

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

-جامعة الجيلالي بونعاما – خميس مليانة-

UNIVERSITE DJILALI BOUNAAMA– KHEMIS-MILIANA



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département : Sciences de la Terre

Filière : Géologie

Spécialité: Hydrogéologie

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master

Thème

**Impact du Changement Climatique sur l'Évolution des Eaux Souterraine
dans le Bassin Versant du Bas Chélif**

Préparé par:

MAATIAT Yasser

BEN REKIA Sabrina

Devant le jury :

Mme HALOUZ Faiza	Président	MCB	UDBKM
Mr BOUCEFIANE Abdelkader	Promoteur	MCB	UDBKM
Mr RATTA Mohamed	Examineur	MCB	UDBKM

Année universitaire : 2021

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes vifs remerciements: A DIEU le Tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant toutes ces années d'étude.

A Monsieur Abdelkader Boucefiane notre promoteur, chargée de cours à l'université de Djilali Bounaama Khemis Meliana pour avoir accepté de diriger ce travail avec patience et compétence, pour ses précieux conseils et toute l'attention qu'il nous a accordé tout au long de ce mémoire et pour sa gentillesse.

A Mme. HALOUZE Faiza maitre conférence à l'université Djilali Bounaama Khemis Meliana de nous avoir fait l'honneur de présider Notre jury

A Mr. RATTA Mohamed maitre de conférence à l'université Djilali Bounaama Khemis Meliana d 'avoir accepté d'examiner notre travail.

Trouvez ici l'expression de mes vifs remerciements.

ملخص

. شهدت منطقة الشلف السفلى بشكل عام انخفاضًا في هطول الأمطار السنوي خاصة في العقود الأخيرة، وزادت منذ الثمانينيات مع تأثيرات سلبية على موارد المياه الجوفية ودورة هطول الأمطار.

الغرض من هذه الدراسة هو تسليط الضوء على وجود تغير المناخ، والذي يتجلى في التباين في كمية هطول الأمطار وعدم انتظامها بمرور الوقت وتأثيرها على تذبذب مستويات منسوب المياه الجوفية. من أجل تحقيق هذا الهدف استخدمنا مختلف البيانات والأساليب الإحصائية والمنهجية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من خلال هذه الدراسة وجود تباين في هطول الأمطار في أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات، تجلى عمومًا في التقلبات في أنماط هطول الأمطار. تنعكس أعراض هذا التباين المناخي في موارد المياه الجوفية حيث تمت دراسة الانخفاض المستمر في مستويات منسوب المياه الجوفية. ويعزى هذا الانخفاض بشكل رئيسي إلى قلة هطول الأمطار وارتفاع درجة الحرارة وزيادة عدد نقاط المياه والاستغلال المفرط لمخزون المياه الجوفية لحوض الشلف السفلي.

الكلمات المفتاحية: تغير المناخ ، نظام هطول الأمطار، منسوب المياه الجوفية، كشف التغيرات، تحليل منحى التغيرات، حوض الشلف السفلي، الجزائر

Résumé

La région du bas Cheliff en générale a connu une diminution de la pluviométrie annuelle surtout ces dernières décennies, et s'est accentuée à partir des années quatre-vingt en ayant des impacts négatifs sur les ressources en eau souterraine et le cycle de précipitation.

L'objet de cette étude est de mettre en exergue l'existence du changement climatique, manifestée par une variabilité de la quantité des précipitations et leurs irrégularités au cours du temps et leurs effets sur la fluctuation des niveaux piézométriques. Afin d'atteindre cet objectif nous avons utilisé diverses données et différentes méthode statistique et méthodologique.

Les résultats obtenues à travers cette étude ont démontré l'existence d'une rupture à la fin des années quatre-vingt jusqu'au début des années quatre-vingt-dix, manifestée généralement par des fluctuations des régimes pluviométriques. Les symptômes de cette la variabilité climatique se répercutent sur les ressources en eau souterraine d'où une baisse continue des niveaux piézométriques étudiés. Cette diminution est principalement due au manque des précipitations, de la température élevée, du nombre de points d'eau augmenté et de la surexploitation de la nappe alluviale du bas Cheliff.

Mots clés : Changement climatique, régime pluviométrique, piézométrie, détection de rupture, analyse des tendances, Bas Chélif, Algérie

Abstract

The Lower Cheliff region in general has experienced a decrease in annual rainfall especially in recent decades, and has been accentuated since the 1980s with negative impacts on groundwater resources and the precipitation cycle.

The purpose of this study is to highlight the existence of climate change, manifested by a variability in the amount of precipitation and its irregularities over time and their effects on the fluctuation of piezometric levels. In order to achieve this goal we have used various data and different statistical and methodological methods.

The results obtained through this study demonstrated the existence of a rupture in the late 1980s through the early 1990s, generally manifested by fluctuations in rainfall patterns. The symptoms of this climate variability are reflected in the groundwater resources where a continuous drop in the piezometric levels studied. This decrease is mainly due to the lack of precipitation, high temperature, increased number of water points and overexploitation of the alluvial aquifer of lower Cheliff.

Keywords: Climate change, rainfall regime, piezometry, break detection, trend analysis, Bas Chélif, Algeria

Sommaire

<i>ملخص</i>	<i>i</i>
<i>Résumé</i>	<i>ii</i>
<i>Abstract</i>	<i>iii</i>
<i>Introduction generale</i>	<i>1</i>
I. Aperçu bibliographique	- 2 -
I.1 Climat.....	- 2 -
I.2 Changements climatiques.....	- 2 -
I.2.1 Les causes du changement climatique.....	- 4 -
I.2.2 Les indicateurs du changement climatique.....	- 8 -
I.2.3 À l'échelle globale.....	- 10 -
I.2.4 A l'échelle régionale (l'Algérie).....	- 12 -
I.2.5 Impact du changement climatique sur les eaux de surface.....	- 12 -
I.3 Les études qui ont été fait dans le bassin méditerranéen.....	- 15 -
II. Présentation de la zone d'étude	17
II.1 Situation géographique.....	17
II.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant.....	18
II.3 Réseau hydrographique.....	24
II.4 Aspect hydroclimatique du bassin versant du Bas Cheliff.....	24
II.4.1 Les précipitations.....	25
II.4.2 Les températures.....	27
II.4.3 Diagramme de Gaussen.....	29
II.4.4 Évaporation.....	30
II.5 Contexte géologique.....	31
II.5.1 Stratigraphie.....	33
II.6 Contexte hydrogéologique.....	36
II.6.1 Les aquifères du Miocène.....	37
II.6.2 Les aquifères du Pliocène.....	37
II.6.3 Le aquifère alluvionnaire du Quaternaire.....	37
II.6.4 Le aquifère des calcaires à lithothamnium.....	37

III. Matériels et méthodes de travail.....	38
III.1 Données utilisées	38
III.1.1 Réseau de mesure pluviométrique de la région d'étude.....	38
III.1.2 Réseau de mesures piézométriques de la région d'étude	39
III.2 Méthodes de travail.....	40
III.2.1 Analyse des tendances dans les séries chronologiques.	40
III.2.2 Détection de la rupture au sein des série pluviométrique.....	41
III.2.3 Analyse de rupture au sein des séries pluviométriques	41
III.2.4 Interpolation piézométrique à l'aide de la géostatistique	44
III.2.5 Établissement des profils des cotes piézométrique	45
IV. Résultats et discussion	46
IV.1 Analyse des tendances dans les paramètres climatique	46
IV.1.1 Analyse des tendances de température.....	46
IV.1.2 Évolution des tendances dans les séries des précipitations	48
IV.2 Évolution et tendance du niveau de la profondeur de la nappe.....	55
IV.2.1 Analyse exploratoire des données piézométriques	55
IV.2.2 Évolution spatio-temporelle des niveaux piézométriques.....	56
Conclusion générale	55
Références bibliographiques.....	58

Liste des Tableaux

Tableau II-1 : morphologie de bassin versant du bas Cheliff	18
Tableau II-2 : Répartition des tranches d'altitudes.	20
Tableau II-3 : Classification du relief (Laborde, 2000).	22
Tableau II-4 : Synthèse des caractéristiques générales du bassin versant du bas Cheliff.	23
Tableau II-5 : Variation température mensuelles Max et Min (C°) Station CHLEF période	27
Tableau II-6 : Variation de la température moyenne mensuelle Station CHLEF (1995-2020)	28
Tableau II-7 : Valeurs de température (°c) et de pluviométrie (mm)	29
Tableau II-8 : Évaporation moyenne mensuelle Station CHLEF période 1995-2020	30
Tableau III-1 : Caractéristiques des stations pluviométriques.	38
Tableau III-2 : Disponibilité en observation des cotes piézométrique.	40
Tableau IV-1: Caractéristiques statistiques des séries pluviométriques.	49
Tableau IV-2: Résultats de test de rupture et déficits pluviométrique.	55

Liste des Figures

Figure I-1: Evolution des températures moyenne (l'OMM, 2021).....	- 3 -
Figure I-2 : Variations du taux de CO ₂ atmosphérique (Siegenthaler et Sanhuezza, 1991).....	- 5 -
Figure II-1: Localisation de la zone d'étude.....	17
Figure II-3 : Carte des sous bassins versants du Bas Cheliff.....	19
Figure II-5 : Carte de relief du bassin du Bas Cheliff.	21
Figure II-8: Évolution des précipitations annuelles (1968-2010).	25
Figure II-9 : Précipitations moyennes mensuelles (1968-2010).....	26
Figure II-10 : Température moyenne annuelle (Station CHLEF période1995-2020).....	27
Figure II-12 : Température Max et Min mensuelles (Station CHLEF période1995-2020).....	28
Figure II-14 : Température moyenne mensuelles (Station CHLEF période1995-2020).....	29
Figure II-16 : Diagrammes Ombrothermiques (stations, 012703, 013504).	30
Figure II-18 : Évaporation moyenne mensuelles (Période 1995-2020).	31
Figure II-19: Évaporation moyenne annuelles (Période 1995-2020).....	31
Figure II-20: La carte géologique de bassin versant du bas Cheliff	32
Figure II-21 : Echelle stratigraphique schématique	33
Figure II-22 : Schéma stratigraphique de miocène dans la partie centrale du bassin du Bas Cheliff. ...	35
Figure II-23: Coupe géologique dans le bassin Cheliff dans la direction Nord-Sud (LARBI BOUAMRANE F. et NABI O.E.K. 2019).....	36
Figure III-2: Carte de localisation des piézomètres du bassin du Bas Chélif.....	39
Figure III-4 : Module d'analyse géostatistique d' ArcGis	44
Figure IV-1: Évolution des tendances temporelles des températures(a) – Max, (b)- Min et (c)- Moyennes, à la Station CHLEF période 1995-2020.	47
Figure IV-3: Représentation en box plot de séries pluviométriques.....	50
Figure IV-4 : Evolution et tendance de la pluviométrie annuelle, à (a) les Stations KENENDA FERME (012703), (b) AMMI MOUSSA (012503), (c) L'HILLIL(012503).....	51
Figure IV-5: Exemple de l'ellipse de contrôle du test de Buishand (Station 012503).....	53
Figure IV-6 : Résultat de la détection de rupture dans les séries pluviométriques.	54
Figure IV-8 : Carte piézométrique des Hautes eaux pour la campagne Avril 1996.	57
Figure IV-9: Carte piézométrique des Hautes eaux pour la campagne Avril 2000.	57
Figure IV-10 : Carte piézométrique des Hautes eaux pour la campagne de Mai 2005.....	58
Figure IV-11: Tracé des profils piézométriques.	61
Figure IV-12: Profils piézométriques ((a)-hautes eaux et (b)- Basses eaux).....	61

Liste des symboles et Acronyme

CCNUCC : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

ANRH : Agence National des ressources en hydraulique.

GIEC : le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat.

OMM : L'Organisation météorologique mondiale.

GES : Gaz à effet de serre.

P_i : Précipitation de l'année i

P_m : Précipitation moyenne

σ: Écartype

FNS : le Fonds national Suisse

MEER : Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables)

MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

MRE : Ministère des ressources en eau

LGE : Laboratoire de Géosciences et Environnement

ONERC : l'Observatoire National sur les Risques du Réchauffement Climatique

NSIDC : le National Snow and Ice Data Center

ONM : Office national de météorologie

INTRODUCTION

GENERALE

Introduction generale

La variabilité climatique est un phénomène difficile pour en détecter ses différentes causes, se manifestant par les problèmes de désertifications, l'effet de serre, de sécheresse, de rareté des eaux et changement de leur chimisme, ainsi que l'érosion des sols et leur salinisation.

La demande en eau associées à une sécheresse pouvant causer une diminution des points de vue quantité et qualité des eaux souterraines. Aussi une pénurie de ressource hydrique superficielle et une exploitation intensive des nappes souterraines sortant à usage agricole, entraînent une forte baisse des niveaux phréatique particulièrement ces dernier temps. Plusieurs étude établies ayant pour but de connaitre plus d'informations sur le changement climatique et la variabilité climatique, aussi l'influence et les impacts de ces changements sur les différentes ressources en eau superficielle et souterraine ; d'où sur l'évolution de la variabilité le changement climatique et leur impacts sur la variation du niveau piézométrique de la nappe d'eau souterraine.

Notre travail est composé de quatre parties axées à savoir :

- La première partie s'agit d'une synthèse bibliographique dans le but de cerner les notions de climat, le changement climatique et les causes de l'évolution du climat, ainsi que l'impact de changement sur les ressources en eau.
- La deuxième partie est réservée à la présentation de la zone d'étude et la problématique liée à la disponibilité et la qualité des données.
- la troisième partie nous procédons à la détection de rupture pluviométrique tout en définissant les indices climatiques et leur rôle relatif au suivi de l'évolution de climat.
- Dans la dernière partie concerne l'application de ces méthodes dans la zone d'étude et en interpréter les résultats reçus

Chapitre I :

APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE

I. Aperçu bibliographique

I.1 Climat

Le mot climat lui-même est attesté au XII^e siècle, d'abord dans le sens « région climatique » plutôt que dans le sens moderne de « climat », qui apparaît à partir du XVIII^e siècle. Comme dérivé du latin *climatis* qui provient du grec *κλίμα*, le *Klimt* est l'inclinaison d'un point de la Terre par rapport au Soleil, cette notion de « klimat » y est très éloignée du concept moderne du climat. (Tabeaud, 2008)

Le climat selon la définition de l'Organisation Météorologique Mondiale, est « la synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère », et les changements saisonniers comme le passage de l'hiver au printemps, de l'été à l'automne dans les zones tempérées et de l'humidité à la sécheresse dans les régions tropicales, font aussi partie du climat. (OMM)

En 1910, Hann a défini le climat comme étant « l'ensemble des éléments **météorologiques** qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère au-dessus d'un lieu » (Helga-Jane et Isabelle, 2010), le climat peut être défini aussi comme « la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région au cours d'une certaine période donnée » (Christian 2002); Autrement dit, **le climat est la distribution statistique des conditions atmosphériques dans une région ou d'un lieu donnée pendant une période donnée**, il est effectué à l'aide de valeurs moyennes établies à partir de mesures statistiques, mensuelles et annuelles sur la base des données atmosphériques locales (température, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air et vitesse des vents) (Baghdadli, 2014), calculées d'après les observations d'au moins 30 ans.

Le climat joue un rôle essentiel dans la répartition des végétaux et des animaux et dans la formation des sols, par le jeu de l'altération des matériaux géologiques et de la décomposition ou de la conservation de la matière organique

I.2 Changements climatiques

Lorsque l'équilibre entre l'énergie entrante et l'énergie sortante est perturbé, cela change la quantité de chaleur dans le système climatique et agit sur tous les processus décrits ci-dessus, transportent la chaleur autour du globe. Nous y sommes confrontés sous la forme de régimes climatiques changeants, dont les conséquences peuvent être vastes, étant donné qu'un si grand nombre d'activités humaines sont adaptées aux conditions qui prévalent depuis très longtemps.

La menace du changement climatique est le centre d'inquiétude de la communauté internationale, afin de comprendre cet intérêt international, il faudrait connaître la signification du terme « changement climatique », le sens du terme « changement climatique

» est assez simple à comprendre et ne suscite plus de controverses, cependant, ses causes, sa magnitude ainsi que les impacts de ces changements sur le bien-être humain et l'environnement sont très discutés.

Le changement climatique (les modifications du climat regroupant tous les éléments qui constituent le temps à savoir; la température, les précipitations et les vents) est «un état altéré du climat qui peut être identifié par le changement dans la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés qui persiste pendant une période prolongée généralement durant des décennies ou plus»; le changement climatique désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné au cours du temps : (réchauffement ou refroidissement, certaines formes de pollution de l'air, résultant d'activités humaines menacent de modifier sensiblement le climat, dans le sens d'un réchauffement global, ce phénomène peut entraîner des dommages importants, la fonte des glaciers et des calottes glaciaires polaires, élévation du niveau des mers qui entraîne des inondations dans certaines régions, tandis que d'autres sont confrontées à des vagues de chaleur et des sécheresses de plus en plus extrêmes, et la déstabilisation des forêts, menaces sur les ressources d'eau douce, difficultés agricoles, désertification, réduction de la biodiversité, extension des maladies tropicales, etc.

La grande inconnue relative aux dérèglements climatiques demeure l'intensité du phénomène et sa distribution dans l'espace, le changement climatique se révèle un phénomène unique sur l'ensemble de la planète, mais les causes sont réparties sur toute la surface du globe de façon inégale selon les régions ou les pays, ses conséquences connaîtront une répartition sans rapport avec les causes, cette répartition incertaine et différenciée dans l'espace (entre continents, entre pays, entre régions...) (**Mousel, 1999**).

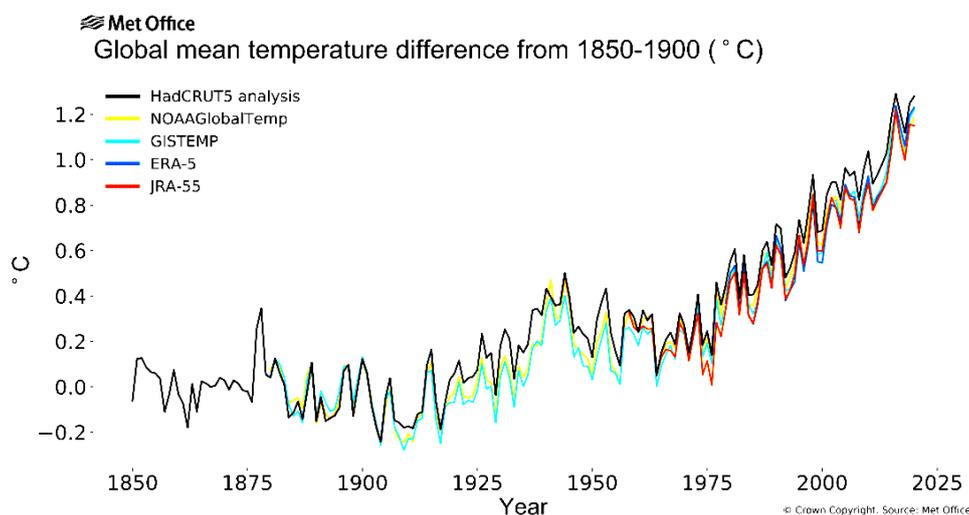


Figure I-1: Evolution des températures moyenne (l'OMM, 2021)

Les six années écoulées depuis 2015 ont été les plus chaudes jamais enregistrées, et la décennie 2011-2020 a été la plus chaude jamais constatée. **OMM**

I.2.1 Les causes du changement climatique

Les facteurs à l'origine des changements du climat peuvent être divisés en deux catégories, ceux liés à des processus naturels et ceux liés à l'activité anthropique, outre les causes naturelles, les changements internes du système climatique notamment les variations des courants océaniques ou de la circulation atmosphérique peuvent également exercer une influence sur le climat pendant de brèves périodes, cette variabilité interne naturelle du climat se superpose aux changements climatiques à long terme causés par des agents de forçage.

I.2.1.1 Les causes naturelles

Des facteurs naturels externes au système climatique comme des changements de l'activité volcanique, de l'émission d'énergie solaire et de l'orbite de la Terre autour du Soleil peuvent altérer le climat de la planète, parmi ceux-ci, les deux facteurs qui sont déterminants à des échelles temporelles pour les changements climatiques contemporains, sont les changements à l'activité volcanique et les changements au rayonnement solaire, ce qui a trait à l'équilibre énergétique de la Terre ; Ces facteurs agissent principalement sur la quantité d'énergie reçue.

1) L'effet de serre

Il existe un grand nombre de gaz à effet de serre naturellement présents dans l'atmosphère, mais dont la concentration varie du fait des activités humaines et leurs impacts sur le climat dépendent de leur capacité à absorber et émettre du rayonnement infrarouge, de leur concentration dans l'atmosphère et de leur durée de vie (**meteofrance.fr par Kevin Trenberth**).

L'effet de serre provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète Indispensable à notre survie, ce fragile équilibre est menacé, les activités humaines affectent la composition chimique de l'atmosphère et entraînent l'apparition d'un effet de serre additionnel responsable en grande partie du changement climatique actuel (**Kevin Trenberth**).

Les gaz à effet de serre, que sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitrique, piègent ce rayonnement thermique dans l'atmosphère terrestre et augmentent ainsi la température au sol.

Si l'un des éléments régissant le système climatique subit des modifications considérables, l'équilibre peut être rompu, ce qui entraînerait un changement climatique planétaire qu'il soit temporaire ou permanent (**SAIDA, 2007**)

Selon les données provenant de l'observatoire de Mauna Loa aux Hawaï, Etats-Unis, une tendance observée depuis 35 ans, à savoir l'augmentation régulière des niveaux de CO₂ atmosphérique, s'est interrompue vers le milieu de 1991 alors que les concentrations de CO₂ étaient d'environ 355 ppmv. fin 1993, on a détecté une diminution de 1,5 partie par million

(ppmv) du CO₂ atmosphérique, appliqué à l'ensemble de l'hémisphère nord, cela équivaldrait à une perte de 1,6 Gt (1,6 x 10⁹ tonnes) de carbone, cette réduction du taux d'accumulation de CO₂ a commencé peu de temps après l'éruption du Mont Pinatubo, volcan philippin, en 1991 et s'est produite malgré le fait qu'un phénomène ENSO avait eu lieu en 1991-92.

