

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 جيلالي بونعامة خميس مليانة

Université Djilali Bounaama Khemis Miliana

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

Département de Biologie



MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Bioclimatologie

**La variabilité climatique et son impact sur les ressources
en eaux Souterraine dans la région de Haut et Moyen
Cheliff**

Présenté Par : M^{elle} ASKAR SAIDA.

M^{elle} TIFRANE HAFIDHA.

Soutenu le :

Devant le **Jury :**

<u>President:</u>	Mr. Boucefiane AEK	MCB	UDBKM
<u>Promoteur:</u>	Mr. Mehaigne Madjid	MCB	UDBKM
<u>Co-promoteur:</u>	Mr. Khaldi Abdelkarim	MCB	INRA RELIZANE
<u>Examineurs:</u>	Mr Amrani Rachid	MAA	UDBKM
	Mme Mostfaoui Hassiba	MAA	UDBKM

Année universitaire : 2017/2018.



Remerciements

*Pour commencer nous remercions tout d'abord **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a toujours donné la force de passer à travers toutes les épreuves et les découragements, qui nous a aidée à mener à terme Cette étude.*

Nous remercions sincèrement notre promoteur Mr Mehaiguen Madjid pour ses judicieux conseils. Quelques mots ne suffiront pas à exprimer notre profonde gratitude pour la confiance que vous nous avez accordée en acceptant de superviser ce travail.

Nous tenon à remercier vivement tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et principalement l'ensemble des enseignants du département de Biologie, spécialité Bioclimatologie, n'oublier pas Mr Ouadhah Bouzar le directeur de station ONM Ain Defla et Mr Hamrani, Mr Soltani AËK.

Nos remerciements vont aussi aux personnels :

*Nous ne saurions oublier de remercier les honorables membres du jury, Monsieur **Boucefiane AËK** qui a bien voulu accepter d'être président de jury, Monsieur **Amrani Rachid** et Madame **Mostfaoui Hassiba** qui a accepté la lourde tâche d'être examinateurs de notre travail. Et qui nous ont fait l'immense honneur de présider et d'examiner ce travail. Nos remerciements vont aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin même avec un bon mot humble, sincère et sourire pour l'établissement de ce modeste travail. A Tous ceux qui nous ferons l'honneur de tenir ce mémoire.*



Dédicaces

Avant tous, je remercie ALLAH de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaires pour atteindre mon travail.

Je dédicace ce modeste travail :

- ✓ *Merci ma très chère mère Dhaouia qui s'est toujours sacrifiée pour mon éducation et qui m'a entourée de son de son amour et de son affection, ainsi qu'a ma très cher père Dilmi qu'est à l'origine de ce qui je suis ;*
A Mes très chers frères et Ahmad et Abd El Kadar et Islame, Hamide, Akram et ma sœurs lwiza et Ikrame, Fadhila.
- ✓ *A Mes très chers(e) et meilleurs amis(e) : Hafidha, Amira, Hasina, Zahra, Rima, Radia, Nasrine, Mouloud, Yassine, Hamza, Ayoub, Elmekkedem, qu'avec eux j'ai passé des meilleurs moments inoubliables ;*
- ✓ *A Ma binôme Hafidha et sa Famille Tifrane et la famille Tetbirt et mon promoteur M^r Mehaiguene Madjid pour ses conseils et ses Consultations qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon travail.*

A.saida



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*A mon « Allah » et mon prophète Mohammed (صلى الله عليه و سلم) et nation
islamique*

A mes chers parents, ma mère Bakhta

*A mon promoteur Dr .Mehaiguene Madjid pour ses conseils et ses Consultations
qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon travail.*

A mes Très chers frères

A mes Très chers sœurs

A toute ma famille paternelle Tifrane, et ma famille maternelle Kardade

✓ *A toutes mes amies Amira, Hasina, Zahra, Rima, qu'avec eux j'ai passé
des meilleurs moments inoubliables.*

✓ *A Ma binôme Askar Saida et sa Famille et la famille Tetbirt.*

A toute personne qui a contribué à la réalisation de ce manuscrit

De près ou de loin.

T.hafidha

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°01: Représente les coordonnées géographiques des stations de Miliana, Khemis Miliana et Chlef.....	18
Tableau n°02: Coordonnées géographiques des stations pluviométriques.....	18
Tableau n°03: Coordonnées géographiques des points d'eaux.....	19
Tableau n°04: Moyennes mensuelles des températures (°C) et des précipitations (mm) aux stations de Chlef, Miliana et Khemis Miliana (1968-2017).....	22
Tableau n°05: Calcul de Q2 aux différentes stations.....	24
Tableau n°06: Analyse des précipitations interannuelles à différentes stations (1968_2017).....	38
Tableau n°07: Analyse des moyennes hivernales et printanières sur les deux périodes (1968-2000) (2001-2014).....	51
Tableau n°08: Représente les calculs de l'indice d'aridité de De Martonne(I_{AA}) du trois stations.....	51
Tableau n° 09: L'évapotranspiration réelle avec différentes méthodes à la station de Khemis Miliana.....	52
Tableau n° 10: Différents paramètres de débit (1968-2001).....	52
Tableau n°11: Paramètres statistiques des débits interannuels.....	53

