

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Blida1
Faculté de Technologie**

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

**Mémoire de fin d'études Master
Spécialité : sciences de l'eau**

Thème :

**Etude de la variation des indices hydroclimatiques et leur relation
avec le changement du climat
Cas du bassin du Cheliff**

Présenté par : Mlle. MEGROUN Zoulikha

Promoteur : Pr. GUENDOUZ Abdelhamid

Année universitaire : 2015-2016

Remerciement

Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé , la volonté d'entamer et d'achever ce mémoire .

Tout d'abord ,ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide précieuse et l'encadrement de Mr.GUENDOZ ,je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel ,pour sa patience ,sa rigueur et sa disponibilité durant la réalisation de ce mémoire .

Je suis très reconnaissant en vers les membres de ce jury pour avoir bien voulu faire parti pour examiner mon travail.

Mes remerciements s'adressent également à tous mes professeurs pour leurs générosités et leurs patiences

Mes profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui ont m'aider et soutenu de près ou de loi lors de cette période.

Dédicace

A mes parents, pour leurs soutiens moraux et encouragements tout au long de mes études

A mes sœurs et mes frères

A tous mes amis(e)s

A mes collègues de promotion 2015/2016

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence ce jour

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicace	
Introduction	1
Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau	
I-1 Notion de changement climatique	2
I-1-1 Le climat	2
I-1-2 Le climat en Algérie	2
I-1-2-1 climat du nord Algérienne.....	2
I-1-3 Analyse climatique	3
I-1-4 : Les tendances des paramètres climatiques en particulier l'évaporation, la précipitation, l'humidité et la température	4
I- 1-4-1 Précipitation	4
I-1-4-2-Evaporation et humidité	5
I-1-4-3-Température	5
I-1-5 Changement climatique	6
I-1-5-1 :L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre	6
I-1-5-2: Le dioxyde de carbone (CO2)	7
I-1-5-3 : Le méthane (CH4)	7
I-1-5-4: Le protoxyde d'azote (N2O)	7
I-1-6- Les indicateurs du changement climatique	8
I-1-6-1 L'augmentation de la température de surface sur la Terre	8
I.1-6-2. La température des océans	8
I.1.6.3. La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques	9
I-1-6-4. Le recul des glaciers continentaux	9
I-1-6-5. Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland	9
I-1-6-6. Le niveau moyen des océans	9
I-1-6-6. Les indicateurs biologiques	10
I-2 l'eau et changement climatique	10
I-2-1 -Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau.....	11
I-2-1-1 Eaux superficielle	11
I-2-1-1-1 Lacs et rivières.....	11
I-2-1-1-2 Zones humides d'eau douce.....	12
I-2-1-1-3 Côtes et estuaries.....	13
I-2-1-2 eaux souterraines.....	15

I-2-2 : Impact des changements climatiques sur les ressources en eau en Algérie.....	16
I-2-2-1 Le Changement climatique, un facteur aggravant.....	16
I-2-2-2 Les impacts sur les écoulements de surface	16
I-2-2-3 Les changements affectant les eaux de barrages	16
I-2-2-4 Les changements affectant les nappes phréatiques	17
I .Conclusion	

Chapitre II : Présentation De La Zone d'étude

II .1.Situation géographique du bassin Cheliff.....	18
II.2.Caractéristiques morphométriques de la région	20
II.3. Réseau hydrographique.....	23
II.4.contexte climatique du bassin du cheliff	24
II. 5 : contexte géologique et hydro géologique	25
II.5.1Géologie.....	27
II5.1.1Haut-Chélif.....	28
II.5.1.1.1Stratigraphie.....	28
II.5.1.1.2.Tectonique.....	28
II.5.1.2 Moyen Chélif.....	28
II.5.1.2.1.Stratigraphie.....	28
II.5.1.2.1.Tectonique.....	29
II.5.1.3.Bas Chélif.....	29
II.5.1.3.1 .Tectonique.....	29
II.5.2.Hydrogéologie.....	29
II.5.2.1.Haut Chélif.....	29
II.5.2.1.2.La nappe du Moi-plio-Quaternaire.....	30
II.5.2.2. Moyen Chélif.....	30
II.5.2.2.1.La nappe alluviale.....	30
II.5.2.2.2.La nappe des calcaires à Lithothamniées.....	30
II.5.2.2.3Les grès astien.....	32
II.5.2.3.Bas Chélif.....	34
II.5.2.3.1. Le Miocène calcaire.....	34
II.5.2.3.2. Le Pliocène marin.....	34
II.5.2.3.3. Le Quaternaire-Pliocène continental	34

Chapitre III : Méthodologie De Travail

III .Introduction	35
III.1 Présentation des données	35
III.2.Données pluviométrique	36
III.3.1.Variation annuelles des précipitations (1975-2012).....	39
III.4.Données hydrométrique	40
III.4.1Variation annuelles des débits (1973-2001).....	40
III.5.Température	42
III.6.Evaporation	42
III.7. Evapotranspiration.....	43
III.7.1 Variation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle (1986- 2001)....	43
III.8.réseau piézométrique	43
III.Conclusion.....	44

Chapitre IV : Résultats Et Interprétation

IV .Introduction	45
IV.1.Analyse des données pluviométriques	45
IV.2.Analyse hydrométriques (débits)	47
IV.2.1.Application du modèle GR1A.....	47
IV.2.2 Calage de modèle	47
IV.2.3.Validation du modèle	50
IV.3. Les série de température	51
IV.4. Les série d'évaporation	52
IV.5. Les série d'évapotranspiration	52
IV .6.Variations des indices hydroclimatiques à l'échelle du Cheliff	53
IV .6.1 .Analyse des tendances pluviométries /piézométriques	54
IV.6.1.1 Analyse des tendances dans les séries pluviométriques.....	54
IV .6.1.2.Analyse des tendances piézométriques.....	58
IV.6.2.Analyse des tendances des températures	60

Conclusion générale	61
Référence bibliographiques	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. II.1 : Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude.....	23
Tableau .II.2 : Les ressources en eau des nappes du Moyen-Chélif.....	32
Tableau III.3.: Caractéristique générale des stations pluviométriques.....	39
Tableau III.4 : représenté les stations pluviométriques.....	39
Tableau.III. 5 : Caractéristiques des stations hydrométriques.....	40
Tableau.III. 6 : représente les stations étudiées.....	40
Tableau.III.7 : Evapotranspiration potentielles moyennes mensuelles et annuelles (1968-2001).....	43
Tableau .IV.8 : résultat du calage du modèle GR1A.....	47
Tableau .IV.9 : les variations des coefficients de détermination et de corrélation Q simulé-Q observé relatifs.....	50
Tableau .IV.10 : Moyennes des températures à la station de Chleff	60

LISTES DES FIGURES

Fig I-1 : Etages bioclimatiques au nord de l'Algérie.....	2
Fig I-2 Variations de la température et du niveau de la mer à l'échelle du globe et de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord.....	4
Fig I-3 : Tendances des précipitations annuelles de 1901 à 2005.....	5

Fig I.4 : les variations de températures en Afrique et a l'échelle globale.....	6
Fig I 5 :Effet de serre.....	7
Fig I -6 : Emission de Gaz à effet de serra.....	8
Fig I-7 : la variabilité de la température de surface de l'océan.....	9
Fig.II.8: Carte de localisation du Bassin versant du Cheliff.....	18
Fig.II.9: Sous régions du bassin hydrographique Cheliff.....	19
Fig.II.10: Carte des sous bassins versants.....	20
Fig.II.11: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Amont-Boughzoul.....	21
Fig. II. 12: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Aval – Boughzoul.....	21
Fig.II.13: Réseau Hydrographique.....	24
Fig.II.14 : Carte des étages bioclimatique du bassin Cheliff.....	25
Fig .II.15: Localisation de la plaine de Cheliff.....	26
Fig .II.16. : Coupes géologiques à travers le bassin du Chélif.....	27
Fig.II.17.: Carte Hydrogéologique du Haut-Chélif (El Khemis).....	29
Fig .II.18: Carte Hydrogéologique du Moyen-Chélif.....	33
Fig. III .19 :schéma simplifié de la présentation de modèle.....	36
Fig.III.20 : carte représente la situation des stations pluviométrique.....	40
Fig . III.21: carte représente la situations des stations hydrométrique.....	42
Fig .III.22.Inventaire du réseau piézométrique de la plaine du Haut Cheliff.....	44
Fig. IV.23 : variation des précipitations totales annuelles à la station d'El Khemis.....	45
Fig .IV.24: variation des précipitations totales annuelles à la station ROUINA.....	45
Fig .IV.26 :variation des précipitations totales annuelles à la station d' D'AIN DEFLA.....	46
Fig. IV.27 : Variation des débits moyens annuels à la station de ARIB EBDA.....	46
Fig .IV.28.variation des débits moyen annuels à la station d'ARIB CHELIF.....	48
Fig.IV.29 :Visualisation de la qualité du calage pour la station Arib Ebda-Ain Defla.....	48
Fig . IV.30:corrélation entre les débits observés et les débits simulés pour la station Arib –Ebda Ain Dafla	

.....	49
Fig. IV.31: Visualisation de la qualité du calage pour la station Arib Ebda - EL KHEMIS.....	49
Fig. IV.32 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés pour la station Arib Ebda-El Khemis	50
Fig.IV.33: validation de modèle GR1A la station Arib Ebda-El Khemis et la station Arib Ebda-Ain Defla.....	51
Fig.IV.34: Températures moyennes annuelles de la station de BARRAGE HARRAZA	52
Fig.IV.35 : variation d'évaporation mensuelle moyenne De station BOUGHUZOL	52
Fig.IV.36 .: variation d'évaporation mensuelle moyenne de station GRIB.....	53
Fig.IV.37. Variation de l'évapotranspiration dans la (période 1986- 2001).....	54
Fig .IV.38: la plaine de cheliff.....	55
Fig. IV.39 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 011601 sur la période (1968-2001	55
Fig .IV.40.:Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 011706 sur la période (1968-2001).....	55
Fig. IV.41. :Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 012219 sur la période (1968-2001).....	56
Fig .IV.42 :Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 013505 sur la période (1968-2001)	
Fig .IV.43. : Variation des précipitations au niveau de la station oued sly (1968-2001).....	57
Fig .IV.44.Systèmes aquifères du Bassin du Cheliff (Réseau de suivi piézométrique).....	58

Résumé

Cette étude vise à mettre en évidence l'examen de la variabilité et l'évolution des paramètres et indices climatiques (précipitations, ETP, Evaporation, températures, niveau piézométriques, etc.) à l'échelle du bassin du Chélif et leur relation avec le changement climatique

L'étude menée nous a permis d'analyser les indices hydroclimatiques dans plusieurs stations au niveau du bassin d'abord du haut Cheliff ensuite une extension à l'échelle de tout le bassin, pour ce faire, diverses données (pluviométrie, température, évaporation, ETP et fluctuations piézométriques) ont été traitées par l'utilisation de divers logiciels.

Le régime pluviométrique a connu un changement à partir des années soixante dix avec apparition d'un déficit pluviométrique à partir de 1970, et la persistance durant les décennies 80-90.

L'étude de la variabilité des indices hydroclimatiques (températures, évaporation, évapotranspiration), et mesures hydrométriques à l'échelle du bassin traduisent tous une tendance vers la baisse sur les périodes d'observations .

L'ensemble des ces variations et tendances s'inscrivent dans le schéma global du changement climatique

Mots –clés : indices hydroclimatique, changement climatique, bassin de Cheliff

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء والنظر في تقلب وتغير المؤشرات (الأمطار, التبخر, درجة الحرارة مستوى المياه الجوفية, التدفق...) على مستوى حوض الشلف وعلاقتها مع تغير المناخ سمحت لنا هذه الدراسة بتحليل المؤشرات الهيدرولومناخية في عدة محطات على مستوى الحوض الأعلى ثم على مستوى الحوض الكلي وذلك باستخدام برامج مختلفة

عرف نظام الأمطار تغير منذ بداية السبعينات مما أدى إلى عجز واستمر لغاية السنوات 80- 90 وتوضح دراسة هذه المؤشرات الهيدرولومناخية الأمطار, التبخر, درجة الحرارة, مستوى المياه الجوفية والتدفق على مستوى حوض الشلف أنها في انخفاض مستمر على مدى فترات الملاحظة.

كل هذه التغيرات والاتجاهات تنسجم مع المخطط الشامل لتغير المناخ

الكلمات الرئيسية: حوض الشلف تغير المناخ مؤشرات هيدرولومناخية

Abstract

This study aims at examining the variability and change of climate parameters and indices (rainfall, ETP, evaporation, temperature, piezometric level, etc.) a wide Chelif basin and their relationship to climate change

The study allowed us to analyze the hydro clues in several stations at the first basin high Chelif then an extension across the entire basin, to do this, various data (rainfall, temperature, evaporation ETP and piezometric fluctuations) were treated with the use of various software.

The rainfall regime was a change from the seventies with the appearance of a rainfall deficit from 1970 and continued in the decades 80-90.

The study of the variability of hydro clues temperatures, evaporation, évapotranspiration, and hydrometric measurements at the basin scale all reflect a downward trend over the observation periods.

All of these variations and trends fit into the overall scheme of climate change

clés Words: hydroclimatic clues, climate change, Chelif basin

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'eau est devenue la première matière à laquelle le monde actuel s'intéresse de plus près. En Algérie, l'importance pour l'alimentation en eau potable, la production agricole, l'industrie, le transport, les loisirs et les écosystèmes n'est plus à démontrer. Du fait de cette importance, il est indispensable de connaître sa vulnérabilité aux changements climatiques.

L'Algérie, pays semi aride à aride a connu au cours des 35 dernières années une épisode de sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important d'ordre 20% pour les régions ouest, 13% au centre et 12 % à l'est [1] ainsi que des inondations qui continuent à sévir aussi bien sur le nord comme au sud et sont plus importantes en terme de fréquence surtout durant le hiver et l'automne.

Depuis quelque décennies, le changement climatique est l'un des problèmes le plus abordé par la communauté scientifique, le changement climatique prévoit avec l'augmentation des gaz à effet de serre un impact certain sur les ressources en eau, en particulier dans les régions arides à semi arides, où la ressource en eau se fait de plus en plus rare et constituera le plus grand défi de l'humanité.

En l'Algérie, la demande en eau, la sécheresse, la pénurie des ressources superficielles (les eaux des barrages, les écoulements de surface), la diminution de la ressources souterraines (les nappes) sont directement liées au problème de la variation et la fluctuations des indices climatiques (tendances pluviométriques, hydrométriques, Evapotranspiration, fluctuations piézométriques, etc.) donc des périodes de sécheresses récurrentes, ont-ils une relation avec le concept du changement climatique global à l'échelle de la planète ?

L'objectif de ce travail s'intègre justement dans cette problématique, il consiste à examiner les évolutions des indices hydroclimatiques (précipitations, mesures hydrométriques(débits), températures, évapotranspiration et évaporation, fluctuations piézométriques) dans quelques stations de la région du bassin du haut Cheliff (ouest Algérien) et discuter les résultats ensuite à l'échelle de tout le bassin du Cheliff afin voir leur impact sur les ressources en eau et la relation avec le changement du climat.

Le manuscrit de ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres précédés par une introduction

- Chapitre 1 : Aperçu de l'impact de changement climatique sur les ressources en eau.
- Chapitre 2 : Situation de la zone d'étude, cadre géographique, géologique et hydrogéologique
- Chapitre 3: Méthodologie de travail et moyens utilisés.
- Chapitre 4 : Interprétation et discussion des données

Et enfin, une conclusion générale qui présente une synthèse des résultats obtenus dans ce mémoire

Chapitre 1 :

Impact du changement climatique sur les ressources en eau

Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau

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.

I-1 Notion de changement climatique :

I-1-1 Le climat

Le climat correspond à la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région donnée pendant une période donnée. Il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles, ainsi que sur la base des données atmosphériques locales : évaporation, ETP température, précipitations, ensoleillement, humidité, direction du vent.

Les régions continentales du globe connaissent un climat qui dépend de leur latitude et de la distance qui les sépare des principaux plans d'eau de la Terre. [2]

I-1-2 Le climat en Algérie :

Les aires climatiques sont très diversifiées et le climat varie du type méditerranéen au type saharien. Au nord, les hivers sont pluvieux et froids, les étés chauds et secs. Le climat, le long de la côte, est adouci par la présence de la mer. L'Est algérien est une région plus pluvieuse que l'Ouest, avec 2 mètres de pluie par an et des sommets enneigés d'octobre à juillet.

Le pied sud de l'Atlas tellien marque la limite du climat aride : sec et tropical, avec de grands écarts de températures en hiver : la température moyenne est de 36°C le jour et 5°C la nuit. [3]

I-1-2-1 climat du nord Algérien :

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

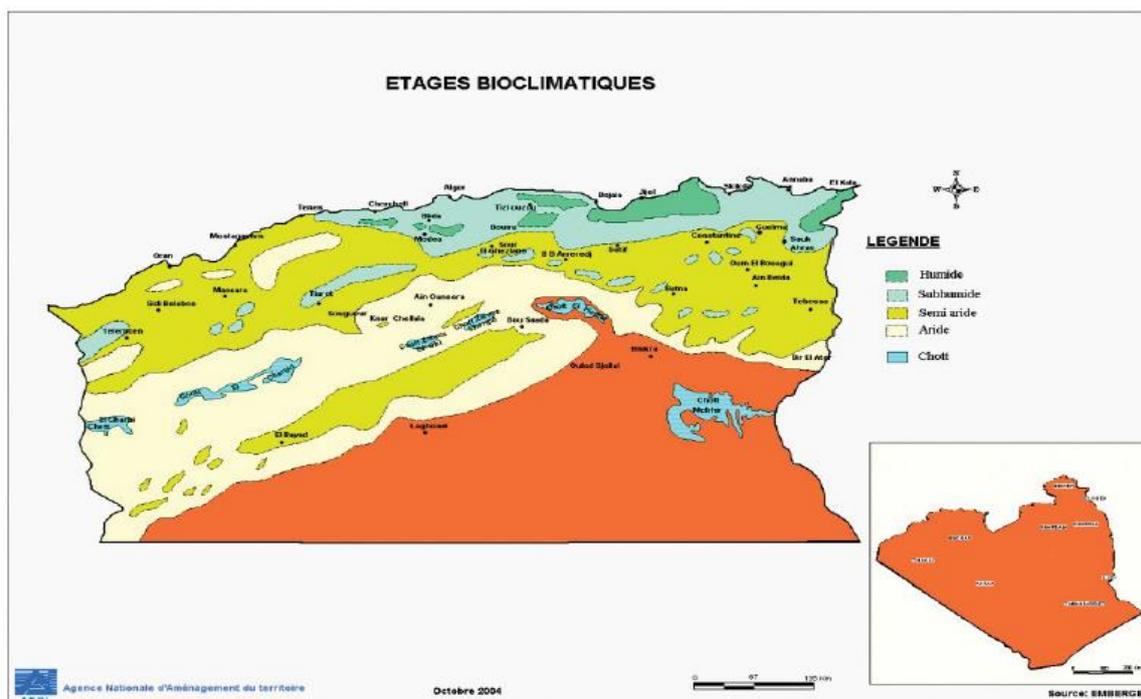


Fig I-1 : Etages bioclimatiques au nord de l'Algérie [4]

I-1-3 Analyse climatique :

L'analyse de l'évolution du climat impose de disposer d'observations globales de toutes les composantes du système climatique (atmosphère, océans, terres émergées et glaces), sur de longues périodes.

C'est seulement depuis le milieu des années 1970 que les programmes d'observations par satellites, complétés par des systèmes d'observation in situ, permettent d'obtenir un ensemble de données climatiques échantillonnées régulièrement dans l'espace et le temps.

A l'échelle globale, il a été noté [5]

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

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

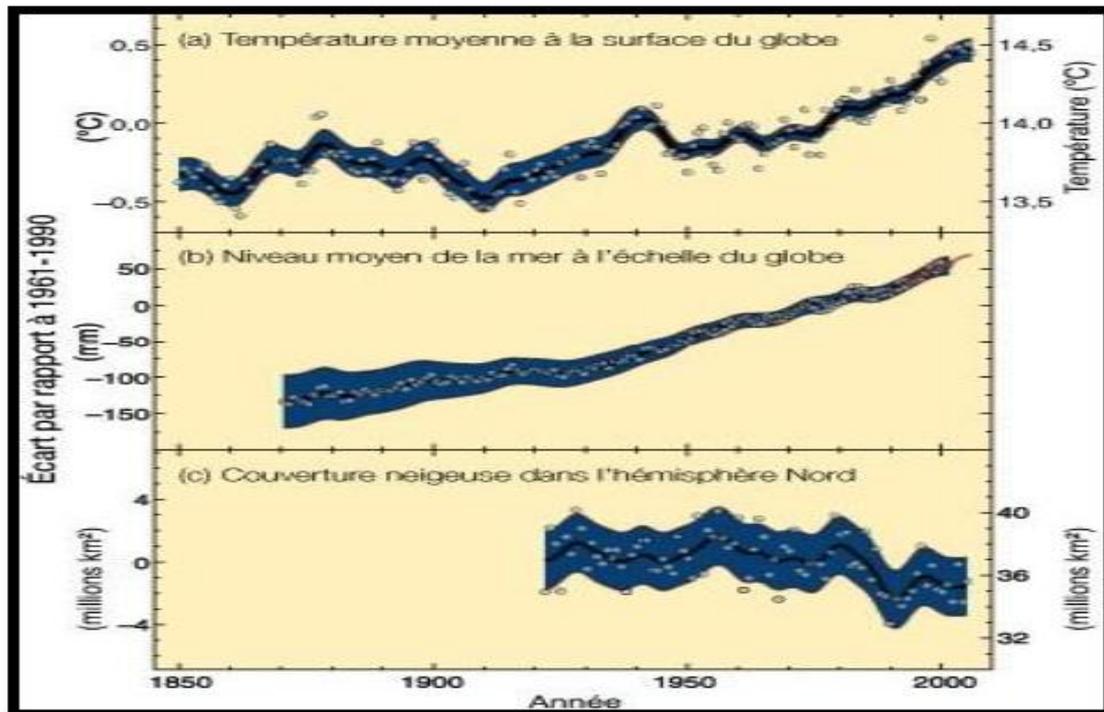


Fig I-2 Variations de la température et du niveau de la mer à l'échelle du globe et de la couverture neigeuse dans l'hémisphère Nord [6]

I-1-4 : Les tendances des paramètres climatiques en particulier l'évaporation, la précipitation, l'humidité et la température :

I- 1-4-1 :Précipitation :

Les tendances des précipitations sur les terres ont été analysées grâce à plusieurs ensembles de données provenant du Réseau mondial, de données climatologiques anciennes, du Centre mondial de climatologie, des précipitations et de l'Unité de recherche climatologique. Les précipitations sur les terres ont généralement augmenté durant le XXe siècle entre 30°N et 85°N; néanmoins, des baisses importantes se sont produites au cours de ces 30 à 40 dernières années entre 10°S et 30°N. Les diminutions de la salinité dans l'Atlantique Nord et au sud de 25°S suggèrent de changements identiques des précipitations au-dessus de l'océan. Les précipitations ont sensiblement augmenté entre 1900 et les années 1950, entre 10°N et 30°N, mais elles ont diminué après 1970. [5]

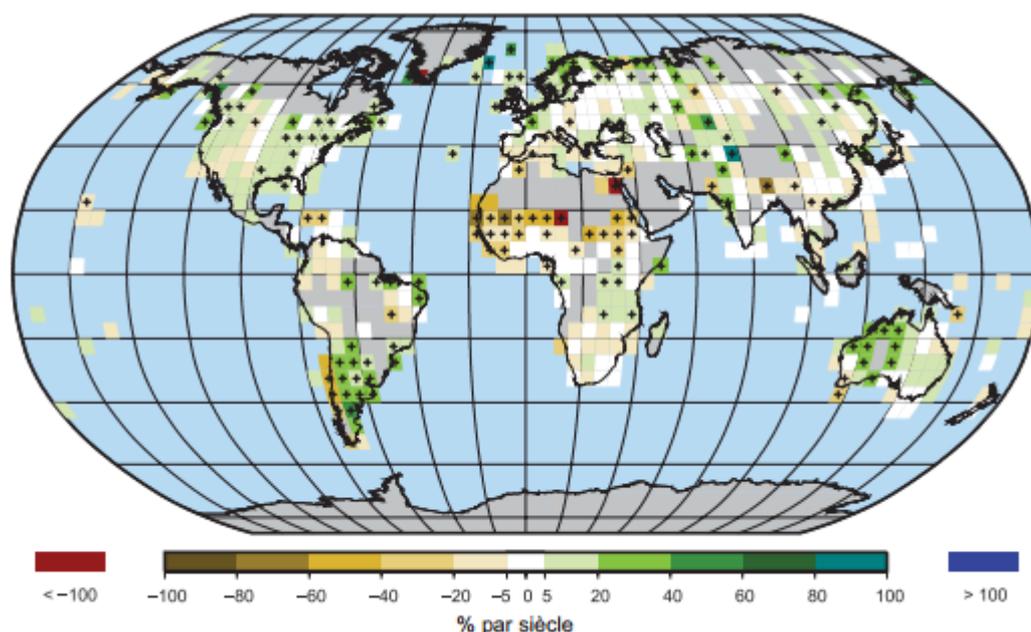


Fig I-3 : Tendence des précipitations annuelles de 1901 à 2005 [7]

I-1-4-2 :Evaporation et humidité :

Une augmentation de la teneur en vapeur d'eau de la troposphère au cours de ces dernières décennies, correspondant au réchauffement constaté et à l'humidité relative quasi constante. La colonne totale de vapeur d'eau a augmenté dans les océans mondiaux de $1,2 \pm 0,3$ % par décennie de 1988 à 2004. [8]

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

I-1-4-3 :Température :

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

Ceci signifie que l'augmentation moyenne observée au niveau planétaire est à nuancer dans l'espace, et qu'elle ne représente pas parfaitement l'évolution thermique de chaque région du globe, puisqu'il existe des différences aux échelles spatiales plus fines. [5]

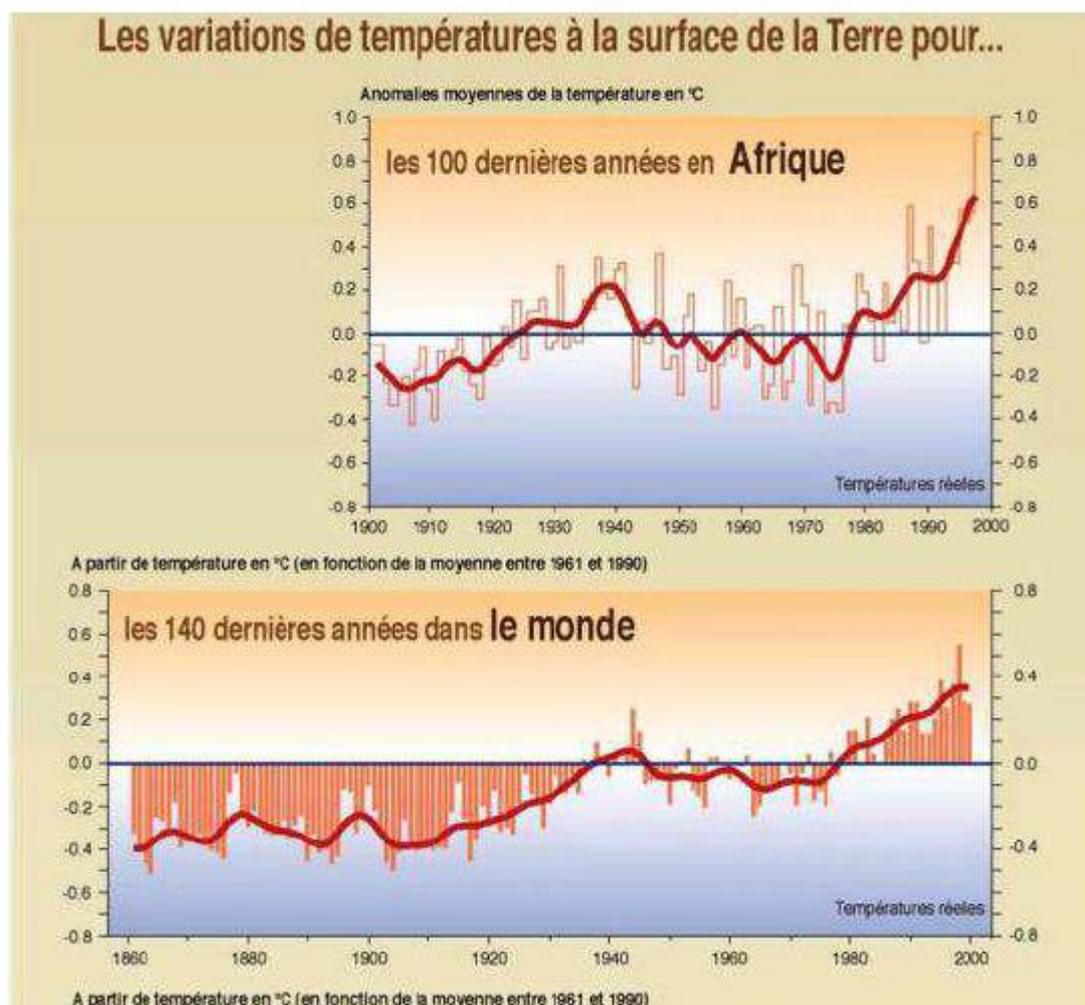


Fig I.4 : les variations de températures en Afrique et a l'échelle globale [9]

I-1-5 : Changement climatique :

Les Changement climatiques concernent des transformations générales du climat, y compris la température, les précipitations, les vents et d'autres facteurs ; ils peuvent varier d'une région à une autre. Il est établi que ces changements sont la conséquence du renforcement du phénomène de l'effet de serre du fait du rejet dans l'atmosphère de gaz à effet de serre par certaines activités humaines. Cette augmentation supplémentaire des concentrations de Gaz à effet de serre induit un réchauffement supplémentaire de la surface de la terre et de l'atmosphère.

