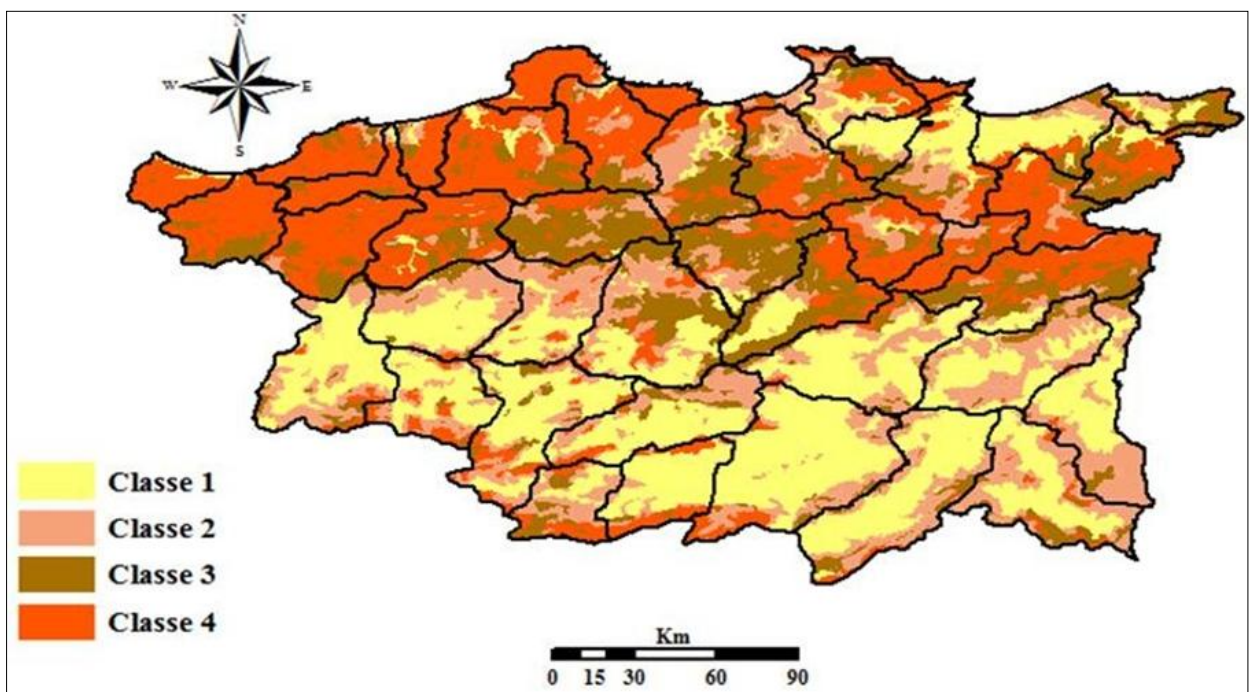


Figure 18: Carte des pentes

La lithologie

La région étudiée est disposée en chaînes parallèles de Gneiss et de Granite au niveau du centre de la bande littorale de l'atlas tellien (Jijel-Skikda-Annaba), et des marnes qui dominent le bassin des Côtiers-Constantinois Est et celui de Kebir-Rhumel (dans sa partie Sud). Cette formation se trouve aussi au bassin de la Medjerda. On y trouve aussi les alluvions au niveau du bassin des Hauts Plateaux Constantinois, et les hautes plaines de Khenchela et les monts de Mahouna et oued Cheham (Guelma). Les Grés s'aperçoivent au niveau du bassin des Côtiers-Constantinois Ouest et Est. Les flysch se dispersent au niveau de la bande côtière. L'argile se trouve au niveau du bassin de la Seybouse et celui des Hauts-

Plateaux (les hautes plaines d'El-Madher-Chemora) et le Nord du bassin de la Medjerda, (figure 19).

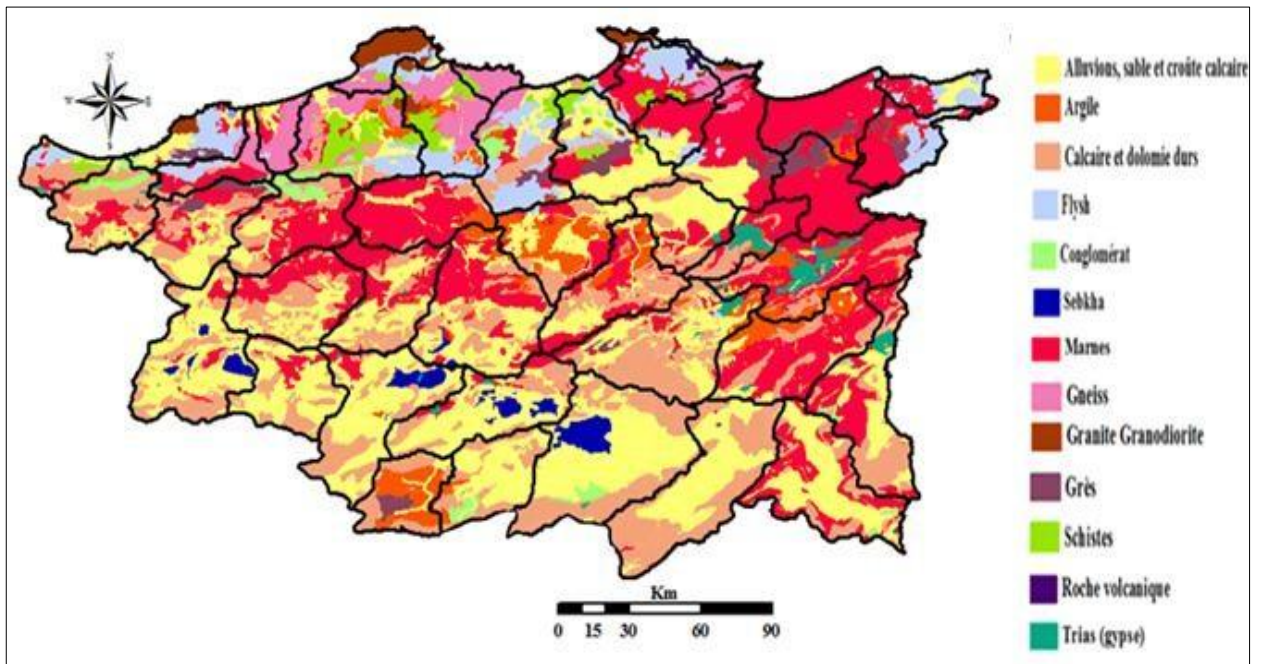


Figure 19: Carte lithologique

Occupation du sol

Le couvert végétal de la région d'étude offre une grande diversité spatiale qui est influencée par le modelé des terres et les écarts climatiques induits par la proximité du Sahara au Sud et de la mer méditerranéenne au Nord.

La couverture végétale est dominée par les zones agricoles comme l'indique la **figure 20**. Toutefois, une partie de la région est couverte par des parcours steppiques. Il s'agit de la partie Sud du bassin de la Medjerda. On distingue aussi, des maquis arborés au niveau de l'Atlas Tellien et le Sud des Hauts-Plateaux.

Quant au reboisement, il se disperse sur toute la région d'étude. Ce reboisement se trouve suite à l'installation du barrage vert qui occupe la bordure septentrionale du Sahara et les quelques surfaces forestières (Chêne, liège) localisées dans la bande des monts côtiers de Bejaia, Jijel, Skikda, Annaba et El-Kala il se localise aussi entre le littoral et la ligne qui passe approximativement par Guelma et Souk-Ahras. Il est à noter aussi, les forêts de pins d'Alep qui se distinguent au niveau des monts des Aurès.

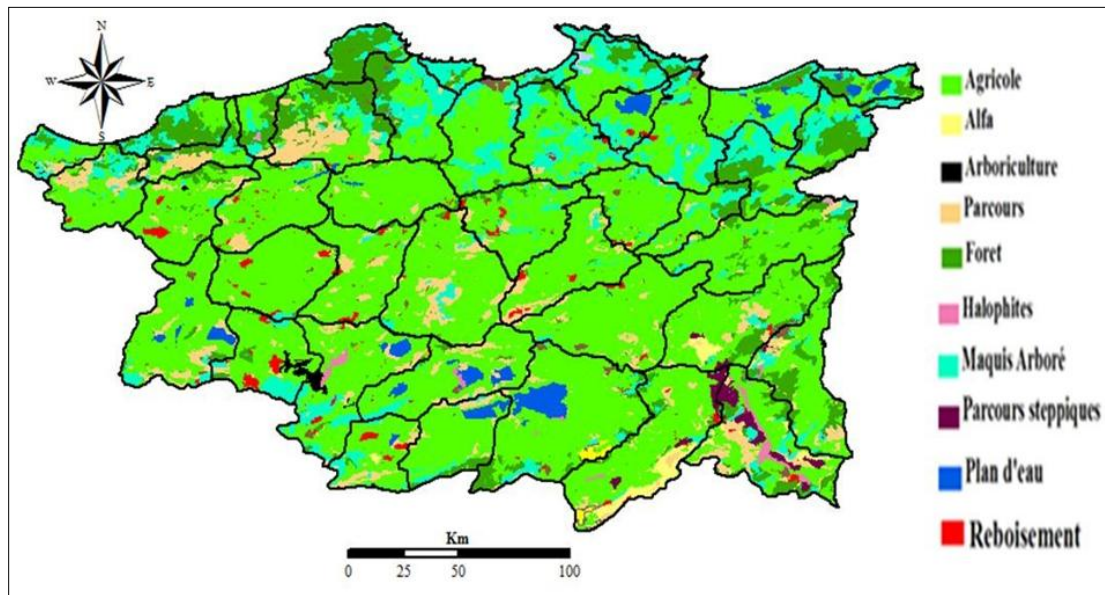


Figure 20: Carte d'occupation du sol, (BNEDER, 2010)

Contexte climatique

Température

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

Des études réalisées par l'Office National de la Météorologie (ONM) sur l'évolution des températures ont révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, (**figure 21**).