LISTES DES FIGURES

Figure 01: Evolution des concentrations de dioxyde de carbone durant la periode 900-2000.	8
Figure 02: Evolution de la temperature durant la periode 1860-1998.	8
Figure 03: La niege sur les dunes du desert – janvier 2017	10
Figure 04: Feux de forets a tizi ouzou-juillet 2017	10
Figure 05: Sécheresse, le barrage taksber a novembre 2017	10
Figure 06: Projection du stress et de la penurie d'eau douce en 2050.....	14
Figure 07: Carte de localisation du bassin versant du Haut cheliff	18
Figure 08: Localisation geographiques des stations pluviometriques et Hydrométrie dans le Haut et moyen cheliff.....	19
Figure 09: Localisation geographique des points d’eaux dans le Haut cheliff.	20
Figure 10: Digramme ombrothermique à la station de Chlef (1968-2017).	21
Figure 11: Diagramme ombrothermique à la station de Khemis Miliana (1968-2003).....	21
Figure 12: Diagramme ombrothermique à la station de Miliana (1990-2005).	22
Figure 13: Climagramme d’emberger des stations Chlef, Khemis Miliana et Miliana.	23
Figure 14: Temperature minimale, maximale et moyenne a la periode de 1968 a 2017 (station de Chlef).....	35
Figure15: Moyen decennié de la temperature a la station de Chlef (1960-2010).	36
Figure 16: Temperature minimale, maximale et moyenne a la periode de1960 a 2010(station de Khemis Miliana).....	36
Figure17: Moyen decennié de la temperature a la station de Khemis Miliana (1960-2010).	37
Figure 18: Temperature minimale, maximale et moyenne a la periode de 1967 a 2005(station de Miliana).	37
Figure 19: Moyen decennié de la temperature a la station de Miliana (1967-2005).	38
Figure 20: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station de Chlef.	40
Figure 21: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station de Ponteba Defluent.	40
Figure 22: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station d’El Touibia	41
Figure 23: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station de Bordj El Amir Khaled.	41
Figure 24: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station de Khemis Miliana.	42
Figure 25: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station de Sidi lakhdar.	42

Figure 26 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station d’Arib Ebda.....	43
Figure 27: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station d’Ain Defla.	43
Figure 28: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station de Ghrib Bge.	44
Figure 29: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station d’Ain soltane.....	44
Figure 30: Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de precipitation a la station de Miliana.	45
Figure 31: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station de Chlef.	45
Figure 32: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station de Ponteba defluent.	46
Figure 33: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station d’El Touibia.....	46
Figure 34: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station de Bordj El Amir Khaled.	47
Figure 35: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station de Khemis Miliana.	47
Figure 36: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station de Sidi lakhdar.....	48
Figure 37: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station d’Arib Ebda.	48
Figure 38: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station d’Ain Defla.....	49
Figure 39: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station de Ghrib Bge.	49
Figure 40: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station d’Ain Soltane.....	50
Figure 41: Moyenne inter-mensuelle de precipitation à la station de Miliana.....	50
Figure 43: Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d’ecoulement à la station d’Arib Chlef (011702) (1968-2001)	54
Figure 44: Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d’ecoulement à la station d’El abadia (012001) (1968-2001).....	55
Figure 45: Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d’ecoulement à la station d’El ababsa (011715) (1968-2001).	55
Figure 46: Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d’ecoulement à la station d’Arib Ebda (011801) (1968-2001).....	56
Figure 47: Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d’ecoulement à la station de Bir Oueld Tahar (011905) (1968-2001).	56
Figure 48: Moyenne mensuelle d’ecoulement à la station de Djenan.B.Ouadah (011514) (1968-2001).....	57

Figure 49: Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'Arib Chlef (011702) (1968-2001).	57
Figure 50: Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'El abadia (012001) (1968-2001).	58
Figure 51: Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'El ababsa (011715) (1968-2001).	58
Figure 52: Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'Arib Ebda (011801) (1968-2001) .	59
Figure 53: Moyenne mensuelle d'écoulement à la station de Bir Oueld Taher (011905) (1968-2001).	59
Figure 54: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011702) et Pluviometrique (011706), periode (1968-2001).	60
Figure 55: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011702) et Pluviometrique (011703), periode (1968-2001).	60
Figure 56: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011702) et Pluviometrique (011711), periode (1968-2001).	61
Figure 57: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011715) et Pluviometrique (011703), periode (1968-2001).	61
Figure 58: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011715) et Pluviometrique (011706), periode (1968-2001).	62
Figure 59: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011715) et Pluviometrique (011711), periode (1968-2001).	62
Figure 60: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011514) et Pluviometrique (011512), periode (1968-2001).	63
Figure 61: Relation pluie –debit aux stations hydrometrique (011905) et Pluviometrique (011901), periode (1968-2001).	63
Figure 62: Ecoulement interannuel et deficit d'écoulement. (1968-2001).	64
Figure 63: Évolution temporelle du niveau piezometrique durant la periode des hautes eaux (1990-2014).	65
Figure 64: Évolution temporelle du niveau piezometrique durant la periode de basses eaux (1988-2014).	65
Figure 65: Fluctuation moyenne des points d'eau sur la plaine de Haut Cheliff.	66

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à L'étude de l'impact de variabilité climatique et de la sécheresse sur les ressources en eau souterraine.

La région de Haut Cheliff a connue une diminution pluviométrique annuelle au cours des trois dernières décennies. Cette variabilité s'est particulièrement accentuée à partir des années quatre-vingt et a eu des impacts négatifs importants sur la ressource en eau tant superficielle que souterraine, ainsi que sur le cycle des précipitations. Pour le bassin du Cheliff, La diminution des précipitations a clairement entraîné une tendance à la baisse des apports d'eau, ce déficit hydrique est évalué entre et 535 (Mm³), 124 (Mm³) Pour les périodes 1968-2001.