I-1-5-1 : L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre :

Autres que la vapeur d'eau qui se recycle rapidement et en permanence, le gaz à effet de serre est un élément très important, qui doit être observé avec précision sur plusieurs décennies pour donner lieu à une interprétation fiable.

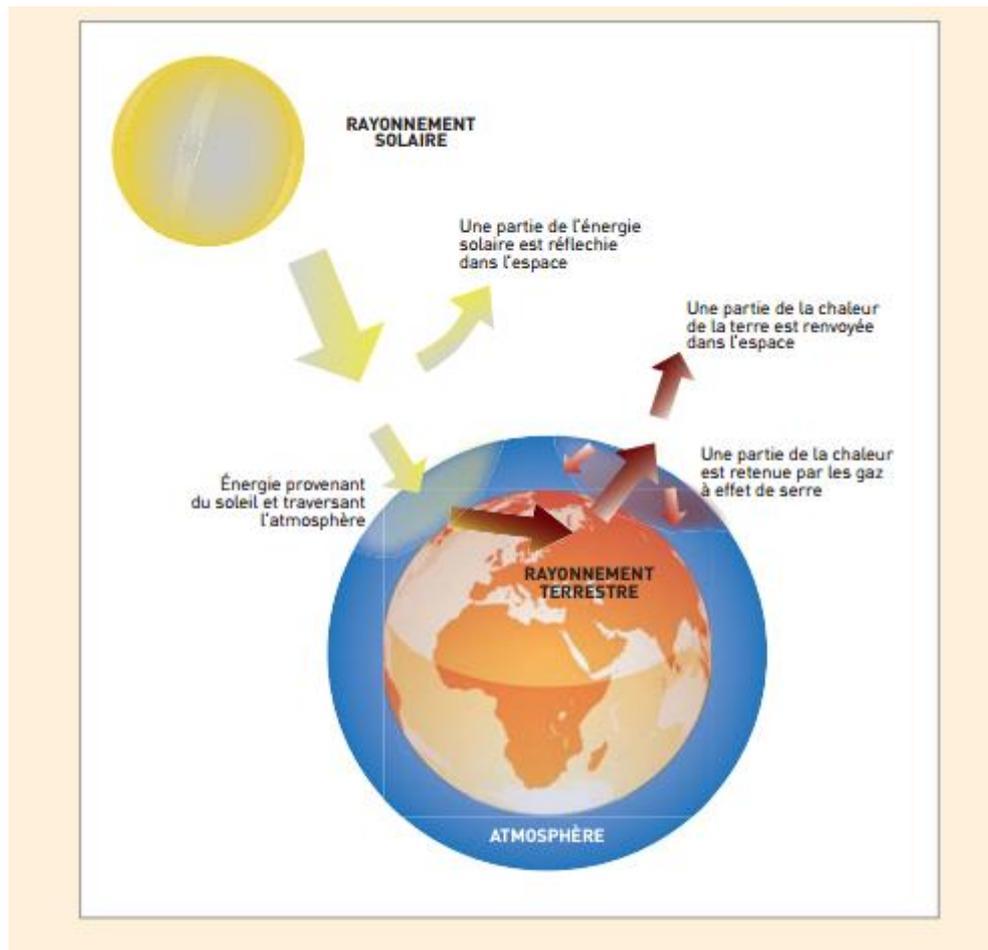


Fig I :5 :Effet de serre [10]

I-1-5-2. Le dioxyde de carbone (CO₂) :

Sa concentration augmente continûment depuis le milieu du XIX^e siècle, en raison principalement des activités industrielles. Les études montrent que l'origine de cette augmentation est due pour plus de la moitié à la combustion des combustibles fossiles, le reste aux déboisements massifs et d'autre part à la production de ciment.

I-1-5-3 . Le méthane (CH₄) :

Dû notamment aux fermentations diverses (zones humides, ruminants, déchets domestiques, biomasse, ...), aux fuites de gaz naturels et à la fonte du pergélisol, sa concentration s'est accrue de 140 % sur la même période. Elle semble cependant stabilisée depuis 2000.

I-1-5-4. Le protoxyde d'azote (N₂O) :

Dû en grande partie aux activités agricoles (dont la biodégradation des nitrates agricoles dans les milieux souterrains anoxiques), sa concentration a augmenté de 20 % sur la même période.

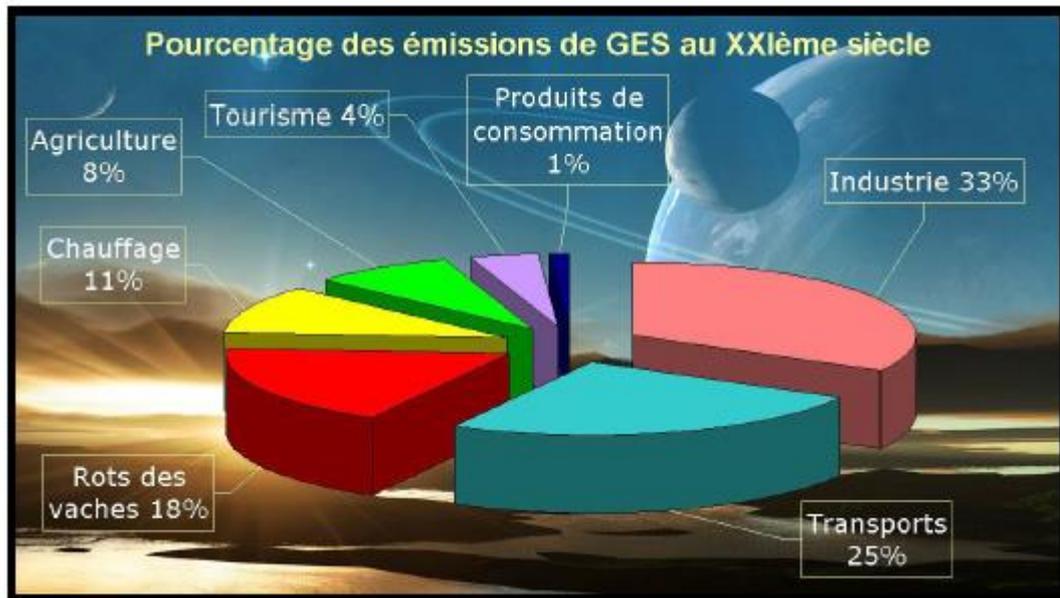


Fig I -6 : Emission de Gaz à effet de serra [10]

I-1-6 .Les indicateurs du changement climatique :

I-1-6-1 .L'augmentation de la température de surface sur la Terre

L'augmentation de la température de surface sur la terre est de $0,8 \pm 0,2$ °C depuis 1870. [11] Elle reste notablement différente pour les deux hémisphères : plus forte au Nord et plus forte aux hautes latitudes. Une variabilité entre continents est également observée. Une forte modulation sur des périodes annuelles et multi décennales est également constatée, avec deux périodes de plus forte augmentation (approximativement de 1910 à 1940 et de (1975 à 2000) encadrées par des périodes de stagnation ou de décroissance.

I.1-6-2 .La température des océans :

Mesurée depuis les années 1950 par les bateaux de commerce ou les navires océanographiques (jusque vers 700 m de profondeur) et plus récemment par le système de bouées profitantes Argo, montre une augmentation moyenne globale depuis quelques décennies.

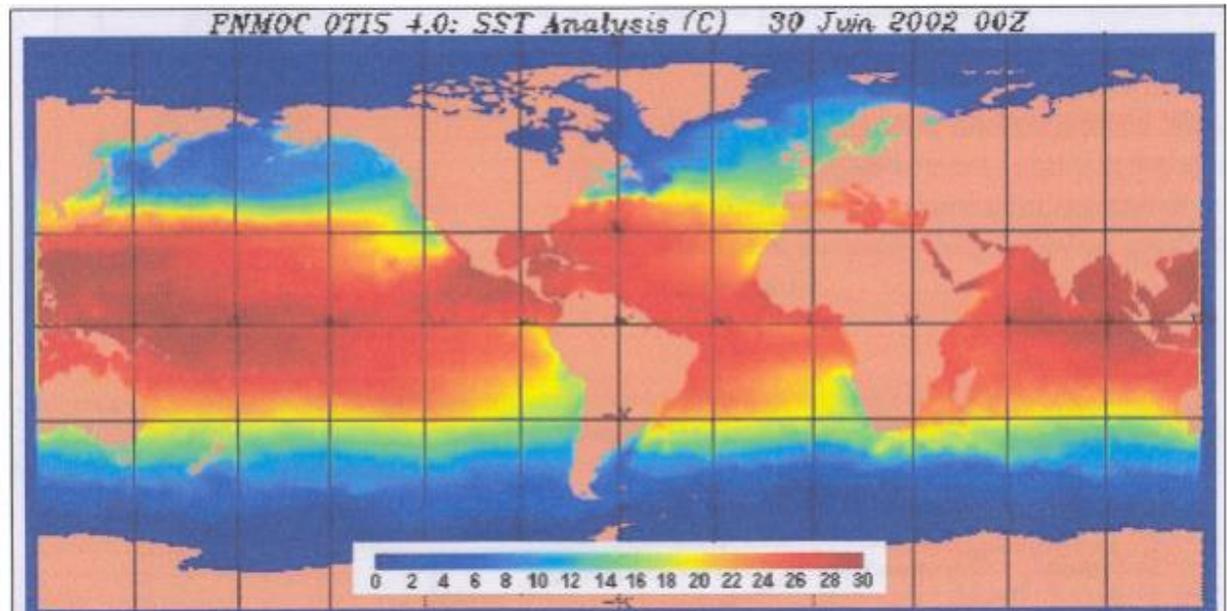


Fig I-7 : la variabilité de la température de surface de l'océan [12]

I.1.6.3. La réduction de la surface des glaces océaniques arctiques :

La banquise, dont la fonte ne contribue pas à l'élévation du niveau des océans, est un autre indicateur fort de l'accélération de l'évolution du climat : de 8,5 millions de km² stable dans la période 1950-1975, la surface des glaces de mer a connu une décroissance très rapide jusqu'à 5,5 millions de km² en 2010.

I-1-6-4. Le recul des glaciers continentaux :

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

I-1-6-5. Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland :

Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland ont un bilan total de masse négatif depuis une dizaine d'années. Si quelques régions élevées de l'intérieur des calottes, en particulier Antarctique, s'épaississent un peu par suite de précipitations neigeuses accrues, la perte de masse domine.

Celle-ci s'effectue dans les zones côtières du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest par écoulement très rapide de certains glaciers vers l'océan et décharge d'icebergs. On pense que le réchauffement des eaux océaniques dans ces régions est la cause majeure des instabilités dynamiques observées.

I-1-6-6. Le niveau moyen des océans :

Le niveau moyen des océans est un autre indicateur qui intègre les effets de plusieurs composantes du système climatique (océan, glaces continentales, eaux continentales). Avant 1992, le niveau de la mer était mesuré par des marégraphes le long des côtes continentales et de quelques îles : le niveau des océans, en moyenne annuelle sur toute la planète, s'est élevé à un rythme de 0,7 mm/an entre 1870 et 1930 et d'environ 1,7 mm/an après 1930. Depuis 1992, les mesures sont effectuées par satellites : la hausse du niveau moyen global de la mer est de l'ordre de 3,4 mm/an. Les contributions climatiques à cette élévation sont

Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau

approximativement dues, pour un tiers à la dilatation de l'océan consécutive au réchauffement et, pour les deux autres tiers, aux glaces continentales à parts quasi égales, fonte des calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique d'une part, et fonte des glaciers continentaux d'autre part. [13]

I-1-6-6. Les indicateurs biologiques :

Les indicateurs biologiques, tels que les déplacements de populations animales terrestres ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières, montrent aussi la survenue d'un réchauffement climatique.

1-1 .L'eau et le changement climatique.

Il est largement prouvé par des relevés d'observations et des projections climatiques que les sources d'eau douce sont vulnérables et auront à souffrir gravement du changement climatique, avec de grandes répercussions sur les sociétés humaines et sur les écosystèmes.

Le changement observé pendant plusieurs décennies a été relié à la modification survenue dans le cycle hydrologique à grande échelle, Au niveau mondial, la superficie des terres considérées Comme très sèches a plus que doublé depuis les années 1970. Le volume d'eau stocké dans les glaciers de montagne et la couverture neigeuse de l'hémisphère Nord a Considérablement diminué. On a observé des décalages dans les variations saisonnières du débit des rivières alimentées Par la fonte des glaciers et de la neige et dans les phénomènes liés à la glace dans les rivières et les lacs.

Au cours du XXe siècle, les précipitations ont surtout augmenté sur les continents dans les latitudes les plus septentrionales, tandis que des diminutions ont principalement touché les latitudes comprises entre 10°S et 30°N depuis la superficie des terres considérées comme très sèches a plus que doublé depuis les années 1970.

Le volume d'eau stocké dans les glaciers de montagne et la couverture neigeuse de l'hémisphère Nord a considérablement diminué. On a observé des décalages dans les variations saisonnières du débit des rivières alimentées par la fonte des glaciers et de la neige et dans les phénomènes liés à la glace dans les rivières et les lacs.

Des changements dans la quantité et la qualité de l'eau attribuables au changement climatique devraient influencer la disponibilité, la stabilité et l'utilisation des aliments ainsi que l'accès à ces derniers. Ceci devrait entraîner une diminution de la sécurité alimentaire et une vulnérabilité accrue des cultivateurs dans les zones rurales pauvres, en particulier dans les régions tropicales arides et semi-arides et dans les méga deltas asiatique et africains.

Vers le milieu du XXIe siècle, le débit moyen annuel des cours d'eau et la disponibilité en eau devraient augmenter en raison du changement climatique aux latitudes élevées et dans certaines zones tropicales humides, et diminuer dans des régions sèches aux latitudes moyennes et dans les régions tropicales sèches.

L'augmentation de l'intensité et de la variabilité des précipitations devrait augmenter les risques de crue et de sécheresse dans plusieurs régions.

L'augmentation de la température des eaux et les variations des phénomènes extrêmes, notamment les crues et les sécheresses, devraient influencer la qualité de l'eau et aggraver de nombreuses formes de pollution aquatique (sédiments, nutriments, carbone organique dissous, organismes pathogènes, pesticides et sel) ainsi que la pollution thermique, avec d'éventuelles conséquences néfastes sur les écosystèmes, la santé publique, la fiabilité des systèmes de distribution d'eau et les coûts d'exploitation (degré de confiance élevé). De plus, l'élévation du niveau de la mer devrait étendre les zones de salinisation des eaux souterraines et les estuaires, ce qui entraînera une diminution de la disponibilité en eau douce pour l'homme et les écosystèmes dans les zones côtières.[5]

I-2-1 .Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau.

I-2-1-1 .Eaux superficielle :

I-2-1-1-1. Lacs et rivières:

Les incidences du réchauffement mondial sur les lacs sont, entre autres, une extension de la période de croissance aux latitudes élevées, une intensification de la stratification et de la perte d'éléments nutritifs des eaux de surface, une diminution de l'oxygène hypolimnique (en dessous de la thermocline) dans les lacs profonds et stratifiés, et une extension de nombreuses plantes aquatiques invasives. Les niveaux d'eau devraient augmenter dans les lacs des latitudes élevées où les modèles climatiques prévoient des précipitations accrues, tandis que les niveaux d'eau des lacs des latitudes moyennes et basses devraient diminuer. Les lacs endoréiques (fermés) sont les lacs les plus vulnérables au changement climatique car ils sont très sensibles aux changements d'équilibre entre les apports et l'évaporation. Les changements des apports de ces lacs peuvent avoir des répercussions très importantes qui, dans certaines conditions climatiques, peuvent entraîner leur disparition complète. L'étendue de la mer d'Aral, par exemple, a été considérablement réduite à cause de l'augmentation des prélèvements pour l'irrigation en amont; en Chine, le lac Qinghai a rétréci suite à une diminution des précipitations dans le bassin hydrographique.

La durée de la couche de glace des lacs et des rivières aux latitudes moyennes à élevées a diminué d'environ deux semaines dans l'hémisphère Nord, au cours du siècle dernier. Une augmentation de la température de l'eau en été peut entraîner une anoxie accrue dans les lacs stratifiés, une augmentation du relargage de phosphore par les sédiments au fond des lacs, et l'apparition de fleurs d'eau qui restructurent le réseau alimentaire aquatique. Une augmentation de la température de 1 °C entraîne une différence de densité proportionnellement plus élevée dans les lacs tropicaux que dans les lacs tempérés plus froids. Ainsi, les températures tropicales prévues provoqueraient une grande stratification thermique, avec une anoxie des couches profondes des lacs et un appauvrissement en éléments nutritifs des eaux peu profondes. Des concentrations réduites en oxygène entraîneraient généralement la réduction de la diversité des espèces aquatiques, en particulier lorsque la qualité de l'eau serait compromise par l'eutrophisation.

Ces mêmes concentrations réduites en oxygène ont tendance à modifier les assemblages biotiques, la biogéochimie et la productivité globale des lacs et des rivières. Pour de nombreux taxons des eaux froides des latitudes moyennes et élevées, l'optimum thermique est inférieur à 20 °C. Des extinctions d'espèces sont prévues lorsque les températures estivales chaudes et l'anoxie supprimeront les refuges des eaux froides profondes. Dans le sud des Grandes Plaines des États-Unis, les températures de l'eau approchent déjà des limites létales pour de nombreux poissons indigènes des rivières. Le taux de décomposition de la matière organique augmente avec la température, ce qui raccourcit la période pendant laquelle les détritiques sont disponibles pour les invertébrés aquatiques. Les espèces exotiques invasives représentent une menace majeure pour la biodiversité indigène des écosystèmes aquatiques. [14]

Les effets du réchauffement sur les systèmes riverains peuvent être plus importants dans les régions humides où les flux sont moins variables et où les interactions biologiques

Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau

contrôlent l'abondance des organismes. L'assèchement des lits des cours d'eau et des lacs pendant des périodes prolongées pourrait réduire la productivité des écosystèmes du fait de la restriction de l'habitat écologique, combinée à une moins bonne qualité de l'eau résultant d'une augmentation des déficits en oxygène et des concentrations en polluants. Dans les régions semi-arides du monde, la réduction de l'écoulement fluvial saisonnier et l'assèchement complet des lacs (notamment au Sahel en Afrique) peuvent avoir des répercussions graves sur les écoservices, y compris sur le maintien de la biodiversité.

Actuellement, la richesse spécifique est à son maximum dans les systèmes d'eau douce de l'Europe centrale et elle diminue vers le nord et vers le sud du fait des sécheresses périodiques et de la salinisation. Des analyses d'ensembles de MCG effectuées pour le quatrième Rapport d'évaluation du GIEC mettent en évidence un contraste sud-nord des précipitations, avec une augmentation au nord et une diminution au sud. [15] Une augmentation du ruissellement prévu et un risque de sécheresse diminué pourraient avantager la faune des systèmes aquatiques du nord de l'Europe, tandis qu'une diminution de la disponibilité en eau dans le sud pourrait avoir l'effet opposé.

I-2-1-1-2. Zones humides d'eau douce:

La grande variabilité de structure des systèmes de zones humides découle principalement de leur hydrologie particulière, qui comprend aussi bien les tourbières des forêts boréales à latitudes élevées que les zones humides de haute altitude des montagnes tibétaines et andines et les zones humides tropicales des moussons (notamment les zones humides de Kakadu, en Australie). Les répercussions les plus prononcées du changement climatique se manifesteront sur les zones humides d'eau douce à l'intérieur des terres via une altération des précipitations et des épisodes de perturbations plus fréquents ou plus intenses (sécheresses, tempêtes, inondations). Une augmentation relativement faible de la variabilité des précipitations peut affecter significativement les plantes et les animaux des zones humides à différentes étapes de leur cycle de vie.

En général, le réchauffement climatique devrait déclencher une tendance à l'assèchement des écosystèmes des zones humides. Cette influence essentiellement indirecte du changement climatique, entraînant des modifications du niveau d'eau, serait la principale cause du changement des écosystèmes des zones humides et occulterait les incidences de l'augmentation de la température et de l'allongement des périodes de croissance dans les tourbières boréales et subarctiques. Les régions à mousson assisteront plus probablement à des épisodes de chutes de pluie plus intenses, concentrés dans des saisons de pluies plus courtes, aggravant les inondations et l'érosion dans les bassins hydrographiques et dans les zones humides elles-mêmes.

La plupart des processus des zones humides dépendent de l'hydrologie au niveau du bassin hydrographique, qui peut souffrir des changements d'affectation des terres ainsi que des pratiques de gestion des ressources en eaux de surface. L'alimentation des réseaux locaux ou régionaux d'eaux souterraines, la position des zones humides par rapport à la topographie locale et le gradient de réseaux régionaux d'eaux souterraines plus étendus sont aussi des éléments critiques qui déterminent la variabilité et la stabilité du stockage de l'humidité dans les zones humides de régions climatiques où les précipitations ne dépassent pas de beaucoup l'évaporation. Les changements de l'alimentation externe de la zone humide peuvent être tout aussi importants que les changements des précipitations directes et l'évaporation pour le devenir de la zone, dans des conditions de changement climatique.

Ainsi, il sera peut-être très difficile, voire impossible, de s'adapter aux conséquences des changements prévus pour la disponibilité en eau. Du fait, en partie, de leur capacité

Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau

d'adaptation limitée, les zones humides font partie des écosystèmes jugés les plus vulnérables au changement climatique.[16]

Les zones humides sont très souvent des points chauds de la biodiversité, qui sont nombreux à être protégés au niveau de la planète (sites Ramsar, sites du patrimoine mondial). Leur perte pourrait entraîner de nombreuses extinctions, en particulier parmi les amphibiens et les reptiles aquatiques.

Le troisième Rapport d'évaluation a identifié des tourbières ombrotrophiques («alimentées par les nuages») arctiques et subarctiques et des zones humides dépressionnaires ayant des bassins hydrographiques peu étendus comme étant les systèmes aquatiques les plus vulnérables au changement climatique.

Le quatrième Rapport d'évaluation, plus récent, met toutefois en avant la grande vulnérabilité de nombreux autres types de zones humides, à savoir les zones humides à mousson de l'Inde et de l'Australie, les tourbières boréales, les zones humides de la cuvette des prairies en Amérique du Nord et celles de la région des Grands Lacs africains.

Les modes et les itinéraires migratoires saisonniers de nombreuses espèces des zones humides devront évoluer au risque de voir certaines espèces menacées d'extinction. En ce qui concerne les principaux habitats, leur restauration pourrait être possible à petite échelle, dans la mesure où la disponibilité en eau est suffisante.