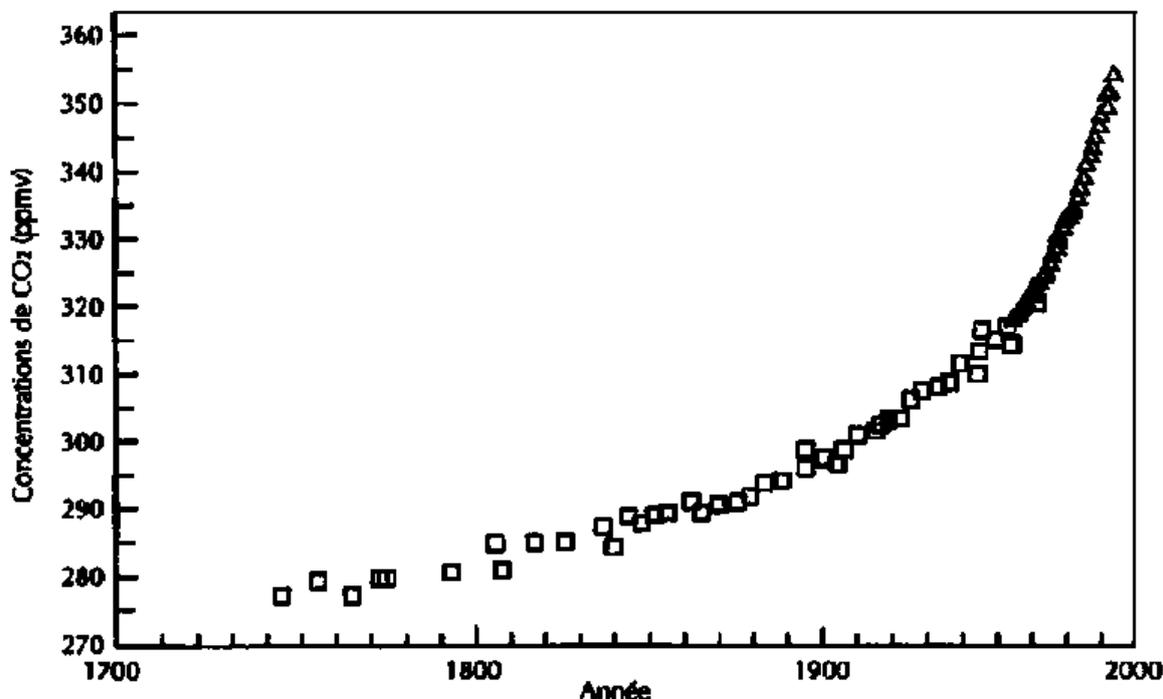


Figure I-2 : Variations du taux de CO₂ atmosphérique (Siegenthaler et Sanhuezza, 1991)

- **L'ozone** présent naturellement dans la stratosphère vers 20 km d'altitude, il nous protège du rayonnement solaire ultraviolet qu'il absorbe, l'ozone est également produit dans les basses couches de l'atmosphère à partir de composés organiques volatiles émis par les activités humaines (transports), ce gaz contribue pour 6 % de l'effet de serre total, mais son rôle est complexe, puisqu'il a à la fois des propriétés radiatives et des propriétés réactives en troposphère, le rapport de mélange varie grandement, entre 10 et 500 ppb, il ne reste pas plus de deux mois dans l'atmosphère.

- **Le méthane (CH₄)** provient de l'élevage des ruminants, de la culture du riz, des décharges, des exploitations pétrolières, gazières et charbonnières, son pouvoir réchauffant est supérieur à celui du carbone, mais le rapport de mélange dans l'atmosphère est largement inférieur à 1,7 ppm. (meteofrance.fr par Kevin Trenberth)

- **Le protoxyde d'azote (N₂O)** appelé également « gaz hilarant », est émis naturellement par les sols et provient notamment de l'utilisation d'engrais azotés, ces engrais azotés fixent l'azote atmosphérique (80 Mt par an), mais une importante fraction est réémise dans l'atmosphère sous forme de composés réactifs, le rapport de mélange du protoxyde d'azote est de 310 ppb, et sa durée de vie de 150 ans

- **Les aérosols** sont de fines particules en suspension dans l'air, ils sont présents naturellement dans l'atmosphère (volcanisme, incendies...), mais leur concentration a grandement augmenté avec les activités industrielles contrairement aux gaz à effet de serre, les aérosols ont un effet généralement refroidissant sur le système terre-atmosphère, ces poussières en suspension absorbent et diffusent le rayonnement solaire dont une partie est renvoyée vers l'espace, et une partie du rayonnement solaire manque donc à l'atmosphère, mais aussi à la surface terrestre, d'où cet effet refroidissant, en plus de cette conséquence directe les aérosols ont un impact sur la formation, la composition physique et l'albédo (pouvoir de réflexion) des nuages, ces effets indirects provoquent également un refroidissement à l'inverse d'autres effets de réchauffement liés aux aérosols sont aussi possibles (en particulier pour les aérosols carbonés et le dépôt d'aérosols sur la neige), mais les effets refroidissants l'emportent globalement masquant en partie le réchauffement dû aux gaz à effet de serre, les aérosols font l'objet de recherches pour mieux comprendre et quantifier leur impact (**IPCC, 1992-1994**) et **meteofrance.fr** par **Kevin Trenberth**

- **Activité solaire**

Le Soleil fournit à lui seul 99.96% de l'énergie qui pénètre dans l'environnement terrestre ; il est donc un candidat tout désigné pour s'immiscer dans le débat sur les causes du réchauffement climatique, ce lien entre activité solaire et réchauffement fascine, car il fait intervenir un grand nombre de mécanismes dont certains sont peu connus, le rayonnement ultraviolet et son impact sur la couche d'ozone sont connus de longue date, en revanche le lien indirect entre le champ magnétique solaire et l'activité orageuse sur Terre a longtemps été ignoré. (**Thierry Dudok**)

Le premier à avoir tenté de faire le lien entre l'activité solaire et le climat terrestre est l'astronome britannique William Herschel (1738-1822), vu le peu de données dont il disposait. Mais il consacre le début d'un certain intérêt scientifique pour les liens entre activité de notre étoile et les fluctuations du climat (**William Herschel 1822**).

Le Soleil constitue un paramètre de taille dans les fluctuations des températures terrestres qui suit différents cycles, les oscillations de son activité modifient l'intensité du rayonnement qui parvient sur Terre ; Une étude soutenue par le Fonds national suisse (FNS) remet ce postulat en cause, des chercheuses et chercheurs de l'Observatoire Physico-météorologique de Davos (PMOD), de l'Eawag de l'ETH Zurich et de l'Université de Berne se sont appuyés sur des numérisations informatiques complexes et sont parvenus à établir une estimation solide de l'influence du Soleil sur la température globale au cours des cent prochaines années, ils ont pour la première fois pu mettre en évidence des effets notables : un refroidissement d'un demi-degré lorsque l'activité solaire atteindra son prochain minimum. (**FNS mars 2017**)

- **Activités volcaniques**

Il semble que l'activité volcanique soit en fait la véritable cause avec des injections de dioxyde de soufre dans l'atmosphère, les variations de la température de surface, des échelles

régionales à globale, la contribution des fortes éruptions volcaniques à ces variations de température a été revue à la hausse par ces études y compris aux échelles décennale voire centennale.

La météorologie régionale peut être en effet perturbée significativement de quelques semaines à quelques mois de manière importante, et sur une plus longue durée par certains volcans.

Certains dégagent des fumées soufrées en continu, d'autres entrent en éruption brutalement sans signes annonciateurs, mais les volcans ayant eu un impact majeur sur la planète sont rares, en tout cas sur le dernier millénaire,

I.2.1.2 Les causes anthropiques

Le climat de notre planète bleue est soumis à de nombreuses influences naturelles, son parcours autour du Soleil, les variations d'activité de ce même Soleil, les mouvements atmosphériques, etc, mais les experts s'accordent à dire que les causes du réchauffement climatique en cours sont à chercher dans les activités humaines, au fil des millénaires, notre Terre a connu des changements climatiques parfois importants, comme des périodes de refroidissement global, des périodes glaciaires qui ont bouleversé le visage de notre planète, aujourd'hui encore, elle doit faire face à un changement climatique global et aux conséquences d'un réchauffement climatique, mais contrairement à tous les précédents, les causes de celui-ci, affirment les scientifiques, sont à chercher du côté des activités humaines. **(Nathalie Mayer futura-sciences 02-2020)**

Le réchauffement climatique mondial de ces 50 dernières années est probablement dû à plus de 95% à l'activité humaine, l'évaluation des risques du changement climatique provoqué par l'homme ainsi que la définition de stratégies d'atténuation et d'adaptation sont assurées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), une institution interétatique créée par le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM).

L'effet de serre, lié aux activités humaines, a déjà provoqué une augmentation de la température de 1°C environ par rapport à l'ère industrielle, certains changements climatiques sont déjà visibles mais leurs impacts sont encore faibles, c'est pourquoi il est impératif d'agir vite et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Plus le changement climatique sera important, plus l'équilibre de nos écosystèmes sera menacé. Ainsi, l'augmentation de la température moyenne de plus de 1,5°C entraînerait des phénomènes climatiques extrêmes qui auront un impact direct sur des phénomènes tels que l'élévation du niveau de la mer, la fonte des glaces, la migration contrainte de certaines populations

I.2.2 Les indicateurs du changement climatique

Aujourd'hui l'un des sujets d'actualité les plus brûlants porte inéluctablement sur le changement climatique qui devient de plus en plus un phénomène inquiétant ; un nombre d'indicateurs permettent de constater et d'affirmer la survenance d'un tel changement sur la planète ;

- **Hausse de Température**

La hausse croissante des températures est l'un des premiers indicateurs de changement climatique, il existe un seuil normal de température en fonction de chaque région du globe et de chaque période prise en compte, lorsque ce seuil reconnu normal est largement dépassé, cela constitue une preuve concrète de changement climatique, cette hausse de température se manifeste par un réchauffement général de la planète, celui-ci peut atteindre des proportions très élevées, la hausse de la température à la surface de l'eau de l'est de l'océan Pacifique est un cas concret de hausse de température, un preuve de changement climatique selon les experts mondiaux en climatologie, la hausse des températures est la conséquence directe de l'activité humaine engendrant une émission massive de gaz à effet de serre.

- **Montée des Eaux**

La montée des eaux est une conséquence directe du réchauffement climatique dû à la hausse des températures, cette augmentation (hausse) des températures entraîne la fonte des glaciers, le volume d'eau est ainsi décuplé et par conséquent le niveau augmente, aussi le volume d'eau est-il augmenté par le phénomène de la dilatation thermique appelée contribution stérique? Au cours de ce phénomène, plus l'eau devient chaude, plus son volume augmente, ce qui constitue un indicateur concret de changement climatique.

- **Augmentation de la Concentration du Gaz à Effet de Serre**

Les principaux gaz à effet de serre notamment le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane et le protoxyde d'azote émanent essentiellement de l'activité humaine, ils constituent des éléments de réchauffement très actifs de la planète selon les chercheurs, à un certain seuil exprimé en partie par million (ppm), ils sont considérés comme normales, mais lorsque leur concentration augmente considérablement cela signifie que le changement climatique

- **Le Recul des Glaciers et Banquises**

Les glaciers et banquises désignent d'énormes blocs de glace situés majoritairement en Antarctique au Groenland et en Arctique, à l'origine ces blocs de glace recouvraient une très vaste étendue d'eau et possédaient une grande épaisseur, mais le réchauffement climatique a causé leur retrait suivi de dégel, ce phénomène de recul des glaciers est un indicateur de changement de température et par ricochet de climat.

- **La Sécheresse**

La sécheresse est un phénomène qui se traduit par un assèchement des sols altérant le bon développement de la faune et de la flore, elle est due à un dérèglement du cycle normal de pluviosité, et donc à l'absence d'eau ; les températures élevées sont aussi un élément qui accentue la sécheresse témoignant ainsi d'un sérieux changement ou d'une grande perturbation du climat.

- **Les inondations**

Plusieurs raisons expliquent la survenance des inondations, mais parmi celles-ci, les chercheurs climatologues retiennent le changement climatique comme l'une des principales raisons selon les récentes études, le réchauffement climatique aggrave les inondations et entraîne leur régularité, cela permet de considérer les inondations comme un indicateur de changement climatique.

- **La Propagation d'Algues**

Les eaux chaudes constituent un environnement favorisant la propagation des algues, ainsi, plus le réchauffement climatique entraîne le réchauffement des eaux, plus ces plantes nuisibles envahissent la surface des eaux, à titre illustratif, une importante zone du Pacifique nord allant de la Californie en Colombie-Britannique et au Canada a été affectée par une sévère propagation d'algues, car les eaux étaient devenues beaucoup plus chaudes.

- **Les Ouragans**

Les ouragans ne sont pas intimement liés au changement climatique, ils sont dus à d'autres causes, cependant le changement climatique renforce l'intensité des ouragans, leur fréquence ainsi que leur durée, ceci s'explique par le fait que l'augmentation de l'effet de serre engendre une accumulation d'énergie dans le système climatique. Le réchauffement des eaux sert aussi à doter l'ouragan d'une force dépassant la normale.

- **Les Feux de Forêt**

Le changement climatique constitue la cause de la sécheresse en asséchant ainsi la végétation, il entraîne un accroissement du risque météorologique de feux de forêt, en période normale une saison sèche alterne avec une saison pluvieuse, mais lorsque le réchauffement climatique brouille ce cours normal des choses en faveur de la sécheresse, les conditions idéales pour les feux de brousse destructeurs sont réunies.

- **Extinction progressive de la biodiversité**

Le changement ou le réchauffement climatique a énormément d'impacts sur le mode de vie des espèces animales, ce réchauffement bouleverse considérablement le mode de vie de certaines espèces au point d'entraîner progressivement leur extinction, car les obligeant à

vivre dans des milieux qui ne sont absolument pas les leurs, tel est le cas des ours polaires, des manchots, des pikas, des pandas ou des phoques.

- **La Recrudescence des Effondrements de Terrain**

Les effondrements de terrain sont un indicateur de changement climatique parce qu'ils sont causés par le dégel du permafrost. Ce dégel du permafrost est causé par le réchauffement climatique. Il rend le sol plus meuble et engendre un accroissement de la pression d'eau dans la roche.

- **Intensification des Tempêtes**

S'il est avéré que le changement ou le réchauffement climatique n'est pas la cause première des tempêtes, il n'en est pas de même de l'accroissement de leur fréquence et de leur puissance, la chaleur est l'un des éléments attisant les grandes tempêtes, celle émanant du réchauffement climatique renforce la puissance de ces tempêtes et accélère leur fréquence, il en résulte que cette intensification est un indicateur concret du changement climatique.

- **Les Pluies Extrêmes**

Les pluies sont un phénomène naturel normal. Elles tombent suivant une fréquence donnée. Mais lorsque cette fréquence connaît un dérèglement qui engendre des pluies diluviennes et incontrôlables, cela est le signe d'un trouble climatique, symbole de changement.

- **Diminution de l'Enneigement**

La diminution de l'enneigement est un indicateur de changement climatique. En effet, lorsque les températures s'élèvent, la neige présente sur le sol fond beaucoup plus vite. L'épaisseur des flocons de neige et la durée de la période d'enneigement diminuent donc considérablement.

- **Dégradation Accélérée du Littoral et Erosion**

La disparition progressive du littoral est aggravée par le changement climatique. En effet, le littoral recule à cause de l'érosion marine engendrée par la montée des eaux ; ce phénomène étant directement lié au réchauffement climatique. (ONERC)

I.2.3 À l'échelle globale

Selon le 4^{ème} rapport du GIEC publié en 2007, les changements climatiques observés à l'échelle globale peuvent être résumés en :

- L'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre selon le même rapport, la nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours des cents dernières années

(1906-2005) de 0,74 (0,56 à 0,92)°C est donc plus grande que n'était la valeur analogue calculée au moment du troisième rapport de 0,6 (0,4 à 0,8)°C pour la période 1901-2000.

- Les concentrations des trois principaux gaz à effet de serre (GES), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane et protoxyde d'azote ont atteint au monde de nouveaux sommets en 2017 et poursuivent sur leur lancée cette année.

- Les glaciers de la planète ont aussi rétréci pour la 38^{ème} année consécutive, en Suède le sommet sud du Kebnekaise a perdu son statut de point culminant du pays en raison de températures exceptionnelles cet été, non seulement les températures moyennes continuent de s'élever inexorablement, mais tous les phénomènes liés à l'élévation du mercure s'accroissent, les surfaces de banquise en Arctique, comme en Antarctique, ont atteint des niveaux exceptionnellement bas, tout au long de 2016 au mois de novembre, le déficit de glaces de mer par rapport à la moyenne 1980-2010 affichait 4 millions de km², une anomalie sans précédent connu à cette période de l'année, aucun rebond ne se fait jour depuis début 2017 au nord comme dans l'hémisphère austral, les surfaces de banquise sont nettement en deçà des normales en avril selon le National Snow and Ice Data Center, ce déficit excédait légèrement 1 million de kilomètres carrés. **(NSIDC)**

- L'augmentation du niveau de la mer d'environ 17cm au cours du dernier siècle, le niveau moyen des océans s'est élevé ces dernières années de plus de 22 cm au XX^{ème} siècle, aujourd'hui, il monte d'environ 3,3 mm par an et le phénomène semble s'accroître, le niveau des mers a crû 25 à 30% plus vite entre 2004 et 2015 par rapport à 1993-2004, la fonte de la calotte du Groenland explique en partie cette augmentation, mais l'Antarctique pourrait en devenir le principal moteur avant 2012, le continent blanc perdait 76 milliards de tonnes de glace par an, depuis ce chiffre a bondi à 219 milliards. **(Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)**

Par la suite, si le réchauffement restait à +1,5 °C par rapport à l'ère préindustrielle, le niveau des mers gagnerait 26 à 77 cm d'ici à 2100 selon les projections des experts du **GIEC**.

- Une diminution dans la masse des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique.

- Modification de la fréquence des événements extrêmes : Le réchauffement favorise déjà des phénomènes extrêmes en particulier des sécheresses, des canicules et des ouragans au 20 novembre, l'OMM recensait 70 cyclones tropicaux en 2018 (pour une moyenne annuelle historique de 53) selon certaines études, le nombre de sécheresses, incendies, inondations et ouragans liés au dérèglement a doublé depuis 1990. **(OMM)**

I.2.4 A l'échelle régionale (l'Algérie)

I.2.4.1 Impacts sur la ressource en eau

Les effets du changement climatique sur le cycle hydrologique, c'est une certitude admise par l'ensemble de la communauté internationale scientifique. Cependant les conséquences, leur ampleur et leur durée sont difficiles à mesurer avec précision, de même, les masses d'eau comme les mers, les océans et les grands réservoirs d'eau douce (nappes phréatiques) se caractérisent par une grande inertie : les effets se mesurent donc sur le long terme et sont difficiles à estimer sur des échelles de temps courtes.

Les pays maghrébins (Algérie, Maroc et Tunisie) n'ont pas été épargnés par l'impact de ces changements qui affectent négativement la plupart de leurs ressources en eau. par la raréfaction de la ressource en eau, l'augmentation de la salinité suite à l'invasion des eaux de mer et l'accentuation de la salinité du sol, dégradant ainsi la qualité de la source en eau. Le nord-ouest de l'Algérie a connu une réduction de l'ordre de 40 % des précipitations annuelles à partir de la première moitié des années 1970. **(LGE)**

Les experts du GIEC estiment globalement que le nombre d'êtres humains souffrant d'un manque d'eau pourraient tripler au cours de ce siècle, atteignant le chiffre de 3,2 milliards, si les températures devaient augmenter de plus de 4°C. Les populations les plus pauvres seront bien entendu les premières touchées par l'aggravation de la situation de l'eau au niveau mondial. Les trois phénomènes principaux affectant les réserves d'eau douce disponibles pour la consommation humaine sont la baisse des précipitations dans certaines régions, la montée du niveau des mers, et la fonte des glaciers. 38% de la population mondiale sera exposée au stress hydrique en 2025 contre 9% en 2008 **GIEC**

I.2.5 Impact du changement climatique sur les eaux de surface

Au fur et à mesure que les températures tendent vers des extrêmes sous l'effet des changements climatiques, le taux d'évapotranspiration augmente. Plus l'évapotranspiration est élevée, moins il y a d'eau à la surface de la terre, et inversement. Cela influence l'ensemble du cycle hydrologique annuel et peut conduire à des extrêmes imprévisibles : trop peu d'eau, synonyme de sécheresse, ou trop d'eau, d'inondation. **(Tricia Stadnyk)**

- **Ruissellement et débits fluviaux**

Plusieurs études indiquent que l'écoulement de surface a augmenté à l'échelle globale au cours du 20ème siècle.

Cette évolution masque toutefois des tendances régionales opposées: les débits des fleuves ont augmenté de manière importante en Europe du Nord et au nord-ouest de l'Amérique du Nord tandis qu'ils ont eu tendance à diminuer en Europe du Sud et en Afrique sub-saharienne

- **variables du système de précipitation**

Distribution spatiale et temporelle des précipitations globales. En effet, il est possible d'affirmer que le cycle hydrologique d'une région est étroitement lié aux modifications du régime de précipitation (Bates et al, 2008).

A l'inverse des régions subtropicales, les régions situées dans l'hémisphère nord verront leurs précipitations augmenter. Des précipitations plus importantes sont déjà observées sur le continent américain, en Europe du Nord, en Asie Centrale et en Asie du Nord.

Ces précipitations ont pour conséquence un ruissellement plus important, qui impacte à son tour les écosystèmes et génère inondations et glissements de terrain. La disponibilité de cette eau dépend de la capacité de l'homme à la retenir. (PNUE) Programme des Nations Unies pour le développement

- **augmente la contamination de l'eau douce par l'eau de mer**

Les réserves d'eau douce ne sont pas isolées de l'eau de mer (porosité des roches). Par effet de vase communiquant, le prélèvement en eau douce se traduit par la contamination de l'eau douce par l'eau de mer. Le réchauffement de la planète qui se traduit par la fonte des glaces et l'élévation du niveau des mers vient renforcer ce phénomène. **GIEC**

I.2.5.1 Impact du changement climatique sur les eaux souterraines

L'eau souterraine sera moins directement et plus lentement touchée par le changement climatique que les eaux de surface. C'est parce que les rivières se reconstituent sur une échelle de temps plus courte, et la sécheresse et les inondations se retrouvent rapidement dans les niveaux d'eau de la rivière. L'eau souterraine, par contre, sera affectée plus lentement. Les principaux domaines où le changement climatique affecte l'eau souterraine est par la recharge, la décharge et le stockage. En volume.

Le dernier rapport du GIEC souligne l'insuffisance des travaux de recherche concernant l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines. De plus les résultats existants sont très dépendants des spécificités locales. Généralement, le manque de données d'observations empêche d'établir des relations de cause à effet entre le changement climatique et les eaux souterraines, les chroniques des piézomètres étant soit trop courtes, soit trop influencées par les prélèvements et/ou les changements d'occupation des sols (**Vernoux, 2015**).

I.2.5.2 Influence sur la recharge

La sensibilité de la recharge aux variations climatiques est reliée aux changements de la quantité de précipitation effective elle-même fortement dépendante de l'évapotranspiration (**Kumar, 2012**). Bien que les effets des variations climatiques sur la recharge soient difficiles à apprécier, certains indices conservés dans l'eau souterraine (signatures isotopiques des

éléments constitutifs de l'eau et des concentrations en gaz nobles) permettent de contraindre les conditions climatiques au cours de la recharge et la durée depuis laquelle cette recharge s'est effectuée (**Bakari et al. 2012**).

Depuis les dernières décennies, la couverture neigeuse a diminué de façon plus ou moins marquée dans la grande majorité des régions. Il a de plus été possible de noter une tendance à la baisse des jours de neige au sol (**Bates et al, 2008**).

Le réchauffement climatique a déjà modifié l'ampleur ainsi que la période d'occurrence de la fonte printanière dans les régions caractérisées par une saison hivernale d'accumulation de neige au sol.

I.2.5.3 Influence sur la résurgence (décharge)

La décharge, est caractérisée par la circulation d'eau au sein d'une aquifère sortante de celui-ci. Les zones naturelles caractéristiques de décharge d'eau souterraine sont les réseaux hydrographiques, les marais, les zones humides, les lacs et les océans. L'intime relation existant entre ces compartiments d'eau de surface et la partie souterraine implique que si un de ces compartiments est impacté par le climat, les autres le seront aussi. Néanmoins, l'impact climatique sur la décharge est moins bien connu du fait du manque de données et de la difficulté à quantifier ces processus (**Van Vliet, 2007**). Les interactions des eaux souterraines avec les compartiments de surface sont aussi dépendantes des niveaux relatifs entre eux, l'impact du climat se fait donc ressentir indirectement par l'altération de la recharge et/ou des mécanismes de décharge (comme l'évapotranspiration).