L'analyse de la température minimale et maximale de 1968 à 2017 moyenne durant la période de 1968 à 2017 a permis de déceler une augmentation des minima et des maxima avec un moyenne de 0,3°C à la station de Chlef, et 1,4°C à la station de Khemis Miliana et 2,5°C à la station de Miliana.

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).

Mots clés : variabilité climatique, sévérité de la sécheresse, indice standardisé de précipitation, ressources en eau souterraine, Haut Cheliff.

Abstract

The objective of this work is the impact of climate change and drought on ground water resources.

The High Cheliff has known a decrease in annual rainfall over the last three decades. This variability has particularly increased since the 1980s and has had significant negative impacts on both surface and groundwater resources, as well as on the precipitation cycle. For the Cheliff Basin, the decrease in rainfall clearly led to a downward trend in water supplies, this water deficit is estimated between and 535(Mm³), 124 (Mm³) for the periods 1968-2001.

The analysis of the average minimum and maximum temperature (1968-2017) revealed an increase of the minima and maxima with an average of 0.3°C at the Chlef station, and 1.4°C at the Khemis Miliana station and 2,5°C at the Miliana station.

The results obtained by studying the severity of drought, using different indices such as rainfall indices and the standardized precipitation index, confirm the persistence and abundance of the deficit years during the last three decades.

The piezometric level (1988-2014) shows evolution characterized by a decrease during the period of low water under the effect of the evaporation and a rise during the period of high water, due to the effect of artificial recharge (dropped water from the dam and the drainage of irrigation water).

Key words: Climate change, severity of drought, standardized precipitation index, ground water resources, High Cheliff.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تأثير تغير المناخ والجفاف على موارد المياه الجوفية.

شهدت منطقة شلف الأعلى تباينًا في انخفاض هطول الأمطار السنوية خلال الثلاث عشريات الأخيرة. يعتبر التغير أمرًا ضروريًا لمعرفة الانخفاض في نمط سقوط الأمطار خلال العقد الأخيرين و يرجع أساس هذا النزول الى انخفاض أمطار الربيع وكذا امطار الشتاء. قد ازداد هذا التفاوت بشكل خاص منذ الثمانينات ، وكان له آثار سلبية كبيرة على كل من موارد المياه السطحية والجوفية ، وكذلك على دورة الماء بالنسبة لحوض الشلف . لقد نتج عن انخفاض هطول الأمطار زيادة في العجز ويقدر هذا العجز في المياه بين 535 (مليون م³) و 124 (مليون م³) ما بين الفترة 1968-2001.

كشفت تحليل متوسط درجة الحرارة الدنيا والقصوى خلال الفترة (1968-2017) عن زيادة الحد الأدنى والحد الأقصى بمتوسط 0.3 درجة مئوية في محطة الشلف و 1.4 درجة مئوية في محطة خميس مليانة 2,5 درجات مئوية في محطة مليانة.

النتائج التي تم الحصول عليها من خلال دراسة شدة الجفاف، باستخدام مؤشرات مختلفة مثل مؤشر شدة الجفاف ومؤشر هطول الأمطار الموحد تؤكد استمرار وتوالي سنوات العجز المائي خلال العقود الثلاثة الماضية.

يوضح مستوى القياس البيزوميترى خلال الفترة (1988-2014) تطور متباين ، يتميز بانخفاض خلال فترة الجفاف تحت تأثير التبخر وارتفاع خلال فترة الفيضانات ، وذلك بسبب تأثير الامتلاء الاصطناعي لمياه السد او من تصريف مياه السقي.

الكلمات المفتاحية : تغير المناخ ، شدة الجفاف ، مؤشر هطول موحد ، موارد المياه الجوفية ، شلف الأعلى.

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Table des matières	
Introduction générale.....	2
CHAPITRE I : Synthèse bibliographique	
I.1. Les changements climatiques : un defi mondial.....	5
I.2. Le climat et le temps.....	6
I.3. Classification climatique	6
I.3.1. Le climat tropical.....	6
I.3.2. Le climat subtropicaux	6
I.3.3. Le climat tempere	6
I.3.4. Le climat polaire	7
I.3.5. Le climat desertique.....	7
I.4. Le systeme climatique	7
I.5. La variabilite climatique	7
I.6. Prevision du changement climatique	7
I.7. Quelques scenarios envisages dans cet axe	8
I.8. Le cas de l'algerie.....	9
I.8.1. Etat du climat algerien en 2017	9
I.9. Les cause des changements a l'echelle du globe.....	10
I.9.1. Les causes naturelles susceptibles d'affecter le climat.....	10
I.9.2. Les causes artificielles	11
I.9.2.1. Effet de serre.....	11
I.10. Les consequences du rechauffement	12
I.11. Impact du changement climatique sur l'agriculture	12
I.11.1. Extremes climatiques.....	12
I.11.2. Reduction de l'eau du sol disponible.....	13
I.12. Impacts du changement climatique sur la ressource en eau	13
I.13. La secheresse	14
I.13.1. En agriculture.....	14
I.13.2. En meteorologie.....	14

I.13.3. En hydrologie.....	15
----------------------------	----

CHAPITRE II: Présentation de la zone d'étude

II.1. Presentation du bassin de cheliff.....	17
II.2. Localisation des stations etudie.....	18
II.3. Morphologie du bassin du haut cheliff.....	20
II.4. Climat de bassin haut cheliff.....	21
II.5. Variation climatique a travers le diagramme ombrothermique.....	21
II.6. Le quotient pluviometrique	24
II.7. Potentialites en eau.....	25
II.7.1. Ressources en eau souterraine.....	25
II.7.2. Ressources en eau superficielle.....	25
II.8. Caracteristiques hydrogeologiques	25