En raison des changements hydrologiques associés au réchauffement atmosphérique, l'étendue de l'habitat des zones humides a augmenté dans certaines régions. Dans la région arctique, le dégel du pergélisol entraîne la création de nouvelles zones humides. Les propriétés thermokarstiques, qui sont issues de la fonte de la glace du sol dans une région surmontant le pergélisol, peuvent déplacer le biote arctique suite à une saturation excessive ou à un assèchement. En Amérique du Nord, près de Council, en Alaska et dans le centre de la République de Sakha, on a mis en évidence un développement extensif de thermokarst. Le dégel du pergélisol crée initialement des dépressions où se forment des zones humides et des étangs qui sont reliés par de nouveaux drainages. Au fur et à mesure que le dégel se poursuit, les eaux de surface percolent vers les réseaux souterrains, et sont perdues pour l'habitat d'eau douce. Il se pourrait que le réchauffement ait déjà provoqué la diminution de la superficie des zones humides du fait de l'extension des lacs du delta du Yukon au cours du siècle dernier. [17]

Une faible augmentation de la variabilité des régimes de pluie peut affecter significativement les plantes et les animaux des zones humides. La biodiversité des zones humides saisonnières, comme les mares vernaies, peut être fortement influencée par les changements des précipitations et de l'humidité des sols. Dans les régions touchées par la mousson, des périodes sèches prolongées favorisent la terrestrialisation des zones humides, telle qu'on a pu l'observer dans le parc national Keoladeo.

I-2-1-1-3 . Côtes et estuaries

Des changements dans la périodicité et le volume du ruissellement d'eau douce peuvent altérer la salinité, la disponibilité des sédiments et des éléments nutritifs, ainsi que les régimes d'humidité des écosystèmes côtiers. Le changement climatique peut influencer chacune de ces variables en modifiant les précipitations et le ruissellement local, ou de manière plus importante, le ruissellement des bassins versants vers la région côtière. L'hydrologie exerce une grande influence sur la distribution des communautés végétales des zones humides côtières qui se répartissent généralement à l'intérieur des terres, des espèces d'eau salée jusqu'à celles d'eau douce, en passant par celles d'eau saumâtre.

Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau

Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer sur le relief côtier varient d'une région côtière à l'autre, du fait que la vitesse de l'élévation n'est pas uniforme dans l'espace et que certaines régions côtières subissent des soulèvements ou des affaissements dus à des processus indépendants du changement climatique. De tels processus incluent les prélèvements d'eau souterraine, l'extraction de pétrole et de gaz et l'isostasie (ajustement de la surface de la Terre, à l'échelle géologique, aux changements de masse surfacique, dus par exemple aux changements de la masse des nappes glaciaires suite à la dernière déglaciation). En sus des changements d'élévation le long de la côte, des facteurs survenant à l'intérieur des terres peuvent influencer l'effet net de l'élévation du niveau de la mer sur les écosystèmes côtiers. Les écosystèmes naturels ont été fragmentés à l'intérieur des bassins versants, et l'écoulement de l'eau, des sédiments et des éléments nutritifs vers la côte en a été perturbé. Outre les influences localisées, y compris le développement humain sur la côte, le changement d'affectation des terres et les modifications hydrologiques ont eu des incidences en aval. L'érosion a augmenté la charge de sédiments qui atteint la côte. Par exemple, les charges en suspension dans le fleuve Huang He ont augmenté de 2 à 10 fois au cours des 2 000 dernières années. En revanche, pour d'autres rivières, la construction de barrages et de canaux a réduit de beaucoup l'apport de sédiments à la côte, car ces derniers sont retenus dans les réservoirs. Cet effet sera probablement prévalent au XXI^e siècle.

Des passages d'ensembles de modèles climatiques réalisés par Milly *et al.*[18] indiquent que, pendant les 50 à 100 années à venir, le changement climatique entraînera l'augmentation des débits vers les eaux côtières dans l'Arctique, le nord de l'Argentine et le sud du Brésil, des régions du sous-continent indien et en Chine, tandis qu'une réduction des débits est prévue dans le sud de l'Argentine et du Chili, l'ouest de l'Australie, l'ouest et le sud de l'Afrique et le bassin méditerranéen.; Si les débits des rivières diminuent, la salinité des zones humides et des estuaires côtiers devrait augmenter, alors que la quantité de sédiments et d'éléments nutritifs apportés vers la côte devrait diminuer. Dans les régions côtières où l'écoulement fluvial diminue, la salinité aura tendance à remonter les cours d'eau et donc altérera la zonation des espèces animales et végétales, ainsi que la disponibilité en eau douce pour l'homme. La salinité accrue des eaux côtières depuis 1950 a contribué au recul des forêts de chou palmiste en Floride et de cyprès chauve en Louisiane. Elle a également joué un rôle dans l'extension des mangroves vers les marécages avoisinants dans la région des Everglades, en Floride et dans tout le sud-est de l'Australie au cours des 50 dernières années. L'intrusion d'eau salée consécutive à l'élévation du niveau de la mer, combinée à la diminution du débit des rivières et à l'augmentation de la fréquence des sécheresses, devrait perturber les pêcheries côtières dépendantes des estuaires au cours de ce siècle dans des régions d'Afrique, d'Australie et d'Asie.

Les côtes des deltas sont particulièrement vulnérables aux changements du ruissellement et du transport des sédiments, qui ont une influence sur la capacité d'un delta à faire face aux incidences physiques du changement climatique. En Asie, où les activités humaines ont entraîné une augmentation des charges en sédiments des principales rivières dans le passé, la construction de barrages en amont appauvrit l'apport en sédiments vers de nombreux deltas avec, comme répercussion généralisée, une augmentation de l'érosion côtière. Dans la plaine subsidente du delta du Mississippi, au sud-est de la Louisiane, le faible remplissage sédimentaire consécutif à l'intervention humaine dans les processus du delta et l'augmentation simultanée de la salinité et du niveau de l'eau des marécages côtiers se sont produits si rapidement que les marécages côtiers intertidaux et les basses terres côtières adjacentes (soit une superficie de 1 565 km²) se sont transformés en hautes eaux entre 1978 et 2000.

Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau

Certaines des plus fortes incidences potentielles du changement climatique sur les estuaires pourraient être la conséquence de changements des caractéristiques de mélange physique dus aux changements du ruissellement d'eau douce. Les apports d'eau douce dans les estuaires influencent le temps de séjour de l'eau, l'apport d'éléments nutritifs, la stratification verticale, la salinité et le contrôle des taux de croissance du phytoplancton. Les changements des débits des cours d'eau dans les environnements marins peu profonds et proches de la côte entraîneront des changements de la turbidité, de la salinité, de la stratification et de la disponibilité en éléments nutritifs.

I-2-1-2 .Eaux souterraines:

En général, il existe deux types de ressources d'eaux souterraines – les eaux souterraines des aquifères peu profonds non confinés et les eaux souterraines des aquifères profonds confinés. Les eaux souterraines dans les aquifères non confinés sont directement liées aux processus hydrologiques près de la surface, notamment la recharge des précipitations et l'écoulement de base vers les rivières ; elles sont donc étroitement liées au cycle hydrologique complet, et peuvent être directement affectées par le changement climatique.

Les changements des eaux souterraines sont attribués aux changements des apports (principalement la recharge des eaux souterraines grâce aux précipitations, l'humidité du sol en dessous des racines des plantes et l'interaction entre les rivières et les eaux souterraines) et le retrait des eaux souterraines associé aux changements dans la demande d'eau et le niveau de dépendance des ressources des eaux souterraines. La demande d'eaux souterraines est susceptible d'augmenter dans le futur. Cela est principalement dû à l'augmentation mondiale de l'utilisation de l'eau. Une autre

raison peut être le besoin de compenser la disponibilité déclinante de l'eau de surface due à la hausse générale de la variabilité des précipitations, et les étiages estivaux réduits dans les bassins dominés par la neige .

Dans de nombreuses communautés, les eaux souterraines sont la principale source d'eau pour les besoins d'irrigation, municipaux et industriels. Dans de nombreux endroits, l'extraction excessive d'aquifères non confinés entraîne un niveau de réduction de la nappe phréatique, le taux d'extraction étant supérieur au taux de recharge.

En fait, les aquifères non confinés sont souvent considérés comme faisant partie de la même ressource que l'eau de surface, étant donné qu'ils sont reliés hydrauliquement. Les changements climatiques peuvent donc directement affecter ces taux de recharge et la durabilité des eaux souterraines renouvelables. Les alimentations en eaux souterraines dans les aquifères confinés proviennent généralement des sédiments géologiques profonds déposés il y a longtemps et ont donc peu de liens avec le climat. Cependant, ces ressources d'eaux souterraines peuvent décliner en conséquence indirecte de l'extraction accrue pour compenser les ressources hydriques déclinantes en surface. Le changement climatique est également susceptible d'avoir un impact fort sur l'intrusion d'eau salée dans les aquifères, ainsi que sur la salinisation des eaux souterraines due à un accroissement de l'évapotranspiration. La hausse du niveau des mers entraîne l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines potables dans les aquifères côtiers et affecte donc négativement les ressources en eaux souterraines potables .[20]

I-2-2 .Impact des changements climatiques sur les ressources en eau en Algérie.

I-2-2-1 .Le Changement climatique, un facteur aggravant

Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20^{ème} siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les trente dernières années, Les modèles de circulation générale convergent pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2° a 4° durant le 21ème siècle. Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresses chroniques. L'Algérie présente une grande sensibilité au climat, notamment dans les hauts plateaux et la steppe qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord. Une modification du climat est donc inéluctable et il en résultera des impacts significatifs, liés entre autres à l'augmentation des températures et des précipitations, à la raréfaction des ressources en eau et à la hausse de la fréquence des tempêtes. D'autres impacts sont étudiés : la perte de biodiversité et la dégradation d'écosystèmes, la hausse du risque de famines, les mouvements de populations, ainsi que les incidences sur la santé.[20]

I-2-2-2 .Les impacts sur les écoulements de surface :

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (50% durant l'année l'année 2001-2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays. [21]

I-2-2-3 .Les changements affectant les eaux de barrages :

Les changements affectant la retenue des eaux de surface sont dus à l'envasement et à la diminution du ruissellement.

L'envasement : La nature et la morphologie des terrains en pente, la fragilité du couvert végétal, le manque de boisement et l'urbanisation en amont des barrages engendrent une forte érosion qui réduit la capacité de stockage des barrages de 2 à 3% chaque année, à cause de l'envasement dû au transport et au dépôt de sédiments par les eaux de pluie. Actuellement, 14 barrages sur la soixantaine existante sont envasés. La diminution du ruissellement

La contribution du ruissellement aux eaux de surface a systématiquement diminué. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants.[22]

I-2-2-4. Les changements affectant les nappes phréatiques :

La diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays. Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m). [21] L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines occidentales. Le taux moyen d'utilisation des nappes phréatiques est de 79% dans la région Nord, il peut parfois atteindre et dépasser les 90% dans certaines zones.

Chapitre I : Impact du changement climatique sur les ressources en eau

Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba.

Conclusion :

Nous pouvons constater que le réchauffement climatique a des effets sur le niveau de la mer et les courants marins ainsi que les barrages. Ces effets entraînent des conséquences terribles qui pourraient à long terme détruire la majorité des espèces animales et végétales mais aussi détruire l'écosystème dans lequel nous vivons.

L'homme est le principal ennemi de notre planète car en effet, c'est principalement l'activité humaine qui provoque une augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et donc, contribue à augmenter l'effet de serre et le réchauffement climatique.

Si cela continue, il ya un risque d'une apparition précoce de la prochaine ère glaciaire. L'homme doit donc agir vite pour éviter une situation irréversible et ainsi éviter le scénario catastrophique du film « les temps changent » qui représente la planète en 2075 si l'on ne fait rien contre le réchauffement climatique.

Chapitre II :

Présentation de la zone d'étude

II .1.Situation géographique du bassin Cheliff

D'une superficie de 47 269 km², le bassin du Cheliff s'étend entre les méridiens 0° et 3°30' Est et entre les latitudes 34° et 36° Nord. Il couvre quatre sous régions, le Chélif en amont de Boughezoul, le Haut et le moyen Cheliff, le Bas Cheliff, la Mina et le côtier. Il est limité au Nord par la Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Oranais, au Sud par les hautes plaines et à l'Est par le bassin algérois.

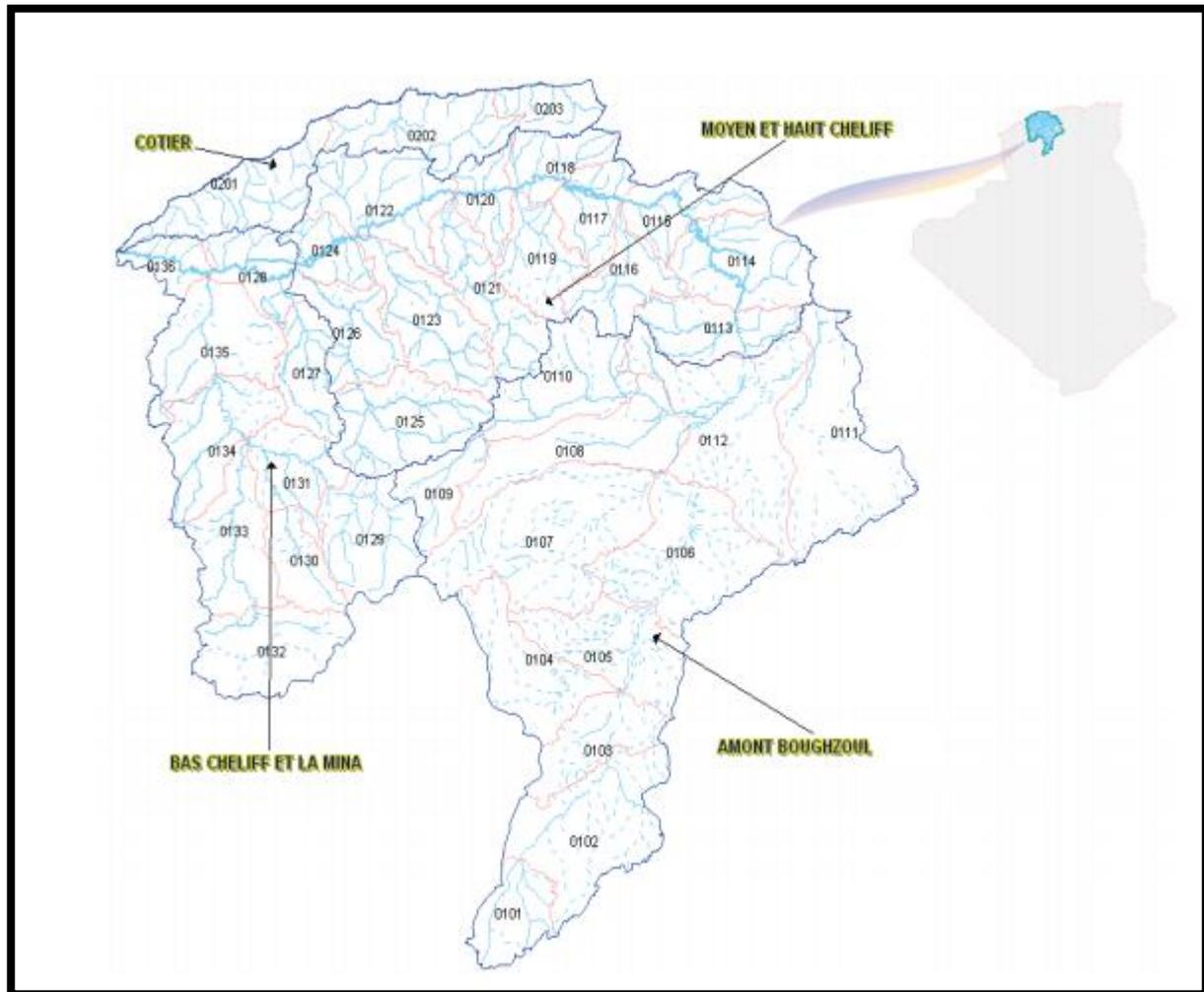


Fig .II.8: Carte de localisation du Bassin versant du Cheliff



Fig.II .9: Sous régions du bassin hydrographique Cheliff

II.2. Caractéristiques morphométriques de la région

L'aire de l'étude se compose selon les délimitations orohydrographiques, de 03 bassins : Le côtier Dahra, le Cheliff de son tour se divise en deux grands bassins : le Cheliff à l'aval du barrage Boughzoul et le Cheliff à l'amont du barrage de Boughzoul.

Ces trois grands bassins englobe plusieurs sous bassins ; (Côtier ; 03 sous bassins); (l'aval Boughzoul; 24 sous bassins); (l'amont Boughzoul ; 12 sous bassins) [23]

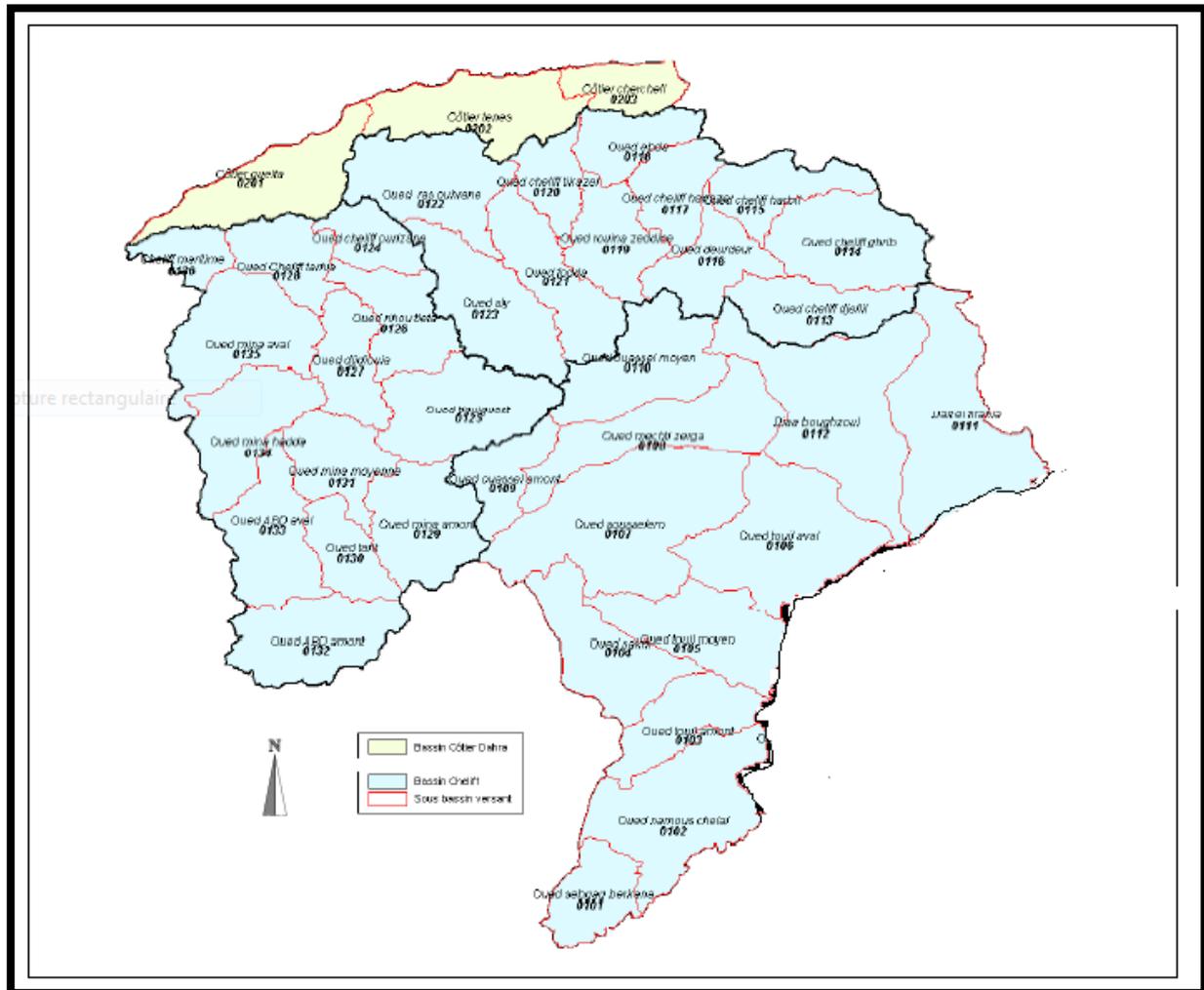


Fig. II.10: Carte des sous bassins versants

Les courbes hypsométriques représentent la répartition de la surface du bassin en fonction des altitudes elle exprime le pourcentage de superficie au delà d'une certaine altitude.

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

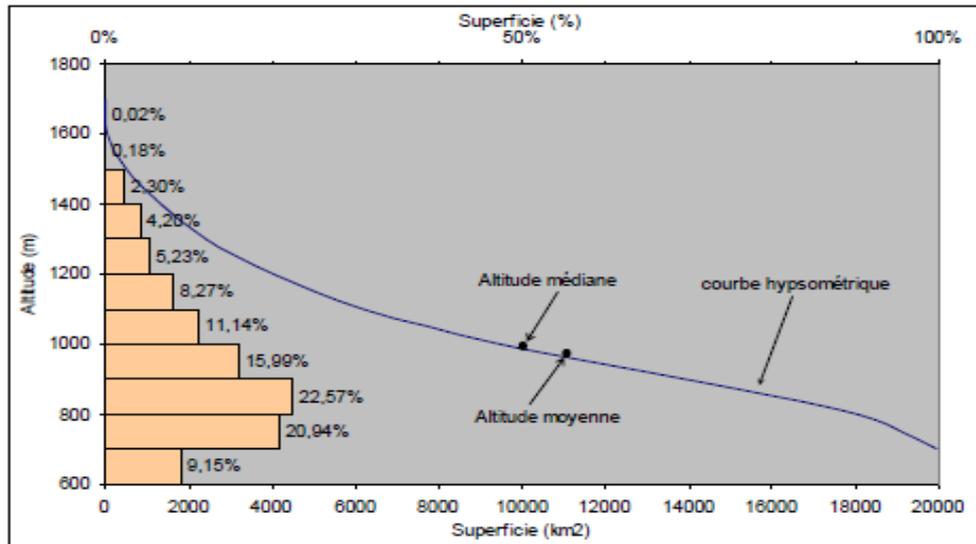


Fig.II.11: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Amont-Boughzoul

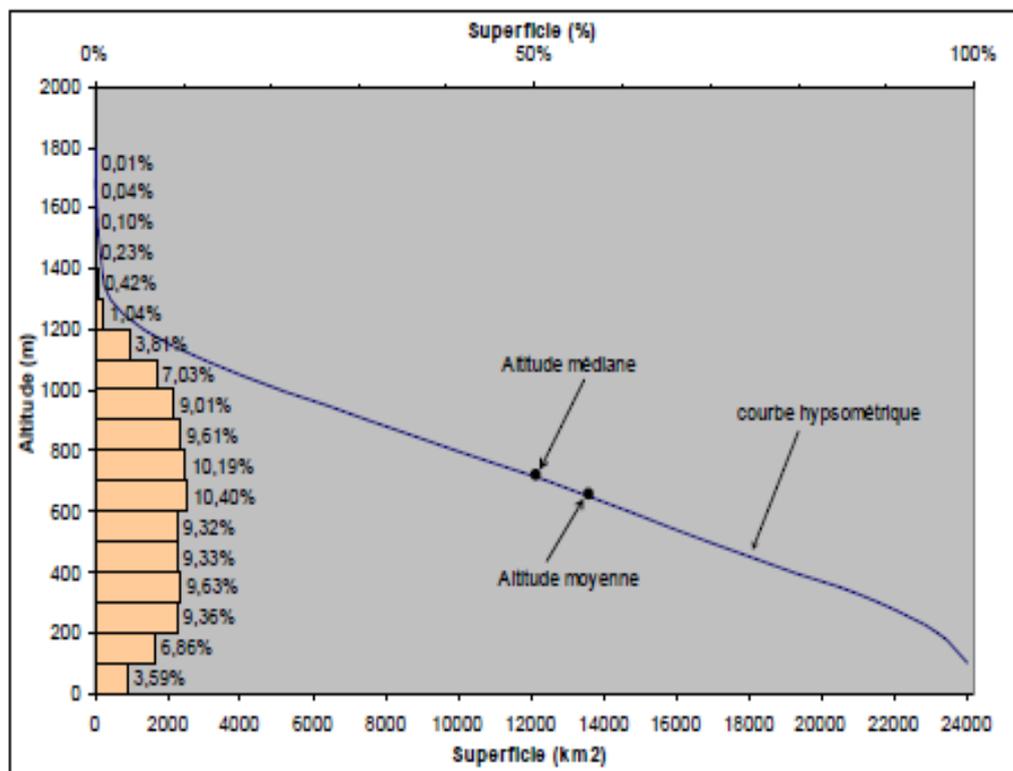


Fig. II. 12: Courbe hypsométrique et diagramme des fréquences altimétriques du bassin Cheliff Aval – Boughzoul

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

Ces courbes hypsométriques nous permet de déduire les caractéristique morphométrique données dans le tableau suivant :

Bassin	Sous bassin	Surface (A) Km ²	Périmètre (p) (Km)	Altitude moyenne (m)	Altitude minimale (m)	Altitude maximale (m)	Indice de compacité (Kc)	Indice de pente globale(Ig) (m/Km)	Dénivelée spécifique (Ds) (m)	Classe de relief
Cheliff à l'aval de Boughzouli	113	992,85	179,96	900	600	1800	1,6	16,91	532,84	relief très fort
	114	1383,69	176,81	870	500	1600	1,33	17,67	657,29	relief très fort
	115	767,29	168,95	600	300	1300	1,7	15,01	415,78	relief assez fort
	116	743,97	142,68	980	300	1800	1,46	19,41	568,42	relief très fort
	117	857,64	185,65	575	300	1600	1,76	23,87	651,09	relief très fort
	118	690,55	141,1	610	200	1500	1,51	23,73	619,08	relief très fort
	119	898,54	173,69	640	200	1700	1,62	21,38	640,87	relief très fort
	120	570,52	142,58	370	200	1100	1,67	14,49	346,1	relief assez fort
	121	1161,32	212,75	785	200	1800	1,75	18,08	616,13	relief très fort
	122	1437,44	224,12	375	100	1100	1,66	11,31	428,8	relief assez fort
	123	1405,47	225,12	710	100	1700	1,68	17,3	648,58	relief très fort
	124	564,72	122,13	275	75	1000	1,44	20,12	478,12	relief assez fort
	125	1513,02	202,89	805	300	1300	1,46	13,21	513,83	relief très fort
	126	928,45	185,18	460	75	1300	1,7	16,02	488,15	relief fort
	127	799,4	162	550	200	100	1,6	12,95	366,14	relief fort
	128	759,63	145	310	50	800	1,47	10,04	276,71	relief fort
	129	1277,66	176	1095	600	1300	1,38	11,51	411,42	relief fort
	130	657,57	128	910	600	1300	1,4	15,65	401,32	relief fort
	131	892,21	162	650	300	1300	1,52	16,21	484,19	relief fort
	132	1352,8	188	1100	800	1400	1,43	9,22	339,12	relief fort
133	1228,61	198	775	300	1300	1,58	13,03	456,72	relief fort	
134	1250,98	193	490	100	1200	1,53	14,8	523,47	relief très fort	
135	1462,52	212	345	50	900	1,55	10,03	383,57	relief fort	
136	431,41	112	215	0	700	1,51	12,85	266,9	relief fort	
sous total		24 028,30		640	0	1800				
Cheliff à l'amont de	101	791	139,5	1410	1100	1700	2,01	6,45	125,62	relief assez fort
	102	2019	208,5	1205	900	1700	1,67	5	224,67	relief assez fort

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

boughzou I	103	963,8	177	1050	800	1300	1,6	4,76	147,83	relief assez fort
	104	1329	156,5	1130	800	1500	1,5	7,69	225,4	relief assez fort
	105	1403	203,3	970	700	1400	1,52	5,8	217,14	relief assez fort
	106	2033	233,9	870	600	1300	1,45	6,58	296,64	relief fort
	107	2833	292,7	1000	600	1500	1,54	6,93	368,89	relief assez fort
	108	1549	251,3	890	600	1200	1,79	4	157,4	relief assez fort
	109	699	152	1060	800	1300	1,61	5,45	144,24	relief assez fort
	110	1403	222,1	950	700	1700	1,66	6,1	228,39	relief assez fort
	111	2339	284,6	840	600	1500	1,65	4,76	230,3	relief assez fort
	112	2617	338,8	790	600	1600	1,85	4,29	219,24	relief assez fort
sous total		19 096,80		940	600	1700				

Tableau II. 1. : Caractéristiques morphométriques des bassins versants de la région d'étude [23]

L'analyse des caractéristique morphométrique montrent que tous les bassins cheliff Sont allongés dont l'indice de forme reste élevée.