I.2.5.4 Influence sur le stock (ou emmagasinement)

Du fait de l'affectation des entrées (recharge) et des sorties (décharge) du système hydrologique par les variations climatiques, le stock d'eau au sein du système est lui aussi modifié. Les variations de quantité d'eau (variation de l'emmagasinement) correspondant à la différence entre la recharge et la décharge sont dépendantes des propriétés du système souterrain et de l'échelle de temps suivant les processus considérés (pouvant aller de la journée aux milliers d'années).

Les aquifères peu profonds sont plus sensibles aux variations climatiques se produisant sur des petites échelles de temps (**Kundzewicz et Döll, 2009**), contrairement aux systèmes profonds qui réagissent aux perturbations climatiques majeures sur de grandes échelles de temps (**Clifton et al., 2010**). L'influence des variations climatiques sur le stock d'eau dépendra aussi de la durée de renouvellement des eaux souterraines considérées (ressource renouvelable ou « fossile »). Ce concept des eaux souterraines non renouvelables fait référence à la durée de renouvellement des eaux. Dans certaines situations, le laps de temps nécessaire pour renouveler la ressource en eau souterraine peut être très long par rapport à la durée moyenne des activités humaines et aux plans de gestion associés (**Margat et al. 2006**).

I.2.5.5 Influence sur la qualité

Enfin, le climat n'affecte pas seulement la recharge, le stock et la décharge des systèmes souterrains, mais peut aussi influencer la qualité de l'eau souterraine (**Dragoni et Sukhija, 2008**). En effet, la qualité des eaux souterraines dépendante des propriétés physiques, chimiques et biologiques des aquifères est notamment contrôlée par les fluctuations climatiques. La perturbation de la recharge et de la température de l'eau modifie la chimie de l'eau, les communautés bactériennes, le transport de soluté et les temps de résidence (**Van Vliet, 2007**). La salinisation des eaux souterraines constitue l'une des principales causes de dégradation de la qualité de l'eau dans le monde (**Kloppmann et al., 2010**). L'intrusion d'eau salée peut donc être un problème majeur (**Cloutier et al., 2009**). Les variations climatiques peuvent entraîner des modifications du niveau marin (expansion des océans, fonte des glaces...) ainsi que des taux de recharge des aquifères et donc se caractériser par des intrusions d'eau de mer dans les aquifères par modification de l'équilibre existant (**Ranjan et al., 2006**). La qualité des eaux souterraines et donc leurs caractéristiques chimiques peuvent être des indicateurs de processus particuliers d'interactions entre l'eau et la roche ou d'évènements spécifiques de périodes climatiques passées (**Dragoni et Sukhija, 2008**).

I.3 Les études qui ont été fait dans le bassin méditerranéen

Les recherches climatiques datent du 20^{ème} siècle. Au départ, ces recherches consistaient essentiellement en la détermination de statistiques de différents paramètres climatiques tel que les précipitations, la température, la vitesse des vents, etc.

Les données sur les différents paramètres climatiques (quatrième rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat ; « changement climatique 2007 : les bases scientifiques physiques ») font apparaître une tendance à la modification du climat.

L'évolution générale du climat lors du 20^{ème} siècle, au moins dans sa deuxième moitié, montre un changement avec des tendances au réchauffement (GIEC, 2007). La région méditerranéenne qui est caractérisée par une forte variabilité interannuelle du régime pluviométrique due à une position géo-climatique vulnérable, a généré de nombreuses recherches sur la caractérisation du climat et sur la disponibilité en eau dans cette partie du globe (**Badri et al., 1994 ; Meddi et Meddi, 2009**).

Plusieurs études d'impact de changement climatique sur les ressources en eaux souterraines ont été entreprises en Algérie ainsi que dans autre pays de la méditerranée, parmi les quelles :

- El ibrahimi Abdelhamid et al (2015), ont travaillé sur l'étude de l'impact des variations pluviométriques sur les fluctuations piézométriques des nappes phréatiques superficielles en zone semi-aride (cas de la plaine de Saïss, Nord du Maroc). L'objectif de ce travail été de mettre en exergue l'existence d'une variabilité climatique, manifestée

principalement par une variabilité dans la quantité des précipitations et leurs irrégularités au niveau de la plaine étudiée et à mettre en évidence son impact sur l'alimentation des réserves d'eaux souterraines.

Les résultats de ces études montrent que la variabilité climatique caractérisée par une alternance de phases humides, normales et sèches ont été mises en évidence dans la zone d'étude. Les indices et méthodes statistiques indiquent l'existence d'une rupture en 2008-2009 enregistré essentiellement par des fluctuations des régimes pluviométriques. Les indications de cette variabilité climatique se sont répercutées sur les ressources en eau souterraine. Une diminution importante du niveau statique de la nappe phréatique superficielle apparaît dans les piézomètres témoins qui a atteint un niveau bas en 2002/2003, indiquant ainsi une anomalie dans le bilan prélèvement / recharge de la nappe superficielle.

- Askar saida et tifrane hafidha (2018), ont travaillé sur la variabilité climatique et sont impact sur les ressources en eaux souterraine dans la région de Haut et Moyen Cheliff. L'objectif de ce travail consiste à l'étude de l'impact de la variabilité climatique et de la sécheresse sur les ressources en eau souterraine.

Les résultats obtenus par l'étude de la sévérité de la sécheresse, en utilisant différentes indices comme ceux des indices de la pluviosité et l'indice standardisé de précipitations, confirment la persistance et l'abondance des années déficitaires durant les trois dernières décennies. Le niveau piézométrique (1988-2014) présente une évolution irrégulière caractérisée par une baisse durant la période de basses eaux sous l'effet de l'évaporation et une remontée pendant la période de hautes eaux, due à l'effet de la recharge artificielle (les lâchés d'eau à partir du barrage et/ou le drainage des eaux d'irrigation).

- Ouissaliha (2012), a travaillé sur l'impact des fluctuations climatiques sur la quantité et la qualité des eaux souterraines d'une région semi-aride : cas de la plaine deGhriss (Nord-Ouest algérien). L'objectif de ce travail consiste à traité l'impact de fluctuation climatique sur la dynamique de la nappe au niveau de ce secteur.

Les résultats de cette étude montrent une baisse continue dans l'ensemble des piézomètres étudiée, avec un rabattement maximal de 54,2 mètres en 11 ans. Cette diminution est principalement due à l'affaiblissement des précipitations et à l'augmentation du nombre de points d'eau et la surexploitation de ces nappes.

A la lumière des résultats des analyses physico-chimique, il apparait que les eaux captées par ces forages sont regroupés de deux faciès chimiques dominants : « bicarbonate calcique et magnésienne » et « chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne bicarbonate ». Elles sont assez minéralisées mais dans la limite de la potabilité.

Chapitre II :

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II. Présentation de la zone d'étude

II.1 Situation géographique

Le territoire Algérien a été découpé en 1996 en cinq Zones hydrographiques naturelles dénommées «Bassin hydrographiques» par la loi N° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux (Saim, 2014). Ce découpage est adopté afin d'assurer la gestion des ressources en eau à l'échelle de chaque région hydrographique.

Le bassin du Cheliff qui s'étend sur 43750km², est le plus vaste bassin hydrographique du nord du pays. Il est compartimenté à son tour en trois bassins versants :

1. Le bassin versant du Cheliff –amont du barrage de Boughzoul
2. Le bassin versant du Haut et du Moyen Cheliff
3. Le bassin versant du Bas Cheliff et de la Mina

Le bassin versant du bas Cheliff et de la Mina qui forme une unité hydrographique homogène qui s'étend du seuil de Boukadir qui la sépare du bassin du Haut et du Moyen Cheliff jusqu'aux sources de la Mina, affluent principal du Cheliff au sud et du bassin du Côtier Dahra au nord (ABH-CZ, 2004).

Située au centre Ouest de l'Algérie du Nord, la région hydrographique Cheliff-Zahrez s'étend, avec une superficie de 56000Km² en longitude entre 0°12'' Est et 3°87'' Est et en latitude entre 33°91'' Nord 36°58'' Nord.

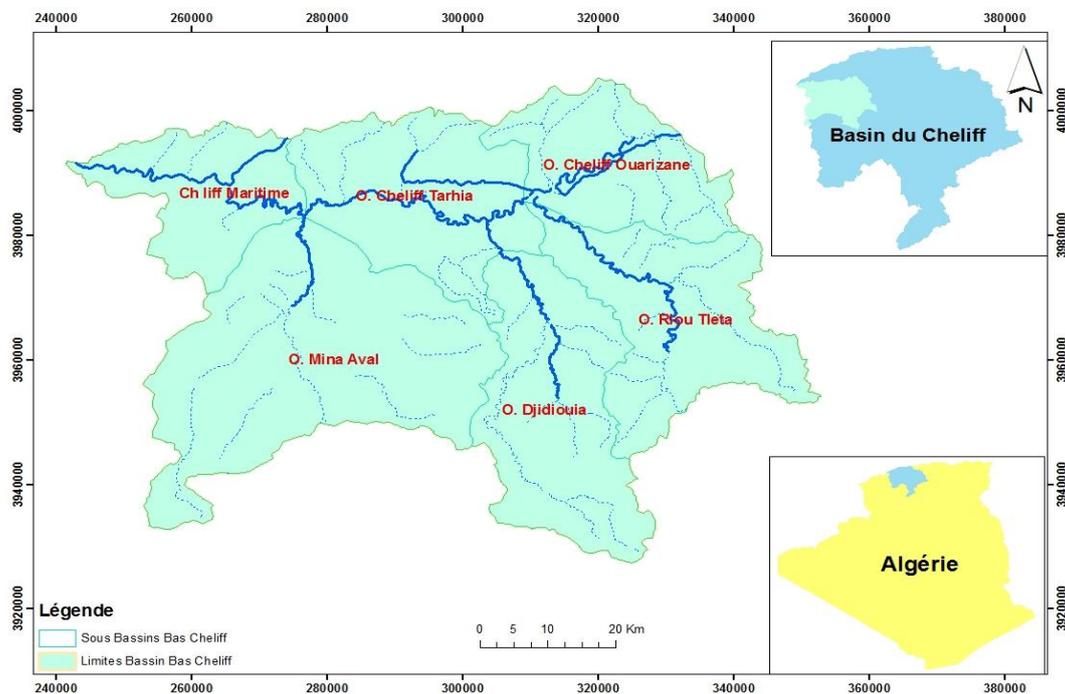


Figure II-1: Localisation de la zone d'étude.

S'étendant du Nord, de la mer méditerranée, avec un littoral de 200 Kilomètre, aux chotts du zahrez au sud, le RHCZ présente un relief compartimenté, reflet de la nette opposition topographique Tell-Hautes plaines qui la caractérise.

Notre zone d'étude s'étend sur un superficie de 4892Km² et un périmètre s'étalant sur 452.7Km ; ce bassin du bas Cheliff se trouvant en longitude entre 0°,1° et en latitude entre 35°,36° , cette zone objet d'étude se trouve au Nord-Ouest du périmètre du bassin versant.

II.2 Caractéristiques morphologiques du bassin versant

Les différents paramètres morphologique d'un bassin versant déterminent essentiellement la répartition des eaux, et notamment sur le régime d'écoulement dans ce même bassin versant.

Pour notre cas celui du bas Cheliff, objet de notre étude ces paramètres morphologiques se définissent comme suit :

Tableau II-1 :morphologie de bassin versant du bas Cheliff

Code	Nom sous bassin	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de compacité (kc)
0124	Oued Cheliff Ouarizane	574,76	119,96	1,40
0126	Oued RhiouTleta	783,46	177,60	1,77
0127	Oued Djidiouia	839.53	163,35	1,57
0128	Oued Cheliff Tarihia	772.77	142,89	1,43
0135	Oued Mina Aval	1425,34	201,58	1,49
0136	Oued Cheliff Maritime	495,58	122,31	1,53

Il existe différents indices morphologiques permettant de caractériser le milieu, et de comparer les bassins versants entre eux. Citons à titre d'exemple l'indice de compacité de Gravelius (1914) kc, défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface.

Cet indice se détermine à partir d'une carte topographique en mesurant le périmètre du bassin versant et sa surface.la formule permettant de déterminer l'indice de compacité est donnée comme suit :

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \approx 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (II.1)$$

Avec :

K_c : Indice de compacité de Gravelius ;

A : Surface du bassin versant (km²) ;

P : Périmètre du bassin versant (km).

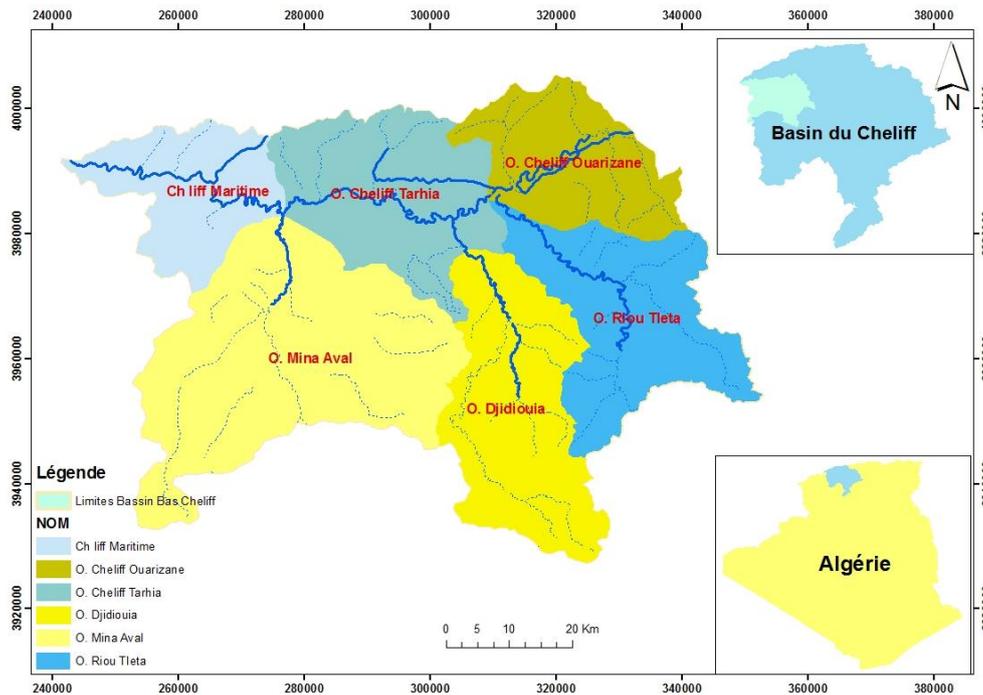


Figure II-2 : Carte des sous bassins versants du Bas Cheliff.

Selon la valeur de K_c , on peut caractériser la forme du bassin versant comme suit :

- $K_c < 1$ → bassin de forme ramassée ;
- $K_c = 1$ → bassin de forme circulaire ;
- $K_c > 1$ → bassin de forme allongée

Les valeurs de l'indice de compacité (Tableau 1) montrent que tous les sous bassins objet d'étude ont une forme allongée dont les indices de compacité varient entre 1,40 et 1,77 y compris le sous bassin d'Oued Rhiou Tleta avec une forme plus allongée.

D'après le tableau morphologique des sous bassins les valeurs des indices de compacité sont très rapprochées d'où les formes de sous bassins sont donc plus au moins identiques.

On peut citer que les sous bassins de la région d'étude présente en général des formes assez allongées plus au moins identique favorisant un écoulement lent par fluctuation des niveaux d'eau souterraine.

II.2.2 Rectangle équivalent

Cette notion a été introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement. Soit L et I la longueur et la largeur du rectangle. Il est déterminé par la formule suivante:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,128} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right] \quad (\text{II.2})$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,128} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Avec :

L : Longueur du rectangle équivalent en (Km);

l : Largeur du rectangle équivalent en (Km);

K_c : Indice de compacité de Gravelius ;

A : Superficie du bassin versant en (Km^2).

II.2.3 Courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude (tableau II.2).

Tableau II-2 : Répartition des tranches d'altitudes.

Classes	Superficie partielles		Superficie cumulées		Altitudes moyennes
	A (km^2)	A (%)	A (km^2)	A (%)	
1263-1000	46,40	1,94	46,40	1,94	1131,5
1000-800	487,68	20,40	534,08	22,34	900
800-600	808,21	33,82	1342,29	56,16	700
600-400	581,01	24,31	1923,3	80,47	500
400-200	368,06	15,40	2291,36	95,87	300
200-59	98,65	4,13	2390	100	129,5
Total	2390	100			

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot D_i}{A} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant en (m) ;

A : Superficie du bassin versant en (km^2) ;

A_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau en (km²) ;

D_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau en (m).

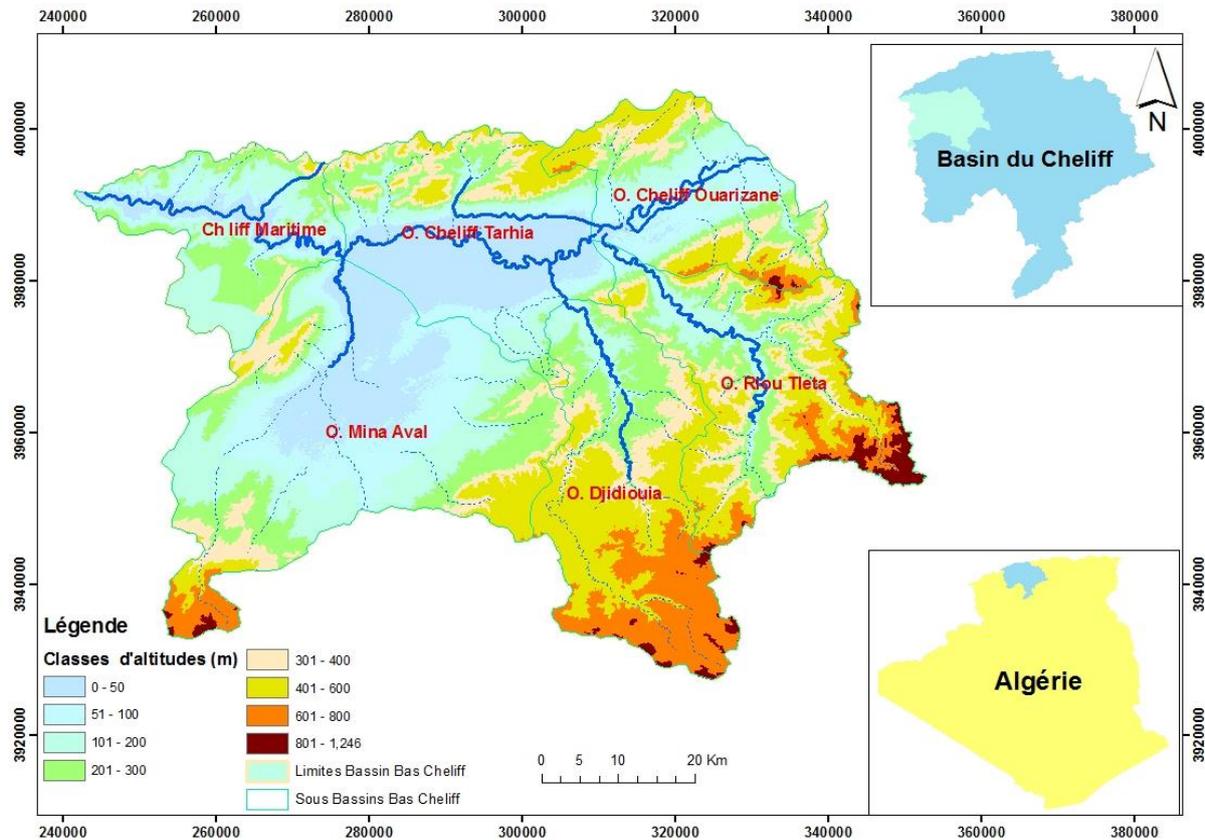


Figure II-3 : Carte de relief du bassin du Bas Cheliff.

II.2.4 Indice de pente globale " I_g "

Indice de pente globale est défini comme étant le rapport entre l'altitude comprise entre 5% et 95% de la surface du bassin versant et la longueur du rectangle équivalent. Il est déterminé par la formule (II.5).

$$I_g = \frac{(H_{5\%} - H_{95\%})}{L} \quad (II.4)$$

Avec :

I_g : Indice de pente globale en (m/Km) ;

L : Longueur de rectangle équivalent en (Km) ;

$H_{5\%}$: Altitude liée au point d'abscisse 5% de la surface totale du bassin étudié en (m) ;

$H_{95\%}$: Altitude liée au point d'abscisse 95% de la surface totale du bassin étudié en (m).

II.2.5 Dénivelée spécifique " D_s "

La dénivelée spécifique est le produit de l'indice de pente globale (I_g) par la racine carrée de la superficie du bassin (S) (formule II.5). On peut distinguer différentes classes de relief en fonction de D_s . Le tableau présente la classification de l'O.R.S.T.O.M du relief en fonction de la dénivelée spécifique.

$$D_s = I_g \sqrt{A} \quad (\text{II.5})$$

Avec :

D_s : Dénivelée spécifique en (m) ;

I_g : Indice de pente globale en (%) ;

A : Superficie du bassin versant en (Km^2).

Tableau II-3 : Classification du relief (Laborde, 2000).

R1	Relief très faible	$D_s < 10\text{m}$
R2	Relief faible	$10\text{ m} < D_s < 25\text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25\text{ m} < D_s < 50\text{ m}$
R4	Relief modéré	$50\text{ m} < D_s < 100\text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100\text{ m} < D_s < 250\text{ m}$
R6	Relief fort	$250\text{ m} < D_s < 500\text{ m}$
R7	Relief très fort	$500\text{ m} < D_s$

II.2.6. Pente moyenne " I_m "

Le calcul de la pente moyenne du cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents, c'est le rapport entre la dénivelée totale du rectangle équivalent et sa longueur (formule II.7).

$$I_m = \frac{D.L}{A} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

I_m : Pente moyenne du bassin considéré en (m/km ou ‰) ;

D : Equidistance entre deux courbe de niveau en (m) ;

L : Longueur totale des courbes de niveau en (km) ;

A : Superficie du bassin versant en (km^2).

II.2.7. Densité de drainage " D_d "

La densité de drainage D_d exprimée en km/km^2 ; se définit comme étant le rapport de la longueur totale L_i , des cours d'eau à la superficie totale du bassin versant A (formule II.8).

$$Dd = \frac{(\sum_1^n L_i)}{A} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

D_d : Densité de drainage en (Km/Km²) ;

L_i : Longueur totale des cours d'eau en (Km) ;

A : Surface du bassin versant en (km²).

II.2.8. Temps de concentration "T_c"

Il est défini comme étant le temps mis par la goutte d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire. La relation du temps de concentration a été développée par Giandotti (formule II.9).

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + (1,5L_{cp})}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (\text{II.8})$$

Avec :

T_c : Temps de concentration du bassin versant en (heures);

A : Superficie du bassin versant en (Km²);

L_{cp} : Longueur du cours d'eau principale en (Km);

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin versant en (m);

H_{min} : Altitude minimale du bassin versant en (m).

II.2.6. Synthèse Récapitulative du bassin versant de bas Cheliff

Le tableau (II.4) synthétise les différentes caractéristiques morphométriques, topographiques et hydrologiques par exemple le bassin versant de l'oued Rhiou.

D'après les caractéristiques morphologiques du bassin versant du bas Cheliff.

Tableau II-4 : Synthèse des caractéristiques générales du bassin versant du bas Cheliff.

Code	Nom de station	Indice de compacité KC	Ig	Ds m/Km	Dd	Longueur équivalente (km)	Largeur équivalente (km)	Classe de relief
0124	Cheliff ouarizane	1.40	20.12	478.05	0.74	49.70	11.36	R5
0126	O.Rhiou Tleta	1.77	16.02	488.13	0.77	81.15	11.44	R6
0127	O.djidiouia	1.57	12.95	366.11	0.77	69.50	11.50	R6
0128	O. Cheliff Tarihia	1.43	10.04	368.79	0.65	59.69	12.70	R6
0135	O.Mina aval	1.49	10.03	383.76	0.48	89.69	18.31	R6
0136	Cheliff maritime	1.53	12.85	266.90	0.45	46.78	9.22	R6

II.3 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique représente l'ensemble des cours d'eau permanents et temporaire, y compris les eaux de surface, la partie infiltrée dans les nappes constitue l'écoulement souterrain.