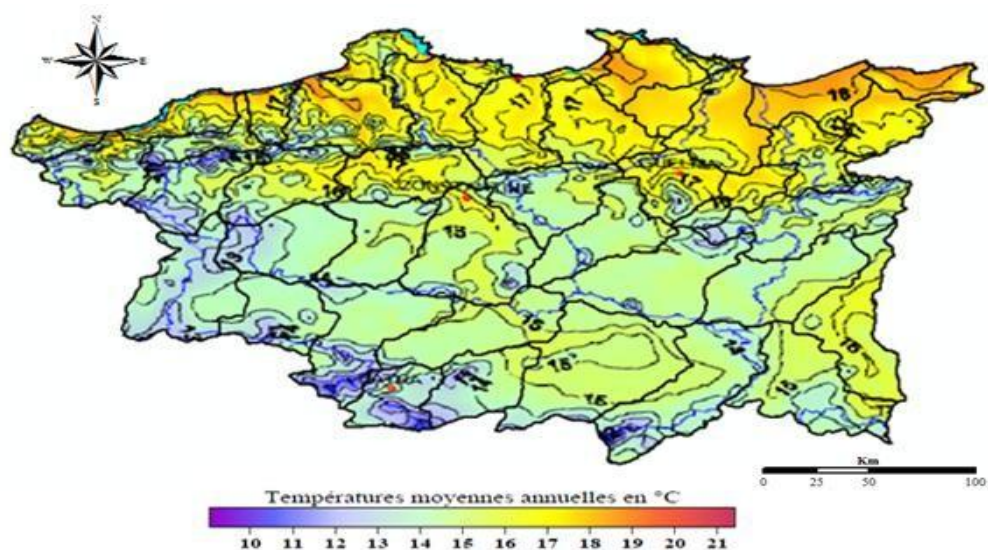


Figure 21: Carte des températures moyennes annuelles. (Mebarki, 2005), traitée par l'auteur

Précipitations

La carte des précipitations présente un intérêt scientifique, dans les études des régimes pluviométriques. Elle se place en amont de toutes les études relatives au fonctionnement hydrologique. En effet, elle demeure le facteur le plus important dans la détermination des régimes hydrologiques des cours d'eau.

Plusieurs études ont été faites sur cette variable climatique. Selon (Mebarki, 2005), les travaux réalisés auparavant sont basés sur l'interpolation manuelle du contour des isohyètes, à partir des données mesurées aux stations, en s'appuyant sur un fond hypsométrique. Les documents de références « cartes pluviométriques » utilisées en Algérie sont :

- la carte pluviométrique dressée par (Seltzer P, 1946) a été établie à l'échelle du 1/1000 000, d'après les moyennes brutes de 25 années climatiques, du 1^{er} septembre 1913 au 31 août 1938 au niveau de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, (**figure 22**).
- la carte pluviométrique dressée par (Gaussen H. 1948) a été établie à l'échelle du 1/500 000, d'après la moyenne annuelle, ramenée à la période (1913-1947) avec la collaboration de M.F.Bagnouls ; publiée par le gouvernement général de l'Algérie, Inspection générale de l'agriculture d'Alger en 1948.
- La carte au 1/500 000 de (Chaumont M. et Paquin C, 1971) représente les précipitations annuelles moyennes ramenées à une période de 50 ans (1913-1963).
- la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord au 1/500 000 (moyennes de 60 ans : du 1^{er} septembre 1921 au 31 août 1960 et du 1^{er} septembre 1968 au 31 août 1989).

Cette carte, réalisée par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H. en 1993) suivant une méthodologie proposée par J-P. Laborde (Université de Nice- Sophia Antipolis), a constitué le premier jalon d'une cartographie basée sur l'utilisation d'outils modernes à l'effet de répondre aux besoins des projeteurs et différents utilisateurs avec les moyens actuels.

Cette carte des précipitations permet de passer d'une connaissance ponctuelle à une connaissance spatiale du phénomène. Elle représente une base de données pluviométrique à l'échelle des bassins versants considérés.

Les précipitations du Nord-Est Algérien se caractérisent par une forte variabilité spatiotemporelle due à l'existence de plusieurs gradients spatiaux qui guident la répartition temporelle des événements :

- Un gradient longitudinal : la pluviosité augmente des bassins des Côtiers Constantinois Est «Annaba» (1000 mm/an) vers ceux de l'Ouest « Jilel » (1500 mm/an). Ce gradient est dû au phénomène des faibles précipitations attribuées aux perturbations pluvieuses du Nord de la Tunisie.
- Un gradient latitudinal : les précipitations moyennes annuelles varient de 300 mm au niveau des bassins des Hauts Plateaux Constantinois « Oum El Bouagui, Batna, Khenchela » et ceux de la Medjerda « Tebessa) à 1500 mm aux bassins Côtiers Constantinois Ouest « Jijel, Collo ». Cette diminution du littoral où le climat humide vers les régions arides est dûe à la grande distance traversée par les dépressions qui se situent entre les deux chaînes atlasiques. L'exception est faite pour les massifs des Aurès où on enregistre près de 900 mm.
- Un gradient altitudinal universel qui varie en fonction de l'éloignement de la mer.

Climat

Les facteurs climatiques dans leur ensemble permettent d'expliquer quantitativement l'intensité et la variabilité des composantes du régime hydrologique, dans le temps et dans l'espace, en interaction avec les conditions physico-géographiques de l'écoulement.

La climatologie de la région d'étude présente dans l'ensemble les mêmes caractéristiques que celles du climat méditerranéen, qui se distingue par un hiver froid et humide et un été chaud et sec. Mais des variations s'observent d'une région à l'autre, (**figure 23**). On distingue quatre étages bioclimatiques.

Climat humide : Il s'agit de la bande côtière relative au bassin des Côtiers Constantinois notamment l'Ouest (de Bejaia jusqu'à Skikda) et la wilaya de Tarf ;

Climat Sub-humide : Ce climat caractérise la chaîne intérieure de l'Atlas Tellien, et les plaines de Gerbez et Annaba, ainsi que les piémonts de Ain-Berda ;

Climat Semi-aride : Cet étage bioclimatique couvre les hauts-plateaux notamment les hautes plaines de Chelghoum Laid, Oum-El-Bouaghi, Ain Beida, El-Madher, Chemora et Bir-El-Ater ;

Climat Aride : Ce climat caractérise les Hauts Plateaux Constantinois (plaines de Batna, et les hautes plaines de Sétif et celles de Khenchela), une partie de la Medjerda (les hautes plaines de Sedrata –Taoura) et le Sud du sous bassin 1003 du Kebir-Rhumel.

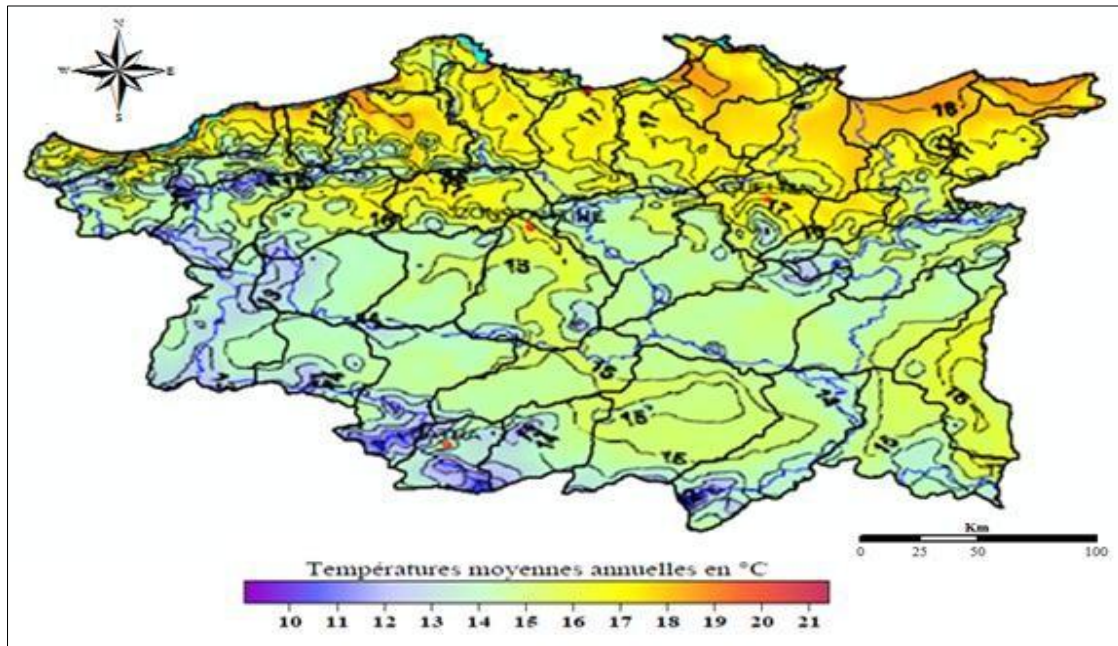


Figure 22: Carte des températures moyennes annuelles, (Mebarki, 2005)