CHAPITRE III : Matériels et méthodes

III.1. L'origine des donnees.....	27
III.2. Méthodes de calcul	27
III.2.1. Temperature moyenne de l'air (t moyenne).....	27
III.2.2. Precipitation.....	27
III.2.2.1. Indice de l'ecart a la moyenne (Em)	27
III.2.3. Les indices de la secheresse.....	28
III.2.3.1. Indice de pluviosite (Ip).....	28
III.2.3.2.Indice standardise de précipitation	28
III.2.4. L'Indice d'aridite.....	28
III.2.5. Quotient pluviometrique d'emberger	28
III.2.6. Diagramme ombrothermique de gausсен	29
III.2.7. Les parametres statistiques	29
III.2.7.1. Le coefficient de variation.....	29
III.2.7.2. La moyenne mobile	29
III.2.8. Calcul l'évapotranspiration réelle.....	29
III.2.8.1. Formule de turc.....	29
III.2.8.2. Méthode de coutagne.....	30
III.2.9. Estimations de l'évapotranspiration réelle	30
III.2.9.1. Le modèle d'indice de precipitation (ipa)	30
III.2.9.2. Le modèle advection-aridite	31
III.2.10. Bilan hydrologique selon la methode de thornthwaite	32

III.2.11. Le bilan hydrologique et deficit annuel d'écoulement	32
III.2.11.1. Le bilan hydrologique et ses nuances geographiques.....	32
III.2.12. Logiciel utilise	33

CHAPITRE IV: Résultats et discussions

IV.1. Etude de la tendance climatique	35
IV.1.1. Variation de la température.....	35
IV.1.2. Pluviométrie.....	38
IV.1.2.1. Variabilité interannuelles des pluies	38
IV.1.2.2. Variation des précipitations mensuelles.....	45
IV.1.2.3. Variation saisonnière	50
IV.1.3. L'Indice d'aridité	51
IV.1.4. L'évapotranspiration	51
IV.1.5. L'étude Hydrologique	52
IV.1.5.1. Variabilité interannuelle des écoulements	53
IV.1.5.2. Variation mensuelle des écoulements	56
IV.1.6. La relation entre le débit et la précipitation	59
IV.1.7. Le déficit annuel de l'écoulement. Sa corrélation avec les hauteurs d'eau précipitées	63
IV.1.8. Fluctuation des niveaux statiques	64
Conclusion générale	68

Introduction Générale

Au cours de la dernière décennie, la problématique des changements climatiques a été reconnue comme l'un des problèmes majeurs du développement à l'échelle locale et régionale voire même à l'échelle internationale, aux côtés du développement durable, de la préservation et de la protection de l'environnement. La plupart des sujets de préoccupation recouvrent ou convergent vers le domaine de la gestion des ressources en eau. De fait, la tendance actuelle est de considérer que les réponses au changement climatique font partie intégrante de la prise de décision sur la gestion durable des ressources en eau (par. ex. concernant les interactions terre – eau - environnement). Ces réponses devraient aussi être intégrées dans la planification nationale du développement économique, social et régional, et harmonisées avec d'autres activités de gestion des ressources et de l'environnement, tant en pratique qu'au niveau de la prise de décision. **(Khaldi. A. 2005)**

En Algérie, il est admis que des mesures sont nécessaires pour améliorer la capacité à s'adapter à la variabilité hydrologique et aux phénomènes extrêmes (inondations et sécheresses) observés aujourd'hui dans des circonstances dynamiques (notamment les pressions actuelles dues à la démographie, à l'économie, à l'utilisation des terres et au développement régional), de même que pour réduire les vulnérabilités significatives de la société, de l'économie et de l'environnement aux impacts futurs. **(Khaldi. A. 2005)**

La ressource en eau en Algérie est limitée et inégalement répartie dans l'espace et dans le temps. Ce problème pourrait limiter la dynamique de la croissance économique, qui sera aggravée par la diminution de cette ressource en raison de l'impact du changement climatique qui est devenu une réalité en Algérie et dont les effets sur l'environnement sont déjà visibles. **(El Meddahi. Y. 2016)**

La question de l'eau constitue un défi permanent pour les pays de l'Afrique du Nord en général et l'Algérie en particulier. La demande est en constante augmentation, notamment pour le secteur de l'agriculture qui absorbe plus de 87 % du potentiel disponible. Par ailleurs, et à l'instar des pays riverains de la Méditerranée, le développement socio-économique des pays de cette région s'est accompagné d'une profonde modification des rapports que l'homme Entretien avec la ressource en eau. La dépendance par rapport aux eaux de surfaces et souterraines est extrêmement variable d'un pays à l'autre. **(Khaldi. A. 2005)**

L'impact de la sécheresse sur les ressources en eau est devenu un impératif de plus en plus pressant dans la région Ouest de l'Algérie. Et comme objectif de déterminer comment se manifeste la sécheresse selon son intensité, sa durée et sa situation chronologique. Dans cette optique, nous proposerons de faire l'étude des données pluviométriques et hydrologiques observées au niveau de la région Ouest de l'Algérie (Haut Cheliff) ; Afin de dégager les caractéristiques de la sécheresse et

d'étudier les conséquences de la réduction des précipitations sur les potentialités en eau et comment permettent de la décrire avec plus de rigueur à partir des outils statistiques les mieux adaptés à sa nature ?