Le bassin versant de Bas Chélif est drainé par l'oued Chélif, qui s'écoule vers l'ouest et forme une cuvette intra-montagneuse à l'intérieur de monts de Dahra.

Oued Cheliff est alimenté par les précipitations atmosphériques, par les aquifères et les barrages comme le barrage de O.Rhiou Tleta et O.Mina.

Dans son trajet l'oued Cheliff sur sa rive droite ne reçoit pas d'écoulements importants par contre sur la gauche, il collecte les eaux provenant de l'oued Rhiou et oued Mina.

II.4 Aspect hydroclimatique du bassin versant du Bas Cheliff

Les conditions climatiques du bassin versant d'objet d'étude est fonction de sa situation géographique, de l'atmosphère et du relief de son périmètre. La caractérisation de climat est établie à partir des observations données par le réseau des mesures installé dans la région relatif à la pluviométrie, hydrométrie et climatologie.

Cet aperçu hydroclimatologique est établi en exploitant les données nécessaires des études antécédentes réalisées au niveau de la région d'étude.

Le résultat de Ces études :

- La pluviométrie est le générateur des phénomènes hydrologiques au niveau les bassins versants.
- À l'échelle de la plaine du bas Cheliff, les précipitations sont très irrégulières temporellement pour la même station pluviométrique et spatialement d'une station à une autre. Pour révéler ce on visualisera par la suite les données de précipitation (mensuelles, annuelles et interannuelles) relatives aux stations du réseau pluviométrique de la zone d'étude, mais en privilégiant celles qui représentent l'homogénéité la plus possible des séries pluviométriques (période d'observation).

la variation des moyennes mensuelles de température permettent de distinguer deux saisons qui caractérisent la région :

- Une période froide : allant du mois de décembre jusqu'au mois de janvier (station de Chlef).
- Une période chaude qui s'étend du mois de juin jusqu'au mois de septembre (station de Chlef).
- Spatialement, la température moyenne interannuelle augmente d'Est vers l'Ouest avec une faible différence.

Concernant la station de Chlef les valeurs de l'humidité relative (%) sont de l'ordre de 78 % à 80 % en hiver ; et de l'ordre de 49% à 54% en été. Par ailleurs les mois les plus humides sont ; décembre, janvier et février et les mois les moins humides sont ; juin, juillet et août.

À l'échelle de la plaine du bas Cheliff, le vent constitue ainsi un agent d'érosion efficace dans les régions caractérisées par une couverture végétale faible à nulle, surtout durant la période sèche (Mokhtari, D. E., 2009)

Le bassin versant du bas Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride par deux saisons distinctes : hiver froid et un été chaud

Alors le climat de bassin versant du Bas Cheliff se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides et peut être appelé méditerranéen semi-aride

II.4.1 Les précipitations

D'après Legrain (2002), les précipitations sont définies comme : formes variées sous lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère se dépose à la surface du globe (pluie, brouillard, neige, grêle, rosée). c'est un facteur principal utilisé pour caractériser le type de climat dans le bassin versant du bas Cheliff. **Legrain**

II.4.1.1 Les précipitations annuelles

Les valeurs de précipitations moyennes mensuelles sur la période (1965-2015) sont présentées dans les graphes.

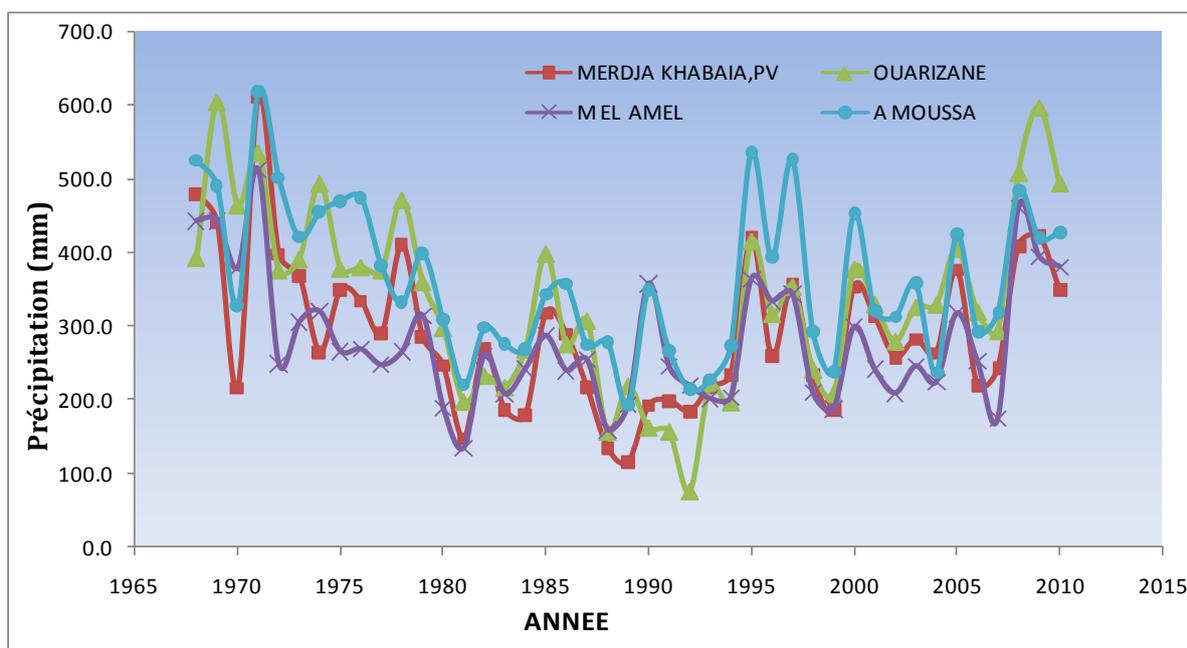


Figure II-4: Évolution des précipitations annuelles (1968-2010).

L'analyse des données pluviométriques annuelles des stations, enregistrées durant la période 1968 à 2010, montre que la région du bas Chélif est caractérisée par des séries pluviométriques quasiment identiques pour l'ensemble des stations, mais qui présentent une grande irrégularité de pluviosité dans le temps, avec des différences légères dans le temps et dans l'espace (Figure II-4).

Tout au long de la période d'étude 1968 à 2010 :

- ✓ La valeur la plus basse a été enregistrée à la station L'HILLIL en 1981, cette valeur est de l'ordre de 126.7 mm.
- ✓ La moyenne annuelle enregistrée sur l'ensemble des stations est entre 300 mm et 480 mm, avec une valeur maximale de 680.1 mm enregistré dans la station L'HILLIL en 1971 et 707.8 mm dans la station KENENDA FERME en 1995.

On distingue aussi trois cas ou trois périodes:

- ✓ Période humide avant 1978.
- ✓ Une période caractérisée par une diminution de l'intensité des précipitations et un type de sécheresse entre 1980-1990.
- ✓ Une reprise des précipitations d'une ampleur observée au début des années 90 et du nouveau millénaire.

II.4.1.2 Les précipitations mensuelles

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles pour la période d'étude, au niveau des stations, montre que l'ensemble des stations pluviométriques présentent une saison pluvieuse allant d'octobre à avril avec un maximum enregistré en novembre, où les précipitations atteignent 58.1 mm (station KHEIREDDINE). Les faibles précipitations sont enregistrées durant les mois de juillet et août.

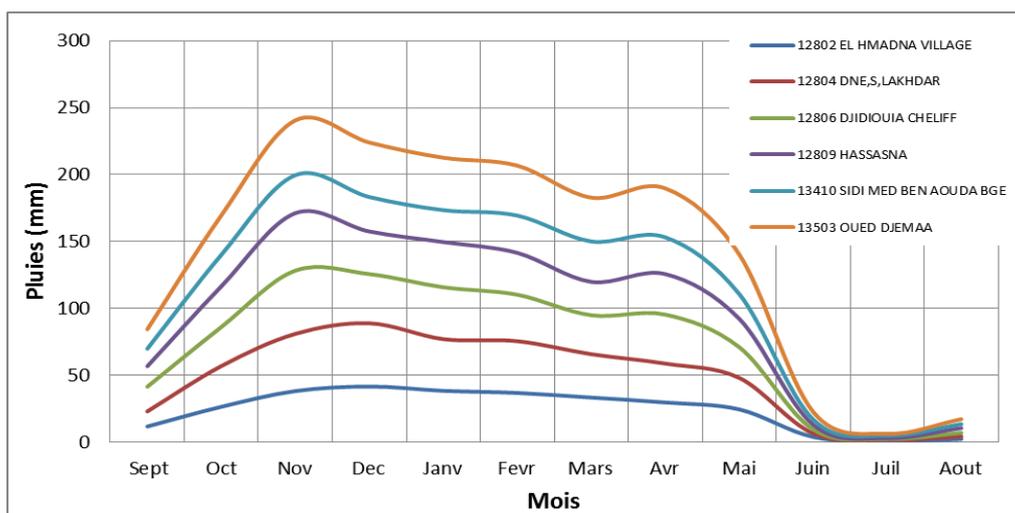


Figure II-5 : Précipitations moyennes mensuelles (1968-2010).

II.4.2 Les températures

La température est définie par paguy (1970), comme une qualité de l'atmosphère et non comme grandeur physique mesurable.

II.4.2.1 La température annuelles

L'analyse de la variation des valeurs moyennes annuelles des températures enregistrées dans notre région figure ci-dessous, montre que la température moyenne annuelle varie au tour de 19 C° et 20 C°.

La valeur la plus élevée a été enregistrée en 2020 avec une moyenne de 20,1 C° par contre la valeur la plus faible a été enregistrée en 1996 avec une moyenne de 18.9.

La température moyenne annuelle varie au tour de 19 C° et 20 C°.

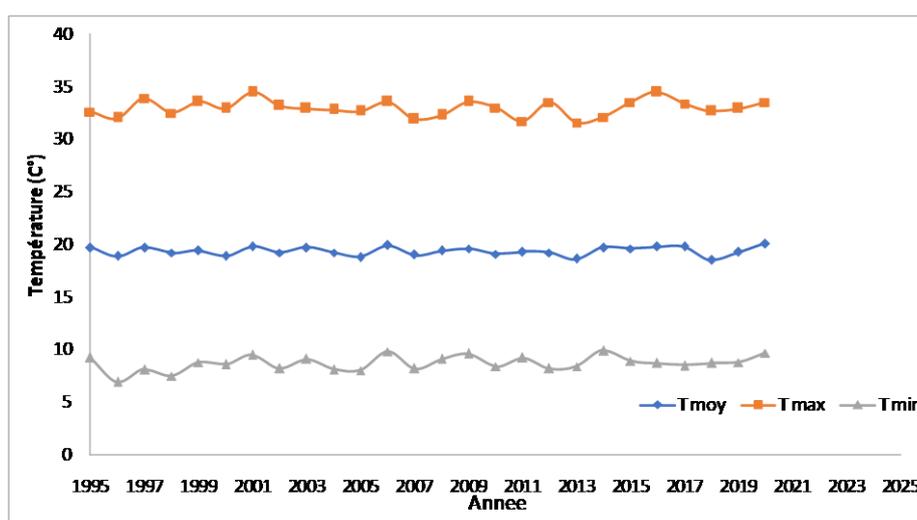


Figure II-6 : Température moyenne annuelle (Station CHLEF période 1995-2020).

II.4.2.2 La température mensuelles

La température moyenne mensuelle est un facteur important dans l'estimation du déficit d'écoulement. Dans notre étude nous utiliserons les données relevées au niveau de Station CHLEF (Tableau II-5).

Tableau II-5 : Variation température mensuelles Max et Min (C°) Station CHLEF période 1995-2020

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Tmax (C°)	39.1	34.9	27.6	22.1	21.3	23.5	28.2	32.3	36.7	42.1	44.3	43.8
Tmin (C°)	14.8	10.7	5.2	2.5	1.5	1.7	2.9	5.5	8.9	13.6	18.3	18.7

La température Max mensuelle la plus élevée est enregistrées en été durant le mois Aout 43.8 °C tandis que La température MIN la plus basse est enregistrée en hiver durant le mois de janvier 1.5 °C.

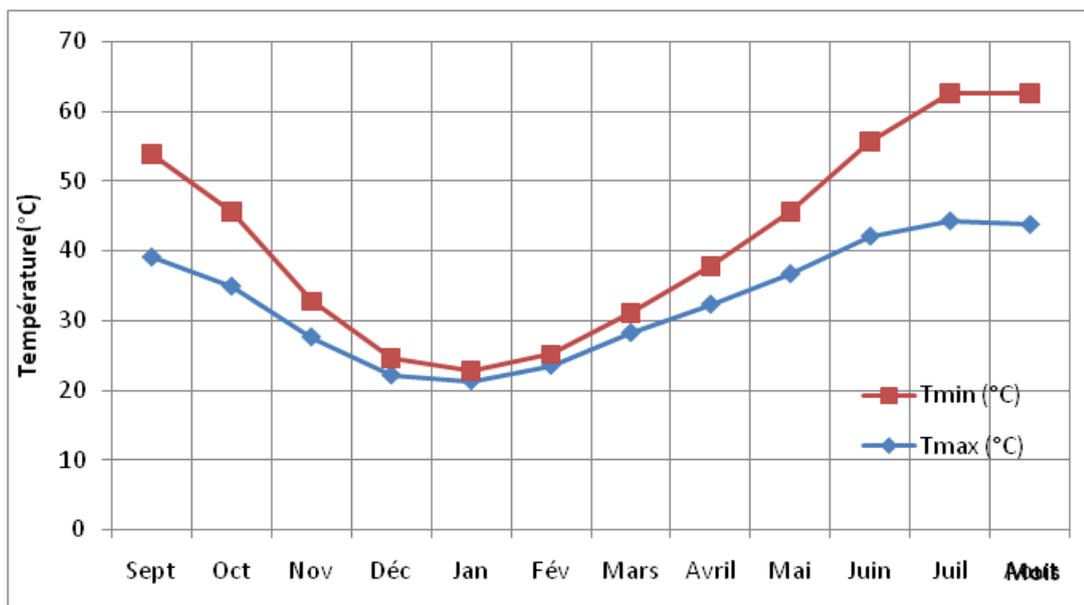


Figure II-7 : Température Max et Min mensuelles (Station CHLEF période 1995-2020).

Au niveau de la station climatique de la zone d'étude, les températures mensuelles varient d'un mois à l'autre, la température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée en été durant le mois de Juillet et Aout avec des valeurs qui fluctuent entre 29,6 °C et 29,8 °C, tandis que la plus basse est enregistrée en hiver durant le mois de janvier et Février avec une moyenne fluctuant entre 10,4 °C et 11,3 °C.

Tableau II-6 : Variation de la température moyenne mensuelle Station CHLEF période 1995-2020

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	MOY
T° moy	25.4	21	15	11.5	10.4	11.3	14	16.5	21.2	26.3	29.8	29.7	19.3

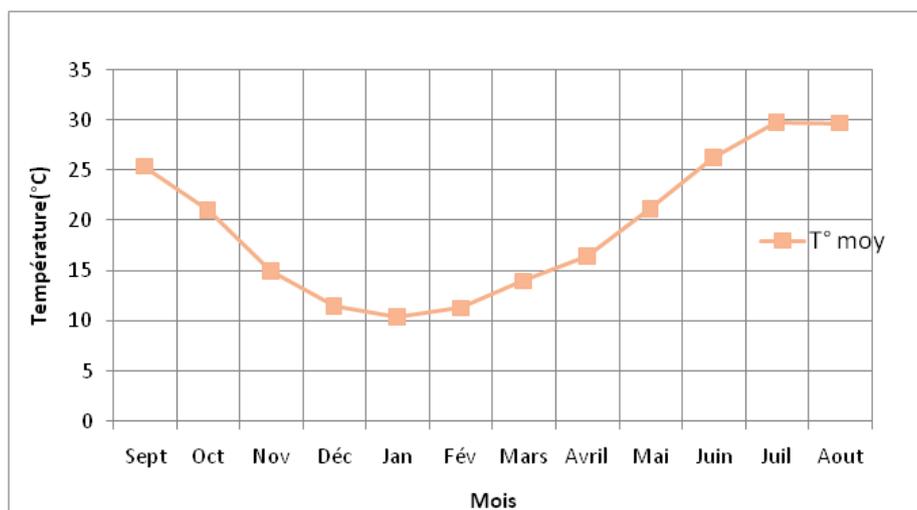


Figure II-8 : Température moyenne mensuelles (Station CHLEF période 1995-2020).

II.4.3 Diagramme de Gausсен

Selon Bagnouls et Gausсен(1953), le diagramme Ombrothermiques de bagnouls et de Gausсен est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, ou sont portés en abscisse les mois, et en ordonnée les précipitations(P) et les températures (T), avec $P=2T$.

Tableau II-7 : Valeurs de température (°c) et de pluviométrie (mm)

CODE	012403	012703	012802	013504	T° moy	2T
Sept	13.5	11.3	11.6	11.7	25.4	50.8
Oct	28.4	32.1	26.3	24.9	21	42
Nov	41.5	39.8	38.0	36.6	15	30
Dec	41.5	43.4	41.5	38.0	11.5	23
Janv	38.8	45.1	38.3	35.9	10.4	20.8
Fevr	38.8	37.4	36.7	32.4	11.3	22.6
Mars	28.1	44.3	33.2	27.7	14	28
Avr	30.9	38.9	29.5	32.3	16.5	33
Mai	22.8	26.0	24.4	22.5	21.2	42.4
Juin	4.2	6.7	3.7	3.3	26.3	52.6
Juil	0.7	1.4	0.7	0.6	29.8	59.6
Aout	1.9	1.6	2.2	2.6	29.7	59.4

Les valeurs des données de température et de pluies disponibles pour la région d'étude ont permis de tracer les diagrammes ombrothermiques pour les stations (012403 Merdja khabaia, 012703 Kenenda ferme, 012802 el Hmadna village et 013504 Saline oued djemaa (Tableau II-7).

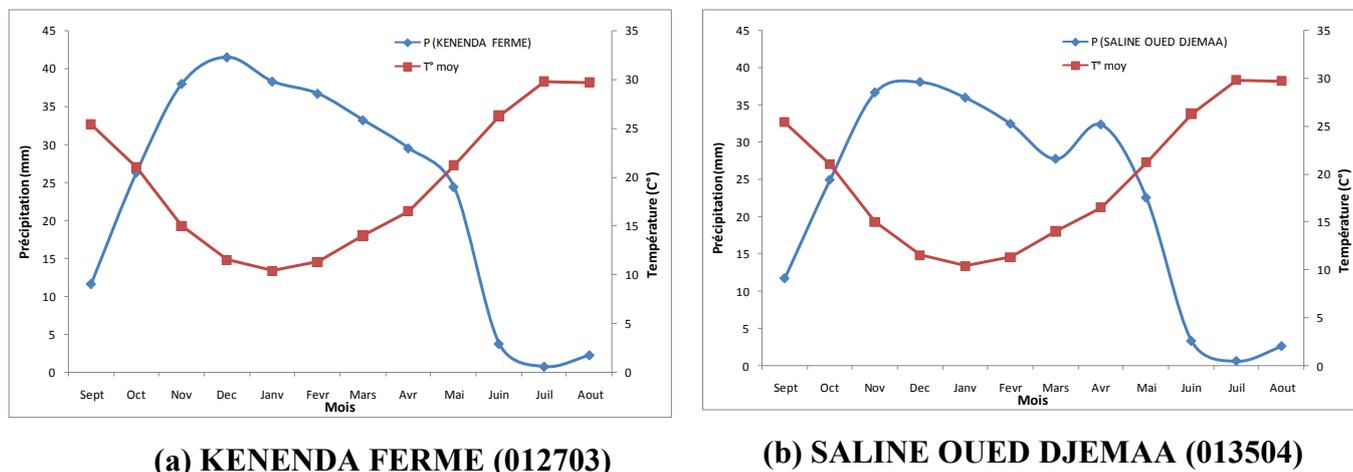


Figure II-9 : Diagrammes ombrothermiques (stations, 012703, 013504).

II.4.4 Évaporation

L'évaporation est la quantité d'eau restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur, son étude est essentielle pour connaître le potentiel hydrique d'une région ou d'un bassin versant. D'après les données de l'évaporation enregistrées durant la période 1995-2020 à la Station CHLEF.

Tableau II-8 : Évaporation moyenne mensuelle Station CHLEF période 1995-2020

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Evaporation Moy	163.5	121.7	68.3	49.1	47.3	57.4	84.8	108.2	157	221.7	270.5	243.6

On remarque que la variation de l'évaporation mensuelle montre deux périodes bien distinctes tout comme les températures et les précipitations:

- Une période de forte évaporation allant du mois Mai au Mois d'Octobre dont elle atteint une valeur maximale de 243.6mm.
- Une période de faible évaporation allant du mois de Novembre au mois d'Avril ou elle atteint une valeur minimale de 47.3 mm (Figure II-10).

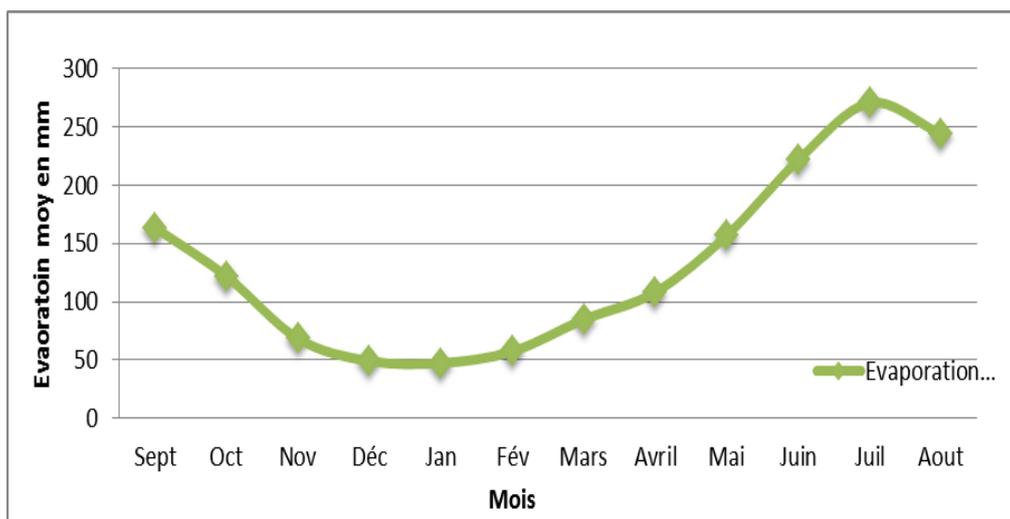


Figure II-10 : Évaporation moyenne mensuelles (Période 1995-2020).

A l'échelle annuelle, l'évaporation moyenne annuelle Station CHLEF période 1995-2020 on enregistre une faible évaporation durant la période allant de 2012 à 2018 d'où une valeur minimale de 85,1mm enregistrée durant l'année 2013. L'évaporation la plus forte a été enregistrée durant l'année 1995 avec une valeur de 174.3mm (Figure II-).