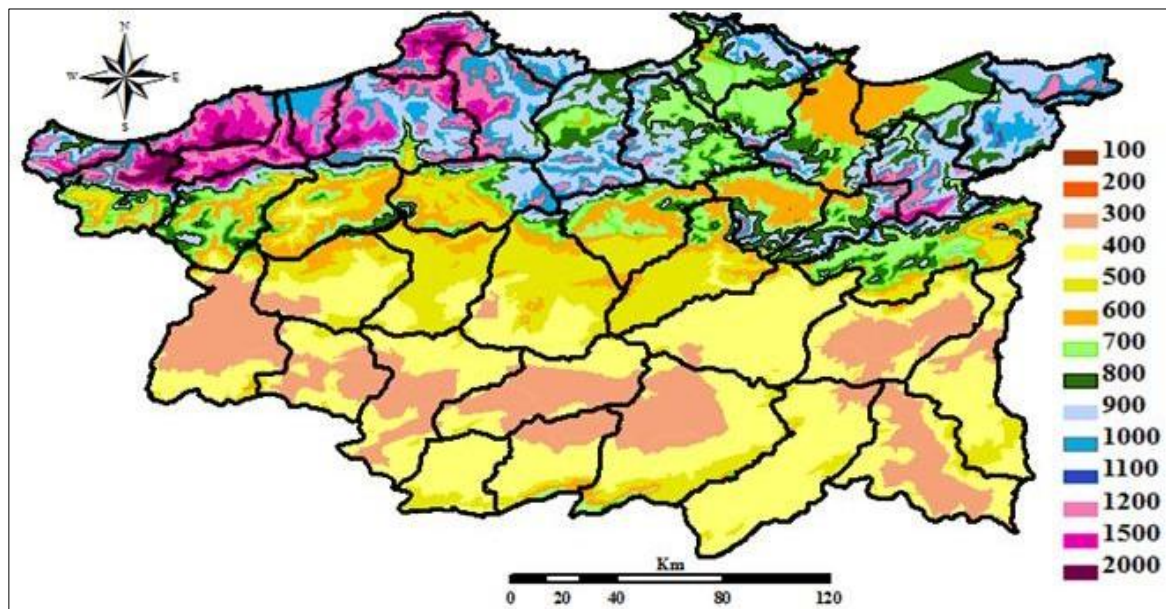


Figure 23: Carte des précipitations. (BNEDER, 2010)

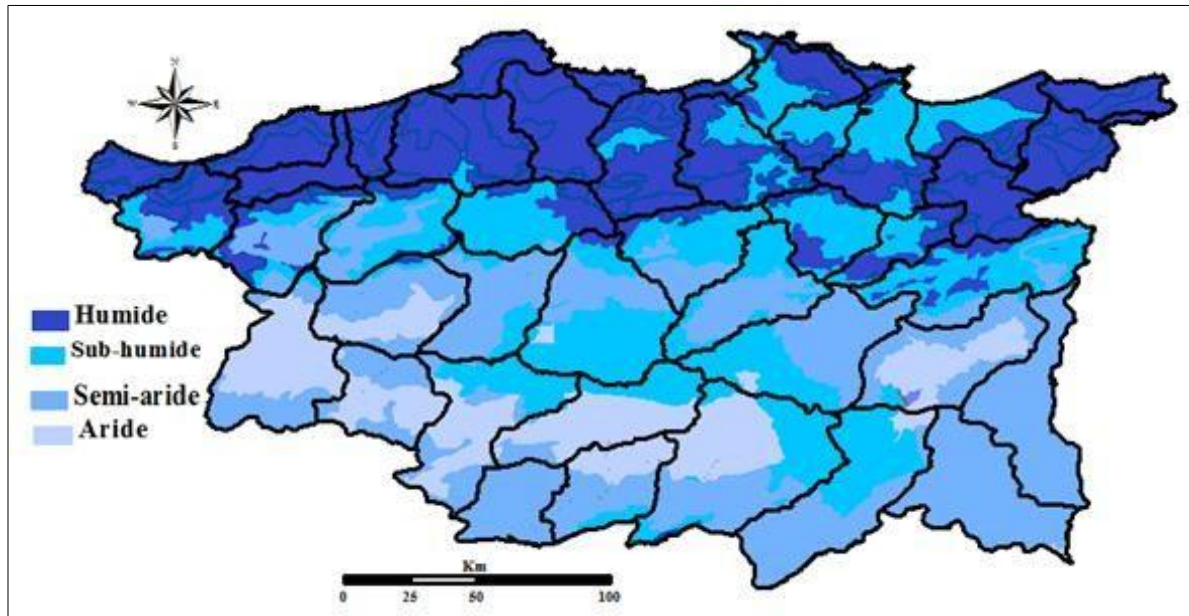


Figure 24: Carte climatologique.(BNEDER, 2010)

Réseau hydrographique

L'agencement du réseau devient fondamental pour considérer le chemin et le temps de transit depuis les zones sources jusqu'à l'exutoire. Ils constituent un des principaux agents de structuration du relief. Sur le plan hydrologique, les réseaux hydrographiques drainent les écoulements de surface et de sub surface et accélèrent les transferts de volume d'eau au sein des bassins. Ils constituent à ce titre l'un des paramètres importants dans la génération des pics de crue. Ils sont l'une des composantes principales de la réponse hydrologique d'un bassin versant aux précipitations.

Les cours d'eau côtiers appartenant aux trois bassins versants septentrionaux codés (03-10-14), et le bassin de la Medjerda codé (12) sont de type exoréique. Ils ont un écoulement relativement fourni, à titre d'exemple : Oued Mafragh, Kebir-Rhumel, Seybouse, Medjerda. Ces oueds prennent naissance dans la chaîne des monts de l'Atlas Tellien et se jettent dans la mer méditerranéenne, et dans les bassins Tunisiens pour oued Medjerda. Le chevelu hydrographique est très ramifié et très dense au Centre, à l'Ouest et moins dense à l'Est. Au Sud de la région du Tell, où se situe le bassin des Hauts-Plateaux Constantinois codé (07) prédominé par les petits cours d'eau à écoulement temporaires et caractérisé par un réseau hydrographique ramifié et moins dense à écoulement temporaire et à régime endoréique, ce caractère est bien une conséquence de la sécheresse. Ils seraient alors alimentés par des venues profondes mal connues, mais restent cependant sous la dépendance d'apports sporadiques d'eau de crue plus ou moins abondant. Les principaux oueds de ce bassin sont Chemora et Boulfreiss, (**figure 25**).

En synthétisant la description géomorphologique et climatique des bassins versants étudiés, l'influence des paramètres (pentes, lithologies, précipitations) est bien remarquée sur le développement des réseaux hydrographiques. Donc derrière cette complémentarité entre la pluie et l'occupation du sol se cache le rôle joué par la variable géomorphologique qui a une influence à différentes échelles.

La brève description de la région d'étude a permis d'avoir une vision globale sur l'étendue et l'importance de cette zone. En effet le comportement hydrologique des bassins versants, dépend de plusieurs facteurs, dont la géomorphologie est l'une des variables importantes.

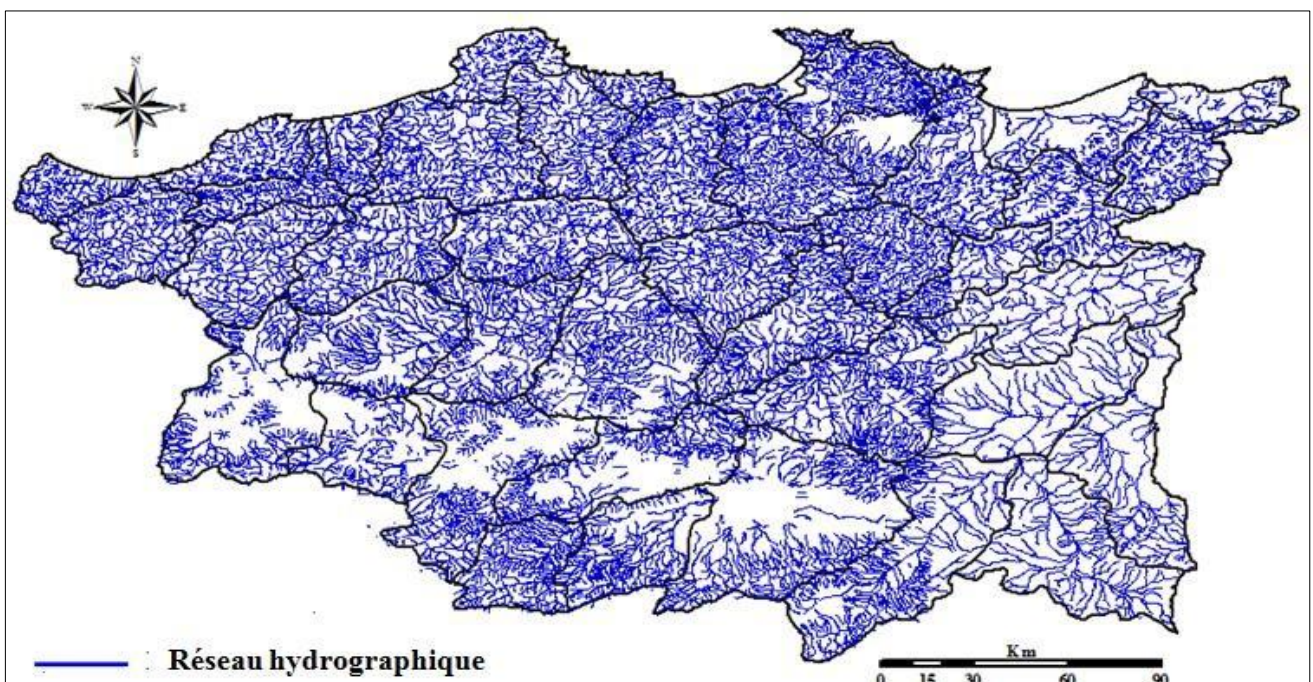


Figure 25: Réseau hydrographiques des bassins versants. (A.B.H Constantine, 2011)

Le réseau météorologique

Le réseau météorologique de la région d'étude est de faible couverture (figure 26) avec des enregistrements discontinus sur le long terme.