Ce travail, composé de quatre chapitres, sera particulièrement axé sur les approches suivantes :

- Chapitre I : une synthèse bibliographique pour mettre en évidence le phénomène de la sécheresse et la variabilité Climatique.
- Chapitre II : sera consacré à la présentation de la région d'étude.
- Chapitre III : la méthodologie employée.
- Chapitre IV : on présentera les résultats de l'étude de l'évolution des régimes pluviométrique et hydrologique et leurs conséquences sur les ressources en eau souterraine, ainsi que leurs interprétations.

Enfin, une conclusion sera donnée sur l'impact de la sécheresse sur les ressources en eau et l'influence à long terme des variations climatiques.

A la fin de ce siècle, le changement climatique est devenu l'un des sujets d'actualité. On lit souvent dans la presse les titres suivants :

Le climat change-t-il ? La terre se réchauffera-t-elle ? Etc.... **(Khaldi. A, 2005)**

Ce genre de questions est souvent posé, vu l'impact de ces changements sur le plan socioéconomique de plusieurs pays, en particulier les pays du globe les moins développés au plan technique c'est-à-dire dans ce qu'on appelle habituellement le tiers monde, l'économie de ces pays est fondée sur l'agriculture, généralement non irriguée. Dans certains pays en développement, en Asie par exemple les inondations comptent parmi les événements météorologiques les plus dommageables aux communautés. Quant à la sécheresse, c'est un phénomène qui s'est produit en de nombreux endroits du globe, avec des ampleurs et des durées variables. **(Khaldi. A, 2005)**

Dans la plus grande partie de l'Afrique, la sécheresse est la calamité climatique la plus fréquente. L'Algérie et surtout l'Ouest, a connu plusieurs grandes sécheresses durant ce siècle, les années 40 et les années 80 jusqu'à nos jours. La plus récente a été caractérisée par son ampleur spatiale, son intensité et par son impact majeur et sensible qui est la diminution des ressources en eau. **(Khaldi. A, 2005)**

I.1. Les changements climatiques : Un défi mondial

Le climat est caractérisé par la stabilité, sur une longue période, des caractéristiques météorologiques propres à un milieu géographique donné. Cependant, depuis quelques deux décennies, la préoccupation sur le réchauffement climatique est devenue plus forte à propos des éventuels impacts des émissions industrielles de certains gaz (CFC, CH₄, CO₂, N₂O) sur le devenir du climat. Le dioxyde de carbone est le gaz à effet de serre anthropogène le plus important. Il a été relevé que la concentration atmosphérique globale de CO₂ a augmenté d'une valeur préindustrielle d'environ 280 ppm à 379 ppm en 2005. Cette concentration en CO₂ en 2005 excède de loin la normale naturelle au cours des 650.000 dernières années (180 à 300 ppm) comme déterminé à partir des noyaux de glace. Le taux d'augmentation annuel de concentration en dioxyde de carbone était plus grand pendant les 10 dernières années (moyenne de 1.9 ppm par an), qu'il ne l'avait été depuis que les mesures atmosphériques continues ont débuté (1960 - 2005 : 1.4 ppm par an) bien qu'il existe une certaine variabilité interannuelle **(IPCC, 2007)**. Le réchauffement du climat est sans équivoque, car il est maintenant évident à partir des observations que les températures moyennes globales de l'air et des océans augmentent. De même, la fonte répandue des glaciers augmente le niveau de la mer **(IPCC, 2007)**. Ces

changements auront des impacts sur la santé humaine, les écosystèmes terrestres et aquatiques et les systèmes socio-économiques comme l'agriculture, l'exploitation forestière, la pêche et les ressources en eau, éléments essentiels au développement et au bien-être de l'humanité, et sensibles aux variations du climat, dont certains risquent d'être irréversibles. La société humaine doit donc s'attendre à des bouleversements multiples auxquels elle devra s'adapter. (PNUD, 2009).

I.2. Le climat et le temps

Le climat et le temps sont deux notions différentes. Le temps, c'est l'état de l'atmosphère défini par les éléments météorologiques : la température, les précipitations (la pluie, la neige, etc.), l'humidité, l'ensoleillement et le vent à un endroit précis. (Khaldi, A, 2005)

Le climat, c'est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés dans le passé et qu'on s'attend d'observer encore sur une longue période. On peut le définir 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. (Khaldi, A, 2005)

Le climat a une influence sur tous les êtres vivants. Il régit le cycle biologique des plantes et des animaux, influe sur leur croissance et leur vitalité et est un des principaux facteurs qui déterminent leur répartition autour de la planète. Presque toutes les formes de vie sont adaptées pour vivre dans une zone climatique particulière et relativement limitée. Khaldi, A, 2005

I.3. Classification climatique

I.3.1. Le climat tropical humide présent de part et d'autre de l'équateur, La température mensuelle moyenne est toute l'année au-dessus de 18° C. On distingue une saison sèche et une saison humide. (Baghdadli, I, 2014)

I.3.2. Le climat subtropicaux offre un ressenti agréable (douceur, ensoleillement), mais il est aussi sujets à des phénomènes brutaux (orages, inondations, tempêtes tropicales, cyclones). Ils prennent en compte le climat méditerranéen, réputé pour ses étés secs et chauds ainsi que pour ses hivers doux et humides. (Baghdadli, I, 2014)

I.3.3. Le climat tempéré entre également en ligne de compte. Ces climats sont en général caractérisés par les saisons tempérées : une saison froide et une saison chaude. il comprend le climat océanique ou la température varie entre 3 et 18 degrés et le climat continental caractériser par un été court et chaud et un hiver longs et froids. La température moyenne se situe autour de -9° C et 18° C. (Baghdadli, I, 2014)