II.1.3. Réseau hydrographique

Le bassin Cheliff résulte de la jonction de deux cours d'eau importants :

l'Oued Touil et Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 km² et 3 651 km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Cheliff (fig. II .13)

De cet ensemble, il est possible de délimiter trois grandes parties du bassin :

- Le bassin Cheliff à l'amont du barrage Boughzoul : correspondant à l'Oued Touil et Nahr Ouassel .
- Le bassin Cheliff à l'aval du barrage Boughzoul : formé par l'Oued Cheliff et ses affluents jusqu'à son embouchure.

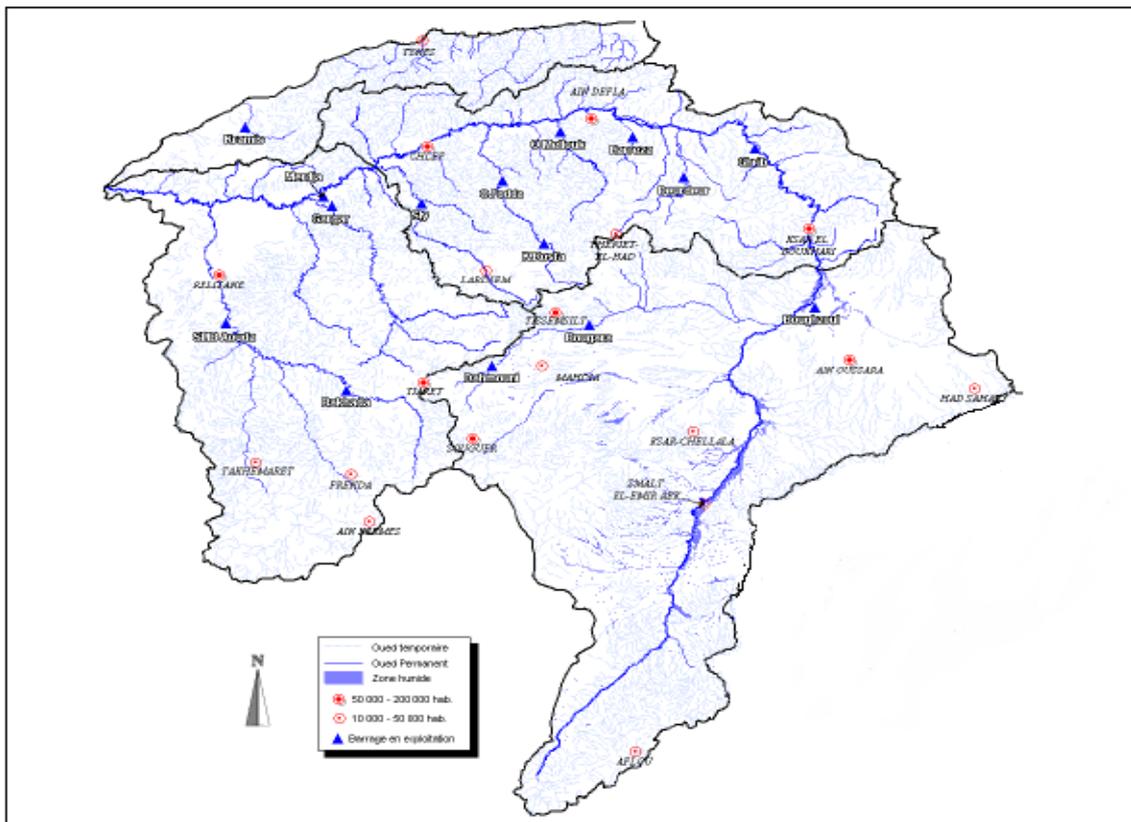


Fig II.13: Réseau Hydrographique

II.4.contexte climatique du bassin du cheliff

A l'instar des autres bassins de l'Algérie, le bassin Cheliff, est soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hautes Plaines (fig .II. 14). Les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle. Cette variabilité est due à l'existence de gradients :

- Un gradient longitudinal où la pluviosité augmente d'Ouest en Est (300 mm/an à l'Ouest plus de 500 mm/an à l'Est)
- Un gradient latitudinal où les précipitations moyennes annuelles varient de 100 mm dans la région des Haut plateaux à plus de 900 mm au Nord. Cette diminution, du littoral vers les hauts plateaux, est due à la grande distance traversée par les dépressions qui doivent affronter sur leur parcours le long de la chaîne de l'Atlas,
- un gradient altitudinal universel qui varie en fonction de l'éloignement de la mer

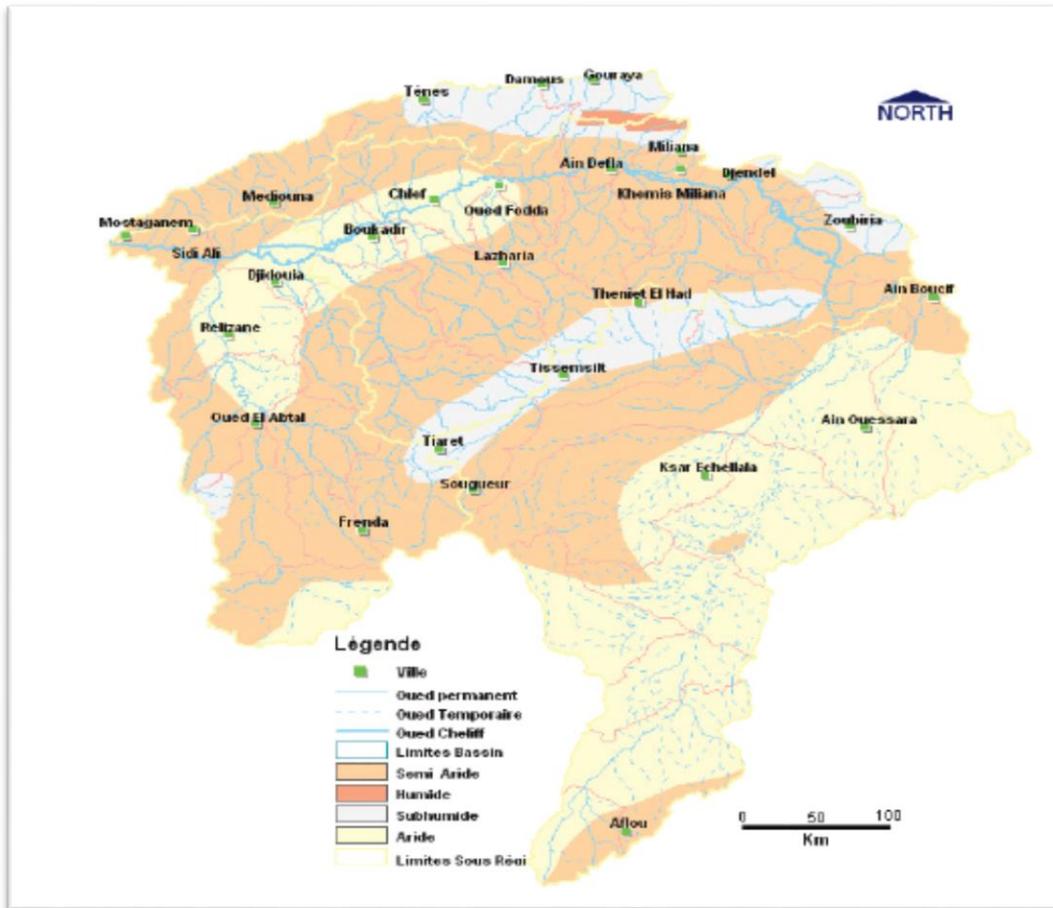


Fig .II. 14 : : Carte des étages bioclimatique du bassin Cheliff

II. 5 : contexte géologique et hydrogéologique

La vallée du Chélif, traversée par oued Chlef, se situe dans la partie nord du bassin versant du Chélif qui occupe 22 % de la superficie de l'Algérie du Nord (Fig. II .15.b.). Elle est composée de trois plaines : la plaine du Haut-Chélif, la plaine du Moyen-Chélif et la plaine du Bas-Chélif (Fig .II. 15).

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

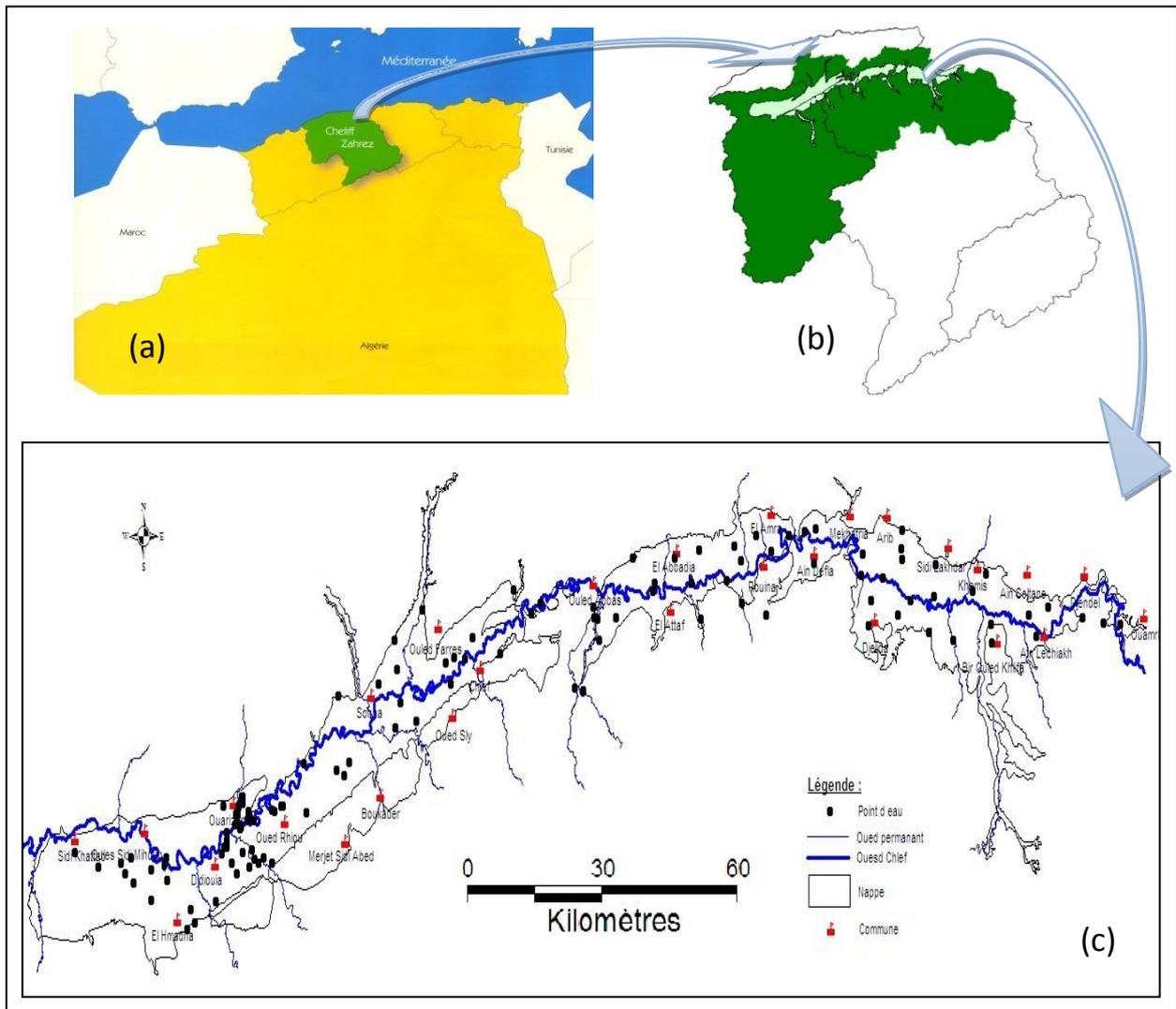


Fig .II.15: Localisation de la plaine de Cheliff

La plaine alluviale du Haut-Chélif appelée aussi plaine d'El-Khemis est située à 120 Km au Sud-Ouest d'Alger. Elle a une superficie de 21035 Km². Elle est limitée au Nord par les monts du Zaccar, au Sud par les contreforts de l'Ouarsenis, à l'Ouest par le massif de Doui et à l'Est par Djebel Gontas. Elle a une pente relativement faible (15%). La plaine est comprise entre les coordonnées suivantes :

- 36°12' et 36°17' de latitude Nord, c'est-à-dire entre les communes de Bir-Ouled- Khelifa et de Miliana
- 2°12' et 2°17' de longitude Est, soit entre djebels Doui et Gontas.

La plaine du Moyen-Chélif se situe au centre du bassin du Chélif à 200 km à l'Ouest d'Alger et 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée. Elle est limitée au Nord par les monts de Medjadja, à l'Est par le seuil d'Oum Drou (Pontéba), au Sud par les monts de l'Ouersenis et à l'Ouest par le seuil de Boukadir.

La plaine du Bas-Chélif se situe à l'extrémité nord du bassin du Chélif (nord-ouest de l'Algérie), à environ 250 km à l'ouest d'Alger et à 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée, avec en son centre la ville de Oued Rhiou (wilaya de Relizane). Elle est limitée par le périmètre du Moyen-Chélif à l'Est, le périmètre de la Mina à l'Ouest, le massif du Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au Sud. Elle se trouve entre:

- 0° 40' et 1° 6' 8'' de longitude est et 34° 3' 12'' et 36° 5' 57'' de latitude nord

II.5.1 Géologie

Le bassin du Chélif appartient aux bassins sédimentaires sublittoraux allongés Est -Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle.

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine (Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

Au sud, le bassin du Chélif est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes.

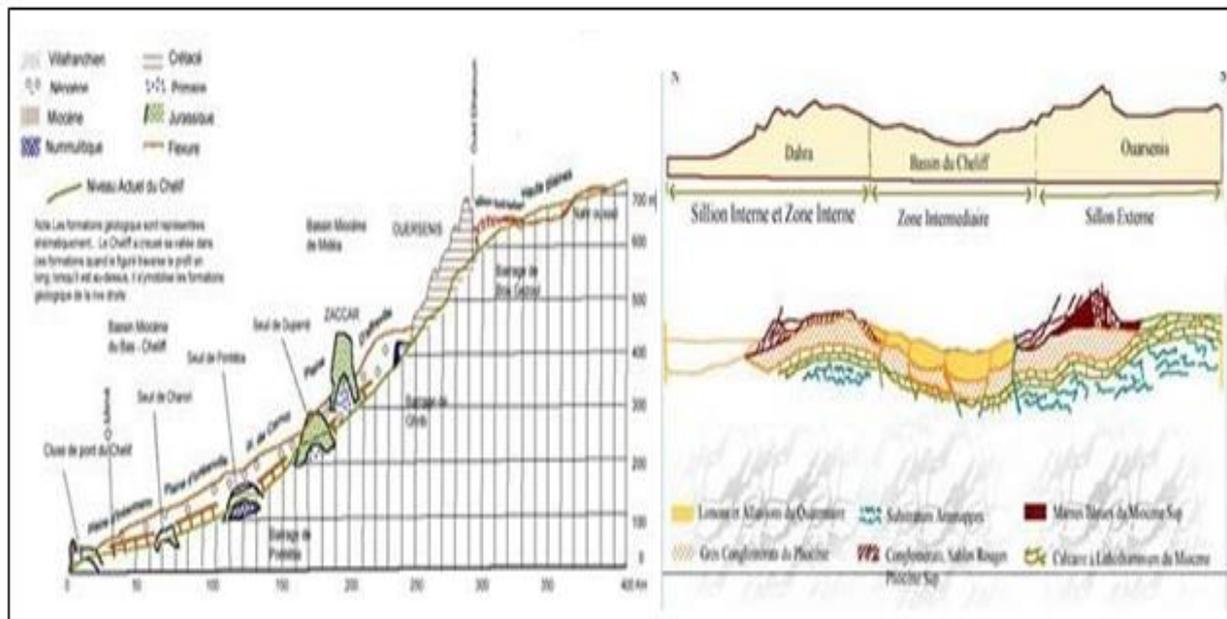


Figure .II.16. : Coupes géologiques à travers le bassin du Chélif.

Une phase infra-crétacé, compressive donne des plis NE-SW ; Une phase à composante tangentielle intervient après le Sénonien et le Paléocène et serait en partie responsable de l'épimétamorphisme.

Une phase datée Aquitano-Burdigalienne, compressive et profonde génératrice d'un nouvel épimétamorphisme.

Pendant que les nappes telliennes achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce marqué par une transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quaternaire. Parallèlement, le bassin du Chélif est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique principalement distensive pour certains auteurs [24]. Cette tectonique continue jusqu'à l'actuel comme en témoigne l'intense activité sismique de la région.

II.5.1.1 Haut-Chélif

II.5.1.1.1 Stratigraphie

La carte géologique (1/50 000) de la région de Ain Defla, montre l'existence d'un sillon subsidant d'allure synclinale, comblé par des dépôts essentiellement quaternaires, présentant des ondulations vers le nord avec quelques affleurements. La partie sud est marquée par l'émergence du massif de Doui très accidenté.

La succession lithologique observée dans la région d'Ain Defla se présente comme suit avec de bas en haut :

Le Paléozoïque : En l'absence de fossiles, la datation avec précision des formations primaires n'a pas été possible

Le Miocène : La série Miocène est plus ou moins complète, elle s'observe généralement au nord de la région où elle est représentée de la base au sommet par Burdigalien [25]

II.5.1.1.2. Tectonique

Sur son versant nord le massif du Doui est constitué par une série de plis déversés, qui comprennent dans leurs axes des schistes et des quartzites primaires, surmontés de poudingues du Permien. Cette série de plis est renversée sur les calcaires du Lias.

Le reste du bassin subsidant a été comblé par les dépôts du tertiaire et du Quaternaire.

II.5.1.2 Moyen Chélif

II.5.1.2.1. Stratigraphie

Les terrains les plus anciens de la vallée du Chélif sont constitués par :

Le Jurassique : Les terrains jurassiques sont peu étendus. Il représente quelques affleurements disséminés au milieu de masse énorme de terrains créacés. Ils sont représentés par l'Infra-lias, le Lias et l'oxfordien, on les rencontre dans les environs d'El Asnam, Oued Fodda et sur les crêtes de l'Ouarsenis.

Tertiaire moyen (Pliocène Supérieur Continental) : Il s'étend des montagnes de Medjadja (vallée du Chélif) jusqu'à Ténès (sur la côte), et forme le vaste massif du Dahra. A deux kilomètres au nord d'El Asnam, on trouve de petites collines connues sous le nom de « Montagnes Rouges » Il est constitué par une succession de couches de sable de couleur jaune ou rouge.

Au nord des montagnes rouges se trouve la plaine des Adjerafs qui sépare le Dahra d'une chaîne assez élevée, parallèle au Chélif appelée chaîne de Medjadja .

Le Plaisancien : est constitué de marnes bleues, caractéristiques de cet étage.

L'Astien marin et Continental : il est représenté par une série détritique sableuse ou gréseuse. Les grès à ciment calcaire, sont argileux dans la partie inférieure et peuvent passer à des calcaires gréseux. Cet ensemble a une épaisseur moyenne de 100 mètres.

Le Pliocène Continental : est représenté par des sables grès et roux d'une cinquantaine de mètres. Cette série est difficile à distinguer du Villafranchien Continental.

Le Villafranchien : il est représenté à la base par des dépôts de couleur grise ou brune à la base, surmonté par des couches rouges. [25]

II.5.1.2.1. Tectonique

Le bassin du Chélif résulte du plissement des terrains moyen sous forme de cuvette dont le Chélif occupe le Talweg. Mais ce plissement n'a pas été uniforme.

Les couches de la rive gauche et de la rive droite ont subi une rupture. Les premières se rapprochant beaucoup plus de l'horizontale que les secondes.

II.5.1.3. Bas Chélif

Le bassin du Bas-Chélif s'insère dans le vaste bassin « synorogénique intramontagneux

» du Chélif. Il est le siège d'une importante sédimentation néogène affleurant largement, sur ses marges nord (Dahra) et sud (Tessala et Beni Chougrane), en discordance sur les terrains allochtones. Les dépôts miocènes en constituent la plus grande partie avec une épaisseur avoisinant les 4 000 m en zones axiales. Les nombreux travaux effectués, dans ce bassin, ont dans un premier temps subdivisé la série **miocène** en deux cycles sédimentaires attribués respectivement au : « **Miocène inférieur** » et « **Miocène supérieur** ». Au sens de certains travaux antérieurs, le Miocène dit « inférieur » correspond à un intervalle de temps allant du Burdigalien supérieur jusqu'au Serravallien terminal alors que le Miocène dit « supérieur » englobe le Tortonien et le Messinien. En fonction de la prise en compte de la mise en place des nappes, la même série est différenciée en « Miocène anténappes », « Miocène synchronappes » et « Miocène postnappes ». Ce dernier, largement répandu dans la région étudiée, est divisé à son tour en premier et deuxième cycle postnappes ; l'âge de leur limite ne fait pas encore l'unanimité parmi les auteurs.

II.5.1.3.1. Tectonique

Durant le pliocène inférieur et le miocène d'épaisses séries de marnes se sont déposés. Au-dessus de ce substratum, des grès-calcaires astiens, des grès du Pliocène continental et du Calabrien se sont déposés. La phase tectonique post pliocène et la transgression calabrienne ont fait éroder en quelques endroits les grès-calcaires astien et les grès du Pliocène continental. [25]

II.5.2. Hydrogéologie

II.5.2.1. Haut Chélif

Les caractéristiques lithologiques des formations rencontrées dans le Haut-Chélif, permettent d'identifier deux ensembles aquifères constitués par :

II.5.2.1.1. Les calcaires Jurassiques

Les calcaires Jurassiques affleurent au sud d'Ain Defla. D'une épaisseur d'environ 100 m, ils constituent un horizon à perméabilité de fractures.

Les sondages électriques montrent que les calcaires ont une bonne résistivité (100 Ohm.m), et présentent un pendage vers le nord en direction de l'oued Chlef, et sont recouverts par les dépôts du Tertiaire et du Quaternaire. Leur extension est cependant limitée, ce qui réduit leur possibilité d'emmagasiner de grandes quantités d'eau.

La ressource totale exploitable, semble donc très faible en raison de la faible extension des calcaires.[26]

II.5.2.1.2. La nappe du Mio-plio-Quaternaire

Compte tenu des intercommunications entre les formations du Mio-pliocène et du Quaternaire, celles-ci ont été regroupées sous le terme de nappe du Mio-plio-quaternaire. On rappellera que le Mio-pliocène gréseux-sableux affleure au niveau de Bir Roumaria et dans la région de Kherba. Son épaisseur ne dépasse pas 60 m.

Les sables ont une porosité d'interstices, tandis que les grès ont une porosité de fracture. En dehors de la fenêtre constituée par les schistes et située à la sortie nord de Ain Defla, le Quaternaire occupe toute la plaine. On le rencontre sur les deux rives de l'oued Chlef. Il est constitué par les alluvions grossières et argilo – limoneuses dont l'épaisseur varie entre 15 m et 50 m.