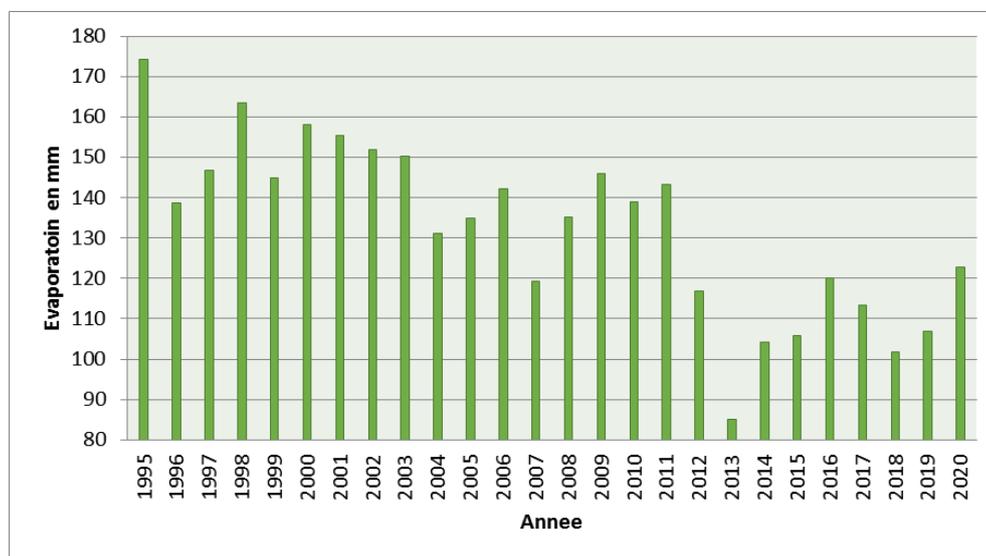


Figure II-11: Évaporation moyenne annuelles (Période 1995-2020).

II.5 Contexte géologique

L'écoulement souterrain est fonction des conditions géologiques des terrains traversés à savoir : pendage, épaisseur, relation tectonique, perméabilité, etc....

La connaissance détaillée des lithofaciés et de leurs structures profondes et superficielles est donc nécessaire pour la compréhension du système hydraulique souterrain. Cette synthèse géologique est étudiée grâce aux travaux de géologue P SOURISSEAU (1973).

L'étude géologie de différentes formations dans le bassin versant apporte les informations nécessaires sur la nature et le comportement prévisionnel des particules piégées dans la cuvette du barrage.

Le bassin versant de bas Cheliff est occupé par une série géologique allant du Primaire au Quaternaire à savoir :

- Le terrain quaternaire occupé la dépression au Nord qui présentés les alluvions actuels du Holocène (Quaternaire continental).
- Miocène inférieur dans la région Sud est caractérisée par marnes avec des intercalations de minces plaques de grès et de bancs de limons dans la formation géologique tertiaire. La partie Est dans même région est caractérisée par calcaires gris et dolomies.
- Les terrains secondaire est caractérisée par dominance de marnes calcaires et dolomies au centrale du bassin versant.
- Les formations géologiques de l'âge primaire apparaissent dans la région Sud-Ouest constituée de rhyolite.

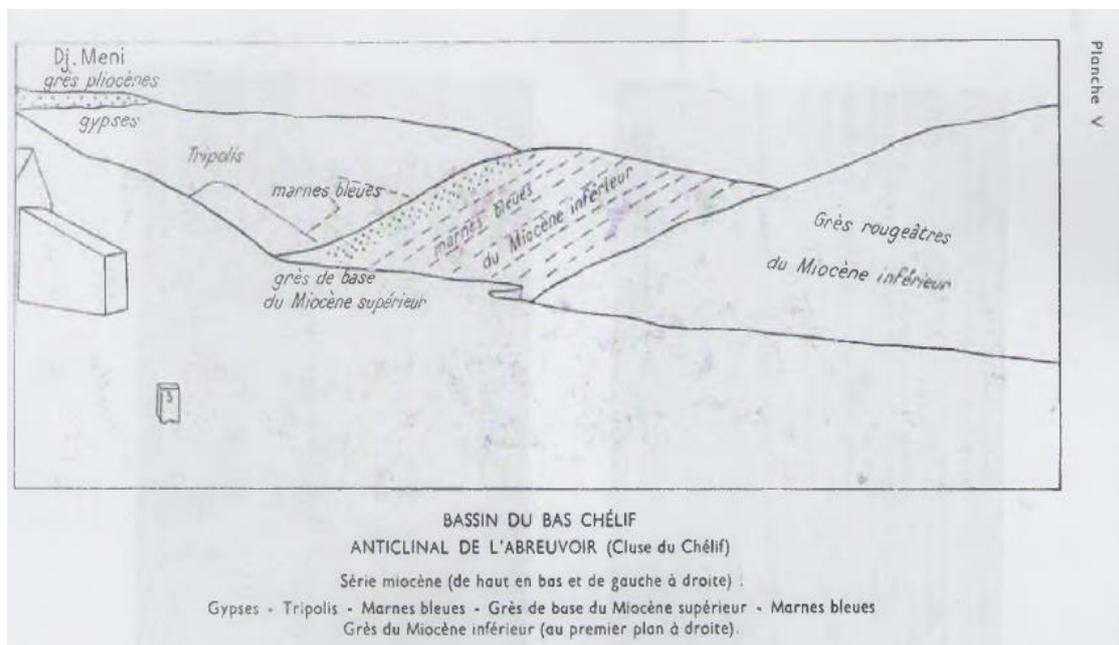


Figure II-12: La carte géologique de bassin versant du bas Cheliff

II.5.1 Stratigraphie

Selon M.GIGNOUX les problèmes stratigraphique restent poses concernant le néogène comme du jurassique ou du crétacé, se heurtant rapidement aux limites d'une certaine conception paléontologique de la stratigraphie, par un schéma plus sédimentologie et recourir à la notion du cycle sédimentaire.

La litho-stratigraphie de la zone d'étude comprend deux ensembles lithologiques à savoir :

- Les formations quaternaires.
- Les formations pliocènes.

Le néogène de l'Algérie occidentale, et plus particulièrement du bassin du bas Cheliff, est remarquable par la diversité de ses faciès lithologique et par la rapidité de leurs variations dans l'espace comme dans l'échelle stratigraphique.

Le faciès largement représenté, est celui des marnes bleues, qui étaient réalité des argiles et calcaires.

Le bassin du bas Cheliff avec le dépôt des tripolis et des gypses.

ECHELLE STRATIGRAPHIQUE SCHEMATIQUE

	ZONES MICROPALÉONTOLOGIQUES		FACIÈS LITHOLOGIQUES			NOMEN-CLATURE D'ANDERSON	
			Bas Chélif	Moy. Chélif	Tafna		
QUATERNAIRE	Tyrthénien Quaternaire intermédiaire Calabrien - Villafranchien		Couches à Strombes Grès lumachelliques et couches rouges	Couches rouges		Chillmath, Hamri	
PLIOCÈNE	Astien		Grès marins	Continental	Continental	Slama	
	Plaisancien		Marnes et calcaires			Tarhia	
MIOCÈNE		Formations terminales	Zone des Tripolis à <i>Rectus/gerina levis</i>	Gypse, tripolis, calcaires	Grès	Calcaires	Mellah Beïda
		Formations médianes	Zone A à <i>Ehrenbergina simplissima</i>	Marnes, calcaires			
		Miocène supérieur (Vindobonien)	Zone B à <i>Usigerina barbatula</i>	Marnes bleues	Marnes	Continental	Meroui
		Formations de base	Zone C ou zone de passage	Sables, grès, marnes			Ramla
	Miocène inférieur (Burdigalien)		Marnes bleues, grès, conglomérats	Marnes, grès	Marnes, grès	(Meroui), Anasseur, Sarhli	

Figure II-13 : Echelle stratigraphique schématique

Le Miocène peut atteindre 1300m d'épaisseur et il est constitué de la base au sommet par:

- Le Miocène inférieur (Burdigalien)

Le Miocène inférieur repose sur des terrains plus anciens Éocènes et Crétacés et débute par une formation conglomératique d'épaisseur environ 1000m.

Miocène inférieur est représenté par une épaisse série de marnes bleues, qui passent latéralement et verticalement à des grés marneux, à des conglomérats marins ou continentaux.

Du point de vue stratigraphique le miocène inférieur comprend ci trois grands ensembles :

- Une série conglomératique à la base.
- Une série marneuse intermédiaire.
- Une série sableuse et conglomératique au sommet.

- Miocène inférieur :

- série conglomératique épaisseur 350m.
- grés et de microconglomérats à ciment argileux.
- Marnes bréchiques glauconieuses gypse 215m.

- Le Miocène supérieur (Vindobonien)

Le Miocène supérieur est constitué par une série représentée de la base au sommet par des niveaux conglomératiques épais de 1 à 2m à ciment sablo marneux, surmontés par un niveau marneux de couleur bleu d'une épaisseur environ 50m.

Miocène supérieur est présenté par des faciès très divers : marnes bleues, sables, calcaires, diatomite, gypses...etc., dont quelque uns a une certaine valeur stratigraphique.

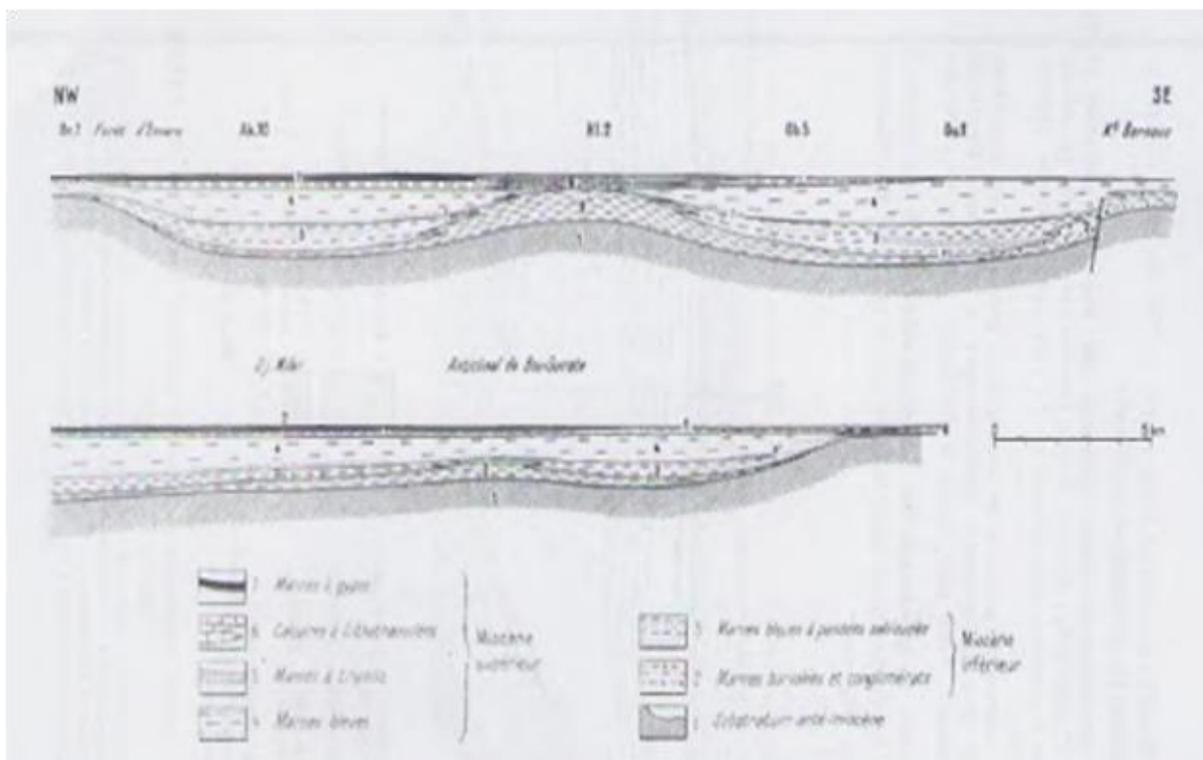


Figure II-14 : Schéma stratigraphique de miocène dans la partie centrale du bassin du Bas Cheliff.

- Pliocène

Le pliocène, tel qu'il est généralement admis aujourd'hui, représente dans le bassin du bas Cheliff, un cycle sédimentaire complet, débutant par une transgression sur les séries gypseuses de la fin du miocène, pour se terminer par la régression «astienne». Il est formé par la succession des dépôts suivants :

- Niveaux détritiques de base.
- Marnes bleues et calcaires construits (plaisancien).
- Grés marins (Astien).
- Grés continentaux.

Qui enregistrent le comblement progressif, allant jusqu'à l'exondation, du bassin sédimentaire.

Nous étudierons successivement :

1. La description stratigraphique (du pliocène marin, du pliocène continental).
2. La paléogéographie du bassin pliocène et son évolution jusqu'à la transgression pléistocène.

Le cycle pliocène se divise approximativement en deux ensembles de faciès qui superposent assez fréquemment :

1. Les marnes bleues, dites plaisanciennes, à la partie inférieure (Trahira d'ANDERSON).
2. Les grès, dits astiens, à la partie supérieure (salaina du même auteur).

- L'Astien

Il est représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse de couleur jaune fauve. Les grès sont souvent à ciment calcaire, localement passer à des calcaires gréseux.

- Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont continentaux. On distingue un Quaternaire ancien et un Quaternaire récent.

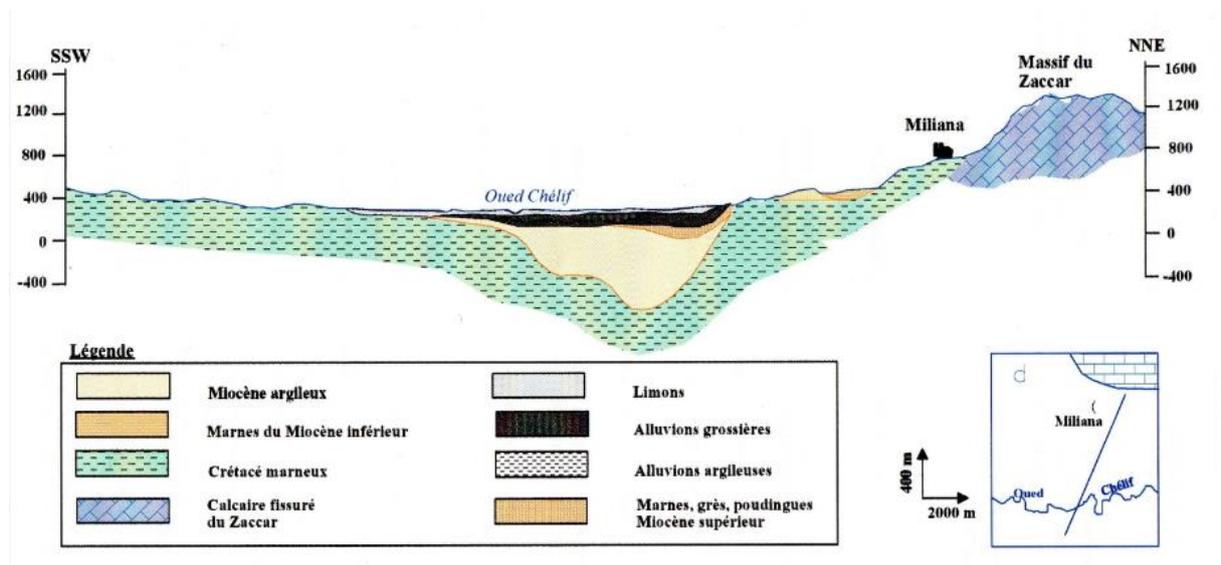


Figure II-15: Coupe géologique dans le bassin Cheliff dans la direction Nord-Sud (LARBI BOUAMRANE F. et NABI O.E.K..2019).

II.6 Contexte hydrogéologique

L'étude de l'impact de l'évolution du climat sur le régime d'écoulement de surface nécessite la connaissance des paramètres hydrologique et leur variabilité spatio-temporelle. A cet égard, nous proposons une étude hydrologique, en vue d'évaluer les caractéristiques de l'écoulement superficiel du bassin.

La synthèse géologique de la région, argumentée par une description lithologique et structurale et en s'appuyant sur l'examen de la série stratigraphique.

II.6.1 Les aquifères du Miocène

Dans le cas du miocène supérieur du bas Cheliff on a la succession : grés, marnes, calcaire, tripolis et évaporites.

II.6.2 Les aquifères du Pliocène

Pour la pliocène nous utiliserons la division classique en plaisancien et actien. Cette distinction n'étant cependant pas exempte d'influences de faciès, comme nous le verrons.

II.6.3 Le aquifère alluvionnaire du Quaternaire

L'aquifère plio-quaternaire est assurée à la base par un substratum formé par les marnes bleues du plaisancien. Dans certains endroits le miocène supérieur peut se trouver en contact direct avec cet ensemble.

II.6.4 Le aquifère des calcaires à lithothamnium

Les calcaires à lithothamnium, attribués au miocène supérieur, forment une logue semelle incliné entre l'oued Fodda au NE et l'oued Djidiouia au SW. La longueur de cet affleurement est de l'ordre de 65 km, sa largeur moyenne est de 4 km au SW et 2.5 km au NE.

Chapitre III :

MATERIELS ET METHODES

III. Matériels et méthodes de travail

III.1 Données utilisées

Le climat correspond aux conditions météorologiques moyennes (températures, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air, vitesse des vents, etc.) qui règnent sur une région donnée durant une longue période.

Les facteurs climatiques sont connus par leur grande importance dans la détermination des fluctuations du niveau piézométrique, cependant les données climatiques sont importantes à évoquer dans ce travail. Les données des précipitations et des niveaux piézométriques de la nappe utilisées, sont obtenues auprès de l'Agence Nationale des ressources Hydraulique (ANRH).

III.1.1 Réseau de mesure pluviométrique de la région d'étude

Le réseau pluviométrique de la région du Bas Chélif comprend Beaucoup de stations de surveillance, gérés par l'Agence Nationale des Ressources en Eau.

Tableau III-1 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

CODE	STATION	X (Km)	Y (Km)	Altitude Z (m)
12403	MERDJA KHABAIA,PV	347.65	306.05	61
12409	OUARIZANE	338	306.6	60
12411	M EL AMEL	342.8	301.5	66
12605	A MOUSSA	357.4	286.15	140
12605	A MOUSSA	357.4	286.15	140
12610	GARGAR BGE	343.3	297	
12703	KENENDA FERME	330.15	262.6	590
12704	OULED AYCH	343.3	282.2	281
12706	MENDES	334.25	262.6	477
12802	EL HMADNA VILLAGE	326.45	291.55	75
12804	DNE,S,LAKHDAR	318.1	300.2	55
12806	DJIDIOUIA CHELIFF	329.6	298.2	51
12809	HASSASNA	324.05	296.1	50
13410	SIDI MED BEN AOUDA BGE	308.85	255.18	145
13503	OUED DJEMAA	315.15	277.25	75
13504	SALINE OUED DJEMAA	315.5	283.3	60
13505	RELIZANE DEMRH	304.54	275.43	81
13506	EL MATMAR DRS	300.1	271.5	73
13507	L'HILLIL	288.35	272.35	135
13606	OUED EL KHEIR	291.55	297.6	230
40602	KHEIREDDINE	272.1	300.75	190

La plus part des stations pluviométriques disposent d'au moins 30 années d'observations. Nous avons retenu ces stations qui sont de nombre de 21 et disposant de plus de 30 années d'observations (il faut au moins des relevés pluviométriques mensuels étalés sur 20 à 30 ans (de préférence, sur 50 à 60 ans) pour calculer L'indice standardisé des précipitations (SPI) (Guttman, 1994)).

III.1.2 Réseau de mesures piézométriques de la région d'étude

Le réseau piézométrique permet de connaître à tout moment le niveau des nappes à l'aplomb des points de mesure. Il faut cependant noter que le niveau d'eau relevé dans un piézomètre est une donnée ponctuelle qui n'est pas représentative de l'ensemble de l'aquifère et ne doit pas être assimilé à une mesure des ressources en eau. La lecture des informations fournies par le réseau doit être réalisée au regard de règles d'interprétation prenant en considération les caractéristiques techniques de l'ouvrage, le contexte géologique, la pluviométrie et le caractère ponctuel de l'observation.

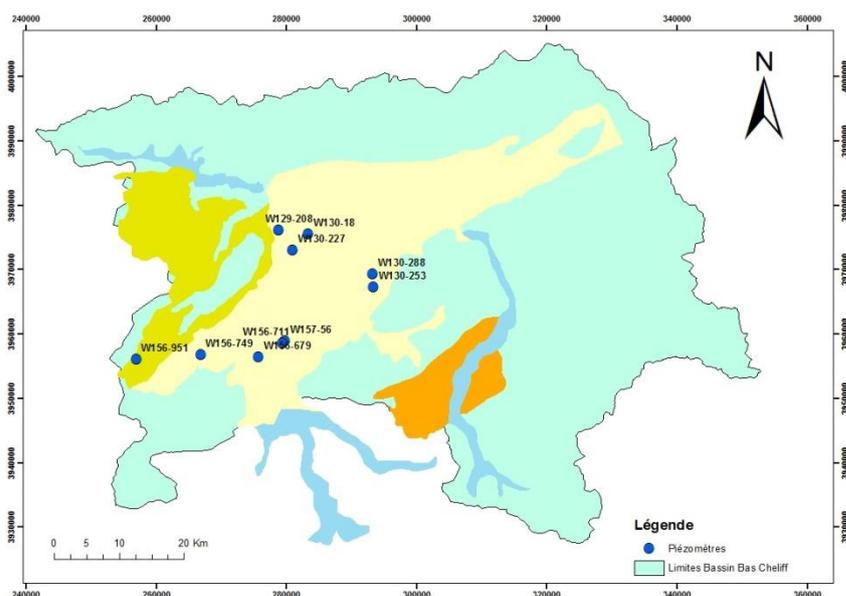


Figure III-1: Carte de localisation des piézomètres du bassin du Bas Chélif.

Il est ici rappelé que la variable d'intérêt étudiée est la cote piézométrique du système aquifère alluvionnaire du bassin du Bas Chélif, issue d'une série de campagnes de mesure effectuées dans le temps et dans l'espace sur l'ensemble des piézomètres de la zone d'étude (Figure III-3).

Les données disponibles en fonction des piézomètres sont celles relative au réseau de mesures piézométriques (disponible sur 12 puits) sont représentées dans le tableau ci-dessus.

Tableau III-2 : Disponibilité en observation des cotes piézométrique.

N°	code	X (km)	Y (km)	Prof (m)
1	W156-679	302,750	272,200	9.32
2	W156-711	306,450	274,400	5.31
3	W156-951	284,000	271,800	55.37
4	W129-208	305,825	291,950	34.88
5	W130-66	319,600	281,225	22.43
6	W130-227	308,000	288,750	4.51
7	W130-253	320,425	283,125	23.74
8	W130-288	320,300	285,100	20.36
9	W157-56	306,800	274,700	3.10
10	W156-351	282,950	267,600	39.52
11	W156-874	280,625	268,800	34.88
12	W130-18	310,351	291,350	2.70

III.2 Méthodes de travail

L'approche adoptée pour atteindre les objectifs tracés dans ce travail, comporte les opérations suivantes:

- Analyse des tendances dans les séries chronologiques.
- La détection de rupture au sein des séries pluviométrique annuelles.
- Comparer les résultats obtenus avec l'évolution de l'état de la nappe de la plaine par l'observation de sa fluctuation à travers certains nombre de piézomètres.

III.2.1 Analyse des tendances dans les séries chronologiques.

III.2.1.1 Les moyennes mobiles

Les moyennes mobiles ou filtres linéaires des séries chronologiques, permet de lisser une série temporelle, en gardant la tendance et en supprimant la saisonnalité pour ensuite procéder à l'estimation de ces deux composantes.