Les stations ont été sélectionnées selon la durée des enregistrements ainsi que leur qualité et le nombre de paramètres météorologiques qu'elle peut fournir, comme les séries d'observations (températures, précipitations, humidité, durée d'insolation, etc.). La moyenne de 13 stations a été étudiée en utilisant la méthode d'interpolation choisie par la source de données qu'on a choisie.

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

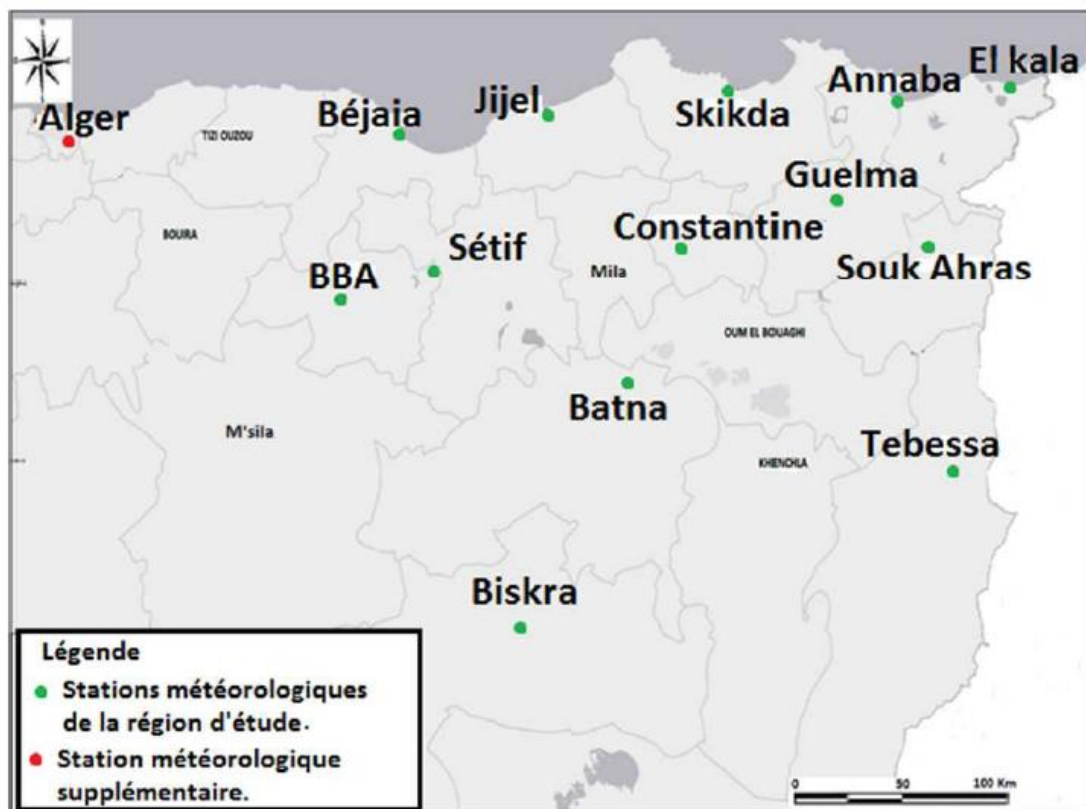


Figure 26: Localisation des stations météorologiques dans la région d'étude.

Acquisition des données

L'acquisition des données s'est faite au niveau de plusieurs sources ; afin de choisir la plus fiable interpolation, qui soit dépourvue le plus possible de données manquantes pour toutes les stations de l'Est Algérien, nous avons reçu les données climatiques sous format Excel pour la période (1990-2017). Plusieurs raisons ont régi le choix de cette période :

- période en commun d'enregistrement des données climatiques entre les stations de la région d'étude.
- période où sont déroulés des changements perceptibles du climat.

Résultats de traitement de données

Les températures

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

Les températures moyennes mensuelles

La figure 27 montre que les valeurs les plus faibles de température moyenne sont enregistrées au mois de décembre tout au long de la période d'observation tandis que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au mois de juin.

On peut constater, d'après la même figure, une baisse remarquable de températures moyennes depuis l'année 2010.

Les températures moyennes annuelles

D'après la figure 28, nous constatons une variabilité importante de la température annuelle autour de la moyenne générale (22.49°C) pour la période 1990-2017.

Nous distinguons certaines années relativement chaudes (1990-2009) et d'autres relativement froides (2010-2017).

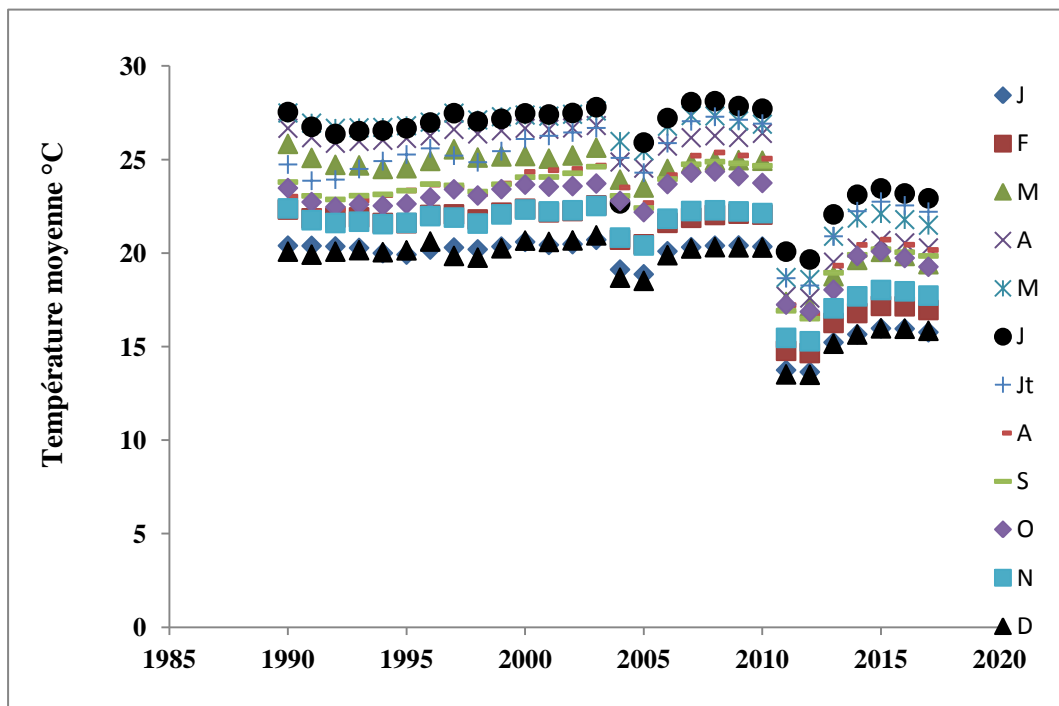


Figure 27: Variations inter-annuelles des Températures moyennes

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

D'après l'étude réalisée par (Abdelhafid karim F, 2014) les moyennes des températures mensuelles de la période (1986- 2010) et celle de Seltzer (1913-1938) sont toujours plus élevées que la période (1961-1985), exception faite du mois de janvier où la période (1961-1985) présente une température moyenne supérieure à celle de la période de Seltzer. Le mois de septembre est le seul mois où la période de Seltzer présente une température moyenne supérieure à celle de la période (1986-2010).

Pour les températures moyennes annuelles, le réchauffement est perceptible au niveau

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

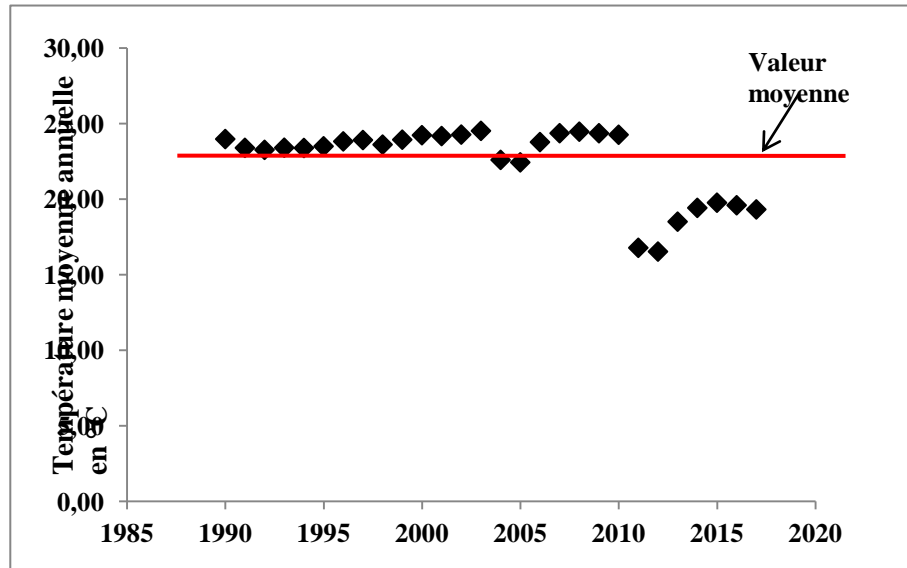


Figure 28: Comparaison des moyennes mensuelles de la température entre trois périodes : (1913-1938), (1961-1985) et (1986-2010)

Les précipitations

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

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

Notre étude a pour objectif d'élargir le champ d'investigation sur le plan temporel d'une période allant de janvier 1990 jusqu'au décembre 2017(soit 28 ans).