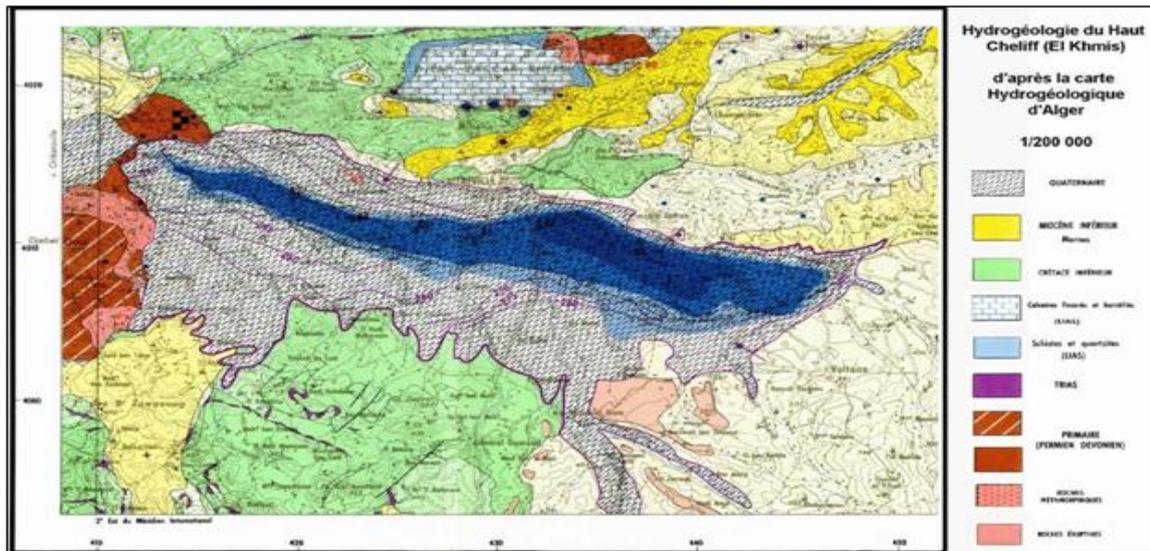


Fig.II .17.: Carte Hydrogéologique du Haut-Chélif (El Khemis)[25]

II.5.2.2. Moyen Chélif

Les aquifères importants du Moyen-Chélif, sont au nombre de trois, et sont plus ou moins indépendants.

II.5.2.2.1. La nappe alluviale

Description de l'aquifère

La nappe alluviale est constituée par alluvions grossières du Quaternaire, beaucoup plus développées dans la partie amont du Moyen-Chélif, et se prolongent dans le Haut-Chélif. La partie supérieure est constituée par des limons argileux grisâtres sur la majeure partie de la plaine.

L'épaisseur des alluvions varie entre 80 et 90 m en moyenne aussi bien dans le moyen que dans le Haut-Chélif, mais le forage d'El Abadia les a traversées sur 130 m, « soit la plus grande épaisseur

reconnue dans le Haut et Moyen-Chélif ».

Alimentation

L'alimentation s'effectue par les eaux de pluie, par les eaux superficielles au moment des crues de l'oued Chlef, cette alimentation s'effectue uniquement en certains endroits, et par des remontées à partir des formations profondes.

L'exutoire

Les cartes piézométriques montrent que l'écoulement se fait dans la direction de l'Oued Chlef, c'est dire d'amont en aval.

II.5.2.2.2. La nappe des calcaires à Lithothamniées

Description de l'aquifère

Les calcaires à lithothamniées affleurent sur toute la rive gauche de l'oued Chélif, depuis Oued Fodda jusqu'à Djidiouia, ils forment une bande d'environ 65 km de long. La largeur varie entre 2.5 km au NE et 4 km au NW.

Ces calcaires appartiennent au Miocène supérieur (Tortonien). Latéralement, ils passent à des grès calcaires fossilifères (rive gauche l'oued Djidiouia, et rive droite Oued Fodda).

Le calcaire à lithothamniées plonge vers le nord, (rive droite de l'oued Chélif), sous les dépôts sus-jacents (Pliocène et Quaternaire) et passe à des marnes à Tripoli.

Les forages réalisés par les pétroliers (Kh5 et 6) montrent que le maximum d'épaisseur a été atteint dans la région de Boukadir (entre 160 et 200 m). Le forage Hydraulique réalisé dans les années 1980, près de Chleff montre que l'épaisseur des calcaires à lithothamnium est de 68 m. Elle atteint 80m à Oued Sly.

Le réservoir

Il est constitué par les calcaires fissurés mais ceux-ci sont très hétérogènes. Les changements latéraux et verticaux de faciès sont extrêmement fréquents. Vers le nord, les calcaires passent à des couches de marnes à tripoli de même âge.

Le réservoir est presque partout entouré de séries marneuses imperméables du Pliocène et du Miocène. Le mur étant constitué par des marnes du Miocène supérieur.

L'alimentation

L'alimentation s'effectue évidemment par l'impluvium grâce à l'infiltration des pluies, et localement par les oueds. Elle se fait généralement en amont des oueds. Comme c'est le cas de l'oued Sly.

L'exutoire

Il est admis que la nappe des calcaires à lithothamniées, se déverse dans le remplissage constitué par les formations plus récentes du Pliocène et du Quaternaire, qui reposent au nord en biseau incliné sur les calcaires. Les oueds agissent localement dans le drainage de la nappe, à l'image de l'oued Sly.

Les calcaires ne sont aquifères que dans la mesure où ils sont fissurés ou karstifiés. L'alimentation étant irrégulière, l'écoulement n'est donc pas uniforme. Dans les calcaires du Chélif, la circulation de l'eau se fait à travers les fissures suivant un régime rapide "turbulent" ou lent à travers de fines canalicules.

D'une manière générale, l'écoulement se fait du sud vers le nord, par diffusion à travers les alluvions d'origine continentale ou de l'Astien.

Potentialité de la nappe

Plusieurs auteurs ont tenté de calculer les potentialités de la nappe des calcaires à lithothamniées. Pour un coefficient d'infiltration de 10 avait estimé la recharge à 12 Hm³/an.

II.5.2.2.3 Les grès astiens

Description de l'aquifère

Les grès astiens ont une lithologie plus ou moins constante, constituée de sables très fins renfermant des grès fins à ciment calcaire. Ils sont bien développés au nord - est de Chleff, mais leur superficie est cependant assez faible. La nappe de l'Astien comprend deux parties :

- Une nappe libre occupant le flanc sud du Djebel Hamri ;
- Une nappe captive.

Le réservoir

Le réservoir des grès astiens peut être rencontré essentiellement sur la rive droite de l'Oued Chéelif, et rarement sur la rive gauche. La lithologie assez constante, montre que l'Astien est constitué de sables fins renfermant localement des grès.

Le réservoir est compris entre deux horizons de marne imperméable. Dans la partie nord, l'Astien affleure sur de larges superficies, par contre dans la partie sud, il est recouvert par des dépôts plus récents.

Certains géologues associent aux sables Astien, des calcaires gréseux et des poudingues.

Alimentation

L'alimentation de la nappe s'effectue soit directement par infiltration à travers l'impluvium, soit par les Oueds notamment dans la partie amont sur le flanc sud du Djebel Hamri, là où la nappe est libre.

Le débit infiltré par percolation à travers les sédiments a été estimé à 100 l/s. L'apport des oueds serait de l'ordre de 10 l/s.

L'Exutoire

La nappe libre comprend une zone « suspendue » par rapport à la rive droite de l'oued Chleff. C'est une zone de déversement qui donne lieu à une multitude de sources, particulièrement dans la partie aval.

La partie captive se caractérise par la présence d'un artésianisme notamment dans la région de Medjadja. D'autre part, la Sebkhha de Sidi Abed semble constituer un exutoire naturel pour la nappe.

Potentialités de la nappe

Les ressources en eau du Moyen-Chéelif de la nappe alluviale, de grès Pliocène et des calcaires à Lithothamniées ont été évaluées.

Les ressources exploitables de ces aquifères sont consignées dans le tableau ci-dessous.

<u>Aquifère</u>	<u>Ressources exploitables (Hm³/an)</u>
Nappe alluviale, sable et grès Pliocène	16.0
<u>Calcaire à lithothamniées</u>	12.0
Total	28.0

Tableau .II.2 : Les ressources en eau des nappes du Moyen-Chélif.

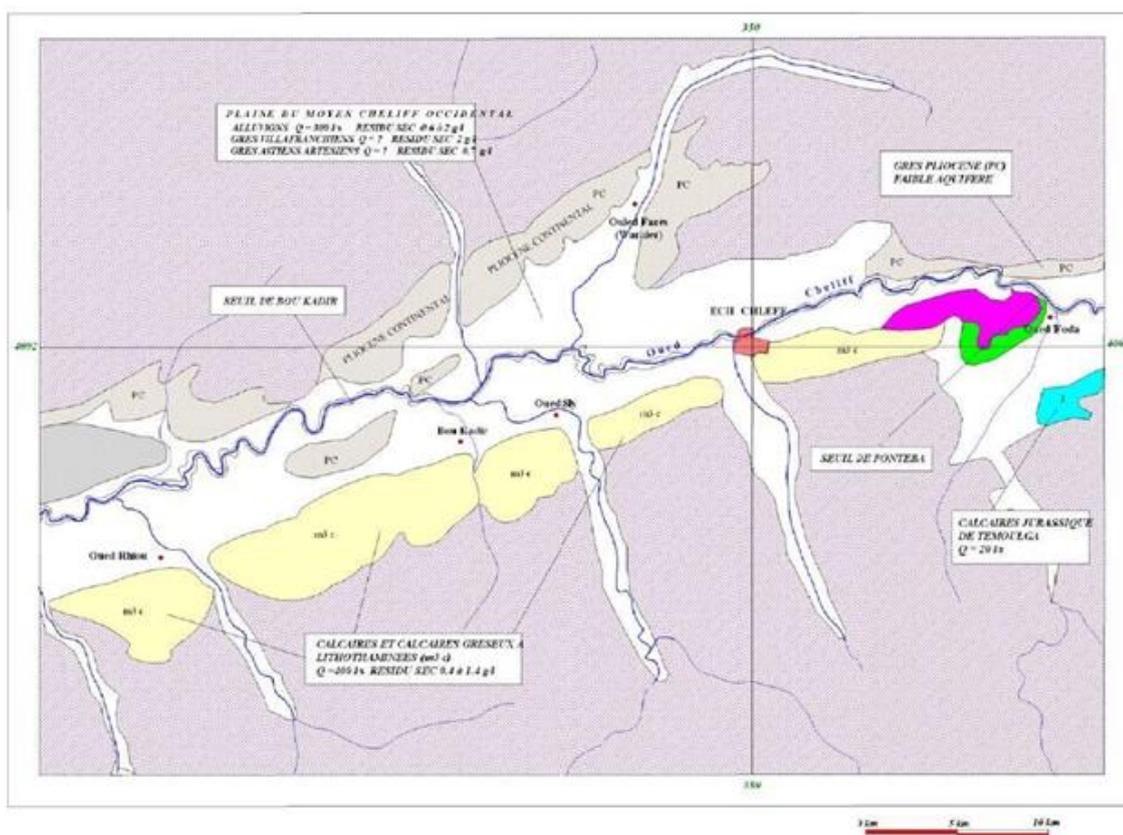


Fig .II.18: Carte Hydrogéologique du Moyen-Chélif

II.5.2.3. Bas Chélif

Les principaux aquifères du Bas-Chélif sont :

II.5.2.3.1. Le Miocène calcaire

Affleure le long de la limite sud de la plaine. Les descriptions lithologiques ont montré l'existence de zones de fracture productives entre 37 et 60 m de profondeur ;

II.5.2.3.2. Le Pliocène marin

C'est une suite d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès qui affleurent au nord de la plaine. On le retrouve dans la région de Ouarizane à plus de 55 m de profondeur et dans la région de Sebkhet Benziane à plus de 400 m de profondeur.

II.5.2.3.3. Le Quaternaire-Pliocène continental :

Il est constitué de sédiments à base d'argile, de marnes et des lits de sable, de graviers et de conglomérats. La profondeur de ces forages est très variable selon les régions où elle peut aller jusqu'à 300 m alors que la moyenne est de 70 m. [27]

Chapitre III :
Méthodologie
De Travail

III .Introduction :

La méthodologie adopté dans ce travail à recueille le maximum d'information hydroclimatique (précipitation, débit, évapotranspiration, humidité, température, évaporation) a fin d'examiner leur évolution et voir leur relation avec le changement climatique à l'échelle global (Cheliff) et régionale (Afrique du nord).

La premier étape de notre travail a consiste à faire des démarches au prés des différents

-Agence nationale de ressources hydrique ANRH

-Bibliothèque D'universités

-Office Nationale De Météorologie (ONM)

III.1 Présentation des données

- données pluviométrique sur le haut Cheliff en prend trois stations pluviométriques sur la période (1975-2010).
- données hydrométriques (débit) a l'échelle du haut Cheliff en relève par deux stations hydrométriques (1973-2001).
- Données de la température sont mesurées au niveau de bassin du haut Cheliff (1986-2009)
- Données ETP, évaporation : pour les données de l'évaporation sont relevées par deux stations dans bassin du haut Cheliff (1948-1964) Et les données d'évapotranspiration sont entre (1986-2001).
- Données piézométriques sont suivie dans la plaine du haut Cheliff

Pour le traitement des données hydroclimatiques nous avons utilisé :

-Le programme L'EXECEL

-modèle pluie-débit

Pour notre travail nous avons choisi le modèle GR1A , sont équation comme suit :

$$Q_k = P_k \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{0.7P_k + 0.3P_{k-1}}{X.E_k} \right)^2 \right]^{0.5}} \right\}$$

nous présentons dans ce schéma

Chapitre III : Méthodologie de travail



Fig. III .19 .schéma simplifié de la présentation de modèle

Les pluies et les évapotranspirations servent comme entrées du modèle à partir des quelles seront simulées les débits qui représentent les sorties du modèle.

Les débit simulés seront ensuite comparés aux débit observés .on utilisera pour cela le critère de Nash ,a fin de juger les performances et la qualité du modèle . [28]

III.3.Données pluviométrique :

Le bassin de Cheliff compte plusieurs postes d'observations pluviométriques, leur période de fonctionnement varie selon les régions. les donnés pluviométrique sont recueillies au niveau de 149 postes et 37 stations dans le bassin.

Ces dernières offrent des mesures sur une période d'observation suffisamment longue (30 ans) permettant une exploitation statistique des données.

Les stations sélectionnées sont bien réparties, et les plus anciennes dans la région d'étude disposent de données enregistrées à partir des années 1910.

Code	Nom	Coordonnés			Date début	Date fin
		X	Y	Z		
10502	ZMALET EL AMIR AEK	464,45	177,80	820	1967	2005
10701	AIN BAADJ	403,60	214,45	1025	1969	2005
10703	RECHAIGA	434,50	234,50	830	1931	2005
10704	KSAR CHELLALA	465,85	213,25	860	1910	2005
10706	SIDI BOUDAUD	470,60	229,55	710	1967	2005
10708	FERME FERHAT	416,68	227,20	900	1974	2005
10803	MEHDIA	413,90	237,35	903	1923	2005
10804	MEHDIA PEPINIÈRE	414,20	240,40	915	1956	2005
10901	SOUGUEUR	390,55	210,75	1120	1914	2005
10904	DAHMOUNI TRUMULET	388,80	235,95	878	1926	2005
10905	AIN SEBAIN	401,30	238,85	925	1967	2005
11003	COLONEL BOUGARA	433,30	251,15	820	1926	2005
11004	KHEMISTI	434,15	263,30	928	1912	2005
11006	TISSEMSILT	420,40	257,00	858	1917	2005
11007	LAYOUNE	436,50	266,80	900	1967	2005

Chapitre III : Méthodologie de travail

11102	ZENZACH	560,75	228,65	940	1954	2005
11104	AIN BOUCIF	540,75	287,80	1250	1922	2004
11205	AIN OUSSERA	518,50	239,15	690	1913	2001
11206	CHAHBOUNIA	491,30	249,35	665	1933	2005
11207	KEF LASFAR	480,80	252,80	690	1967	2005
11208	BOUGHZOUL	507,10	272,25	643	1948	2005
11210	SIDI BOU ABDALLAH	483,10	245,80	667	1973	2005
11301	KSAR EL BOUKHARI GR	504,55	288,10	580	1934	2005
11302	DERRAG	472,00	289,85	1160	1914	2005
11404	ZOUBIRIA MONGORNO	513,50	312,80	1000	1911	2005
11405	GHRIB BGE	487,25	318,40	460	1941	2005
11407	GHRIB AMONT	495,45	308,80	435	1976	2005
11501	TAMEZGUIDA	497,00	323,90	490	1970	2002
11509	MEDEA SECTEUR	504,85	329,80	935	1976	2005
11510	DOMAINE FERROUKHI	469,80	321,55	313	1973	2005
11512	AIN SULTAN PEP	465,50	325,95	285	1978	2005
11603	BORDJ EL AMIR AEK	461,10	285,30	1080	1914	2005
11605	THENIET EL HAD	438,95	286,45	1160	1910	2005
11606	SIDI MOKREFI	463,20	304,25	425	1968	2005
11607	TARIK IBN ZIAD	450,30	299,60	650	1954	2005
11702	ARIB CHELIFF	439,50	332,55	230	1973	2005
11703	BORDJ EL AMIR KHALED	455,85	313,80	500	1913	2005
11706	EL KHEMIS INRA	458,80	328,20	285	1967	2005
11711	SIDI LAKHDAR ex Lavarande	452,00	329,65	250	1958	2005
11715	EL ABABSA	443,90	318,05	(313/510)	1972	2005
11717	EL KHEMIS ANRH	456,20	329,00	300	1975	2005
11801	ARIB EBDA	439,65	335,55	280	1967	2005
11803	SIDI MEDJAHED	452,15	337,05	850	1916	2005
11804	AIN DEFLA	434,60	329,90	270	1910	2005
11806	EL ANNEB	427,05	342,75	1078	1973	2005
11901	EL TOUAIBIA	431,35	312,85	(360/335)	1970	2005
11903	TOUTIA EL HASSANIA	430,00	294,20	220	1970	2005
11904	ROUINA MAIRIE	419,80	327,30	190	1921	2005

Chapitre III : Méthodologie de travail

11906	ROUINA MINES	421,50	324,50	203	1972	2005
12001	EL ABADIA	407,90	327,42	(160/153)	1973	2005
12004	TIKAAZALE CD 54	414,30	321,70	215	1970	2005
12108	FODDA BGE	400,95	305,90	500	1914	2005
12201	LARBAT OULED FARES	368,10	326,65	116	1972	2005
12203	PONTEBA DEFLUENT	393,90	327,40	140	1967	2005
12205	BENARIA	381,20	340,20	400	1950	2005
12209	CHAMBRE F CHETIA	372,15	320,40	100	1967	2005
12218	ES SOUALA ST, EXP	363,20	318,50	100	1946	2005
12219	EL ASNAM DDA	378,65	320,50	110	1970	2005
12308	OULED BEN A,E,K PV	371,70	303,90	240	1968	2005
12309	OUED SLY	365,20	312,70	95	1926	2005
12409	OUARIZANE VILLAGE	338,00	306,50	60	1971	2005
12503	SIDI HOSNI	392,95	242,05	790	1950	2005
12504	GUERTOUFA	368,10	233,35	880	1971	1998
12507	OUED LILI	370,80	246,90	570	1970	2005
12605	AMMI MOUSSA	357,40	286,15	140	1916	2005
12703	KENENDA FERME	330,15	262,60	590	1927	2005
12704	OULED AYCH	343,30	282,20	281	1967	2005
12706	MENDES	334,25	262,60	465	1914	2005
12707	SI MED BEN KHEDA	333,95	278,27	372	1973	2005
12802	EL HMADNA VILLAGE	326,45	291,55	76	1967	2005
12803	EL HMADNA INRA	324,90	292,95		1947	2005
12804	DNE SIDI LAKHDAR	318,10	300,20	45	1967	2005
12806	DJIDIOUIA CHELIFF	329,60	298,20	54	1974	2005
12809	HASASNA	324,05	296,10	50	1974	2005
12901	BAKHADDA BGE	349,00	228,75	587	1973	2005
12908	TIARET GRHA	373,40	232,80	1100	1965	2005
12915	LOUHOU	363,90	209,15	1040	1974	2005
13001	KEF MAHBOULA	331,60	224,25	620	1953	2004
13002	FRENDIA	348,60	197,00	990	1931	2005
13004	AIN EL HADDID	334,50	197,00	829	1914	2005
13103	SIDI BAKHTI	343,40	217,90	925	1969	2005

Chapitre III : Méthodologie de travail

13201	AIN KERMES	354,55	179,85		1977	2005
13202	ROSFA	330,60	179,50	960	1952	2005
13304	TAKHEMARET DH 1	316,40	203,10	640	1972	2005
13410	SIDI Md BEN AOUDA BGE	308,85	255,18	145	1973	2005
13503	OUED DJEMAA	315,15	277,25	75	1942	2005
13504	SALINE OUED DJEMAA	315,50	283,30	60	1956	2005
13505	RELIZANE DEMRH	304,54	275,43	75	1968	2005
13506	EL MATMAR DRS	300,10	271,50	73	1953	2005
13507	L'HILLIL	288,35	271,35	125	1950	2005
13606	OUED KHEIR	291,55	297,60	230	1970	2005

Tableau .III.3. Caractéristique générale des stations pluviométriques

III.3.1. Variation annuelles des précipitations (1975-2012)

Comme le réseau pluviométrie est de à l'échelle au bassin du Cheliff ,nous avons choisi juste 3 stations au niveau du haut Cheliff a des sous bassins ainsi que les stations hydrométriques les plus proches .tous les indices hydroclimatiques a ce niveau nous permettrons par la suite de comparer les tendances relevées a l'échelle a tout les bassin du Cheliff

Nous étudions des séries pluviométriques de 3 stations dans le bassin du Cheliff.

Code	Nom	X	Y	Z	Date début	Date fin
11717	EL KHEMIS ANRH	456,20	329,00	300	1975	2005
11804	AIN DEFLA	434,60	329,90	270	1910	2005
11904	ROUINA MAIRIE	419,80	327,30	190	1921	2005

Tableau .III.4 : représenté les stations pluviométriques

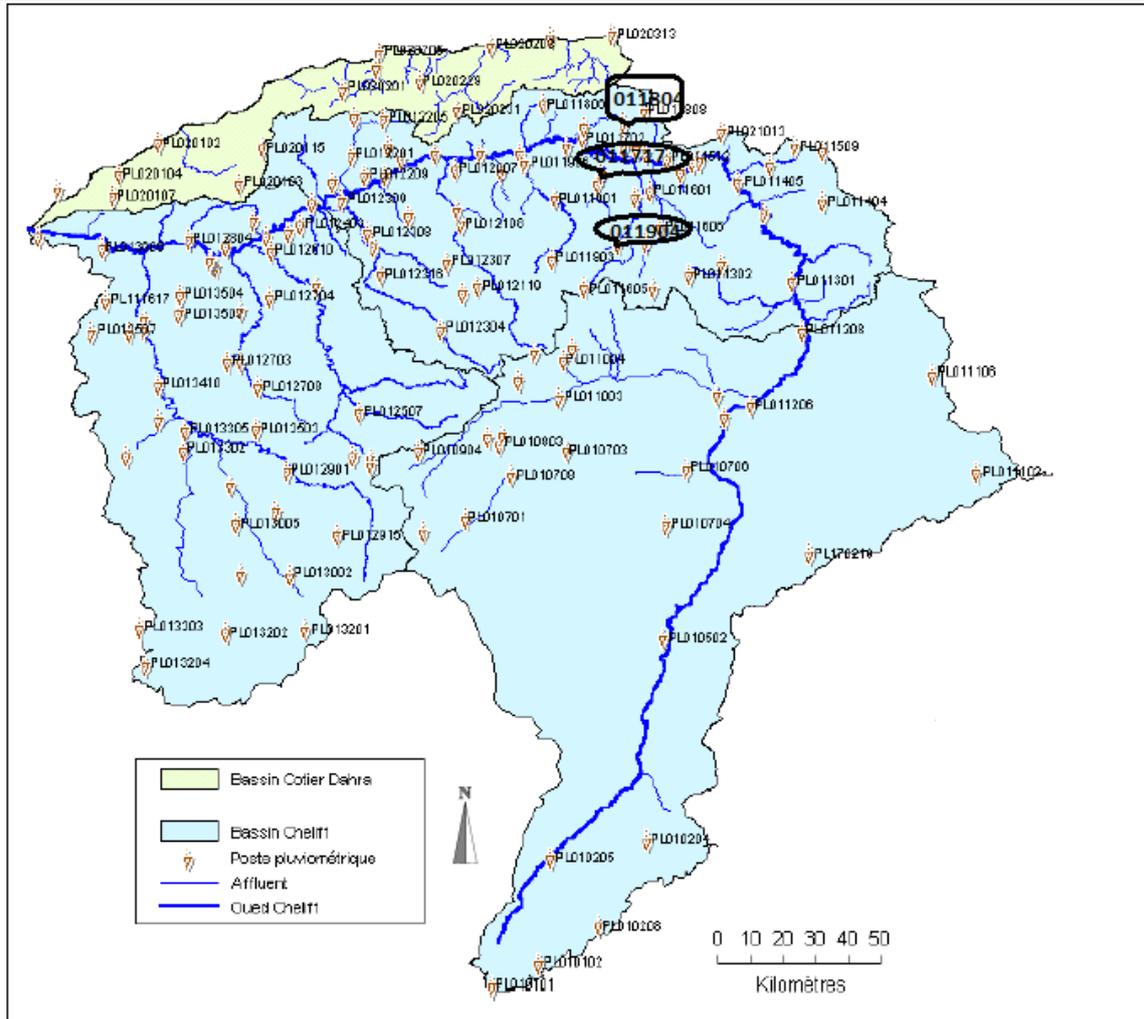


Fig.III.20 : Carte représente la situation des stations pluviométrique

III.4.Données hydrométrique :

Actuellement, 30 stations de jaugeage fonctionnent dans le bassin sur les 47 stations existantes. Elles ont été toutes mises en service par l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH) après l'indépendance et plus particulièrement à partir des années soixante dix (1970).

Chapitre III : Méthodologie de travail

Code Station	Nom	X (Km)	Y (Km)	Surface (Km ²)	Périmètre (Km)
10711	Ferme Ferhat	399,9	209,5	523	121,0
11001	Col. Bougera	402,6	235,9	1021	242,0
11210	Sidi Bouabdelah	483,1	245,8	11432	676,3
11407	Ghrib Amont	495,3	308,3	21659	1111,5
11501	Tamzguida	506,5	325,6	166	60,6
11503	Djendel	473,6	323,7	22561	1179,7
11514	Djenan B. Ouadah	482,7	323,5	22422	1151,3
11601	Marabout Blanc	461,8	297,2	830	162,0
11602	Sidi Mokarfi	455,3	291,4	493	116,6
11701	Khemis Sp	459,1	325,5	23776	1023,5
11702	Arib Cheliff	439,4	332,1	24490	1180,2
11715	El Ababsa	443,9	311,1	106	49,6
11801	Arib Ebda	446,2	342,0	272	82,1
11905	Bir Ouled Tahar	434,0	298,1	418	106,3
11906	Rouina Mines	430,4	304,2	866	156,0

Tableau. III. 5 : Caractéristiques des stations hydrométriques

III.4.1 Variation annuelles des débits (1973-2001)

Pour les données hydrométrique, nous traitons des séries de 2 stations dans le bassin du Cheliff qui située exacte dans le haut Cheliff.