Ces outils font partie des premières méthodes pour l'analyse des séries chronologiques. Il semble que le physicien Poynting soit le premier, en 1884, à avoir utilisé les moyennes mobiles pour éliminer les variations accidentelles ou périodiques d'une série. Puis à partir de 1914, les grands personnages de la statistique tels que Student, Pearson et Yule par exemple, s'intéressent à ce genre de problèmes.

La moyenne glissante, ou moyenne mobile trouve son application dans l'analyse des séries temporelles de données en permettant la suppression des fluctuations de façon à en souligner les tendances sur le long terme. Cette moyenne est dite mobile parce qu'elle est recalculée de façon perpétuelle, dès lors qu'une nouvelle donnée intègre la série en venant remplacer la plus ancienne, modifiant ainsi la date de référence. Cette façon de faire tend à

lisser le phénomène étudié en noyant les valeurs extrêmes dans une masse de données davantage représentative d'une tendance moyenne.

III.2.2 Détection de la rupture au sein des série pluviométrique

Selon Lubès et al. (1994), une rupture peut être définie de façon générale comme étant un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un moment donné le plus souvent inconnu. Une telle rupture marque une modification du régime pluviométrique ou hydrologique.

La stationnarité ou non stationnarité des séries pluviométriques intéresse beaucoup les utilisateurs de ces dernières dans les différentes applications (hydrologie, agronomie, gestion des ressources hydriques, etc.). La détection d'une ou plusieurs ruptures renseigne sur l'évolution pluviométrique dans la région donnée.

III.2.3 Analyse de rupture au sein des séries pluviométriques

Une approche statistique a été réalisée par Khronostat pour nous aider à mieux analyser les précipitations annuelles.

L'étude de la stationnarité des séries pluviométriques annuelles, appliquées à chaque série chronologique de chaque station pluviométrique, est un outil d'identification de la variabilité de la pluviométrie du Bas Chéiff.

Le khronostat est un logiciel d'analyse statistique de séries chronologiques développé par Jean-François Boyer à l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement, Université de Montpellier et l'École des Mines), disponible sur le site internet d'Hydro sciences Montpellier. Ce logiciel, a plusieurs méthodes de détection des ruptures.

III.2.3.1 Test de corrélation sur le rang [Lubes-Niel et al, 1998]

Le test de corrélation sur le rang est utilisé pour tester l'indépendance des éléments successifs et consécutifs d'une série. Ce test est fondé sur le calcul du nombre P de paires (X_i, X_j) pour lequel $X_i > X_j$ ($j > i, i = 1, N-1$).

Sous l'hypothèse nulle (H_0) de stationnarité de la série, la variable τ est définie par :

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

Elle suit une distribution normale de moyenne nulle et de variance égale à :

$$\sigma_{\tau}^2 = \frac{2(N+5)}{9N(N-1)}$$

Il en résulte que si l'hypothèse nulle H_0 est vraie, la variable $U = \tau / \sigma_{\tau}$ est une variable normale réduite. Pour un risque α de première espèce donné, la région d'acceptation de l'hypothèse nulle est comprise entre $U_{1-\alpha/2} \sigma_{\tau}$ et $U_{1-\alpha/2} \sigma_{\tau}$

III.2.3.2 Statistique U de Buishand [Buishand, 1982; Buishand, 1984]

La statistique U de Buishand est de nature bayésienne et fait référence au modèle simple. En supposant une distribution a priori uniforme pour la position du point de rupture m , on définit la statistique U par :

$$U = [N(N+1)]^{-1} \sum_{k=1}^{N-1} (S_k^* / D_x)^2$$

Elle s'avère performante pour tout changement de moyenne survenant au milieu de la série cependant le test de Buishand est un test paramétrique faisant l'hypothèse d'une distribution normale des variables de la série. Le logiciel Khronostats nous permet de vérifier la normalité de la série étudiée et dans le cas où celle-ci serait refusait la série est alors modifiée (Racine Carrée, Logarithme, Box et Cox) pour que les données changées suivent une distribution normale.

III.2.3.3 Ellipse de Bois (Bois, 1972)

P. Bois a préconisé une méthode fondée sur le cumul des résidus. Elle permet de déterminer un seuil à partir duquel la cassure est significative. La difficulté revient à rechercher une courbe de contrôle telle que tout dépassement conduit à repousser l'hypothèse d'homogénéité de la série avec un seuil de confiance Choisi. P Bois a montré que la courbe de contrôle a une forme ellipsoïdale (ellipse).

Cette méthode permet de dilater les différences, ce qui amplifie largement la clarté du graphique spécialement dans le cas où les écarts types sont faibles. Dès que les valeurs sortent de cette ellipse l'hypothèse H_0 est rejetée au seuil de confiance $1 - \alpha / 2$ soit un risque de 1^{ère} espèce $\alpha / 2$. La région de confiance est définie par :

$$\pm \frac{U_{1-\alpha/2} \sqrt{K(N-K)}}{\sqrt{(N-1)}} D_{xi}$$

III.2.3.4 Test de Pettitt [Pettitt, 1979; Servat et al., 1997]

Le test de Pettitt est une approche non-paramétrique dérivée du test de Mann & Withney permettant d'identifier un point de rupture dans une séquence de variables aléatoires indépendantes X_i , $i = 1, N$.

Le test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne. Pour cela on définit la variable :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \text{ ou } D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j) \text{ tel que } \begin{cases} \text{sgn}(X) = 1 & X > 0 \\ \text{sgn}(X) = 0 & X = 0 \\ \text{sgn}(X) = -1 & X < 0 \end{cases}$$

La faiblesse du test a pu être mise en évidence (Lubes-Niel et al., 1998) sur les ruptures dans une série chronologique portant sur l'écart-type.

III.2.3.5 Segmentation de Hubert (Hubert, 1993; Hubert et Carbonnel, 1993)

La procédure de segmentation de séries chronologiques et hydrométéorologiques a été présentée par Hubert en 1989. Le principe de cette procédure est de diviser la série en m segments ($m > 1$) de telle manière que la moyenne calculée soit significativement différente de la moyenne du segment voisin.

Soit une série chronologique X_i , $i = 1, N$. Toute série X_i pour $i = i_1, i_2$ telle que $i_1 \geq 1$, $i_2 \leq N$ et $i_1 < i_2$ constitue un segment de la série initiale. Toute partition de la série initiale en m segments constitue une segmentation d'ordre m de cette série.

Soit une segmentation d'ordre m particulière, on définit i_k avec $k = 1, \dots, m$ le rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du $k^{\text{ième}}$ segment avec par convention $i_0 = 0$, et $N_k = i_k - i_{k-1}$ la longueur.

$$\bar{X}_k = \frac{1}{N_k} \left(\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} x_i \right)$$

La segmentation retenue au terme de la mise en œuvre de la procédure doit être telle que pour un ordre m de segmentation donné, soit minimum. Cette condition est nécessaire mais pas suffisante pour déterminer la segmentation parfaite.

Aussi, cette contrainte est aisée (satisfaite) par application du test de scheffé qui repose sur le concept de contraste. Ce test peut être considéré comme un test de stationnarité où H_0 est l'hypothèse nulle.

III.2.4 Interpolation piézométrique à l'aide de la géostatistique

Face à la demande accrue du public d'avoir une information détaillée et fiable sur l'évolution de la ressource en eau souterraine, la modélisation spatiale constitue un élément fondamental de la chaîne d'outils de gestion de la ressource en eau. Une étude comparative de avait été proposée (IBTISSEM TRIKI et al., 2014), afin de tester trois méthodes d'interpolation spatiale, déterministes et stochastiques, disponibles dans l'extension « Geostatistical Analyst » d'ArcGis.

Le couplage des techniques de modélisation spatiale à celles des SIG a beaucoup évolué ces dernières années, grâce aux progrès de l'informatique. D'une part, les logiciels de traitement géostatistique se sont enrichis d'outils simplifiés de représentation géographique, voire, plus récemment, de fonctions d'import/export pour communiquer avec des logiciels SIG ; d'autre part, le logiciel ArcGis ont intégré les extensions Spatial Analyst, 3D Analyst, plus récemment complétées par Geostatistical Analyst (Thomas 2003).

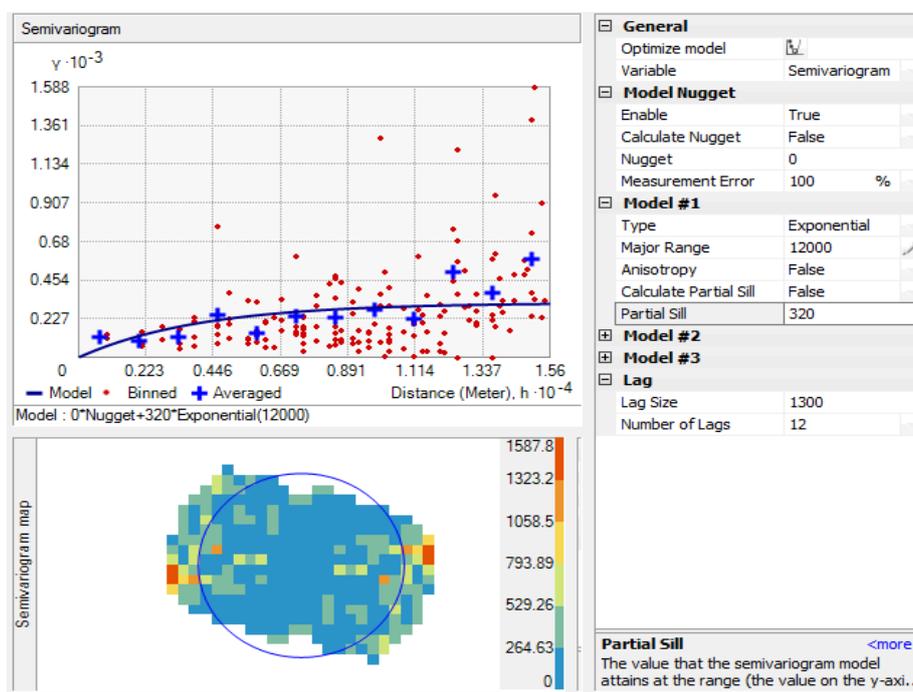


Figure III-2 : Module d'analyse géostatistique d'ArcGis

Les résultats indiquent la supériorité de la technique du krigeage universel par rapport aux estimations déterministes, avec une diminution de l'écart type des erreurs d'estimation allant jusqu'à 25 %. Pour cartographier la piézométrie, on a choisi la méthode d'interpolation par

krigeage. Dans ce cas le krigeage ordinaire n'est pas applicable et c'est le krigeage universel qui est le plus approprié. La calibration du modèle d'interpolation mis en œuvre dans l'interface du Geostatistical wizard s'est déroulée en plusieurs étapes. Cependant, après avoir fait plusieurs essais, nous avons finalement retenu une fonction de distribution de la variable niveau piézométrique (Figure III-). Cette étape consiste à élaborer un modèle de semivariance : en visualisant la surface et le nuage variographique à des pas de distance différents, on identifie un comportement isotrope. Par la suite, un variogramme omnidirectionnel à été établi pour chaque campagne piézométrique et différentes cartes ont été réalisées pour la région d'étude.

III.2.5 Établissement des profils des cotes piézométrique

Afin de comparer les niveaux piézométriques et d'analyser la fluctuation de ces derniers dans le temps, des profils piézométrique ont été réalisés pour les différentes campagnes de mesures. Ces profils ont été réalisés à l'aide de l'extension « 3DAnalyst » d'ArcGis, dans le but de superposer plusieurs campagnes piézométriques et de faire une représentation spatiale et temporelle des niveaux piézométrique du système aquifère de la zone d'étude.

Chapitre IV :

RESULTATS ET DISCUSSION

IV. Résultats et discussion

IV.1 Analyse des tendances dans les paramètres climatique

IV.1.1 Analyse des tendances de température

La température est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats vue son rôle prédominant dans le rayonnement et le bilan énergétique, d'où son importance capitale dans les études qui touchent de près ou de loin le domaine du changement climatique.

La température représente donc un facteur limitant vue son implication dans le contrôle de l'ensemble des phénomènes métaboliques et par ce fait le conditionnement total de la répartition de tous les êtres vivants.

IV.1.1.1 Analyse des tendances dans les séries de températures

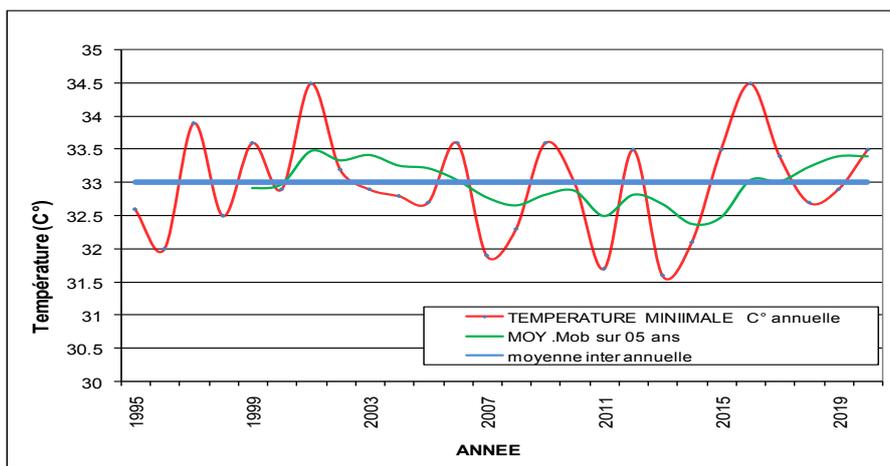
L'analyse des tendances de température de la région d'étude a été menée à travers les données disponibles relatives à la Station CHLEF période 1995-2020. L'objectif de cette partie est de caractériser la tendance générale du climat durant cette période dans la région de notre étude.

Pour les besoins de cette analyse, il est important d'avoir en notre disposition les différentes températures caractéristiques de la région d'études à savoir :

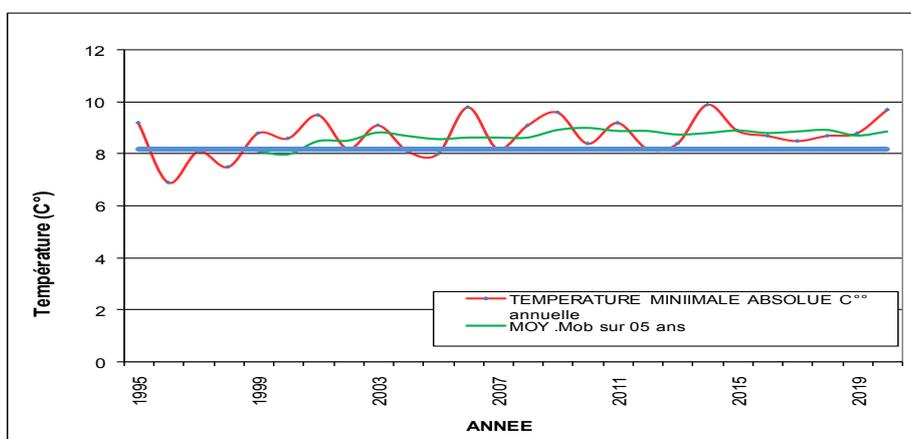
- Les maxima (T-Max)
- Les Minima (T-Min)
- La moyenne(T-Moy).

L'analyse des tendances par la méthode de moyenne mobile sur trois ans réalisée sur les séries des températures caractéristiques (Figure IV-1, a, b et c), met en évidence les constatations suivantes:

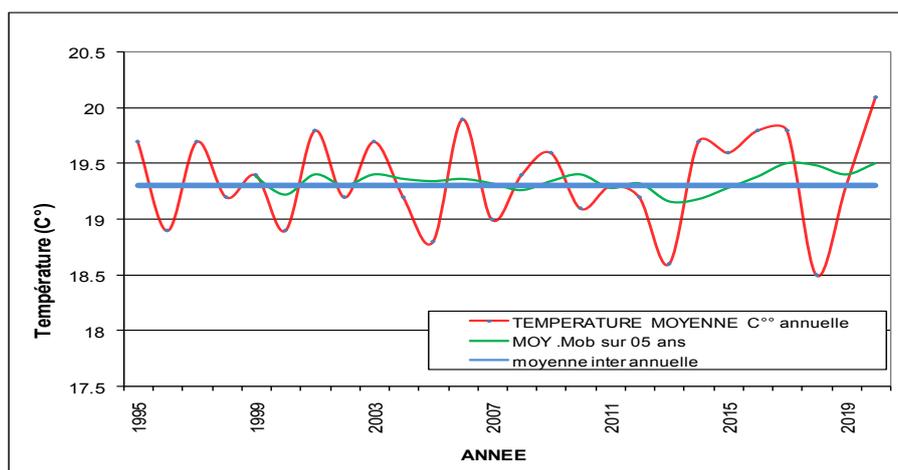
- Les températures maximales, ont connu une tendance significative à la hausse et atteignent une valeur maximale de 39.5°C.
- Les températures minimales, ont connues une tendance à la baisse et atteignent une valeur minimale de 5.5°C.
- La température moyenne varie au tour de 18°C avec une tendance à l'augmentation de 0.5 °C/an en moyenne.



(a)



(b)



(c)

Figure IV-1: Évolution des tendances temporelles des températures(a) – Max, (b)- Min et (c)- Moyennes, à la Station CHLEF période 1995-2020.

IV.1.2 Évolution des tendances dans les séries des précipitations

L'Algérie, vive depuis ces dernières décennies des changements du régime pluviométrique très importants, de nombreuses interrogations peuvent être posées quant aux causes, aux conséquences, voire à l'existence d'une variabilité de la pluviométrie. La première question, pour nous concerne un éventuel changement de la pluviométrie annuelle, notamment dans la région Chélif. Ces changements ont une influence négative sur les ressources en eau souterraine et superficielle (recharge des nappes et remplissage des barrages réservoirs...) et sur le rendement agricole.

La réduction de pluies affecte le renouvellement des ressources en eau superficielles et souterraines. L'étude de l'évolution des débits de certains cours d'eau montre une rupture de stationnant semblable à celle des pluies, c'est à dire à partir des années soixante-dix. Depuis cette époque, les volumes d'eau écoulés n'ont cessé de régresser, ce qui nuit aux potentialités des eaux superficielles et au remplissage des barrages de la région qui constituent le moyen le plus répandu de satisfaire les besoins en eau. Meddi, M. (1992)..

En hydrogéologie, la mesure de la valeur exacte des précipitations idéales a une grande importance pour l'estimation de la recharge. Cette estimation elle dépend de la densité et la répartition spatiale du réseau pluviométrique.

Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. D'une part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.). D'autre part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux.

IV.1.2.1 Statistiques descriptive des données pluviométriques disponibles

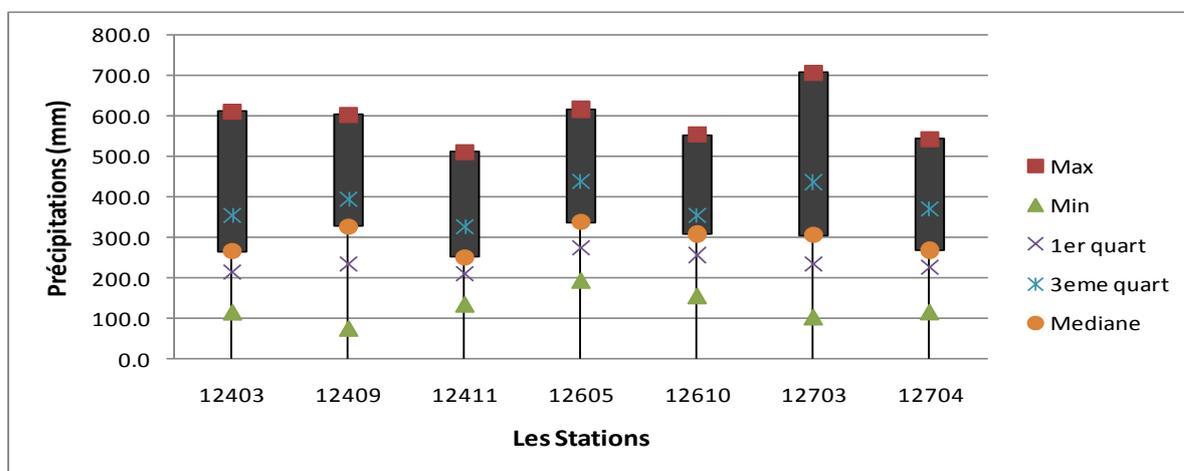
Les données pluviométriques disponibles à travers la région d'étude, présentent des séries d'observations qui suivent à priori des distributions normales, cela se traduit par la distribution des valeurs des paramètres centraux caractéristiques de ces séries (moyenne et médiane) dont les valeurs sont très proches (Tableau IV-2). Les écarts interquartiles enregistrés à travers l'ensemble sont aussi distribués d'une manière symétrique par rapport aux valeurs centrales.

Tableau IV-1: Caractéristiques statistiques des séries pluviométriques.

Code station	Max	Min	1er quart	3eme quart	Médiane
12403	612.4	114.9	216.9	354.7	266.9
12409	604.6	75.2	234.5	395.5	327.4
12411	511.9	134.2	211.4	326.3	252.8
12605	617.7	192.8	276.2	439.6	337.4
12610	554.5	154.8	258.1	356.1	309.7
12703	707.8	102.9	235.0	437.8	307.1
12704	543.6	115.4	229.2	370.1	270.2
12706	585.8	191.5	278.7	419.0	361.5
12802	462.9	125.4	218.9	350.3	286.3
12804	786.3	153.4	223.4	338.1	276.8
12806	470.3	195.7	238.5	347.2	309.3
12809	464.5	123.2	215.2	325.0	243.5
13410	401.3	139.9	190.9	256.0	223.9
13503	615.8	166.3	253.7	370.2	321.5
13504	422.1	117.1	205.6	324.3	270.1
13505	438.1	161.2	229.8	324.9	275.1
13506	479.1	115.8	208.8	302.5	263.7
13507	680.1	126.7	250.7	359.2	313.3
13606	533.4	168.5	255.3	411.8	321.9
40602	510.2	174.2	261.6	385.8	308.7

Une représentation des caractéristiques des séries pluviométriques en boîte à moustaches (box plot) (Figure IV-2), montre que la pluviométrie annuelle est caractérisée par une irrégularité dans l'espace.

- La région a connue des précipitations importantes qui dépassent 786.3 mm enregistrée dans la station DNE, S, LAKHDAR (012804) et plus de 700 mm enregistré au niveau de la station KENENDA FERME (012703) et L'HILLIL (013507).
- Tandis que, les valeurs minimales sont enregistrées au niveau de la station OUARIZANE (012409) avec une valeur minimal de 75.2 mm.
- Les précipitations moyennes de la région d'étude se situent généralement entre 240 mm et 480 mm.