La variabilité des précipitations mensuelles dans le temps

Le régime pluviométrique mensuel de notre région d'étude est très fluctuant. La Répartition des précipitations mensuelles est irrégulière d'un mois à un autre. Le mois le plus pluvieux est le mois de mai pour la période 1990 à 1994, quand aux années 1995-2010 et 2016-2017 le maximum est atteint durant le moi de janvier. Le mois de décembre est le plus pluvieux des années 2011-2015.

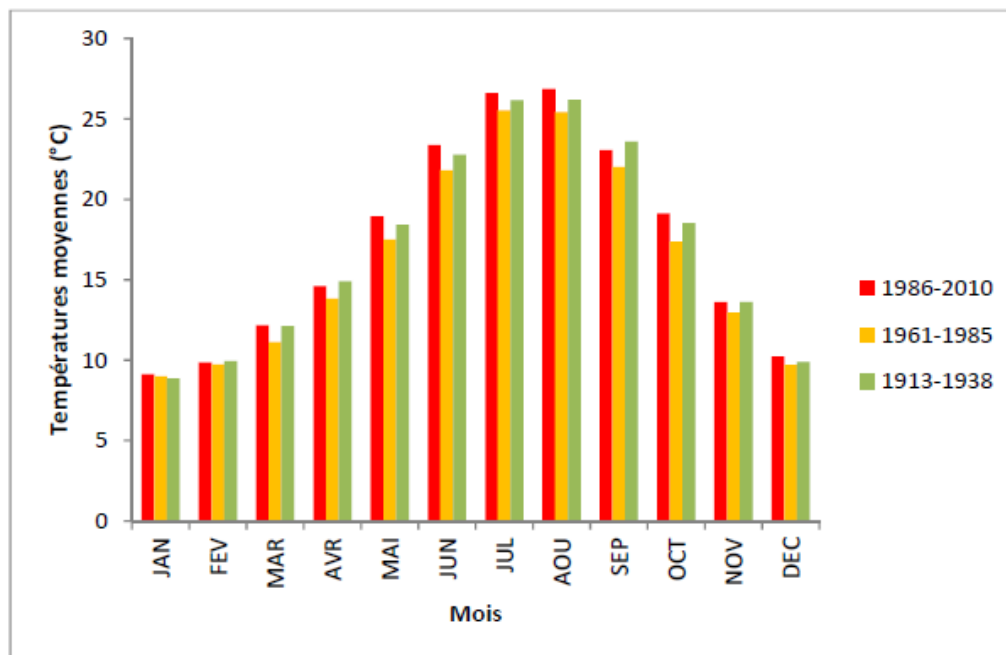


Figure 29: Variations mensuelles des précipitations

Le mois le plus sec est le mois de Juillet pour toute la série d'observation avec une valeur moyenne de 6.19 millimètres.

Les précipitations sont concentrées sur la période hivernale (Décembre, janvier et février), où elles représentent plus d'un tiers du total des pluies, avec 34,44 % des précipitations annuelles (figure 30).

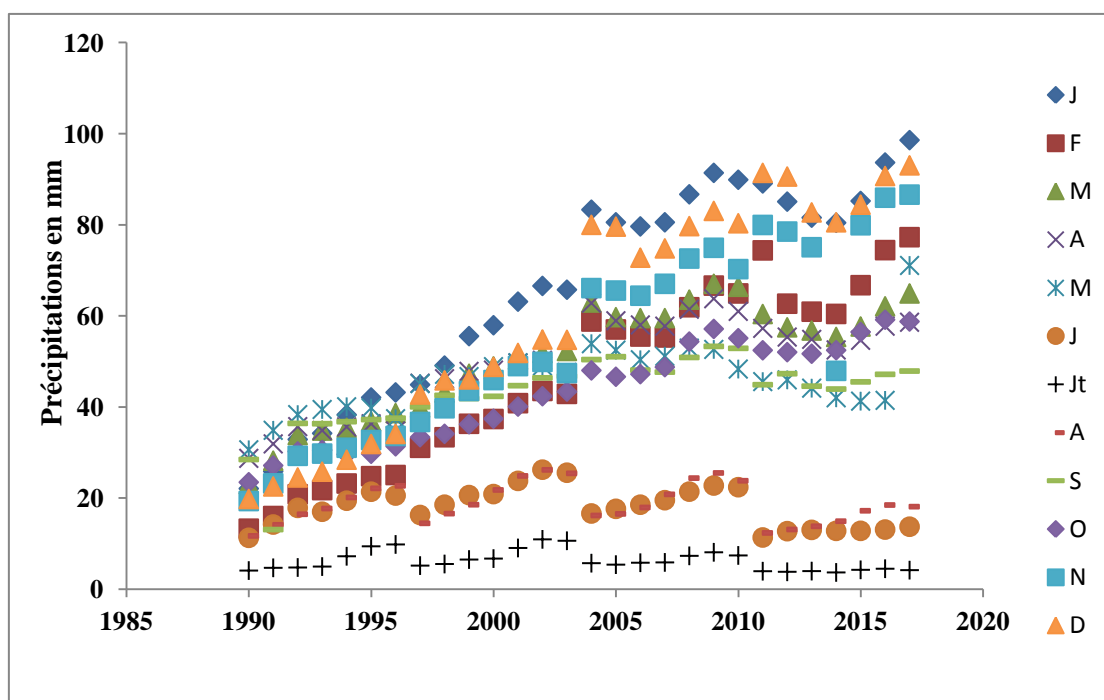


Figure 30: Variations saisonnières des précipitations

La variabilité interannuelle des précipitations

Les fluctuations des précipitations au cours de la période d'étude sont très importantes, selon la figure 31, il y'a une légère augmentation des précipitations au cours des années, néanmoins cet état de fait ne peut être confirmé vu l'importance des variabilités des précipitations.

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

Selon (Abdelhafid karim F, 2014) l'analyse de l'évolution des précipitations entre ces deux séries d'observations et la série de Seltzer , après correction de celle-ci : la première période est celle de Seltzer, elle s'étale de 1913 jusqu'à 1938, la deuxième période s'étale de 1961 jusqu'à 1985 quant à la troisième et dernière période, elle s'étale de 1986 jusqu'à 2010, ce qui nous donne trois périodes de 25 ans, le but est de déceler les écarts éventuels et mettre l'accent sur les changements et les fluctuations précipitations moyennes annuelles s'ils ont lieu.