Code Station	Nom	X (Km)	Y (Km)	Surface (Km ²)	Perimetre (Km)
11702	Arib Cheliff	439,4	332,1	24490	1180,2
11801	Arib Ebda	446,2	342,0	272	82,1

Tableau .III. 6 : Représente les stations étudiées

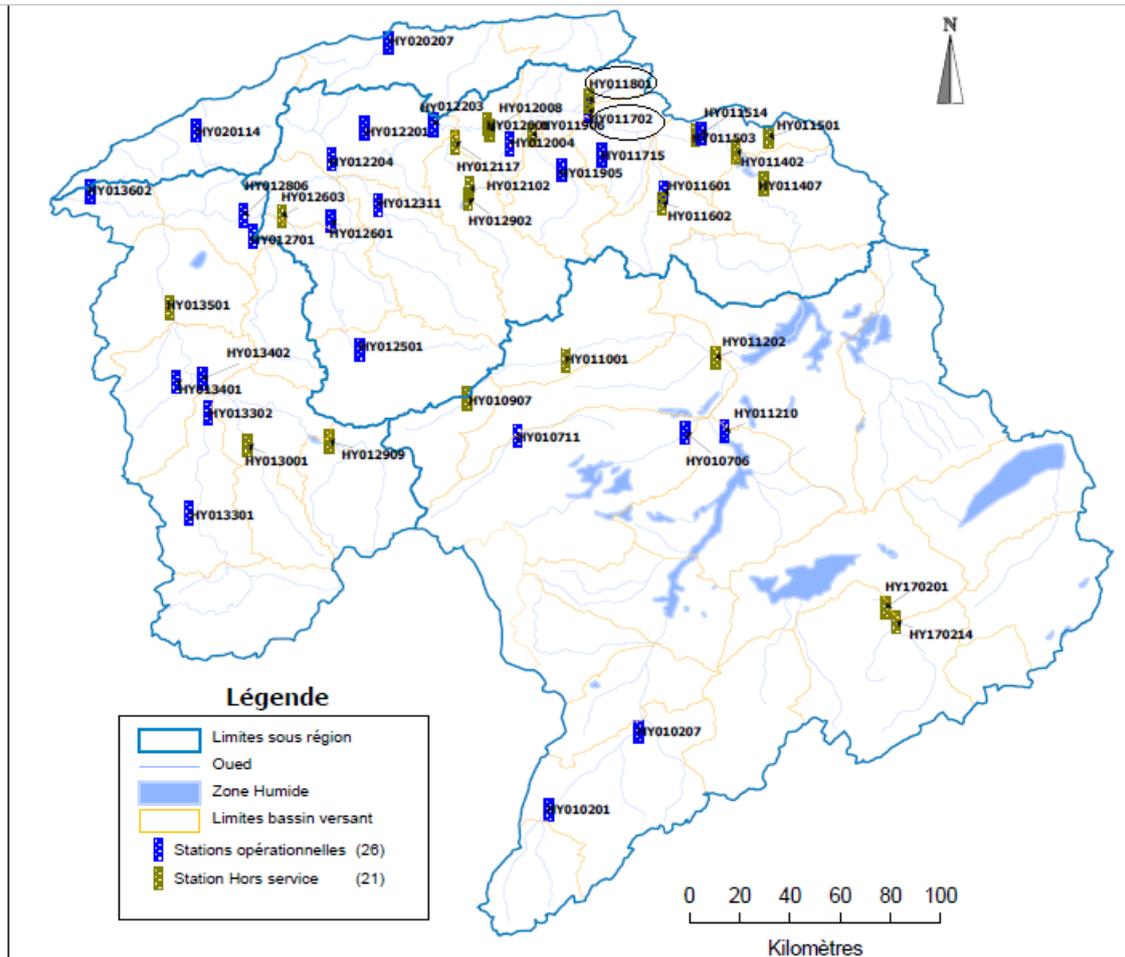


Fig .III.21. : Carte représente la situation des stations hydrométrique

III.5.Température :

Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques et par l'office national de météorologie.

On traité la station de barrage Haraza (1986/1987-2009/2010)

III.6.Evaporation :

Pour les données des l'évaporation .on traité des séries de 2 stations qui située dans le haut Cheliff .

-Station de BOUGHZOUL (1956-1964)

-station de Grib (garde barrage) (1948-1964)

III.7. Evapotranspiration

Les données de l'évapotranspiration inscrites ci-dessous sont relevées de la carte éditée par les services de l'ANRH [29].

III.7.1 Variation de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle (1986- 2001).

D'après le tableau (7), on enregistre les résultats suivants :

- Le total potentiel évapotranspiration annuel serait de 1400 à 1600 mm.
- on remarqué une valeur maximum en mois de juillet

stations	jan	fevr	mars	avril	mai	juin	juil	aout	sept	oct	nev	déc	annuelle
Ain Defla	41	54	95	138	181	221	257	229	160	103	54	37	1570
Chlef	43	58	99	139	181	214	245	222	154	97	53	37	1542
Ammi Mousa	42	59	98	135	172	209	238	217	154	98	54	37	1513
El Khemis	42	57	91	123	164	199	230	211	147	95	43	32	1434
Sidi M.Benaouda	49	65	117	147	193	216	244	224	156	104	63	48	1626

Tableau. III .7 : Evapotranspiration potentielles moyennes mensuelles et annuelles
(1968-2001)

III.8.Réseau piézométrique :

La plaine de Haut Cheliff compte plusieurs points d'observations piézométriques , et leur période de fonctionnement varie de point à une autre .

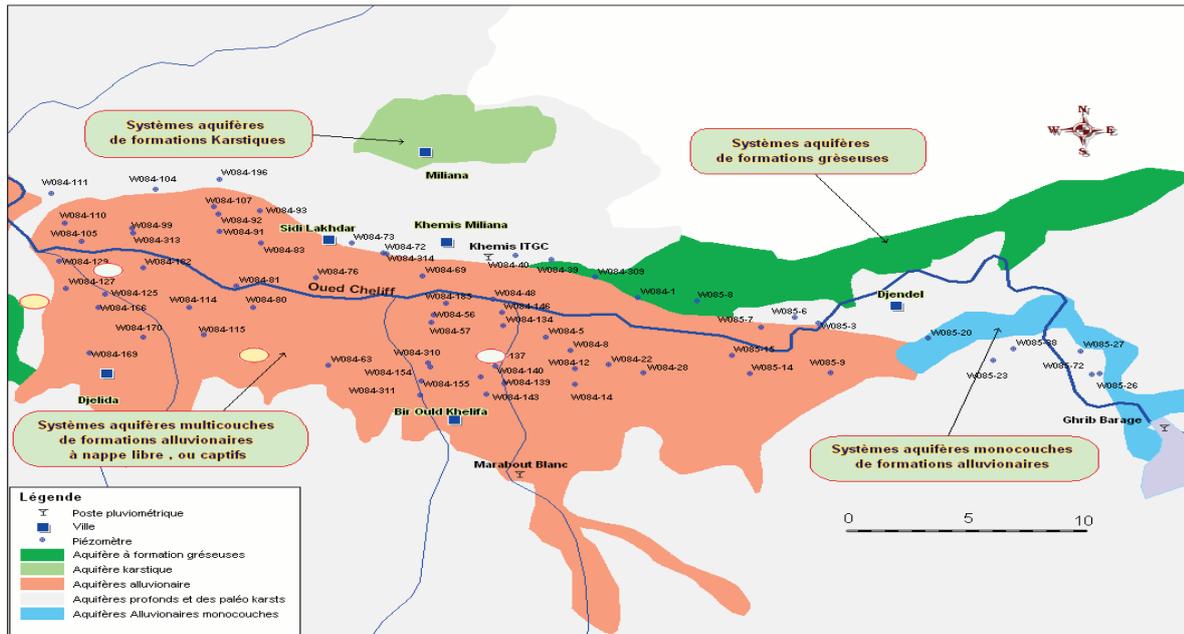


Fig .III.22.Inventaire du réseau piézométrique de la plaine du Haut Cheliff

III.CONCLUSION

Après la collecte des différentes données (pluviométriques ,hydrométriques ,températures ,évaporations ,évapotranspirations ,et piézométrique),et leur traitement à l'aide de programme EXECEL ,modèle pluie-débit nous avons pu les présenter sous formes des graphes représentés dans le chapitre suivant qui est réservé à la discussion et l'interprétation des résultats..

Chapitre IV :

Résultat Et

Interprétation

Introduction :

Nous examinerons et analyserons dans ce chapitre, l'ensemble des données recueillies d'abord à l'échelle de haut Cheliff, ensuite nous tentons de faire la relations avec les tendances observées et relevées à l'échelle du bassin et à l'échelle de l'Afrique de nord.

IV.1. Analyse des données pluviométriques

Les données disponible au niveau des 3 stations retenus sur le haut Cheliff ont déjà été corrigé et associées [11717, 11804, 11904].

Les variations observées sur les figures (IV.23, 24, 25) montrent deux tendances : la première tendance montre une diminution de la pluviométrie sur la période (1975-1993) et une deuxième tendance montre une augmentation sur la période (1993-2001).

Station d'El Khemis ANRH

Station ROUINA MAIRE

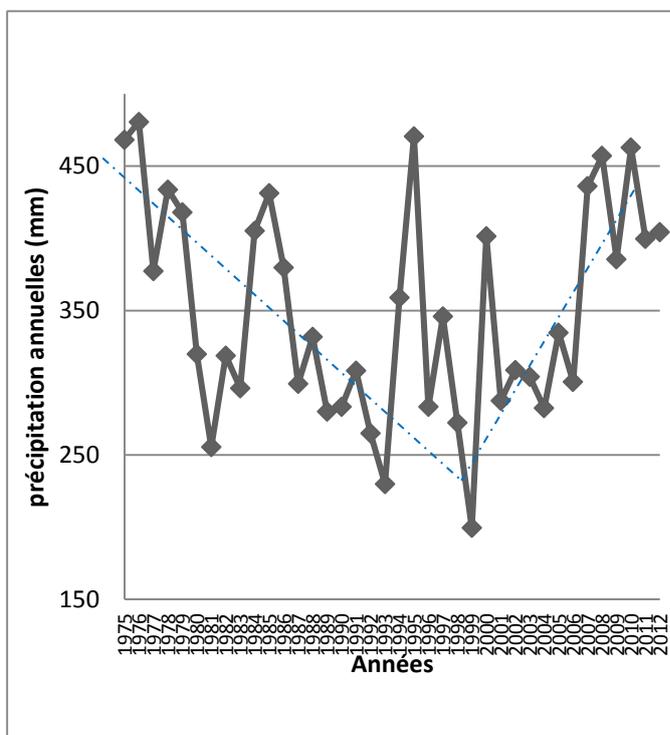
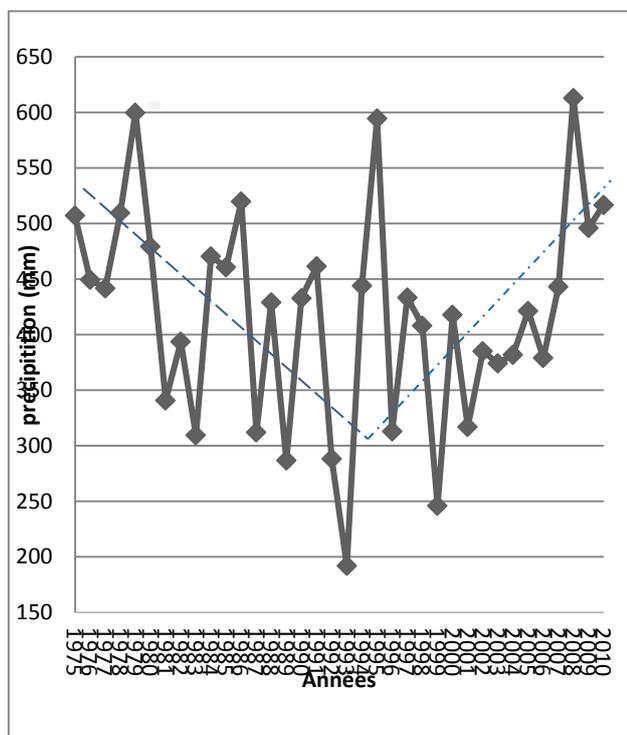


Fig. IV.23 : Variation des précipitations totales annuelles à la station d'El Khemis

Fig. IV.24: Variation des précipitations totales annuelles à la station ROUINA MAIRE

(1975-2010) (75/2010)

Station D'Ain defla

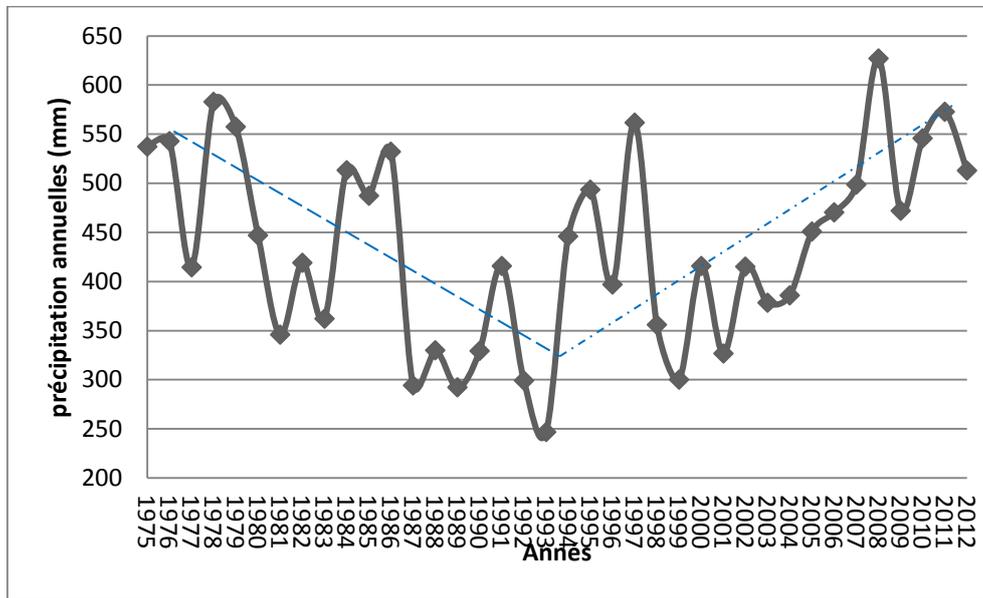
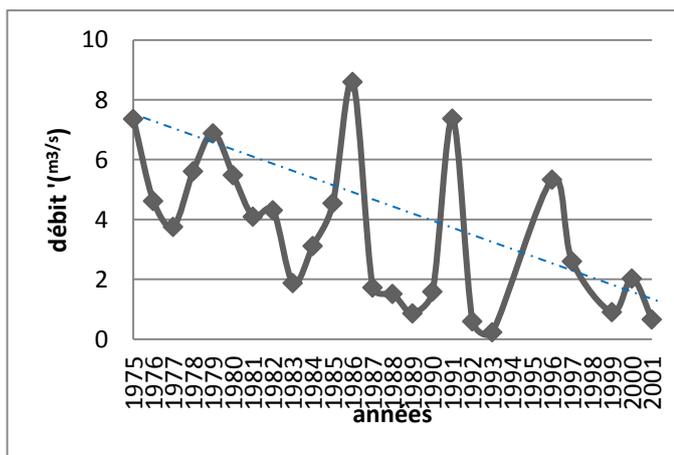


Fig .IV.25 : Variation des précipitations totales annuelles à la station d' D'Ain Defla (1975-2012)

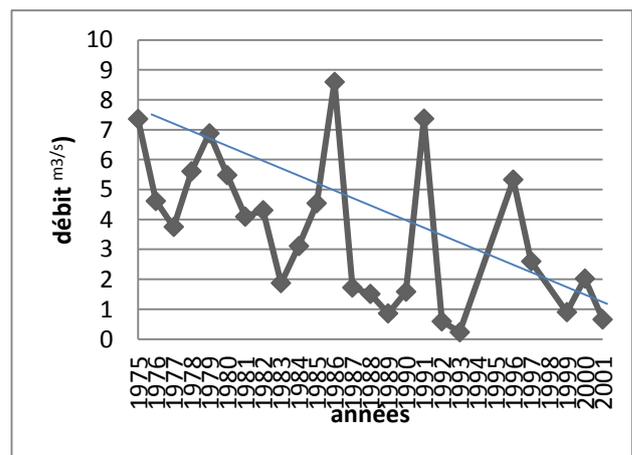
IV.2.Analyse hydrométrique (débits)

Les stations hydrométriques [11702 ,11801]qui contrôlent les sous bassins versants (Fig. III.21), ont permis de mesure les débits des cours traversant, les séries disponibles correspondent a la chronique (1973-1992). On constate ainsi pour les deux stations une tendance vers la diminution des débits de 7m³/s en 1975 à 1 m³/s en 2001.



Station Arib Ebda

Fig. IV.26 : Variation des débits moyens à la station de Arib Ebda (73/2001)



Station Arib Cheliff ,

Fig .IV.27.variation des débits moyens à la station d'Arib Cheliff (1975-2001)

Ces tendances observées pour les débits ne reflétant pas ceux observés pour la pluviométrie ou l'on a après une phase déficitaire jusqu'à 1993 une autre phase excédentaire. Ce ci pose un problème de relation entre les débits et la pluviométrie sur les sous bassins.

Afin de vérifier la relation entre la pluviométrie et les débits Q sur ces sous bassins, on a tenté de rechercher une relation entre les pluies et les débits par modélisation hydrologique. Ainsi nous avons utilisé le modèle Génie Rural du CEMAGREF.

IV.2.1. Application du modèle GR1A :

Pour cette étude, nous avons utilisé la version Excel disponible dans le site de CEMAGREF.

Les données annuelles utilisées pour ce modèle sont les pluies annuelles observées en (mm), des ETP en (mm) et des débits annuels (mm). La période choisie pour cette étude est celle de 1975 à 1992 pour les deux stations (EL Khemis-Arib Ebda) et (Ain Defla-Arib Ebda) .

IV.2.2 Calage du modèle :

Nous avons procédé au calage du paramètre X (coefficient de correction de l'ETP (mm) du modèle en appliquant des changements sur ce dernier en commençant par la valeur fixée à 0,13 et la faisant croître successivement avec un intervalle de 0,01 jusqu'à l'obtention d'un critère de Nash et un coefficient de corrélation entre les débits simulés et les débits observés significatif proche de 1. La validation du calage est effectuée en appliquant le test de performance du modèle de coefficient de détermination R².

Les résultats du calage et validation du calage sont présentés dans le tableau :

Station	x	Nash %	bilan %	coefficient de détermination R ²
El Khemis-Arib Ebda	0,13	65,6	84,4	0,513
Ain Defla-Arib Ebda	0,23	66,3	87%	0,526

Tableau .IV.8 : Résultat du calage du modèle GR1A

Selon le tableau, les valeurs des coefficients de détermination sont supérieures à 50% , les valeurs du critère de Nash obtenues entre 65,6% et 66,3% et le bilan est équilibré variant entre 84,4% et 87% .

Le paramètre du modèle, coefficient de correction de l'évapotranspiration (X) est inférieur à 1, et varie entre 0,46 et 0,40 pour les deux stations.

Ain Defla-Arib Ebda

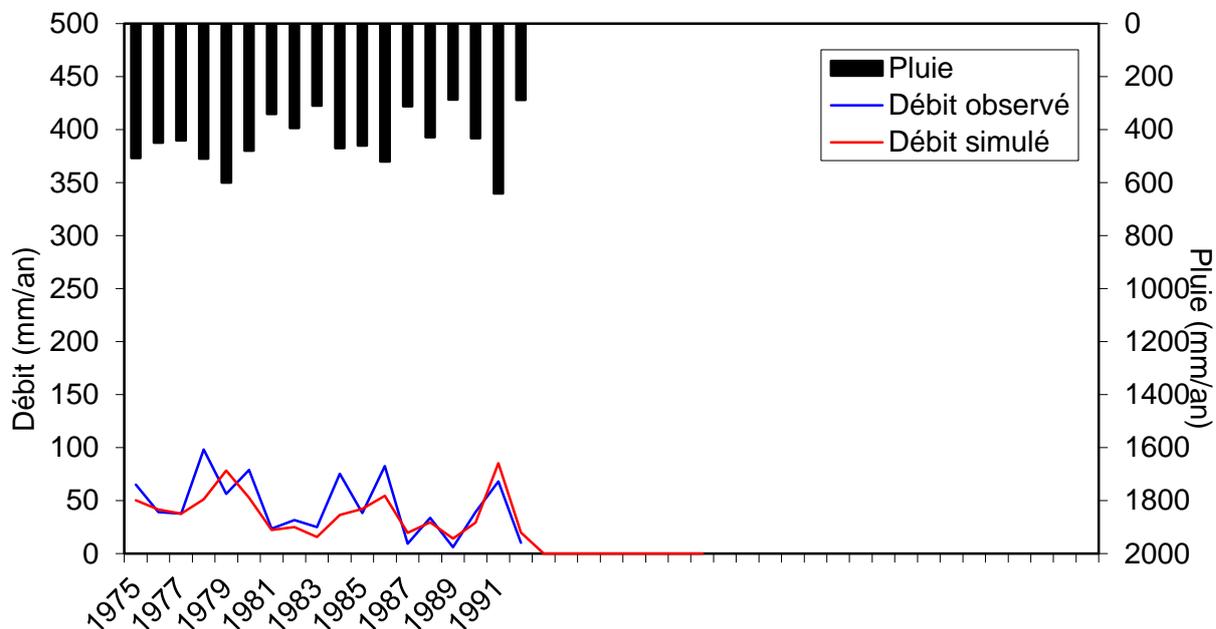


Fig. IV.28 Visualisation de la qualité du calage pour la station Ain Defla-Arib Ebda

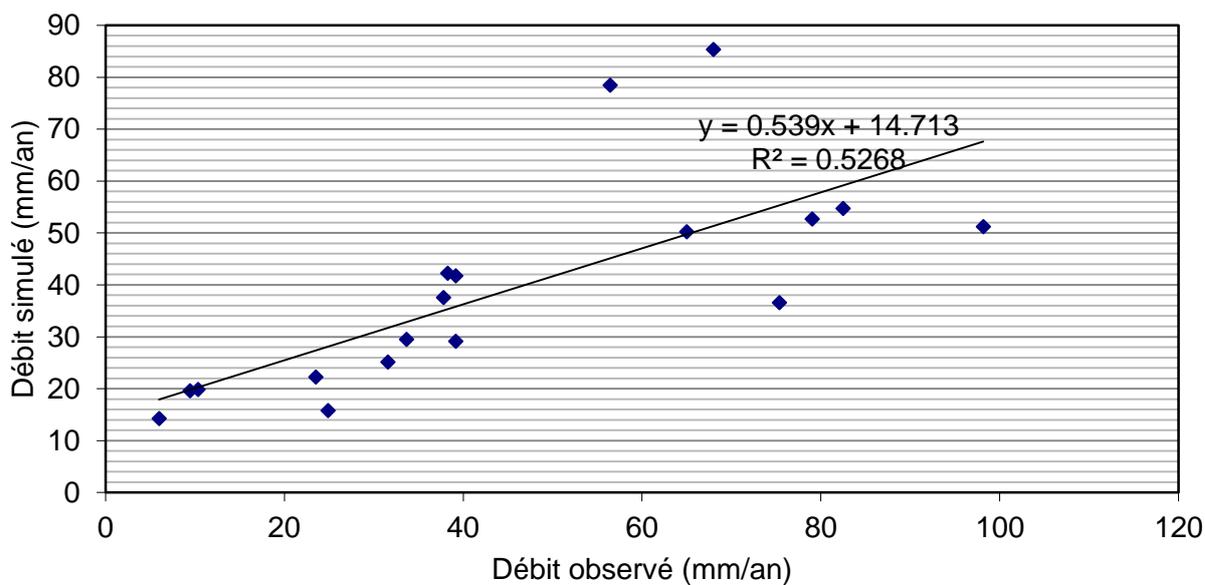


Fig. IV.29: Corrélation entre les débits observés et les débits simulés pour la station Ain Defla-Arib Ebda

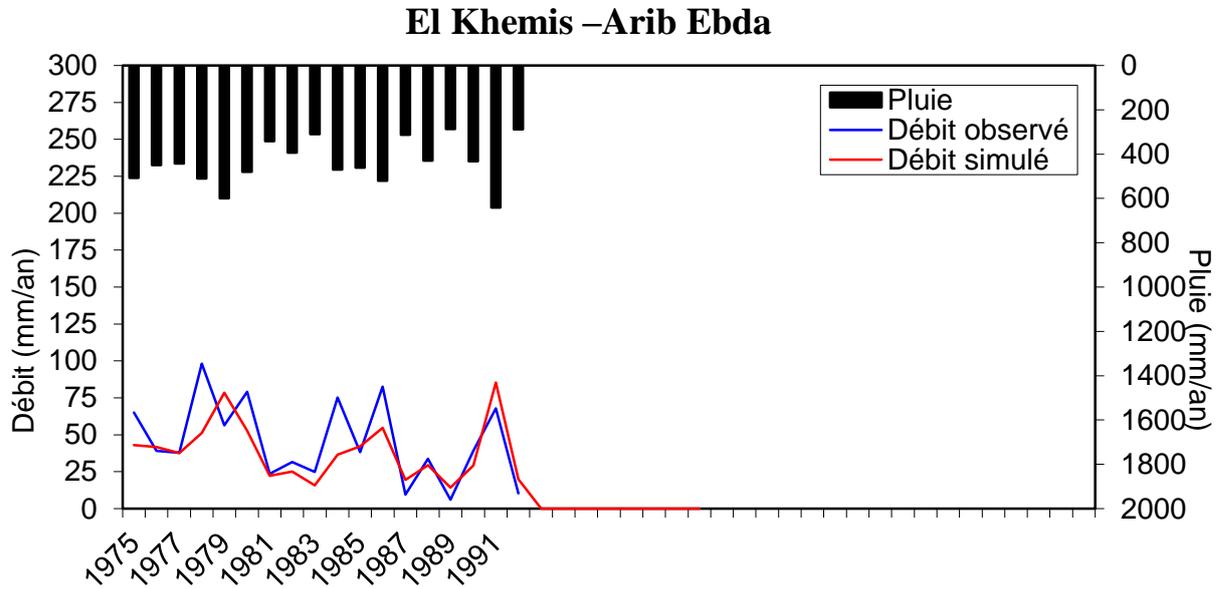


Fig. IV.30: Visualisation de la qualité du calage pour la station El Khemis-Arib Ebda