I.3.4. Le climat polaire les plus froids du monde. Il s'étend surtout sur les régions de l'Arctique et de l'Antarctique ainsi que dans le Grand Nord québécois, les Territoires du Nord-Ouest et au nord de la C.E.I. (ancienne URSS). Les températures moyennes de janvier sont de -34° C et celles de juillet de 4° C. Les précipitations sont très rares et le sol est toujours gelé en profondeur. On l'appelle d'ailleurs pergélisol. **(Baghdadli, I, 2014)**

I.3.5. Le climat désertique, que l'on trouve dans certaines régions de l'Afrique, du Nord de l'Océanie, du Sud de l'Eurasie et du Sud-ouest des États-Unis. Le temps y est très sec et chaud. Il y a, par contre, de très grandes différences de températures entre le jour et la nuit les températures moyennes de ces régions sont variées de 28° C à 11° C. **(Baghdadli, I, 2014)**

I.4. Le système climatique

Le système climatique de la Terre se compose d'éléments en interaction complexe. L'élément moteur est le Soleil, dont l'énergie réchauffe la Terre. Cette énergie est à l'origine de la circulation atmosphérique et océanique ainsi que des processus d'évaporation et de précipitation qui font partie du cycle de l'eau. En plus de l'atmosphère et des océans, le système climatique englobe les eaux douces, les plantes, les animaux, les couvertures de glace et de neige, les masses terrestres et même la croûte terrestre. **(Khaldi, A, 2005)**

I.5. La variabilité climatique

Elle est représentée par les déviations des valeurs des événements observés par rapport à leur valeur moyenne pour l'état climatique contemporain. **(Khaldi, A, 2005)**

I.6. Prévision du changement climatique

Comment les scientifiques peuvent-ils prévoir les effets à long terme du changement climatique, alors qu'on a encore beaucoup de mal à prévoir quotidiennement le temps qu'il fera ? C'est à cause de la variabilité locale des conditions météorologiques que les prévisions du temps semblent imparfaites ; les modèles du changement climatique ne tentent pas d'effectuer de telles prévisions détaillées et axées sur un lieu donné. **(Khaldi, A, 2005)**

Il existe deux grandes méthodes de prévision du changement climatique possibles ; la première est celle des analogues, qui consiste à comparer les conditions climatiques et hydrométriques passées et actuelles, et l'autre, beaucoup plus courante, fait appel à Simulation mathématique du climat (modèles climatiques) qui sont des modèles de circulation générale (MCG). **(Khaldi, A, 2005)**

I.7. Quelques scénarios envisagés dans cet axe

Le groupe de travail de L'IPCC [programme intergouvernemental sur les changements climatiques] sur l'évaluation des incidences éventuelles du changement climatique a envisagé des scénarios présentant en général les caractéristiques suivantes : Un doublement de la concentration atmosphérique de CO₂ d'ici 2025 à 2050. Le graphique suivant figure (01) montre l'évolution importante de la concentration du dioxyde de carbone, le plus important des gaz à effet de serre après 1940. On a même prévu que cette concentration doublera durant le milieu de ce siècle. (IPCC 2007)

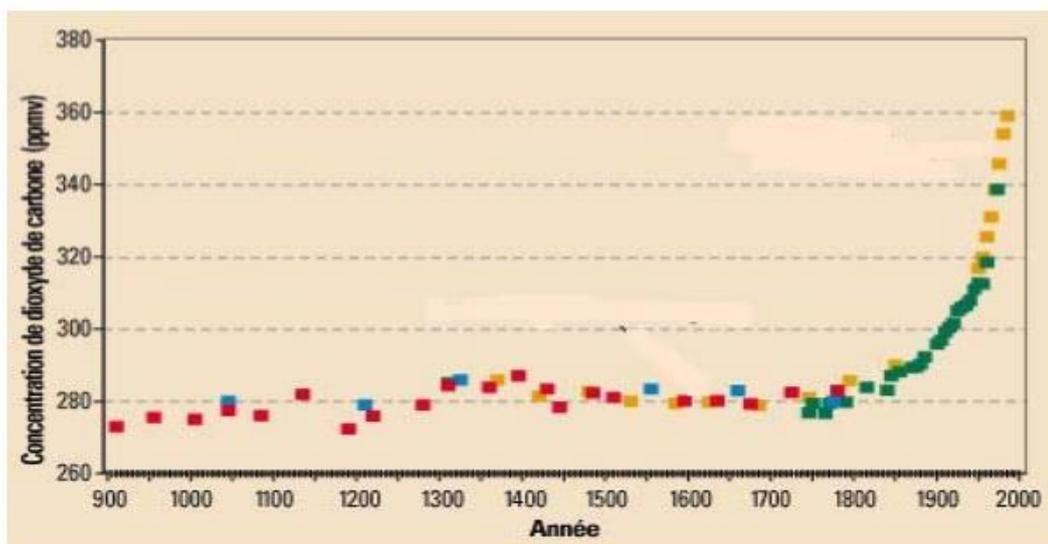


Figure 01 : Evolution des concentrations de dioxyde de carbone durant la période 900-2000. Une augmentation concomitante de la température moyenne mondiale de l'ordre de 1.5 °C à 4.5°C correspondant au doublement réel du CO₂. figure(01) (IPCC 2007)