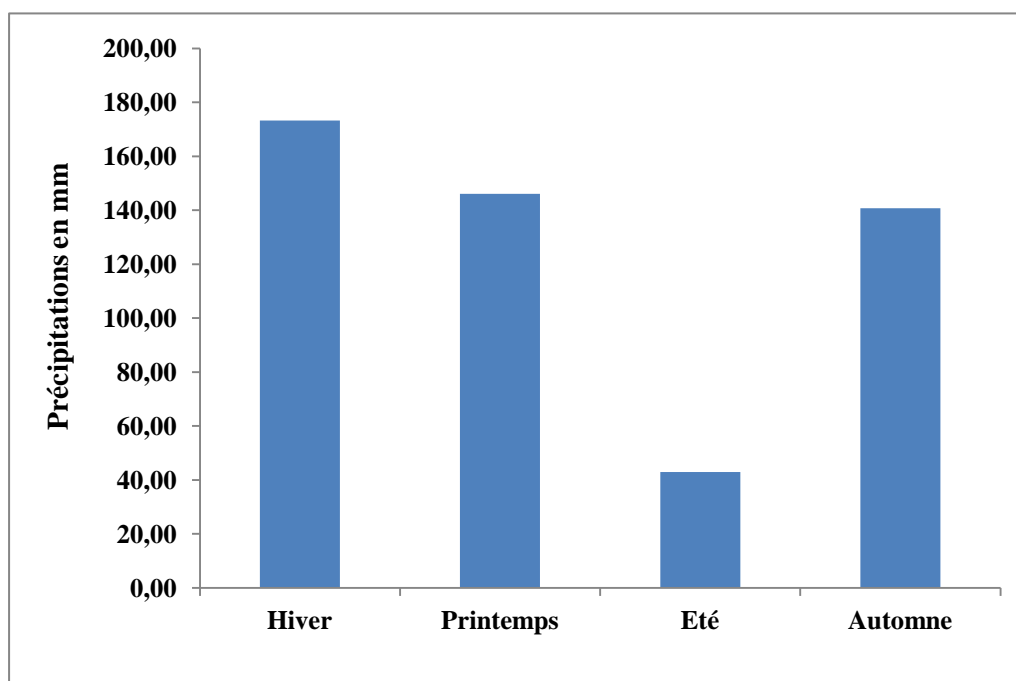


Figure 31: Variations inter-annuelles des précipitations

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

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

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

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

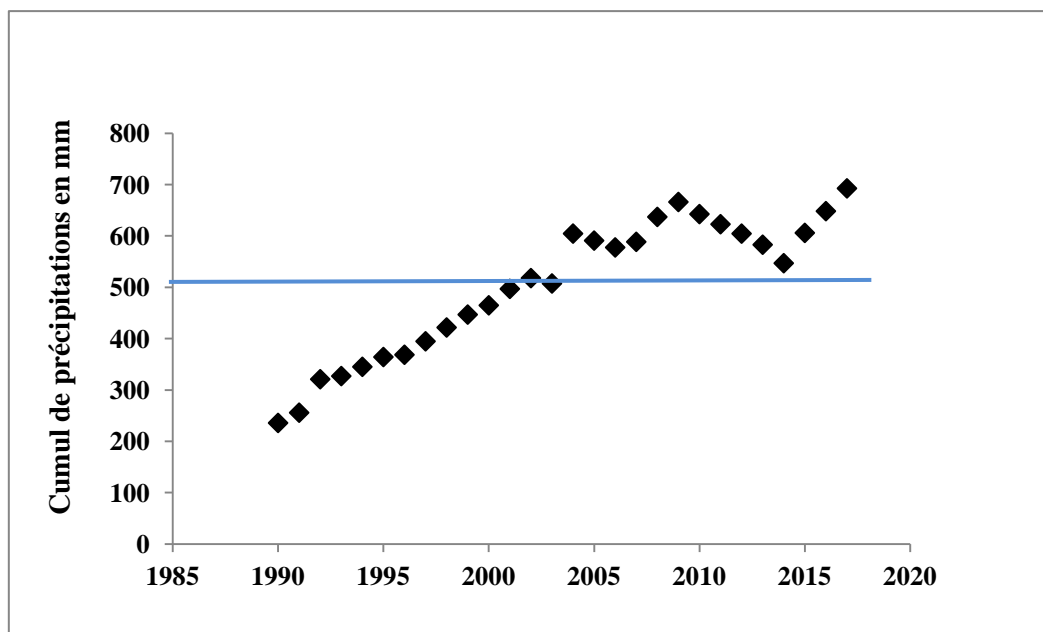


Figure 32: Comparaison des moyennes mensuelles des précipitations entre trois périodes (1913- 1938), (1961-1985) et (1986-2010).

L'évapotranspiration potentielle

Pour mesurer l'évapotranspiration des méthodes directes et indirectes peuvent être utilisées. Les méthodes directes sont, entre autres, les lysimètres ou les bilans hydriques (Rana and Katerji, 2000). Les méthodes indirectes comprennent des modèles empiriques et des modèles théoriques basés sur la physique.

Les modèles physiques sont fondés sur le bilan énergétique et prennent en compte différents facteurs météorologiques comme le rayonnement solaire, le rayonnement de grande longueur d'onde, les températures de l'air et de la surface de l'eau, l'humidité atmosphérique ou la tension de vapeur, et la vitesse du vent. Il s'agit de la formule de Thornthwait.

D'après la (figure 33) Les valeurs les plus élevés sont enregistrés, pour la majorité des observations, durant le mois de juin. Les valeurs faibles sont exclusivement attribuées au mois de décembre.

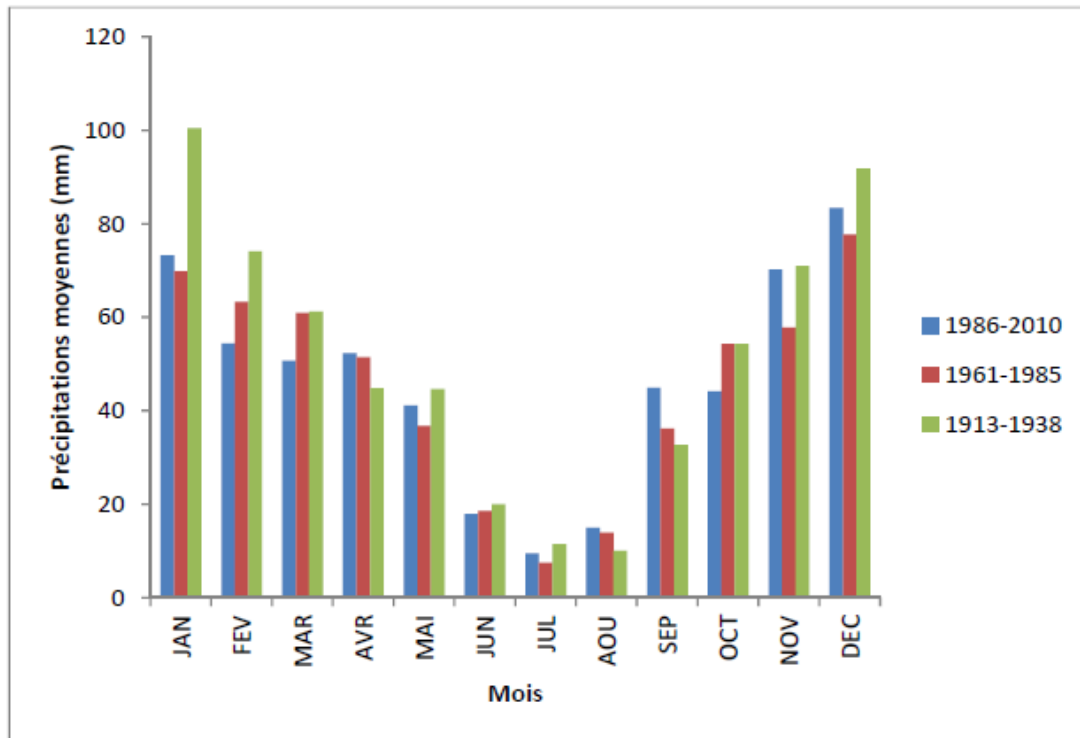


Figure 33: Evolution mensuelle de l'évapotranspiration potentielle Comme pour les variations de la température moyenne, l'ETP suit la meme évolution. Les années 1990-2010 enregistrent les valeurs les plus élevées.

Calcul du bilan hydrique et son évolution (2004-2017)

Le calcul P-ETP

La figure 34 ci-dessous représente l'évolution du bilan hydrique sur une période de 14 ans. La figure montre un déficit qui s'étalait sur toute l'année pendant les premières années. Ces dernières années le bilan n'est plus déficitaire durant les mois : janvier, février, novembre et décembre.

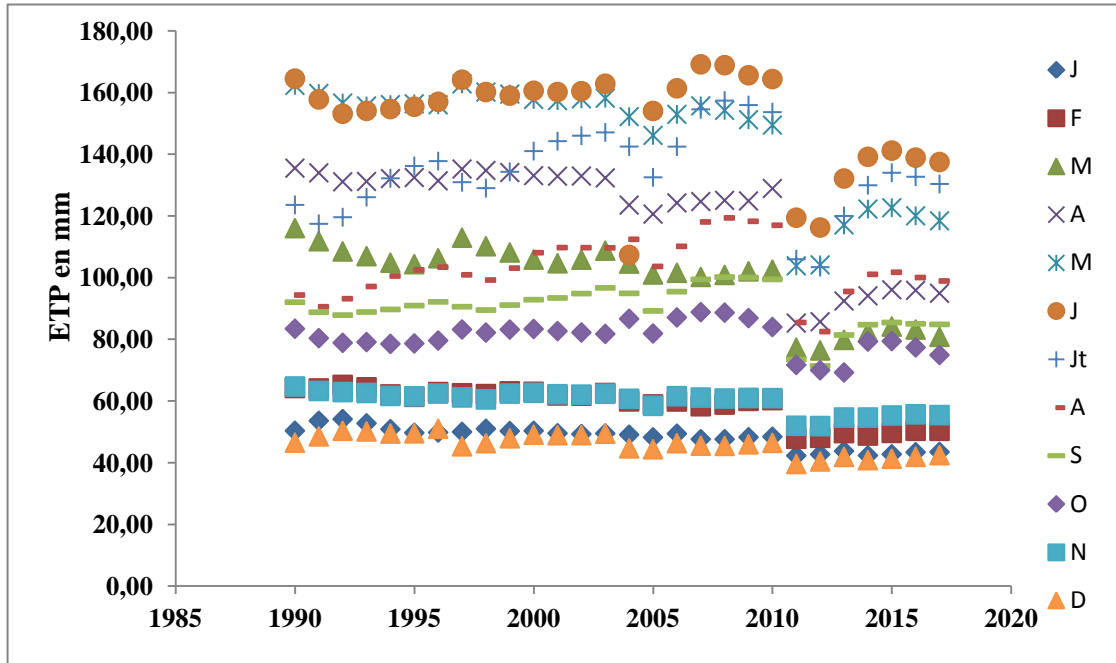


Figure 34: Evolution du bilan hydrique (P-ETP) de la période (2004-2017)

Evolution des périodes sèches et humides

La période de recharge

La figure 35 Montre que la période de recharge commence à partir du mois de novembre jusqu'au mois de Février où les températures basses diminuent l'évapotranspiration. Sur la même figure on peut voir nettement les fluctuations de cette période, durant l'année 2014 par exemple la période de recharge a duré que deux mois (décembre-janvier).