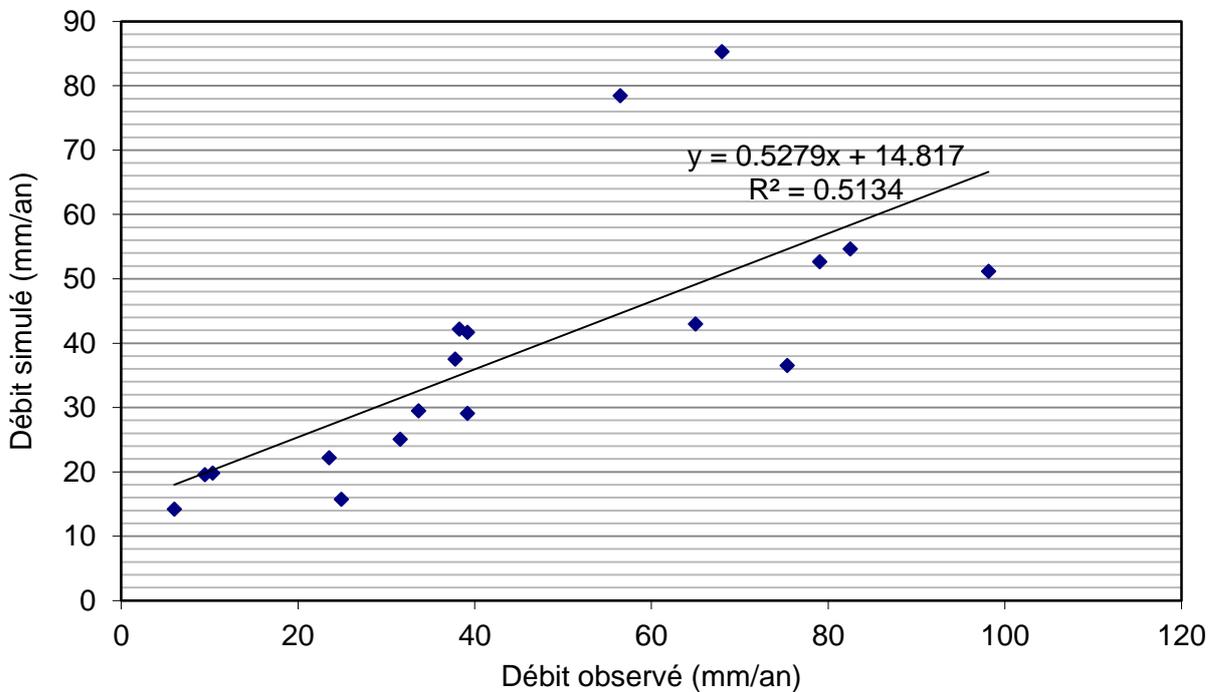


Fig. IV.31 : Corrélation entre les débits observés et les débits simulés pour la station El Khemis-Arib Ebda

IV.2.3. Validation du modèle :

La validation porte sur l'application du modèle sur une série de données qui n'ont pas été utilisées lors du calage .nous avons utilisé donc la série allant de 1975 à 1992 pour les stations El Khemis-Arib Ebda ;Ain Defla –Arib Ebda

Le tableau .IV.9 : les variations des coefficients de détermination et de corrélation Q simulé-Q observé relatifs

	El Khemis-Arib Ebda	Ain Defla-Arib Ebda
coefficient de détermination R2	0,526	0,513
coefficient de corrélation R	0,725	0,716

Selon le tableau ci-dessus, la validation de modèle GR1A donne des valeurs de coefficients de corrélation (R) supérieures 70%, cela traduit la bonne performance du modèle appliquée à oued Cheliff

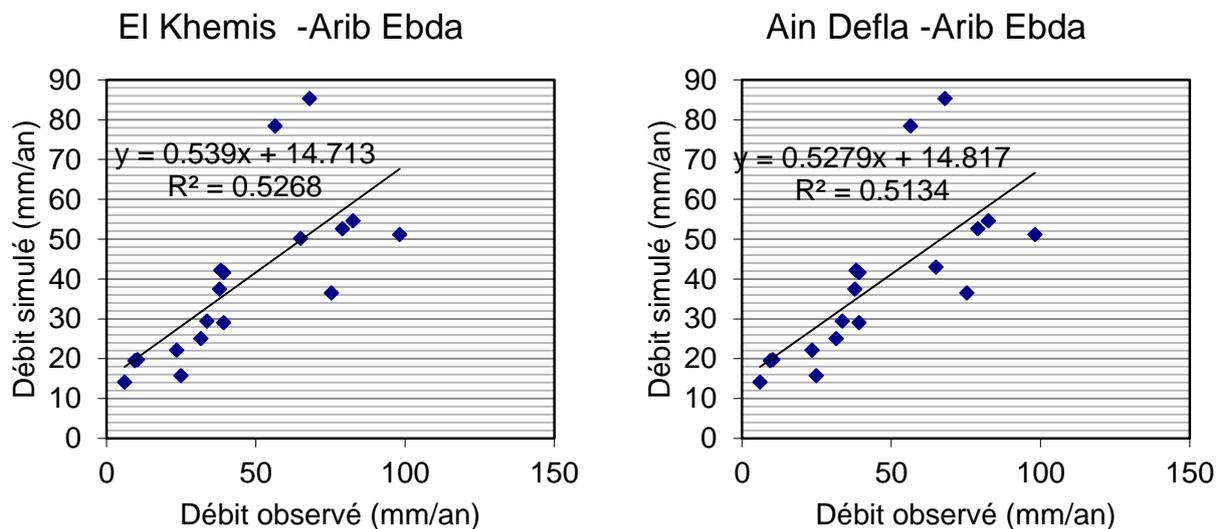


Fig. IV.32. : Validation de modèle GR1A la station El Khemis-Arib Ebda et la station Ain Defla-Arib Ebda

Conclusion : La relation entre les débits et les séries pluviométriques sur les deux sous bassins sont acceptables, la concordance entre la pluviométrie et les débits sur la période 1993-2001 .

IV.3. Les série de température

Pour l'analyse les tendances dans les séries de température de, nous avons étudié la variation de la température moyenne annuelle

Les stations correspondantes sont : station de barrage HARRAZA station de barrage HARRAZA

La principale observation qu'on peut relevé concernant la variation des températures sur la région est une tendance vers l'augmentation d'environ 0.8°C sur la période (1986-2009)

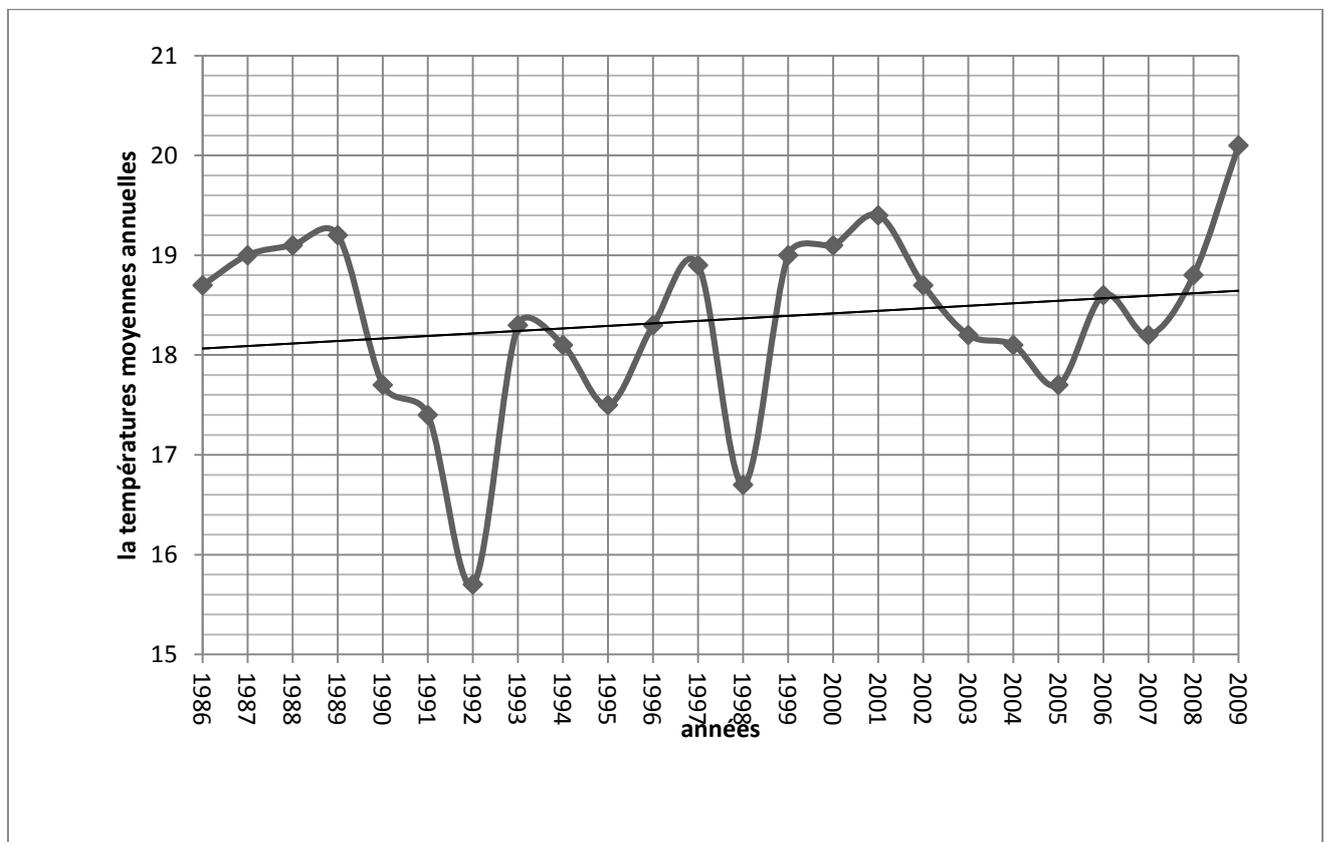
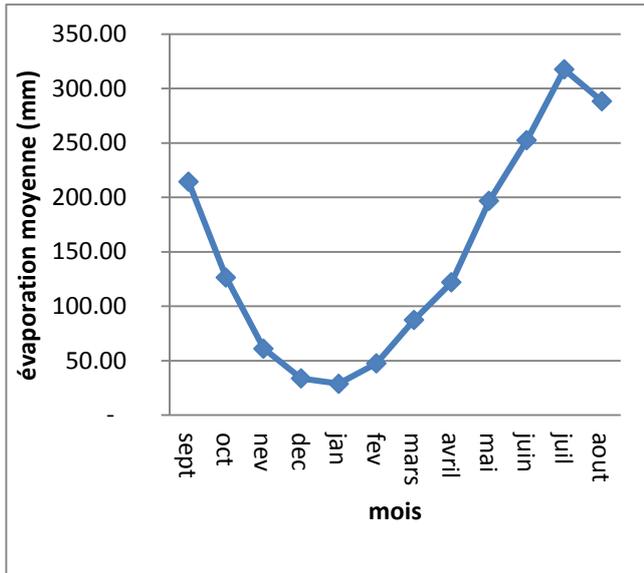


Fig.IV.33. Températures moyennes annuelles de la station de BARRAGE HARRAZA période (1986-2009).

IV.4. L'EVAPORATION

Pour l'analyse des tendances de l'évaporation, nous avons étudié les variations moyennes annuelles sur les stations de Boughzoul et Grib (garde barrage)

Station BOUGHZOUL



Station GRIB

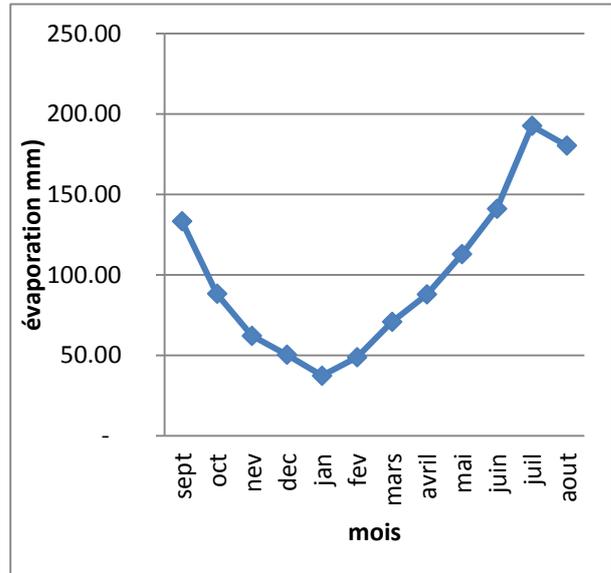


Fig.IV.34 : variation de l'évaporation moyenne de la station Boughzoul (1956-1964)

Fig IV.35: Variation de l'évaporation moyenne de la station Grib (1947-1965)

La variation de l'évaporation dans les deux stations montre une décroissance plus rapide, à partir de mois septembre jusqu'à mois de janvier (saison froide), et une augmentation rapide jusqu'à juillet (saison chaude).

IV.5. L'EVAPOTRANSPIRATION

Nous avons étudié les variations de l'évapotranspiration potentielle moyennes mensuelles et annuelles (mm). Les stations retenues sont : Ain Defla ,la station Chlef ,la station D'ammi mousa ,la station d'El Khemis,et la station de Sidi m.benouda

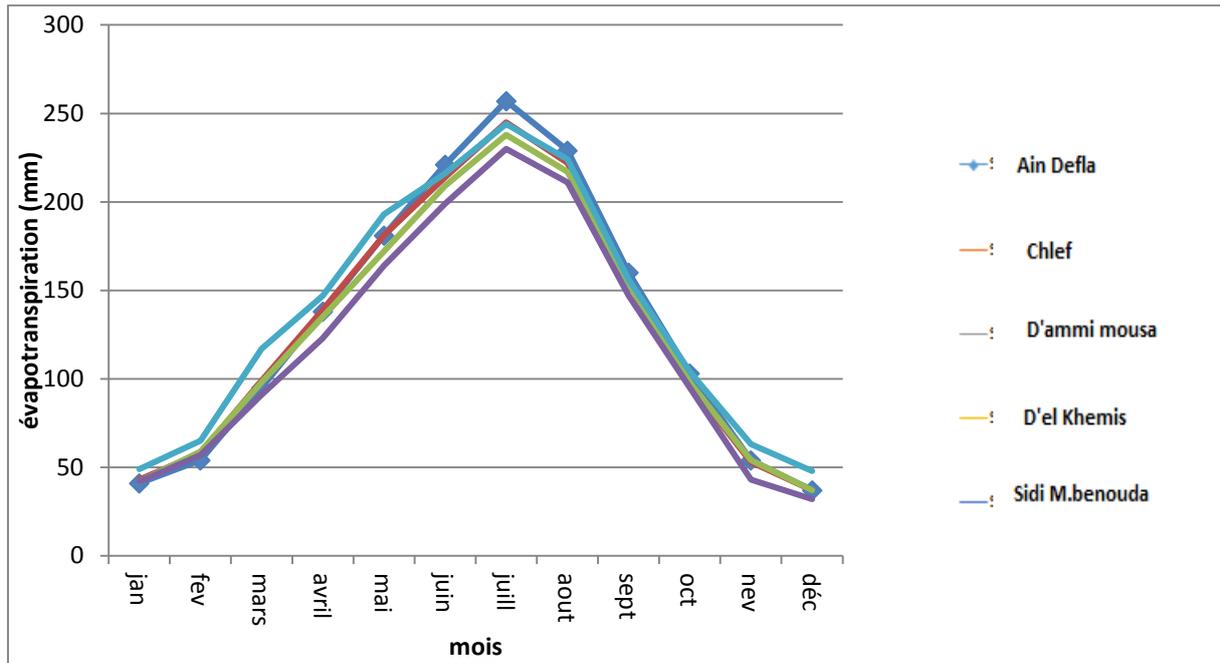


Fig.IV.36. Variation de l'évapotranspiration dans la période (1986- 2001).

La variation de l'évapotranspiration dans ces stations montre 2 tendances : pour la période froide (janvier-juillet) une augmentation rapide avec une grande valeur marquée à la station D'AIN DEFLA 257 mm Et pour la période chaude (à partir de juillet) une diminution.

IV .6.VARIATIONS DES INDICES HYDROCLIMATIQUES A L'ECHELLE DU CHELIFF :

Introduction :

Les pays du Maghreb, ont connu durant la période 1975- 2000, une succession de périodes de sécheresses intenses et persistantes.

En Algérie cette sécheresse a été caractérisée par un déficit pluviométrique important, et a touché l'ensemble du territoire. Elle a sévit particulièrement dans les régions Ouest du pays.

En Algérie, la demande en eau et la sécheresse associées ont causé une diminution de la ressource en eau souterraine.

La pénurie de ressources hydriques superficielles a entraîné, pendant les dernières années, une exploitation intensive des nappes souterraines surtout à usage agricole, ce qui a produit de fortes baisses de niveaux phréatiques.[30]

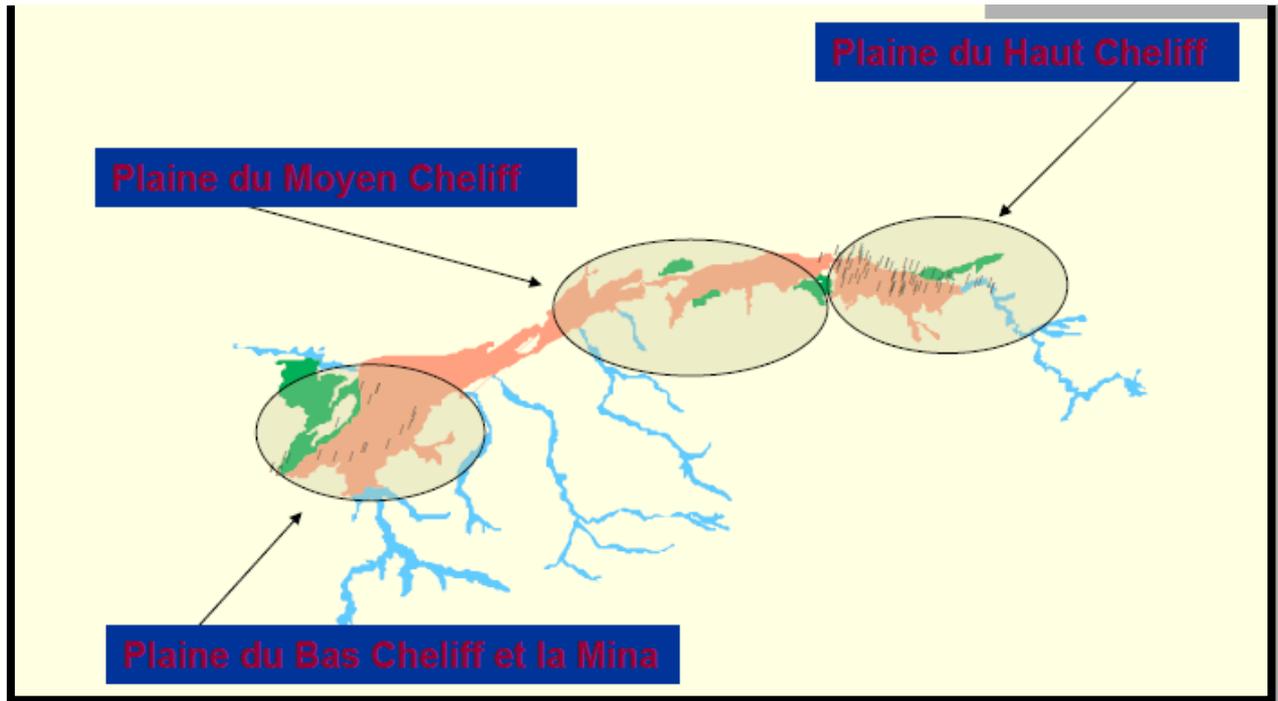


Fig .IV.37: la plaine du Cheliff

Le sillon de Cheliff est compartimenté en trois cuvettes (Haut, Moyen et Bas cheliff) séparées par deux seuils le seuil de Ain Defla et le seuil de Oum D'rou.

IV .6.1 .Analyse des tendances pluviométriques /piézométriques :

IV .6.1.1.Analyse des tendances dans les séries pluviométriques

a. Données

Les données utilisées sont relatives à quelques stations sur les périodes 1930/2004 .L'analyse et l'identification des tendances générales des variations pluviométriques ainsi que les relations de ces tendances avec les fluctuations de piézométriques en été examinée a l'échelle du bassin du Cheliff (haut et moyen Cheliff).

Les données ont permis de représenter ces tendances dans les graphiques ci-dessous

(Fig . IV.38,39,40,41).

L'analyse des chroniques brutes montre que l'année la plus sèche a été observée en 1999 et 1981 les deux stations hydrométriques [011601] , [012219] sont 151 mm et 161 mm ,et en 1993 les stations [013505] ,[011706] marquées 164mm et 174 mm.

L'année 1971-1972 est considérée comme la plus humide avec un totale précipité de 430 mm à la station [012219] ; 439mm à la station [011602] ; 630 mm à la station [013505] et 711 mm à la station [011706].

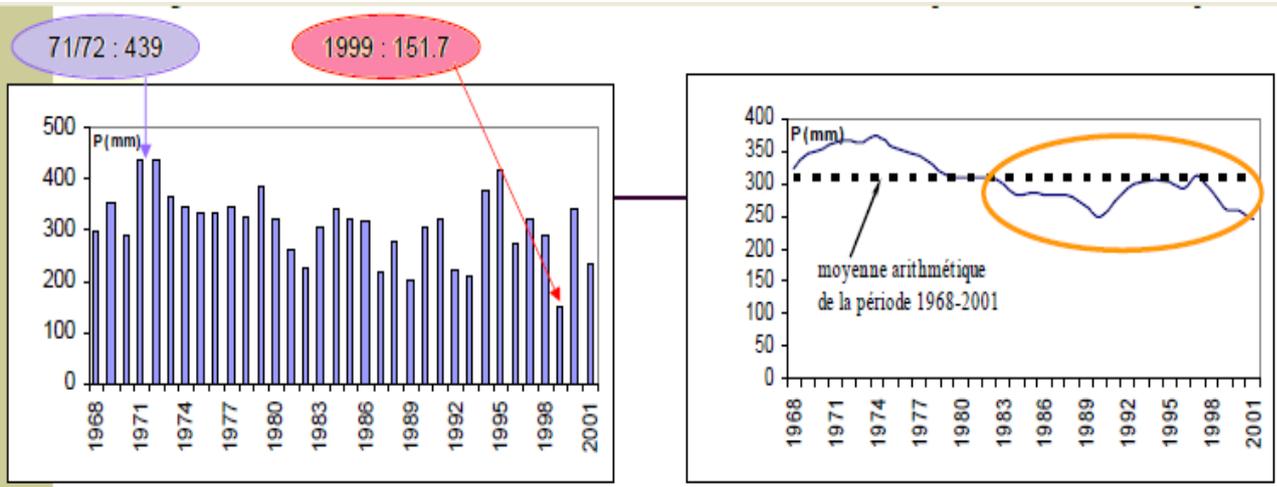


Fig. IV.38 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 011601 sur la période (1968-2001)

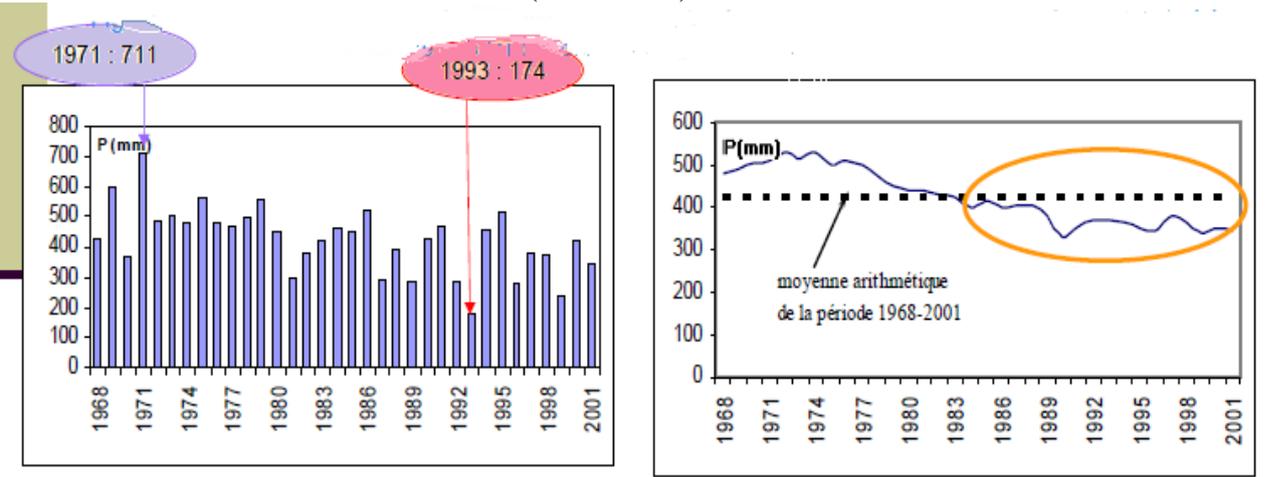


Fig. IV.39.: Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 011706 sur la période (1968-2001)