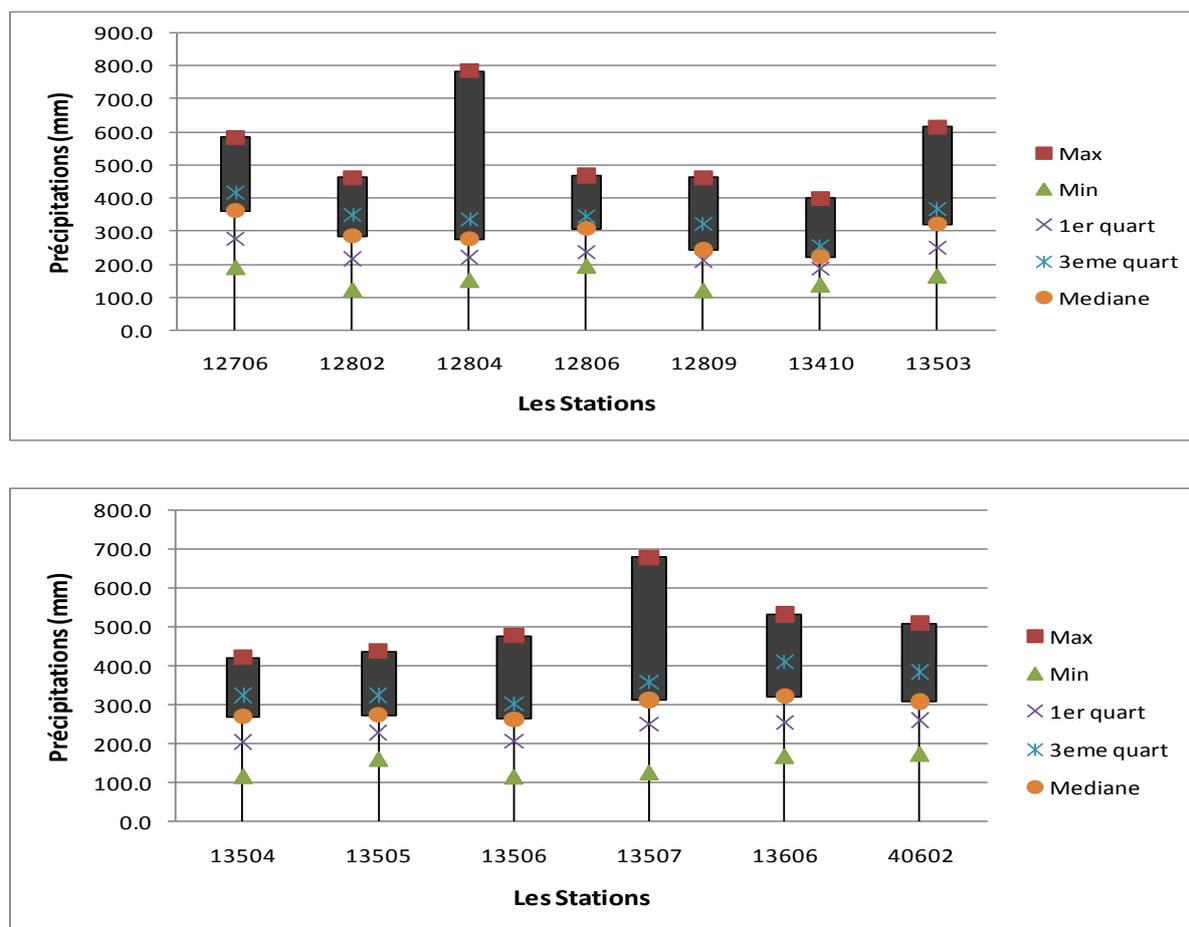


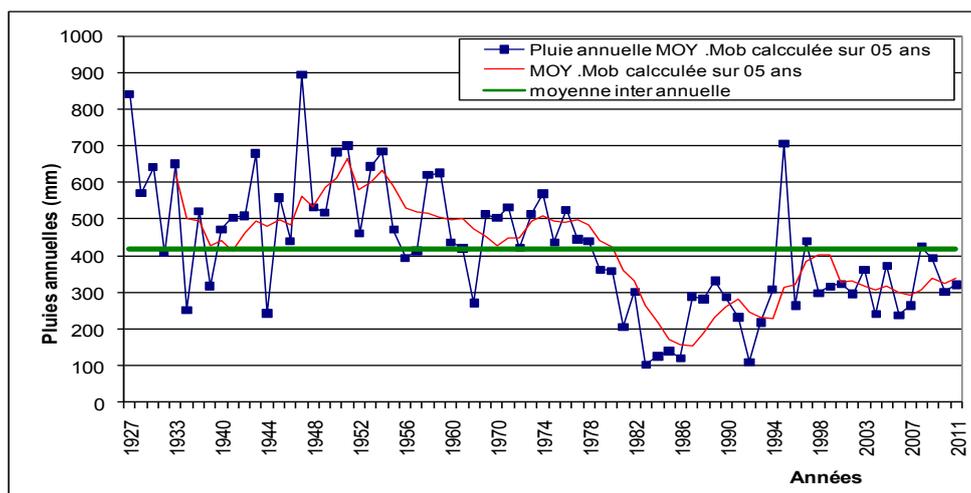
Figure IV-2: Représentation en box plot de séries pluviométriques.

IV.1.2.2 Tendence des précipitations moyennes annuelles

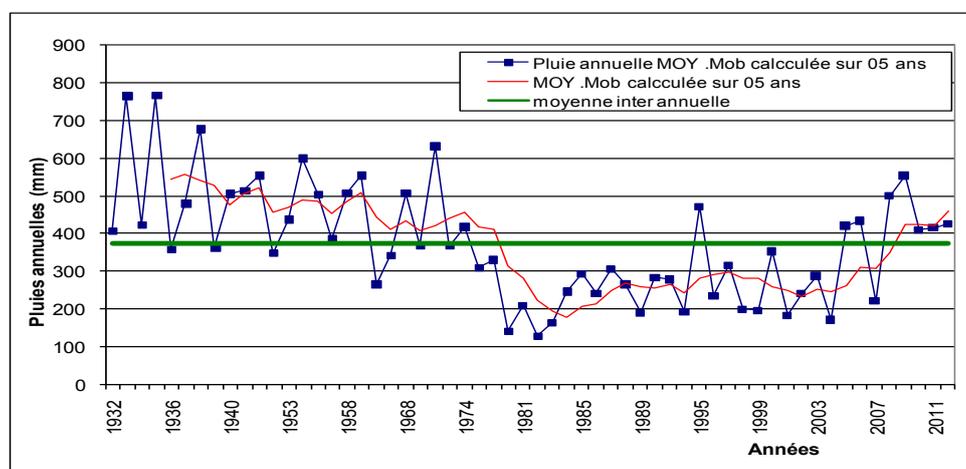
Les précipitations constituent la variable climatique la plus anciennement et la plus couramment enregistrée. Pour ces raisons, elles sont un précieux indicateur pour étudier l'évolution du climat.

Les séries pluviométriques se caractérisent fréquemment par des effectifs faibles, et ne répondent que rarement aux conditions requises pour l'application de tests statistiques dont certains sont paramétriques. Les tests non paramétriques ne font pas d'hypothèse sur la nature de la distribution de probabilité de la variable définissant la série des observations.

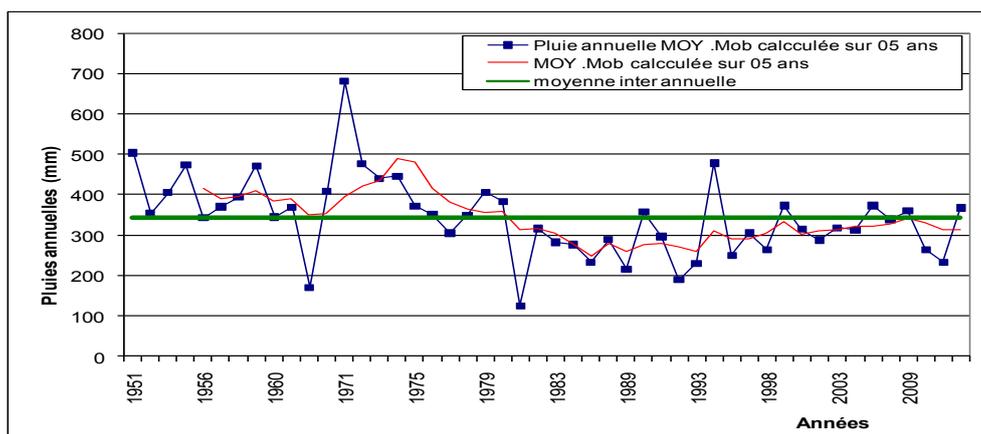
Nous espérons de mettre dans ce travail en évidence l'évolution du régime pluviométrique de la région du Bas Chéiff à partir des précipitations, par l'analyse des tendances des séries chronologiques. Ceci en appliquons les méthodes statistiques citées dans le chapitre précédent a fin de caractérisée les tendances générale de la pluviométrie et la détermination de l'année de rupture dans les séries pluviométrique.



(a)



(b)



(c)

Figure IV-3 : Evolution et tendance de la pluviométrie annuelle, à (a) les Stations KENENDA FERME (012703), (b) AMMI MOUSSA (012503), (c) L'HILLIL(012503)

L'analyse des tendances a été réalisée sur les valeurs des précipitations annuelles enregistrées dans les séries pluviométriques au niveau de certaines stations

L'examen des variations temporelles des moyennes annuelles des précipitations représentées sur la figure ci-dessus nous permettent de faire les constatations suivantes. Un filtre de moyennes mobiles sur cinq (5) ans a été appliqué afin de mettre en évidence les principales tendances.

Les filtres des moyennes mobile réalisée sur l'ensemble des stations de la région d'étude, montrent qu'il y a des années pluvieuses et d'autres moins pluvieuses. Les années moins pluvieuses deviennent de plus en plus fréquentes dès le début des années quatre vint (1980). De ce fait, la pluviométrie annuelle connaît une nette tendance vers la baisse.

Les courbes de tendance de la moyenne mobile obtenues, indiquent une diminution progressive des quantités de pluies. Cette diminution devient de plus en plus sévère et atteignent des valeurs au dessous de la normale.

L'examen des variations des données des précipitations de l'évolution et des tendances représentées sur le graphe nous permettent de faire les constatations suivantes:

- La majorité des stations représentent en moyenne la même oscillation (variation) des lames d'eau précipitées durant les années d'observation. L'intervalle de ces variations se situe entre 400 mm et 600 mm pour l'ensemble des stations,
- la variation des moyennes de précipitation permet de déduire que la période étudiée est caractérisée par deux périodes distinctes, une période pluvieuse et une autre sèche :
- La période humide caractérise les années antécédentes des années soixante dix.
- La période sèche commence avec la fin du 20ème siècle, une nette tendance décroissante apparaît des précipitations
- La majorité des stations ont enregistré une période sèche au cours des années 70 jusqu'au milieu des années 90 au niveau de la station 012503 SIDI HOSNI une période de sécheresse très dure qui s'étale depuis 1974 jusqu'à la fin de 1994.
- Au cours de la dernière décennie du 20ème siècle, le caractère excessif et contrasté de la pluviométrie comme on le remarque au niveau de la station 013507 et la station 012503.

IV.1.2.3 Analyse de rupture dans les séries pluviométriques

La méthodologie employée ici, consiste principalement à détecter les dates de ruptures aux seins des séries de précipitations annuelles retenues pour l'étude, ensuite la mise en évidence du changement climatique par l'estimation de la baisse ou la hausse des précipitations traduite par les écarts par rapport a la moyenne avant ou après la rupture.

En effet, la détection d'une ou plusieurs ruptures renseigne sur l'évolution pluviométrique dans la région donnée. Cette rupture peut être considéré comme étant due à un changement des paramètres de la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisateurs successives constituent les séries chronologiques étudiée.

Pour mettre en évidence le caractère stationnaire ou non des séries chronologiques des précipitations de la région du Bas Chéiff, on a utilisé les tests statistiques évoquer dans la partie précédente, portant l'analyse de tendance et de rupture en moyenne (Figure IV-4).

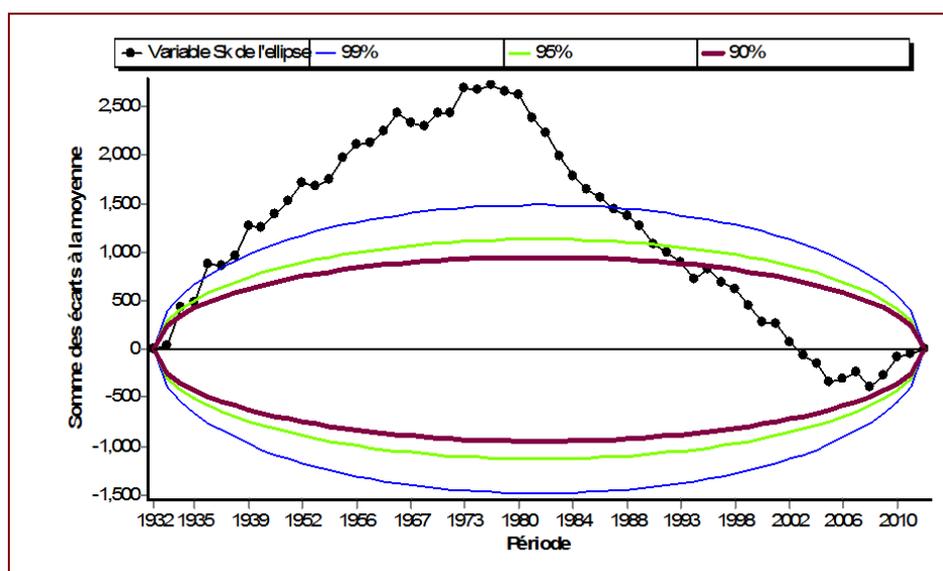


Figure IV-4: Exemple de l'ellipse de contrôle du test de Buishand (Station 012503)

Outre, le nombre de stations pluviométriques présentant de longues séries d'observations et peu de lacunes est très faible, De ce fait, sur les échantillons disponibles pour notre étude seulement 06 stations font objet de détection de rupture dans les séries chronologiques, sur la période d'observation relative aux différentes stations disponibles. Les résultats obtenus sont d'autant plus significatifs que la période étudiée est longue.

Les tests ont donnés des résultats différents pour certaines stations et une certaine concordance pour le reste (Figure IV-5, Annexe IV-2). Pour la majorité des stations, les différents tests montrent clairement que la rupture s'est produire durant la période 1974-1994

et c'est donc la que la baisse du module pluviométrique est devenue une réalité; donc, il faut faire face pour mieux gérer une ressource hydrique sans cesse décroissante face à une demande sans cesse en augmentation.

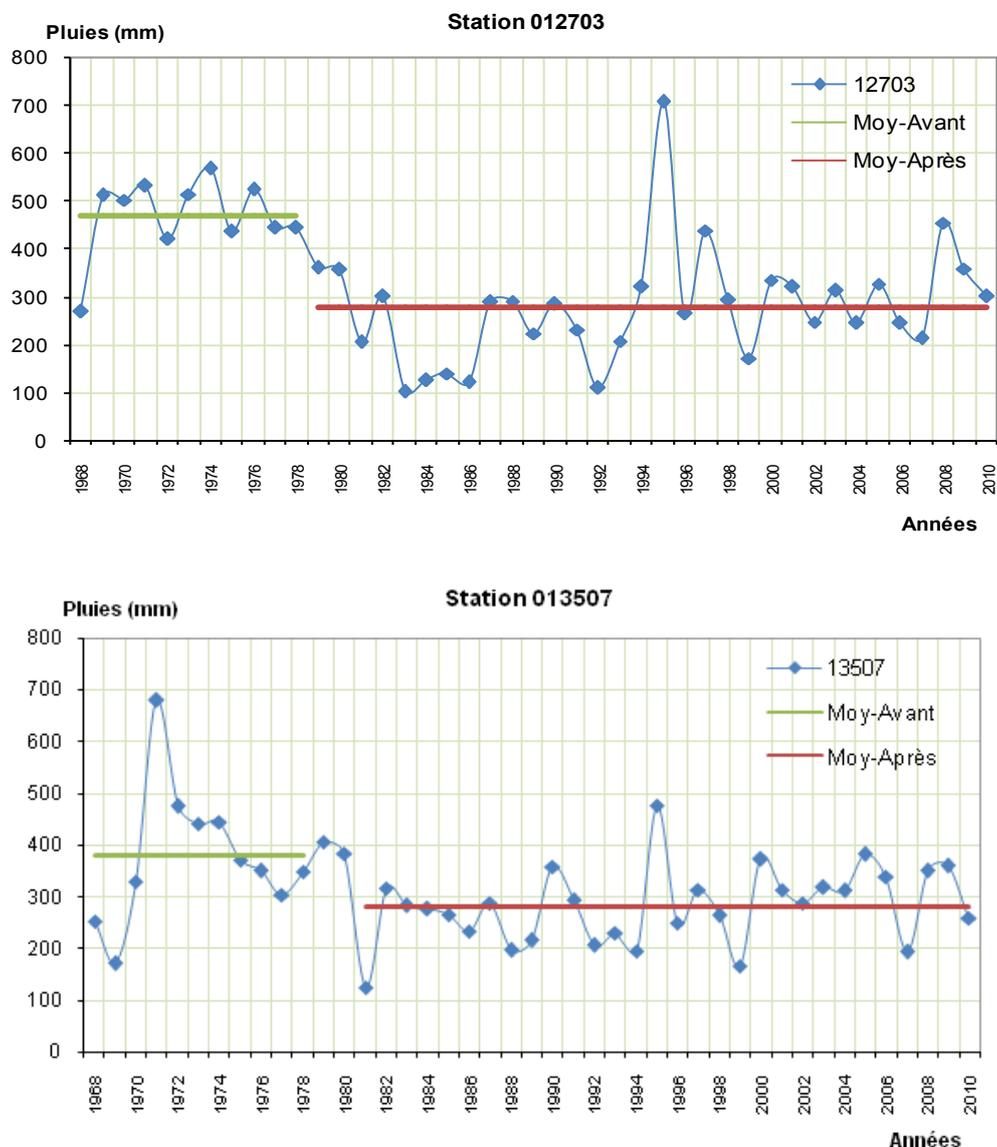


Figure IV-5 : Résultat de la détection de rupture dans les séries pluviométriques.

Ainsi, sur l'ensemble des stations étudiées, 06 stations (012703, 012503, 012804, 013507,013606) présentent de rupture de stationnarité durant la période allant de 1978 à 2002 (Tableau IV-2 et Annexe IV-2).

En effet, les résultats d'analyse montrent une stationnarité du régime pluviométrique pour les stations

Tableau IV-2: Résultats de test de rupture et déficits pluviométrique.

Code	Station	Moy	Moy Avant	Moy Après	Ecart	déficits (%)
12403	MERDJA KHABAIA,PV	291.2	378.4	261.2	117.2	40.3
12409	OUARIZANE	334.7	442.0	297.8	144.2	43.1
12605	A MOUSSA	362.0	453.7	330.4	123.3	34.1
12704	OULED AYCH	292.8	372.1	265.5	106.5	36.4
12802	EL HMADNA VILLAGE	286.0	362.5	259.7	102.8	36.0
13503	OUED DJEMAA	326.7	383.6	307.2	76.4	23.4

Nous concluons que cette analyse de rupture montre clairement la diminution dans les modules pluviométriques de l'ordre de 20 à 40% généralement enregistrée à travers le bassin du Bas Chéiff. Cette évolution négative a eu un effet néfaste sur le renouvellement de la ressource en eau de la région du point de vue quantitatif.

IV.2 Évolution et tendance du niveau de la profondeur de la nappe

Le niveau des nappes ou piézométrie dépend des conditions climatiques et des types d'aquifères. Les pluies sont plus ou moins efficaces pour la recharge des nappes ; leur efficacité dépend de la pluviométrie et de la répartition des pluies pendant l'année. La recharge des nappes a lieu en général entre les mois d'octobre et de mars, lorsque l'évapotranspiration est faible. La sécheresse des dernières décennies explique le niveau relativement bas des nappes souterraines mesuré pendant cette période par la plupart des piézomètres. Également, Les prélèvements d'eau souterraine pour les besoins de la population peuvent influencer le niveau des nappes. Cette situation se rencontre notamment lorsque la ressource est peu abondante, comme dans le bassin du Bas Chéiff ou les régions à caractères aride à semi aride.

De ce fait une analyse détaillé des niveaux piézométriques serait nécessaire, a fin de mettre en évidence les correspondances existants entre l'évolution des hauteurs de pluies et les niveaux piézométriques.

IV.2.1 Analyse exploratoire des données piézométriques

L'analyse exploratoire des données permet de visualiser et d'analyser les données disponibles et leur évolution dans le temps et dans l'espace.

Les aquifères du bassin du Bas Cheliff sont contrôlés par un réseau de mesure piézométrique de 20 piézomètres. Les données piézométrique disponibles sont enregistrées au niveau de 11 piézomètres seulement (figure IV-1) pour la période allant 1991 à 2006. Ces donnes vont

servir comme données de base pour l'analyse de l'évolution des tendances dans des niveaux de la nappe dans le bassin du Bas Cheliff

Il est ici rappelé que la variable d'intérêt étudiée est la cote piézométrique du système aquifère alluvionnaire du bassin du Bas Chélif, issue d'une série de campagnes de mesure effectuées de puis septembre 1991 à septembre 2006 sur l'ensemble des piézomètres de la zone d'étude. La piézométrie, quant à elle, est la mesure de la profondeur de la surface de la nappe.

Une carte piézométrique est une carte qui permet de visualiser les niveaux d'eau dans le sous-sol. Ces niveaux sont représentés par des courbes d'égale altitude, ou hydro isohypses, qui rejoignent les niveaux piézométriques identiques ; elles sont tracées grâce à des méthodes d'interpolations intégrées dans les outils Spatial analyste et 3D analyst d'ArcGis. Une carte piézométrique est donc une représentation spatiale des niveaux piézométriques.

IV.2.2 Évolution spatio-temporelle des niveaux piézométriques

Le suivi de l'évolution piézométrique de la nappe dans le temps et dans l'espace permet de reconnaître d'une part, la direction générale de l'écoulement et d'autre part d'identifier quelques paramètres hydrodynamiques. Ces derniers nous renseignent sur le temps de séjour des eaux d'infiltration dans la couche aquifère et par conséquent nous informe sur le degré des échanges géochimiques entre l'eau et la roche.

Dans le cadre de cette étude et pour suivre les fluctuations du niveau piézométrique de la nappe alluviale du Bas Chélif, on se propose d'analyser et d'interpréter les données piézométriques relatives aux différentes périodes et campagnes de mesures.

IV.2.2.1 Analyse de variation des niveaux piézométriques des hautes eaux

L'observation de la morphologie des cartes piézométriques des hautes eaux (figure IV-6, 7 et 8) permet de constater que :

- L'axe de drainage des eaux souterraines, en général, suit une direction d'Est vers l'Ouest, et coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Chélif qui draine des eaux de surface.
- L'écoulement des eaux de la nappe du Bas Chélif convergent vers l'axe du synclinale de ce dernier, dont l'axe principal suit le cours de l'Oued Chélif d'une part et celui de l'Oued Mina.
- La partie Sud Est (Oued Djemaa) de la nappe présente des gradients beaucoup plus faible, où les courbes hydroisohypses sont bien plus espacées. Dans la zone centrale, les courbes se trouvent espacées traduisent un gradient hydraulique assez faible. Cette

variation du gradient hydraulique peut être due, essentiellement, à l'hétérogénéité de la lithologie de la zone d'étude.

- Présence des zones de dépression en 1996 au point d'eau W130-235 situé au Sud Ouest.

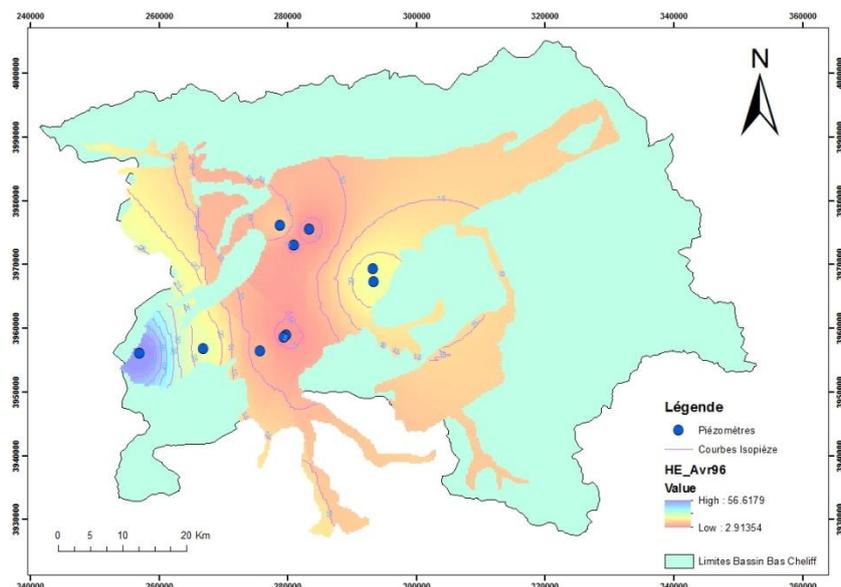


Figure IV-6 : Carte piézométrique des Hautes eaux pour la campagne Avril 1996.