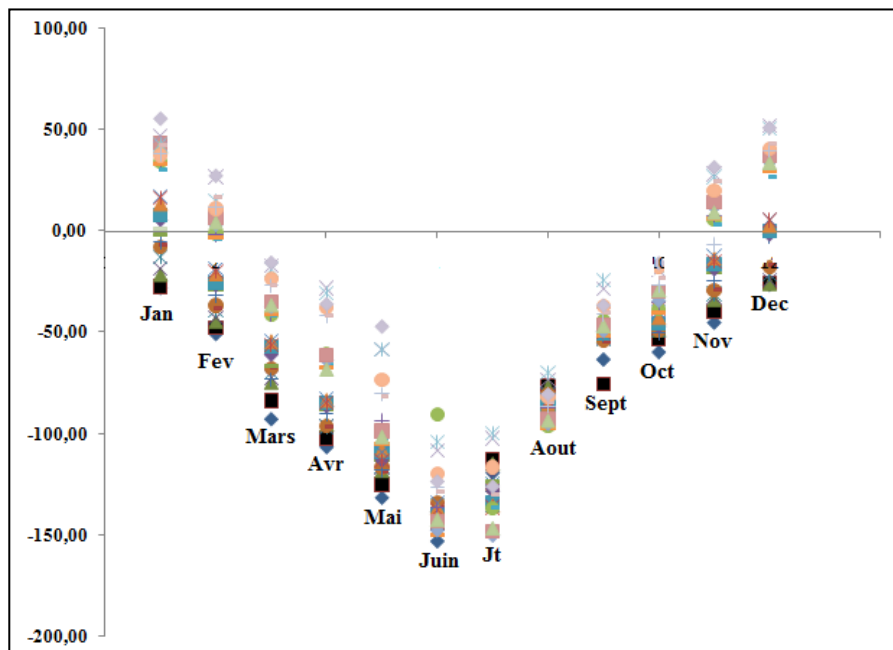


Figure 35: la période de recharge

La période d'épuisement de stock

L'analyse de la meme figure montre une période d'épuisement de stock de durée très instable. Elle s'étale en moyenne du mois de Mars jusqu'au mois de Juin. C'est l'année 2017 qui représente la plus longue période.

La période de déficit agricole

La période déficitaire s'étale sur une longue période (Juin à Octobre) et nécessite une irrigation en cas de présence de cultures. Elle varie d'intensité, les premières années de la série montrent les écarts les plus importants.

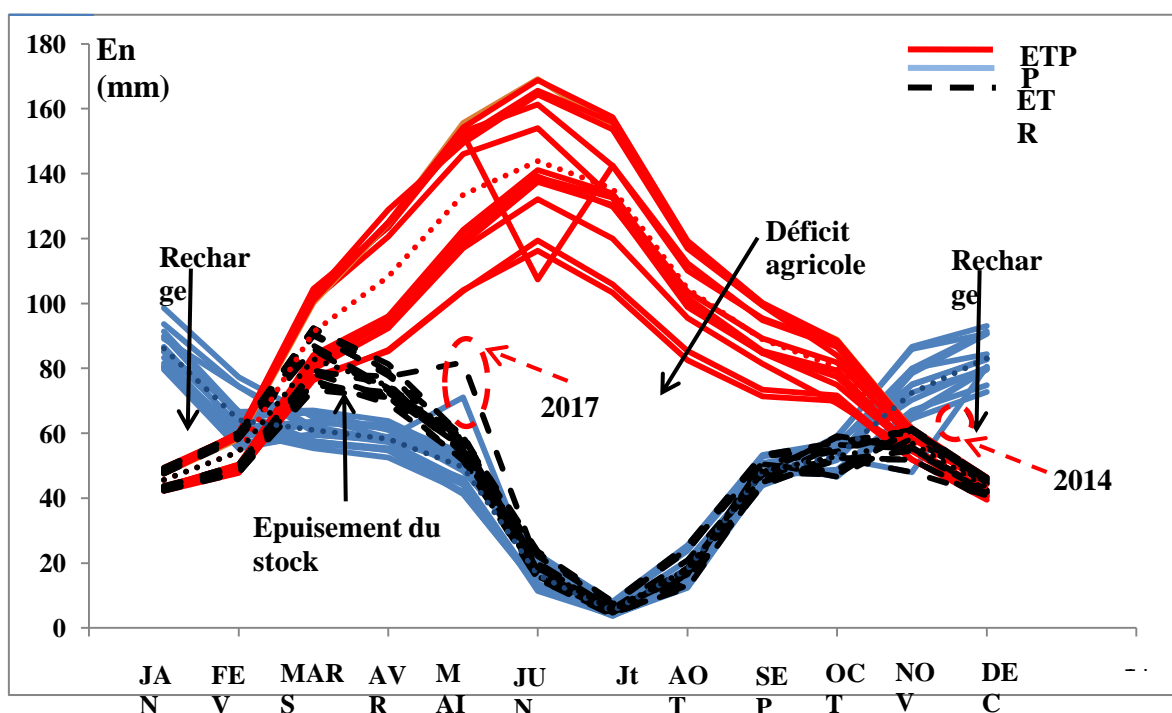


Figure 36: Evolution des périodes sèches et humides (2004-2017), les courbes en pointillés représentent les moyennes

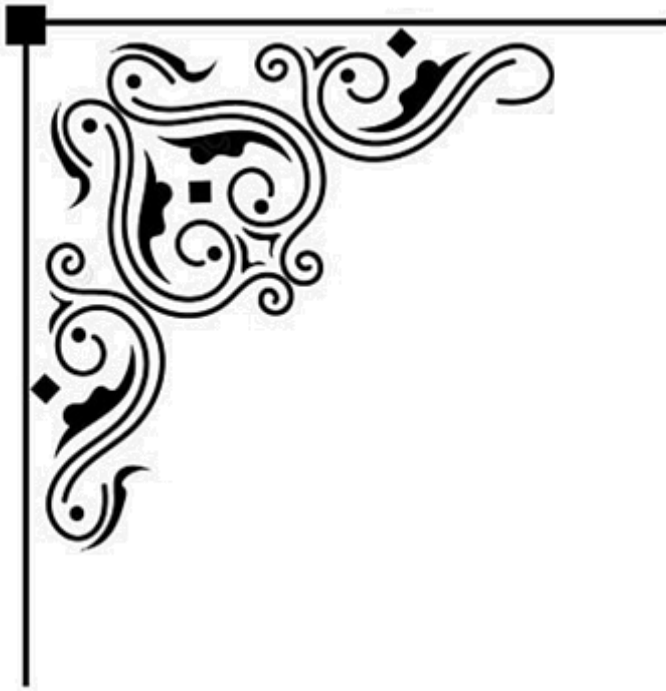
Synthèse des résultats de l'étude climatique

Cette étude a permis de caractériser les principales manifestations climatiques dans le bassin de l'Est Algérien. Les régimes pluviométriques mensuels sont presque constants, les mois les plus arrosés coïncident avec la période de recharge où les eaux s'infiltrent ou ruissellent.

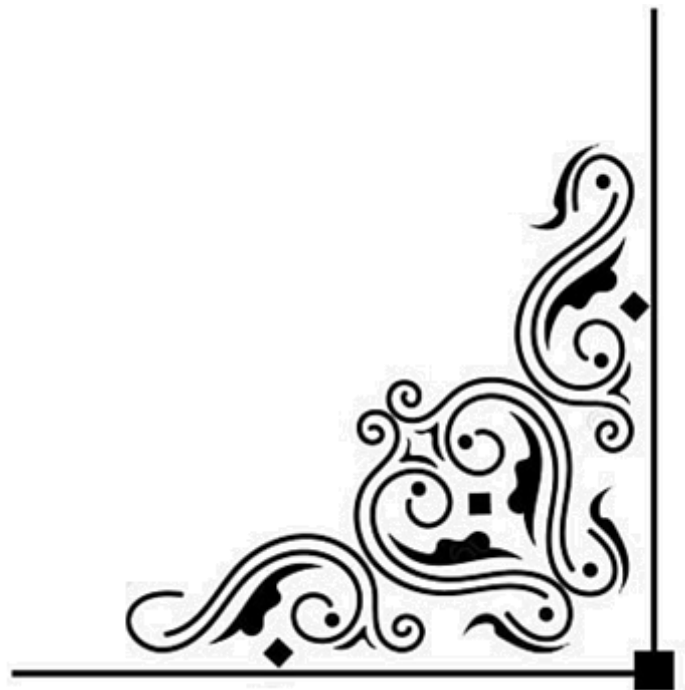
La variabilité des précipitations se manifeste également par une dynamique spatiotemporelle des pluies annuelles. Ces variabilités dans l'espace et le temps se rapportent aux paramètres orographiques et géographiques.

Les températures moyennes annuelles restent aux alentours de 22°C. La saison humide

s'étalait sur 8 à 9 mois mais la recharge efficace des nappes souterraines ne se fait que sur 4 mois. La durée et l'intensité de la saison sèche détermine la durée du déficit agricole qui s'étale sur 8 mois dont les 4 derniers nécessitent le recours à l'irrigation des cultures annuelles et semi-annuelles.



CONCLUSION



CONCLUSION

L'étude du bilan hydrique et l'estimation des ressources en eau superficielle en milieux semi-aride et aride est souvent confrontée aux problématiques liées à ce contexte climatique. En effet, le contexte d'aridité est caractérisé par une forte variabilité de la pluie dans le temps et dans l'espace et l'existence d'événements assez marqués. C'est le cas du bassin versant, situé à l'est de l'Algérie septentrionale, et qui est caractérisé par de fortes hétérogénéités pluviométrique et territoriale.