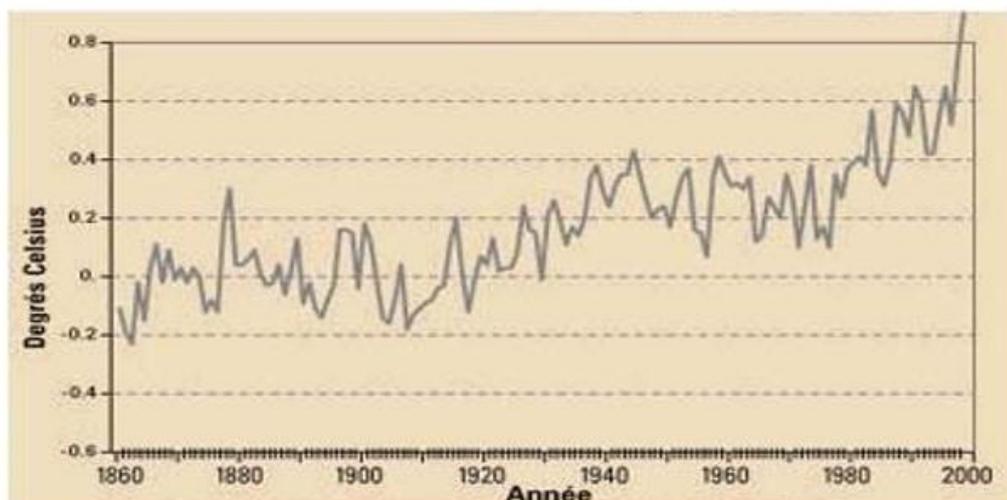


Figure 02 : Evolution de la température durant la période 1860-1998.

Une élévation du niveau de la mer d'environ 0.3 à 0.5 m d'ici 2050 et d'environ 1m d'ici 2100, accompagnée d'un réchauffement de la couche superficielle de l'océan variant de 0.2°C à 2.5°C. **(IPCC 2007)**

I.8.Le cas de l'Algérie

L'Algérie, pays méditerranéen, glisse vers la semi-aridité et les risques de désertification restent très élevés. Cela présage des conditions naturelles singulièrement plus difficiles qu'aujourd'hui, dont les conséquences commencent à se faire sentir dans beaucoup de régions d'Algérie. Cette nouvelle donnée insinue que toutes les prédictions calculées à partir des données historiques sur le cycle naturel et qui servent de base aux décisions d'investissement dans le secteur de l'hydraulique devraient alors être réétudiées en fonction des nouvelles données de climat. **(PNUD, 2009)**

I.8.1.Etat du climat Algérien en 2017

- Début de l'année 2017 très froid, avec la survenue d'une vague de froid qui a sévi durant le mois de janvier 2017. Cette vague de froid a affecté même les régions du Sud.
- Un été chaud, voire très chaud dans certaines régions.
- Une saison estivale marquée par l'occlusion de plusieurs foyers de feu de forêts affectant principalement la région Nord-est.
- Une saison d'automne chaude, Comme celles des dernières décennies et celle en cours (Automnes : 2004, 2006, 2013...etc).
- Début des pluies tardif pour la plupart des régions de l'Algérie, ce qui a engendré des impacts directs sur l'Agriculture et la Ressource en eau affectant ainsi la disponibilité de l'eau dans les barrages. **ONM(2017)**



Figure 03 : La neige sur les dunes du désert – janvier 2017



Figure 04 : Feux de forêts à tizi Ouzou-juillet 2017



Figure 05 : Sécheresse, le barrage Taksber à novembre 2017

I.9. Les cause des changements à l'échelle du globe

Ces modifications ne sont toutefois pas toutes causées par les êtres humains. Des phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques peuvent provoquer des changements soudains dans les systèmes planétaires. Par contre, les bouleversements engendrés par l'espèce humaine peuvent être catastrophiques et avoir des impacts à l'échelle du globe (inondation, sécheresse). (**Khaldi. A, 2005**)

Les changements à l'échelle du globe comprennent le réchauffement de la planète, l'affaiblissement de la couche d'ozone, la déforestation et le transport à grande distance de polluants atmosphériques. (**Khaldi. A, 2005**)

I.9.1. Les causes naturelles susceptibles d'affecter le climat

Les variations de l'activité solaire, une cause directe de variation climatique, pourrait être expliquée par la variabilité de l'émission solaire. On a montré, il y'a quatre milliards et demi d'années, au moment où naissait le système planétaire, que l'énergie émise par le soleil était

environ les 3/4 de sa valeur actuelle. **(Khaldi. A, 2005)** En plus de ce facteur astronomique précité, le climat d'un lieu comme nous l'avons déjà mentionné, dépend également de facteurs géographiques comme la latitude, l'éloignement à la mer et l'altitude ; l'évolution de ces facteurs étant elle-même liée à la tectonique des plaques (dérive des continents, mouvement des pôles et expansion des fonds océaniques). **(Khaldi. A, 2005)**

On peut aussi citer le rôle important que joue la masse océanique dans les interactions océan-atmosphère et qui explique certains phénomènes tel que ENSO, et ONA. Les éruptions volcaniques importantes **(Khaldi. A, 2005)** sont capables d'injecter dans la base stratosphère d'énormes quantités de poussière, de cendre, de pierres et de vapeur d'eau qui peuvent séjourner pendant plusieurs années ; le voile de poussière ainsi formé peut provoquer une décroissance de la température moyenne au sol et une augmentation en altitude. En effet selon plusieurs spécialistes, le climat du quaternaire, ère des glaciers serait expliqué par une épaisse couche d'aérosols et de poussière qui a enveloppé le globe. **(Khaldi. A, 2005)**

I.9.2. Les causes artificielles

Le facteur qui reste le plus préoccupant aujourd'hui est l'influence de l'homme sur le climat, qui tient sa place dans les débats continus sur l'actuel changement climatique survenu sur plusieurs points du globe. **(Khaldi. A, 2005)**

I.9.2.1. Effet de serre

Ce phénomène est provoqué par la progression des émissions de gaz issus d'activités humaines : on peut citer

- le gaz carbonique (CO₂), provenant de la combustion du pétrole et du charbon qui constituent actuellement plus de 65 % des sources d'énergie auxquelles les humains ont recours.
- le méthane (CH₄), issu essentiellement des activités agricoles.