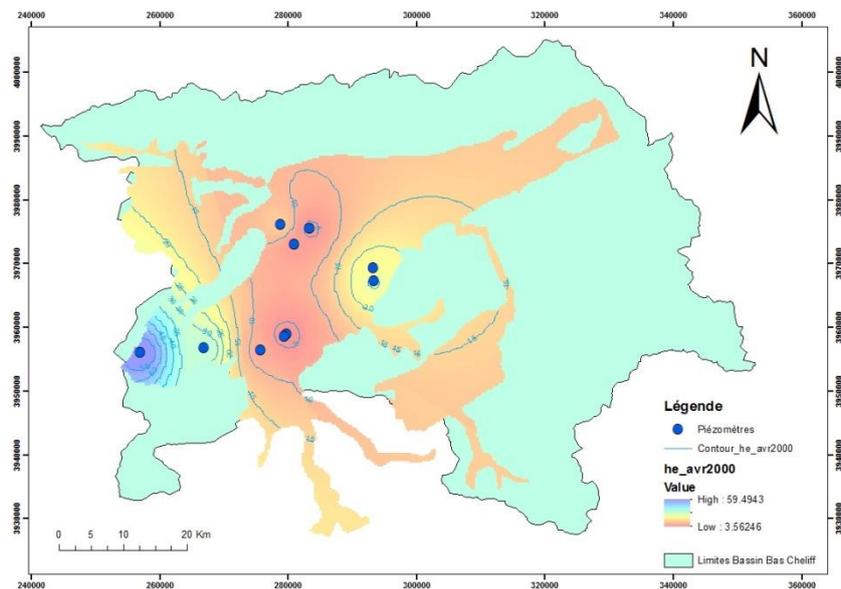


Figure IV-7: Carte piézométrique des Hautes eaux pour la campagne Avril 2000.

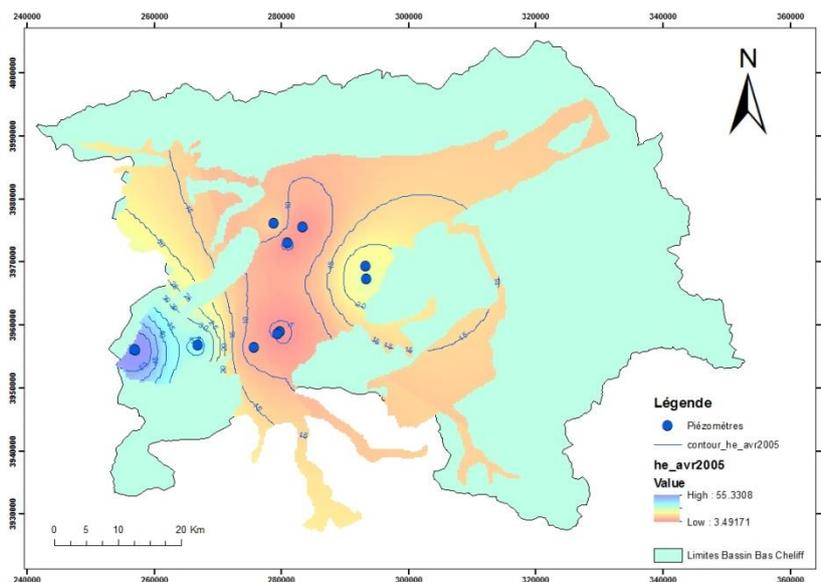


Figure IV-8 : Carte piézométrique des Hautes eaux pour la campagne de Mai 2005.

IV.2.2.2 Analyse de variation des niveaux piézométriques des basses eaux

L'examen des cartes piézométriques des basses eaux ne révèle aucun changement dans la morphologie des niveaux piézométriques par rapport aux cartes des hautes eaux, traduisant ainsi le même sens d'écoulement (figure IV-9, 10 et 11). On note toute fois, une diminution du niveau piézométrique due essentiellement à la faible recharge de la nappe.

- De même l'axe de drainage des eaux souterraines coïncide sensiblement avec le parcours de l'Oued Cheliff.
- La partie Sud Est (Oued Djemaa) de la nappe présente des gradients beaucoup plus faible, où les courbes hydroisohypses sont bien plus espacées. Dans la zone centrale, les courbes se trouvent espacées traduisent un gradient hydraulique assez faible. Cette variation du gradient hydraulique peut être due, essentiellement, à l'hétérogénéité de la lithologie de la zone d'étude.
- On observe aussi une exploitation importante où le niveau piézométrique présente une diminution brutale due à l'effet du pompage durant la période de basses eaux.

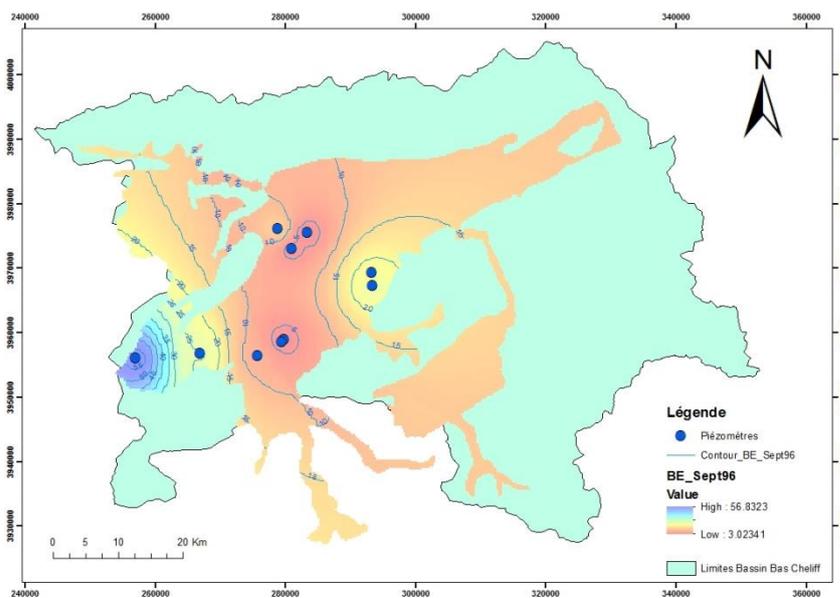


Figure IV-9 : Carte piézométrique des Basses eaux (Compagne de septembre 1996).

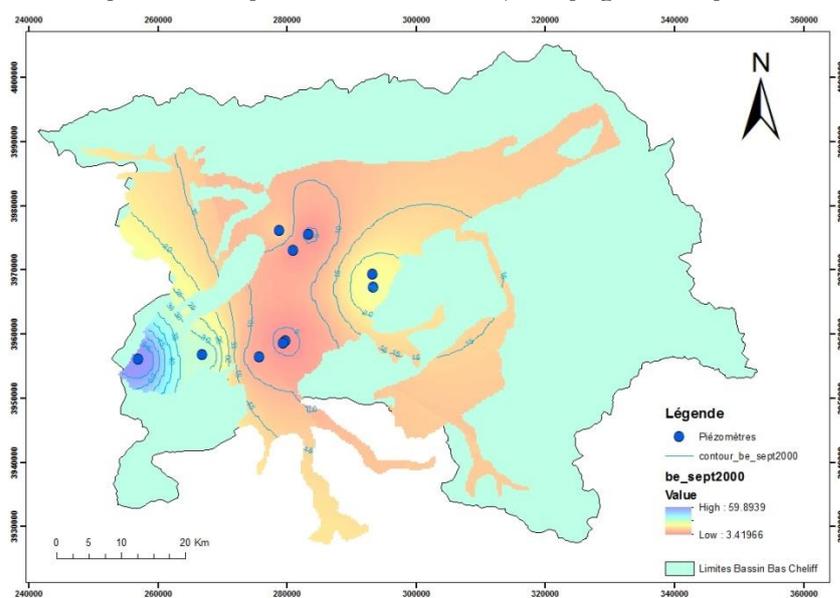


Figure IV-10 : Carte piézométrique des Basses eaux (Compagne de septembre 2000)

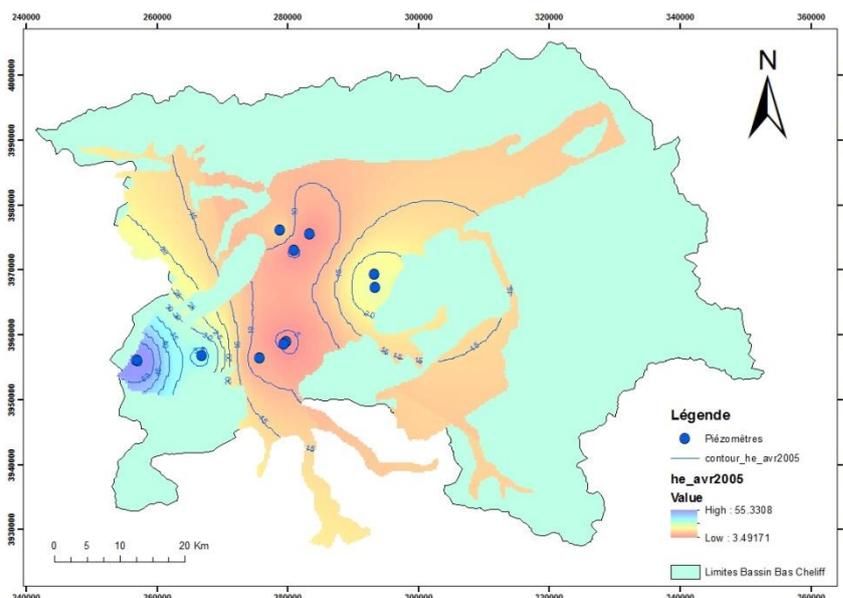


Figure IV-11 : Carte piézométrique des Basses eaux (Compagne de septembre 2005).

IV.2.2.3 Analyse des niveaux piézométriques à travers les profils

Afin de mieux cerner l'évolution et la fluctuation du niveau de la nappe, une autre procédure a été suivie en se basant sur le tracé des profils des niveaux piézométriques à travers la nappe objet de cette étude. Le choix du tracé de ces profils a été menu de façon à avoir le maximum de piézomètres en touchant d'une manière générale la morphologie de la nappe en allant de l'Est en Ouest c'est-à-dire de l'amont vers l'aval.

Ainsi, le tracé AB a été choisie pour la réalisation des différents profils relatifs aux différentes compagnes piézométriques (Figure IV-13).

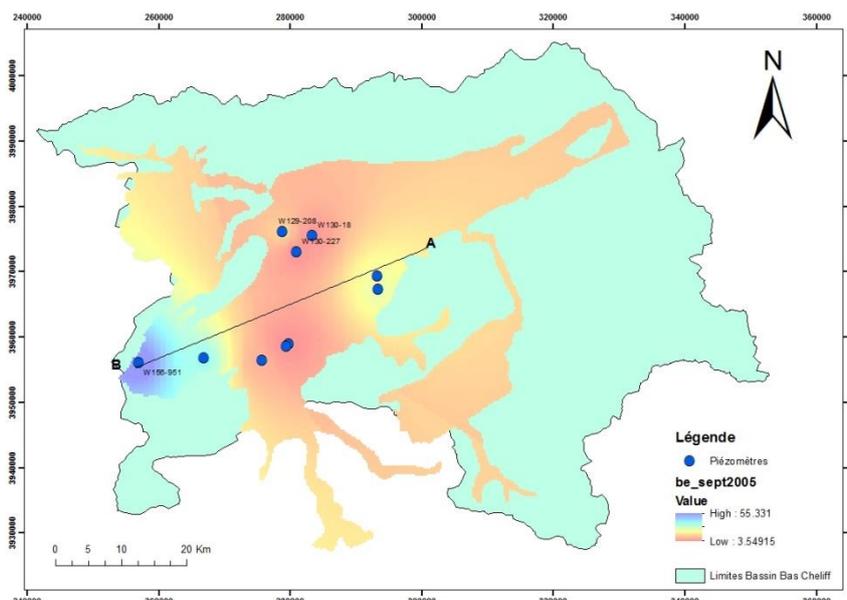


Figure IV-9: Tracé des profils piézométriques.

Pour illustrer l'évolution dans l'espace et dans le temps du niveau piézométrique au cours de ces dernières années nous avons utilisé des profils des niveaux piézométriques qui ont été réalisés pour différents horizons (Figure IV-11).

Les observations effectuées sur tous les piézomètres que se soit pour la période des hautes eaux ou celles des basses eaux, montrent une tendance légère à la baisse du niveau piézométrique pour les trois années 1991, 1996 et 2005 surtout pour les basses eaux.

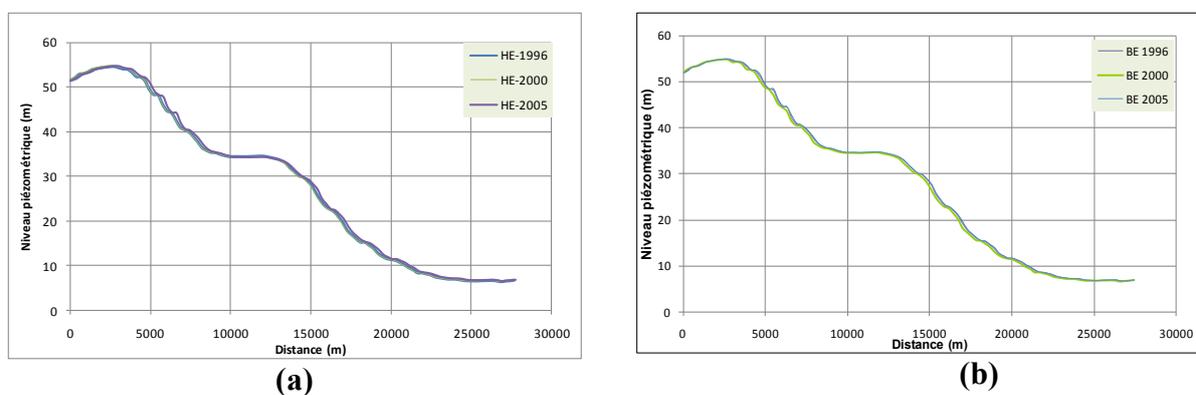


Figure IV-10: Profils piézométriques ((a)-hautes eaux et (b)- Basses eaux).

CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Au début des années 1970, une série d'événements a fait passer les recherches sur le climat au premier plan de l'actualité, ainsi la communauté scientifique internationale a commencé à s'interroger sur les conséquences possibles de la modification de la composition chimique de l'atmosphère. Ensuite, Les experts scientifiques ont déterminé un phénomène qui ne cesse de prendre de l'ampleur vu le risque qu'il présente pour l'humanité. Ce phénomène est celui du changement climatique ou particulièrement du changement de régime pluviométrique.

Afin d'atteindre cet objectif nous avons jugé nécessaire une étude de la variation des paramètres climatiques tels que la Température, précipitation, évaporation et leur impact sur la fluctuation du niveau piézométrique. Pour cela, différentes méthodes ont été employées.

En effet, avant de commencer l'étude nous avons défini certain concept clé en relation avec le climat et le changement climatique. Ainsi, définir une approche clé pour mener à bien notre travail.

L'approche méthodologique adoptée pour atteindre l'objectif de la présente étude, comporte les opérations suivantes :

- Analyse de la tendance des chroniques des paramètres climatique en utilisant méthode statistique telle que la moyenne mobile.
- La détection de la rupture aux seins des séries pluviométriques annuelles par tests statistiques. Cette rupture se traduit par un changement de loi de probabilité.
- De mettre en évidence l'évolution du climat à l'aide des indices climatiques (indice de précipitation standardisé SPI...).
- La comparaison des résultats obtenus avec l'évolution du niveau piézométrique de la nappe.

Ce pendant, l'analyse des tendances réalisée sur les séries chronologiques enregistrées à travers les stations pluviométriques de la région du Bas Chélif, sur une période de 42 ans allant de 1968 à 2010.

Des filtres de moyennes mobiles sur trois (5) ont été appliqués afin de mettre en évidence les principales tendances. Cette méthode a mis en évidence la succession de deux phases, un long épisode globalement pluvieux qui s'est étendu entre le début des années 60 et la fin des années 80, une période globalement déficitaire, qui aurait commencé au début des années 90 et qui persiste jusqu'à nos jours.

Quant aux tests de détection de la rupture au sein des séries pluviométrique, (Buishand, 1984, Pettitt, 1979, Lee et Heghinian, 1977 et Hubert, 1997). Les résultats obtenus montres

l'existence d'une rupture de stationnarité dans les données pluviométriques, cette rupture se manifeste généralement vers la fin des années soixante dis et le début des années quatre vingt.

Outre, l'analyse de la fluctuation des niveaux piézométrique montre que la nappe du Bas Chélif a connu une tendance légère à la baisse du niveau piézométrique pour la période 1991-2005 surtout dans la partie Ouest de région d'étude, Cette baisse, s'explique principalement par la surexploitation des eaux souterraines et aux longs épisodes de sécheresse qui ont été sévi sur la région.

Finalement, et au vu de ce qui précède, il s'avère que la sécheresse est un mal qui ne peut être combattu. Il faudrait en revanche la gérer et développer des stratégies pour surmonter ces effets. Ainsi, il est recommandé :

- De revoir la possibilité d'augmenté la fréquence d'observations des niveaux piézométriques (échelle de temps mensuelles au lieu de campagnes chaque six mois), afin d'amélioré l'information sur le niveau de la nappe en nombre et en qualité.
- D'encourager et de promouvoir les responsables, les décideurs et les agences chargées, devaient engager plus d'efforts et mettre dans leur priorités des programmes de développement d'un modèle hydrodynamique du système hydrogéologique du Bas Chélif. Dont le but est d'actualiser l'évaluation des ressources exploitables de les aquifères quaternaires du Bas Chélif, tenant compte l'évolution climatique et de mettre au point des scénarios de développement d'exploitation future des ressources en eau souterraines dans toute la région.
- De complété l'analyse hydroclimatique par l'analyse des tendances des paramètres physico-chimiques pour trouver des relations ou d'expliquer l'impact des évolutions hydroclimatiques sur la qualité des eaux souterraine.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

ABDERRAHMANI, BELAI. Les risques climatiques et leurs impacts sur l'environnement. Thèse doctorat. Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. Faculté de Chimie .Département de Chimie Organique Industrielle. Année de soutenance 2015. Disponible sur < dspace.univ-usto.dz>. Consulté le : 05/01/2016.

ALLEY, W., REILLY, T., FRANKE, O.,1999. Sustainability of ground-water resources. Denver, Colorado.

BAGHDADLI, ILYAS. L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch. 74pages. Mémoire master. UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM.FACULTE DE TECHNOLOGIE. DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE. Année de soutenance 2014. Disponible sur :< dspace.univ-tlemcen.dz>. Consulter le 06/12/2015

BATESB et AL. ,2008:Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le GIEC, Genève, 236p.

BARRON et AL., 2011.Climate change impact on groundwater resources in Australia.Natl. Water Comm. 222.

CHRISTIAN, GODIN. La totalité, Volume 5. Editions Champ Vallon, 2002 - 954 pages. Disponible sur :< books.google.fr>. Consulter 06/12/2015.

CLOUTIER, V., et AL., 2009. Desalination of a sedimentary rock aquifer system invaded by Pleistocene Champlain Sea water and processes controlling groundwater geochemistry. Environ. Earth Sci. 59, 977–994.

HELGA-JANE SCARWELL, ISABELLE ROUSSEL. Le Changement climatique : Quand le climat nous pousse à changer d'ère. Presses Univ. Septentrion, France. 2010 - 358 pages. Disponible sur :< books.google.fr>. Consulter le 06/12/2015.

KLOPPMANN, W et AL., 2010. Salinisation des masses d'eaux en France métropolitaine et dans l'Outre-mer.

KUNDZEWICZ, Z.W., DÖLL, P., 2009. Will groundwater ease freshwater stress under climate change? Hydrol. Sci. J. 54, 665–675.

KUMAR, C., 2012. Climate Change and Its Impact on Groundwater Resources 1, 43–60.

MARGAT, J., FOSTER, S., DROUBI, A., 2006.Non-Renewable Groundwater Resources.A Guidebook on Socially Sustainable Management for Water Policy Makers, Arid Lands Water Evaluation and Management.

Mousel, 1999) Il a été président de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, il a fondé et présidé l'Association 4D4, et travaillé dans diverses administrations françaises de l'environnement.

DRAGONI, W., SUKHIJA, B.S., 2008. Climate change and groundwater: a short review. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 288, 1–12.

Kevin Trenberth- Meteofrance.fr est Distinguished Scholar au National Center of Atmospheric Research (NCAR) à Boulder, il a obtenu son Sc. D. en météorologie en 1972 du Massachusetts Institute of Technology. Il a été l'un des principaux auteurs des rapports d'évaluation scientifique des changements climatiques de 1995, 2001 et 2007 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) .Il a siégé de 1999 à 2006 au Comité scientifique conjoint du Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC) et a présidé un certain nombre de comités pendant plus de 20 ans.

Nathalie Mayer . Journaliste, principalement dans les rubriques matière et planète et pour tout ce qui touche aux questions énergétiques futura-sciences.com

RANJAN, P., KAZAMA, S., SAWAMOTO, M., 2006. Effects of climate change on coastal fresh groundwater resources. Glob. Environ. Chang. 16, 388–399.

Thierry Dudok de Wit est enseignant-chercheur à l'Université d'Orléans

SAIDA, NIAZI, 2007. Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc) : Vulnérabilité et Adaptation. Thèse doctorat. UNIVERSITÉ MOHAMMED V – AGDAL . FACULTÉ DES SCIENCES. Disponible sur <toubkal.imist.m>. Consulté le : 05/01/2016.

TABET, SLIMANE, 2008. le changement climatique en algerie orientale et ses consequences sur la vegetation forestiere. mémoire magistère. UNIVERSITÉ MENTOURI CONSTANTINE. faculte des sciences de la nature et de la viedepartement de biologie et d'ecologie. disponible sur < bu.umc.edu.dz>. consulté le :05/01/2016.

TABEAUD, MARTINE, 2008. La climatologie générale. 3ème édition. Paris : Armand Colin, 126p **ALLEY, W., REILLY, T., FRANKE, O., 1999.** Sustainability of ground-water resources. Denver, Colorado.

Tricia Stadnyk, professeur associée en ingénierie hydraulique à l'Université du Manitoba (Canada)

VAN VLIET, 2007. Impact of climate change on groundwater review. IGRAC report for TNO Bouw en Ondergrond.

VERNOUX, J.F, 2015. Réseau de référence piézométrique pour le suivi de l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines. Rapport final. BRGM/RP-64858-FR, 51 p., 18 fig., 7 tabl., 1 ann.

William Herschel (né Friedrich Wilhelm Herschel) est un astronome britannique. C'est lui qui, en 1800, découvre les « rayons calorifiques²⁷ », que nous appelons aujourd'hui rayonnement infrarouge.

Contexte hydrogéologique, estimation de l'infiltration efficace dans la plaine alluviale du bas Cheliff / année 2015.

Doucement cadastre hydraulique (source : ABH-CZ année 2004) ; du bassin hydrographique du Cheliff-Aval du barrage de Boughzoul, partie : Bas Cheliff et la Mina.

Aperçu hydroclimatique, étude des propriétés physico-chimique des eaux souterraines de l'aquifère alluviale du bas Cheliff, consulté 2012-2013.