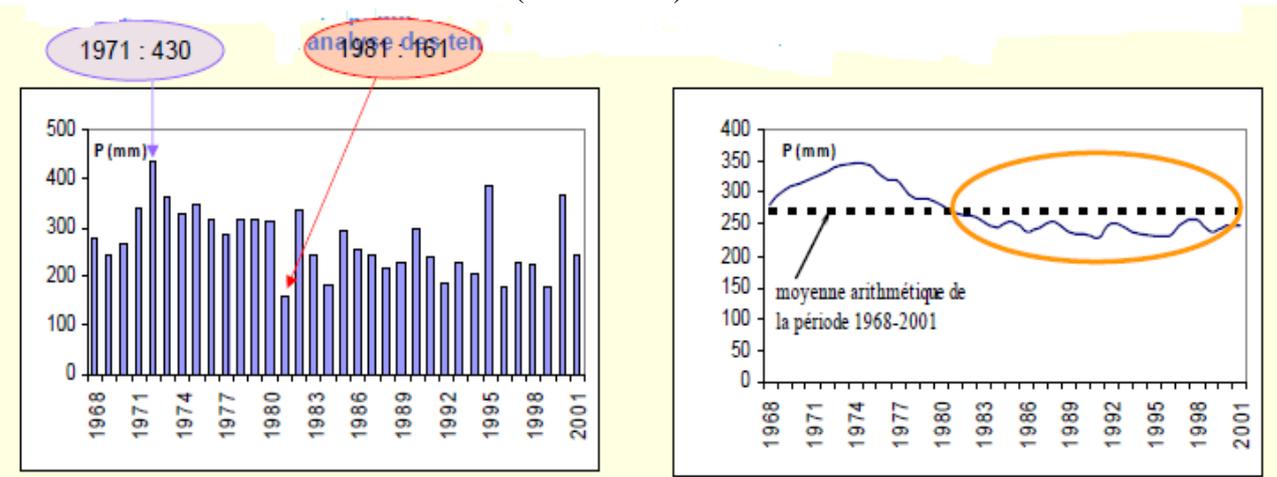


Fig. IV.40. :Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 012219 sur la période (1968-2001)

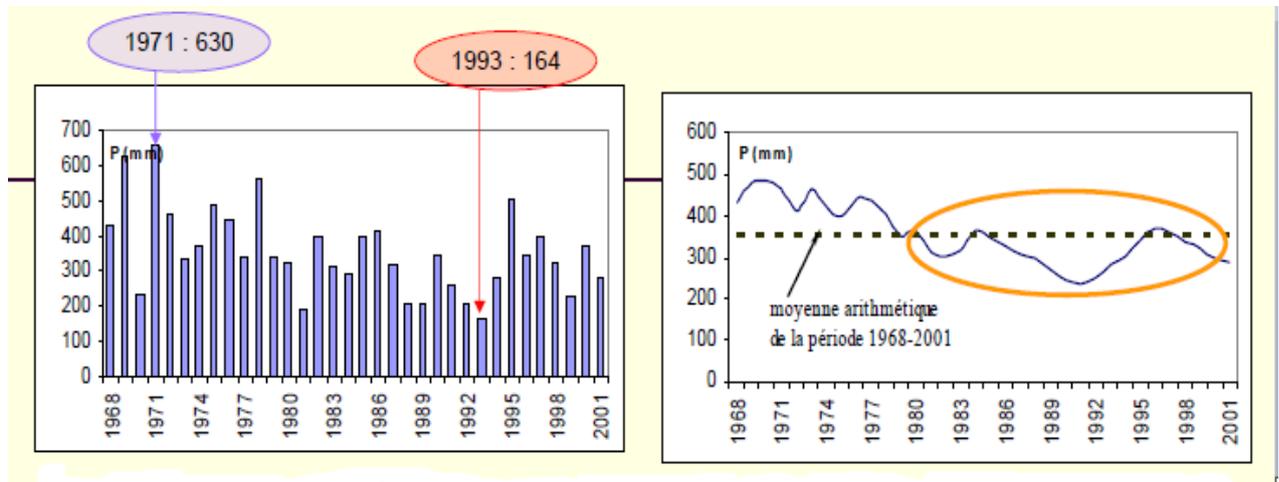


Fig. IV.41 : Variation des précipitations moyennes annuelles à la station 013505 sur la période (1968-2001)

Des périodes moyennes de 3 ans ; notamment 1980-1994 et 1998-2002, sont caractérisées par un déficit pluviométrique important enregistré dans les différentes stations. Ainsi, les pluies moyennes annuelles enregistrées sont aux dessous de la moyenne enregistrée durant la période 1961-2005. En étudiant des séries pluviométriques plus longues, on constate les mêmes tendances à savoir la 118 diminution des totaux pluviométriques annuels.

b. Analyse de la tendance pluviométrique au niveau de la station de Oued Sly

Le choix de cette station s'est imposé par le fait qu'elle dispose d'une part de la série la plus longue en termes de données pluviométriques, et d'autre part par sa situation géographique représentative du bassin. L'analyse pluviométrique montre qu'à l'échelle annuelle, la rupture entre deux phases excédentaire et déficitaire se produit vers les années 1980 (Fig.42), ce qui globalement concorde avec les stations étudiées plus haut et conforte aussi l'existence d'une tendance de sécheresse depuis les années 1980/1990 qui est aussi en conformité avec les schémas global du changement du climat à l'échelle du Maghreb.

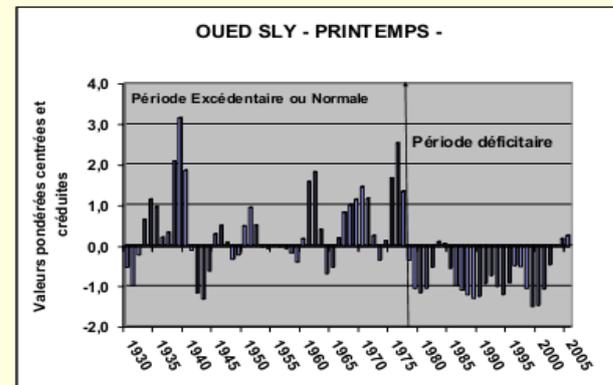
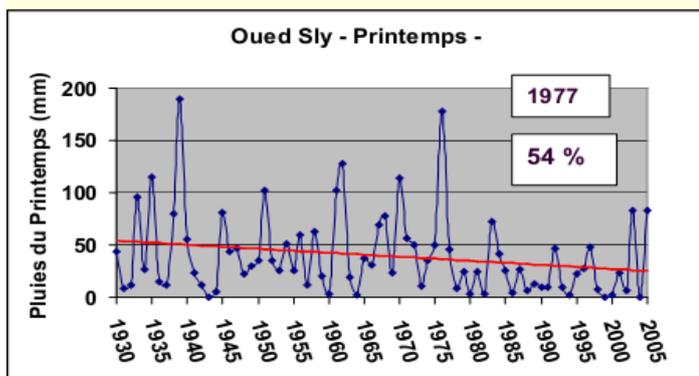
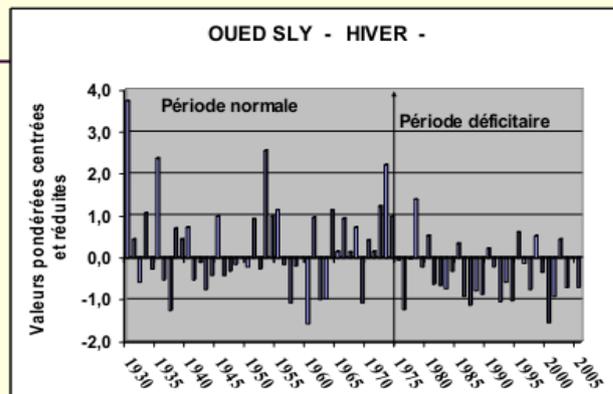
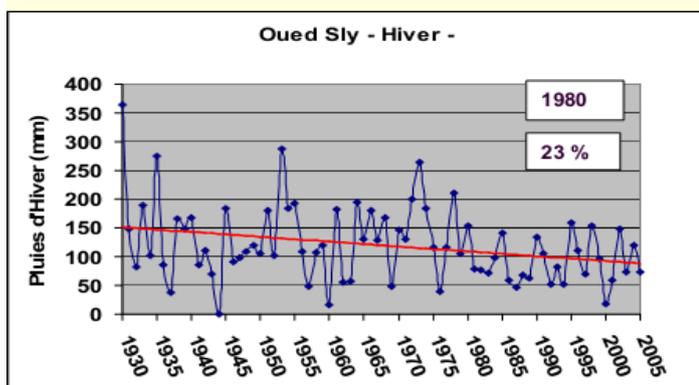
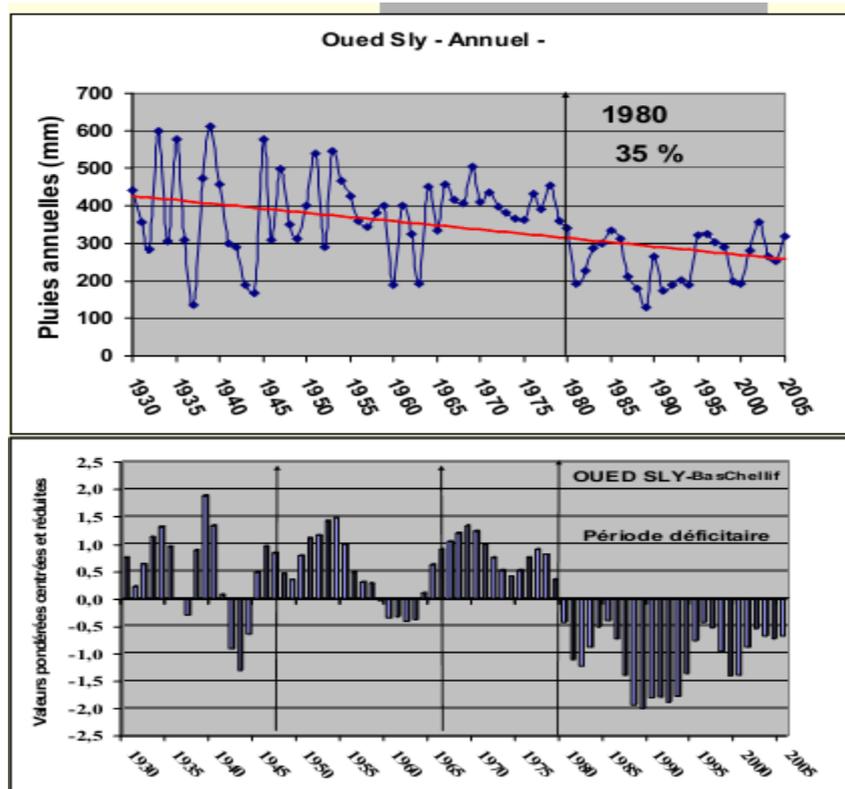


Fig .IV.42. : Variation des précipitations au niveau de la station oued sly (1968-2001)

IV .6.1.2. Analyse des tendances piézométriques

a) Données :

Nous examinerons la variation piézométrique de trois points d'eau répartie sur la vallée principalement sur l'aquifère alluvionnaire (Fig .IV.36), sur la période 1995-2002.

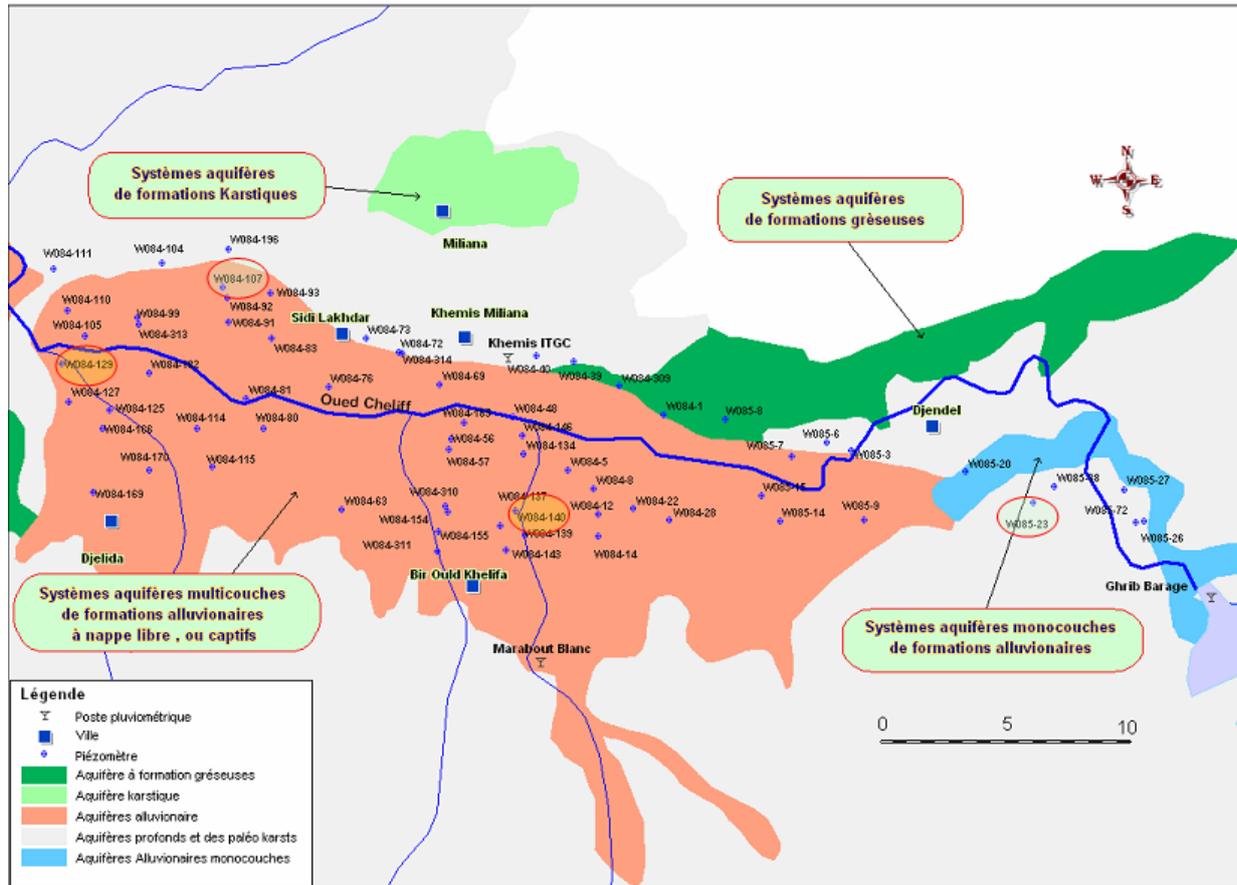
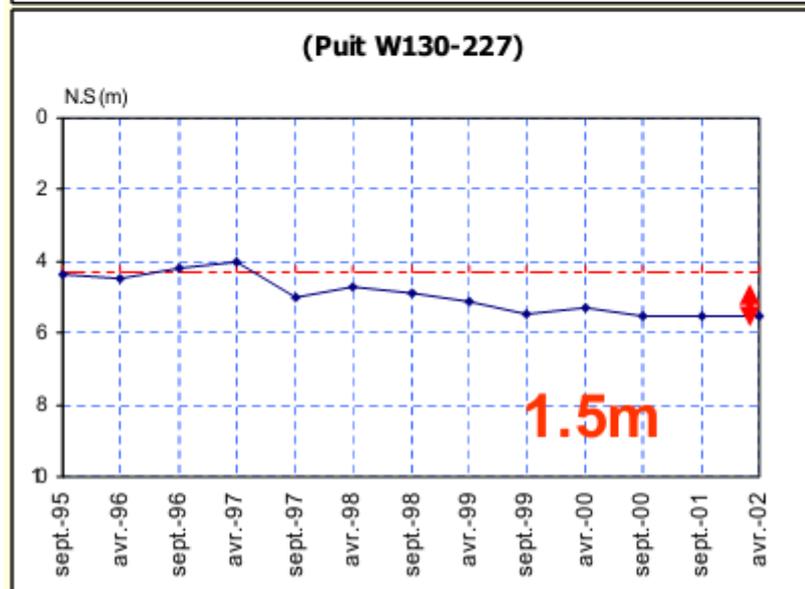
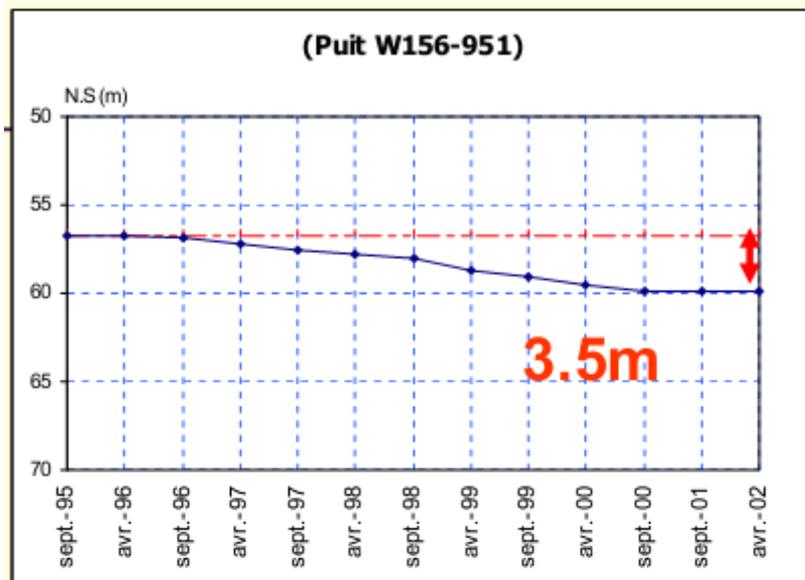
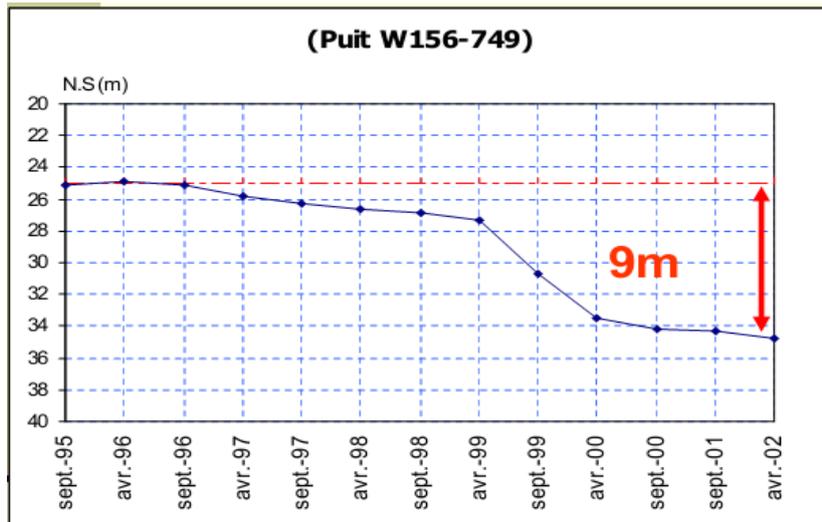


Fig .IV.43. Systèmes aquifères du Bassin du Cheliff (Réseau de suivi piézométrique)

Nous remarquons que sur l'ensemble des trois puits il y a une diminution du niveau continue du niveau statique avec une nette rupture pour le puits W156-749 , vers l'année 1999 ou le niveau a chuté jusqu'à 9m.

Le manque de la chronique de mesure du niveau piézométrique avant les années 1995 pour l'ensemble des points d'eau de la vallée du Cheliff n'a pas permis de comparer cette tendance avec les séries pluviométriques, cependant elles confirment la phase déficitaire observé depuis 1980



La surexploitation des eaux des nappes du bassin du Chélif a commencé après que la baisse de la pluviométrie dès 1975, ce qui a entraîné, en conséquence, une diminution des apports aux barrages. Le phénomène de la baisse des précipitations traduit le déséquilibre entre le volume d'eau qui alimente les aquifères du Chélif et les volumes prélevés. Le nombre total de puits et de forages n'a cessé d'augmenter et entraîne une évolution de la quantité d'eau mobilisée.

IV 6.2. Analyse des tendances des températures :

Pour pouvoir analyser la tendance dans les séries de températures, il a été effectué une comparaison entre la moyenne de la période de référence (1961-1990) et la période 1991-2008. L'augmentation maximale est enregistrée au printemps, où on a 53 % d'accroissement durant la période allant de 1991 à 2008 par rapport à la période de référence 1961-1990. L'analyse des températures extrêmes montre également une évolution clairement marquée par une tendance à l'augmentation.[31]

	Moyenne T (1961- 1991)(°C)	Moyenne T (1991- 2008)(°C)	Augmentation (%)
Annuel	18,9	19,5	3,4
Automne	20,2	20,6	2,1
Hiver	11,3	11,5	1,8
Printemps	16,5	17,4	5,3
Eté	27,6	28,7	4

Tableau .IV.10 : Moyennes des températures à la station de Cheliff .

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

L'examen de la variabilité et l'évolution des paramètres et indices climatiques (précipitations, ETP, Evaporation, températures, niveau piézométriques, etc.) à l'échelle du bassin du Chélif et leur relation avec le changement climatique a permis de mettre en évidence un certain nombre de faits:

- Le régime pluviométrique a connu un changement à partir des années soixante dix avec apparition d'un déficit pluviométrique à partir de 1970, et la persistance durant les décennies 80-90. Ce phénomène dure encore et génère des problèmes socio-économiques compte tenu de la pression croissante qui s'exerce sur la ressource en eau
- L'étude de la variabilité des indices hydroclimatiques : températures et évaporation, évapotranspiration montre que ces paramètres évoluent dans le même sens que les tendances pluviométriques avec une augmentation légère de la température (0.8°C) sur la période 90-2000.
- La variabilité des mesures hydrométriques à l'échelle du bassin du Chélif traduisent une tendance vers la baisse sur les périodes d'observations.
- La modélisation Pluie -débit à l'échelle de deux sous bassins du haut Cheliff a montré la bonne corrélation pluie débits.

-Etude des variations pluviométriques et leur relation avec les fluctuations des niveaux piézométriques au niveau de plaine Cheliff montre que La surexploitation des eaux des nappes du bassin du Chélif a commencé après que la baisse de la pluviométrie. Le phénomène de la baisse des précipitations traduit le déséquilibre entre le volume d'eau qui alimente les aquifères du Chélif et les volumes prélevés. Le nombre total de puits et de forages n'a cessé d'augmenter et entraîne une évolution de la quantité d'eau mobilisée.

- L'ensemble des ces variations et tendances s'inscrivent dans le schéma global du changement climatique

Références bibliographique

Référence bibliographique

- [1] : Rapport interne ANRH ;2009
- [2] : Rapport, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Le Changement climatique et l'eau), climate-change-water-fr.pdf.
- [4] : Rapport interne NADT ,2004
- [5] : **BRYSON BATES, ZBIGNIEW W. KUNDZEWICZ , SHAOHONG WU** ,L'eau et le changement climatique, Document technique VI du GIEC , Juin 2008
- [6]: **LUCIE VINCENT ET ENRIC AGUILAR** : Séminaire sur l'homogénéisation des données climatiques et les indices des changements climatiques CMM/CCI/VAR/JCOMM ETCCDI, octobre 2009, Vacoas, Île Maurice
- [7] : Changements climatiques observés et prévus en rapport avec l'eau ,chapitre 2 ,21p
- [12] : **ADRIEN AUGÉ ,LUDOVIC DENISE ,GAULTIER LAMBERT, LIONEL STASZAK,** Température de la surface des océans , Olympiades de Physique - 2005
- [14] : **DECLERCK, S ;2005:** Multi-group biodiversity in shallow lakes along
- [15]: **ALVAREZ, R., 2005:** A review of nitrogen fertilizer and conservative tillage effects on soil organic storage. Soil Use Manage., 21, 38-52.
- [16]: **Woo, M.K., R.D. Rowsell and R.G. Clark, 1993:** Hydrological Classification of Canadian Prairie Wetlands and Prediction of Wetland Inundation in Response to Climatic Variability. Canadian Wildlife Service, Environment Canada, Ottawa, ON, 23 pp
- [17] : **COLEMAN, J.M. AND O.K. HUH, 2004:** Major World Deltas: A Perspective from Space. Coastal Studies Institute, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. <http://www.geol.lsu.edu/WDD/PUBLICATIONS/introduction.htm>
- [18]: **MILLY, P.C.D., K.A. DUNNE AND A.V. VECCHIA, 2005:** Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. Nature, 438(7066), 347–350.
- [19]: Fresh water resources and their management climate change , chapitre 3
- [20]: **Anonyme 2009.-** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. PNUD, Algérie, 19p.
- [21] : **TABET AOUL M., 2000.-** Changement climatique et risques. SOMIGRAF: 1-10.
- [22] : **PARRY MARTIN L., 1991.-** The potential socio-economic effects of climate change. Nairobi, UNEP: 1-25.
- [23] : **Mr MEHAIGUENE MADJID,** Bilan hydrologique et ressources en eau de surface du bassin Cheliff-Zahrez
- [24] : **Y. Gourinard, A.Perrodon, B.Fenet in et polyphasée pour G.Thomas in ABH-CZ, 2004**
- [25] : **SOFRECO., 2010.** Etude d'actualisation du plan national de l'eau, volet 2: ressources en eau souterraine, Tome 2: monographie des aquifères, l'Union Européenne, P 353.
- [26] : **BOUZADA NACERA ,2013.** caractéristique géochimiques des eaux souterraines utilisées dans l'irrigation dans les plaines du cheliff .

- [27] : **DOUAOUI A., 2005.** Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif .Apport de la géostatistique et de La télédétection, Thèse Doctorat d'état, INA d'Alger, 258p.
- [28] :**CHEBBAH SARRA ,2014** .application des modèles 'pluie-débit' pour la prévision des crues (cas d'oued El Harrach)
- [29] : Rapport interne l'ANRH (2002).
- [30]:**MEDDI MOHAMED** ,Impact de s changement climatiques sur les eaux souterraines (cas du bassin hydrographique chefs-gardes)
- [31] :Projet GEF /pnud0039/49 second communication national de l'algerie sur les changement climatique a la CCNUCC.

Site internet :

- [3] : http://www.khaoula.com/algerie_climat.htm
- [8] : http://fr.wikipedia.org/wiki/Changement_climatique
- [9] :<http://www.grida.no/publication>
- [10] :<http://terresacree.org/rechauf.htm>
- [11] :http://www.notreplanete.info/actualites/actu_2569_academie_sciences_rechauffement_climatique.php
- [13] : <http://www.pensee-unique.fr/oceans.html> .