La structure du modèle devra aussi prendre en compte le comportement dynamique de l'hydrogéologie de la région ce qui aide à mettre en évidence les paramètres qui représentent mieux le routage des eaux de pluie ainsi que les paramètres qui rappellent le mécanisme de vidange et l'échange avec les systèmes aquifères, ceci nécessite impérativement des données relatives à la cinétique des données hydrogéologiques, à savoir les débits de pompage des nappes présentés sous une chronique de taille suffisante et l'échange qu'il peut y avoir entre les différents aquifères existants.

Des résultats de la modélisation hydrologique à travers les différents pas de temps adoptés, nous pouvons conclure que pour gérer les ressources en eau superficielle des bassins versants ainsi que des régions analogues des points de vues aspects climatique et géomorphologique, nous recommandons de le faire au pas de temps pluriannuel car cela contribue à la compensation des erreurs de mesures commises au niveau des données.

J'espère avoir apporté au moins quelque chose d'utile dans cette modeste étude sur les bassins versants et avoir apporté ce qu'il y a de nouveau à cet égard.

Bibliographie

- 1) (A.B.H Constantine, 2011) Constantine /ABH CSM (AGENCE DE BASSIN HYDRAULIQUE CONSTANTINOIS SEYBOUSSE MELLEGUE)
- 2) (Aussenac et Ducrey 1974, Choisnel 1992b). Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus silvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) *Annales des Sciences Forestières* 37(2)
- 3) (Baranzini et al, 2000) Baranzini, Andrea & Goldemberg, Jose & Speck, Stefan, 2000. "A future for carbon taxes," *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 32(3), pages 395-412, March.
- 4) (Beniston, 2007) Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland..., P Calanca, M Lips, H Ammann, M Beniston... - *Regional Environmental ...*, 2007 - Springer
- 5) ... (2007), our study considered climate change effects on grain maize production in Switzerland.
Maize is one of the most important cereals both for human and animal consumption .
- 6) (BNEDER, 2010) le Bureau National d'Études pour le Développement Rural (BNEDER), est un établissement public (EPIC), placé sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture.
- 7) (Dubois M, 2008). Une approche à poursuivre... et à dépasser Jean-Luc Dubois, Cécile Renouard Dans *Revue Projet* 2008/5 (n ° 306), pages 12 à 19
- 8) (Dumas P et al, 2005).
- 9) (Friedlingstein P et al, 2005).
- 10) (Furher et. al., 2006).
- 11) (GIEC, 2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts ...
- 12) (International Center for Tropical Agriculture, 2010) New Varieties to Boost Maize Output in West and Central Africa.
<http://www.iita.org/news-item/new-varieties-boost-maize-output-west-central-africa/>, Accessed 2 November 2010.
- 13) (IPCC, 2007a). When quoting, citing or distributing the Synthesis Report, its SPM or its individual sections, please provide the full reference: IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- 14) (Mahi Tabet- Aoul, 2008) Changement climatique et phénomènes extrêmes : action symbiotique du climat et du milieu naturel dans l'occurrence de la sécheresse en Algérie
- 15) (MATE, 2003). Environnement et éducation : analyse d'une stratégie d ...
- 16) En revanche, les questions complexes d'environnement deviennent extrêmement urgentes (Abdoun, 1999 ; MATE 2000 et 2003 ; CNES, 2003 ; Rebah,
- 17) (Mebarki, 2005), HYDROLOGIE DES BASSINS DE L'EST ALGERIEN : RESSOURCES EN EAU, AMENAGEMENT ET ENVIRONNEMENT A. Mebarki
- 18) Published 2005 Geology
- 19) (ONERC, 2007). Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) : L'adaptation de la France au changement climatique. Rapport au Premier ministre et au Parlement 2012, La Documentation Française, 124 pages
- 20) (Petit et al., 1999). Le **petit** livre de la Tendresse (1999). - 20 citations - **Référence citations** -
- 21) (Ramade F, 1984). Ecology of natural resources. New York: John Wiley & Sons. has been cited by the following article:.

Bibliographie

- 22) (Rana and Katerji, 2000) Rana, G. and Katerji, N. (2000) Measurement and Estimation of Actual Evapotranspiration in the Field under Mediterranean Climate: A Review. *European Journal of Agronomy*, 13, 125-153. [http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00070-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00070-8)
- 23) (Rebetez et Reinhard, 2007) Une vision à long terme pour le canton. In *Unité de développement durable*. (pp. 116-117). Lausanne: État de Vaud.
- 24) (Rebetez, 2002, p.18) Rebetez, M. (2002). Réchauffement climatique en Suisse. *Info Gea, associazione dei geografi*, 14, 3-5.
- 25) (RUM, Available Water Content)
- 26) (Seltzer P, 1946) *Le climat de l'Algérie*. Carbonel, Alger, 219 p.
- 27) **Seltzer (1946)** ; «les pluies qui tombent en Algérie étant pour la plupart d'origine orographique, la tranche annuelle augmente dans une région donnée avec l'altitude, les isohyètes y suivent donc en gros les courbes de niveau».
- 28) (Toumi et Remini 2002) BARRAGE DE FOUM EL GHERZA FACE AU PROBLEME DE FUITES D'EAU - TOUMI A. 1 , REMINI B. 2
- 29) (UNEP/IUC, 1998)
- 30) United Nations Environment Programme
- 31) Progress Report of the Executive Director of **UNEP** on the ... up a regional **reference** centre for carcinogenic and mutagenic marine pollutants in the.
- 32) (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008).

- 33) (**Willson, R C et al, 2003**). Methods for detecting domain interactions in nuclear receptors. *Methods Enzymol* 364:142-52
- ANSER (1931-1995) et Tir (1978-2004). **FAR6649.pdf**
- 35) <https://bu.umc.edu.dz> > theses > biologie > FAR66...
- 36) FA KARIM · Cité 3 fois — proposés par le manuel de **référence** de l'inventaire (GIEC), qui ont été utilisés. ... 1963), l'ANRH (1993), **ANSER (1931-1995) et Tir (1978-2004)**.
- 37) Baranzini et al, 2000 et UNEP, 2005, p. 11)
- 38) Chaumont M. et Paquin C, 1971 Reconstitution de données climatiques pour l'Algérie du Nord : application des réseaux neuronaux Climatic data reconstitution of North Algeria: Application of neural network method
- 39) Friedlingstein P et al, 2005).
- 40) GAUSSEN (1913-1947)
- 41) Gausse H. 1948
- 42) l'ANRH (1993)
- 43) MEDINGER (1913-1953)
- 44) SELTZER (1913- 1938)

RESUME

Dans l'objectif de détecter un changement ou une variabilité climatique, une analyse des variables climatiques (Température moyenne, précipitations et évapotranspiration potentielle) a été effectuée sur la moyenne de 13 stations représentant la région de l'Est Algérien pour la période (1990-2017).

Deux tendances ont affecté notre région d'étude, la première est une tendance à la baisse de températures depuis l'année 2010. En général, la température annuelle varie aux alentours de 22.49°C.

La variabilité des précipitations pendant la même période indique la présence de cycles pluvieux et de cycles non pluvieux. La Répartition des précipitations mensuelles est irrégulière, en moyenne, c'est l'hiver qui représente la saison la plus pluvieuse. Au niveau annuel, il y'a une légère augmentation des précipitations au cours des années, de 235mm en 1990 à 692mm en 2017.

Les résultats du calcul du bilan hydrique montrent que La période déficitaire s'étale sur une longue période (Juin à Octobre) et nécessite une irrigation en cas de présence de cultures.

Mots clés : *Bilan hydrique, Changement climatique, Température, Précipitations, Est Algérien*

ABSTRACT

In order to detect climate change or variability, an analysis of climatic variables (average temperature, precipitation and potential evapotranspiration) was carried out on the average of 13 stations representing the eastern Algerian region for the period (1990- 2017).

Two trends have affected our study region, the first is a downward trend in temperatures since 2010. In general, the annual temperature varies around 22.49°C. The variability of precipitation during the same period indicates the presence of rainy cycles and non-rainy cycles. The distribution of monthly rainfall is irregular, on average, winter is the rainiest season. At the annual level, there is a slight increase in rainfall over the years, from 235mm in 1990 to 692mm in 2017.

The results of the water balance calculation show that the deficit period extends over a long period (June to October) and requires irrigation in the event of the presence of crops.

Keywords: *Water balance, Climate change, Temperature, Precipitation, Eastern Algeria*

المخلص

من أجل الكشف عن تغير المناخ أو تقلبه ، تم إجراء تحليل للمتغيرات المناخية (متوسط درجة الحرارة ، كمية الأمطار والتبخر الأقصى) على متوسط 13 محطة تمثل منطقة شرق الجزائر للفترة (1990-2017).
أثر اتجاهان على منطقة دراستنا ، الأول هو الاتجاه التنازلي في درجات الحرارة منذ عام 2010. بشكل عام ، درجة الحرارة السنوية تدور حول 22.49 درجة مئوية.

يشير تقلب هطول الأمطار خلال نفس الفترة إلى وجود دورات ممطرة ودورات غير ممطرة. توزيع الأمطار الشهرية غير منتظم ، في المتوسط ، الشتاء هو أكثر مواسم الأمطار. على المستوى السنوي ، هناك زيادة طفيفة في هطول الأمطار على مر السنين ، من 235 ملم في عام 1990 إلى 692 ملم في عام 2017.
تظهر نتائج حساب الميزان المائي أن فترة العجز تمتد لمدة طويلة (جوان إلى أكتوبر) وتتطلب الري في حالة وجود المحاصيل.

الكلمات المفتاحية: *الحصيلة المائية ، تغير المناخ ، درجة الحرارة ، الأمطار ، شرق الجزائر.*