La terre absorbe environ 50 % de l'énergie que lui envoie le soleil. Cette énergie permet à notre planète de se réchauffer. L'atmosphère se présente alors comme un "couvercle" constitué de vapeur d'eau et de gaz. Couvercle indispensable qui agit un peu comme une serre agricole ; sans cet effet de serre, la température moyenne de notre planète descendrait à -18°C, mais les gaz issus des activités de l'homme viennent renforcer et faire grossir cette couverture naturelle. Ce qui résulte une augmentation de la chaleur. C'est probablement l'homme par ses activités industrielles de plus en plus importantes qui accentue le réchauffement de la terre. **(Khaldi. A, 2005)**

I.10. Les conséquences du réchauffement climatique

- Perturbation du régime des pluies : les précipitations risquent d'être plus abondantes sur l'hémisphère nord avec des inondations et des tempêtes (ouragans, tornades...).
- Des sécheresses plus fréquentes : notamment dans l'hémisphère sud. Les zones arides et semi-arides semblent être les plus vulnérables.
- Hausse du niveau de la mer par dilatation thermique et fonte des glaciers : cette élévation du niveau des océans pourrait atteindre 1 mètre par endroit. Des zones littorales, certains deltas de fleuves, des îles pourraient être purement et simplement recouverts. Rappelons que 50 % des humains vivent près de la mer.
- Modification des écosystèmes et de la végétation.

Les conséquences risquent d'être beaucoup plus importantes pour les pays pauvres que les pays industrialisés. Ces derniers mobiliseront plus facilement les moyens financiers, technologiques et matériels pour s'adapter aux changements climatiques annoncés. Les prévisions faites par GIEC (groupe intergouvernemental d'évaluation des changements climatiques) ont affirmé que l'Afrique, est sans doute le continent le plus vulnérable, notamment à cause de la pauvreté généralisée qui y règne, le déficit en eau persistant, et la désertification déjà très avancée. **(Khaldi. A, 2005)**

I.11. Impact du changement climatique sur l'agriculture

Les évaluations des impacts du réchauffement global sur l'agriculture ont été établies à partir de scénarios climatiques fondés sur des simulations effectuées à l'aide de modèles de circulation générale (MCG). **(Khaldi. A, 2005)**

On retrouve parmi les changements climatiques qui peuvent influencer le plus sur l'agriculture de nouveaux extrêmes climatiques, et la réduction de l'eau du sol disponible. **(Khaldi. A, 2005)**

I.11.1. Extrêmes climatiques

Une augmentation des températures moyennes mensuelles ou annuelles se traduirait par une augmentation du nombre de jours dont les températures dépasseraient certains seuils critiques. Il est moins sûr que les précipitations connaîtront une modification de leur fréquence ou de leur distribution, mais les températures élevées conjuguées à la sécheresse constituent le plus grand danger du changement climatique global pour l'agriculture dans de nombreuses régions. . **(Khaldi. A, 2005)**

I.11.2. Réduction de l'eau du sol disponible

Les plus grands effets pour l'agriculture seraient probablement attribuables à l'accroissement possible de l'évapotranspiration causé en grande partie par l'élévation de la température de l'air et de la surface terrestre. A l'heure actuelle, on peut décrire avec certitude la tendance régionale des changements possibles dans l'eau du sol, en se basant sur les modèles de prédictions (MCG) qui indiquent tous une diminution de l'eau du sol (**Khaldi, A, 2005**)

I.12. Impacts du changement climatique sur la ressource en eau

En Algérie, depuis ces dernières décennies, les conditions climatiques influencent négativement sur la ressource en eau (**Meddi et al. 2009**). A titre d'exemple, le Nord-Ouest de l'Algérie, région connue pour son faible régime pluviométrique, a connu une réduction de l'ordre de 40% des précipitations annuelles à partir de la première moitié des années 1970.

Les débits des cours d'eau de cette région en sont affectés. Au cours de la période 1976-2002, les lames d'eau écoulées annuelles moyennes sont 28 à 36% plus faibles que celles de la période 1949-1976 (**Meddi et al. 2009**).

La sensibilité de la ressource en eau au changement climatique à l'horizon 2020 a été analysée dans le cadre de la communication initiale de l'Algérie (**MATE, 2001**). Basée sur une hypothèse de doublement de l'allocation pour l'eau potable et l'industrie par rapport à 1997, et du doublement de la population en 2020, l'analyse estime les besoins en eau à 8.3 milliards de m³/an à l'horizon 2020, soit près du double du volume actuellement mobilisable. L'estimation des incidences dues aux changements climatiques, en matière de ressources en eau, est de l'ordre de 1,0 milliard de m³ à l'horizon 2020 dans le cas du scénario moyen et de 1,9 milliard de m³ dans le cas du scénario haut. En d'autres termes, le volume d'eau mobilisable est à la limite des besoins du pays dans le cas du scénario moyen. Il est inférieur de 0,8 milliard m³ par rapport aux besoins du pays dans le cas du scénario haut (**MATE, 2001**). En revanche, l'Algérie est déjà en situation de pénurie d'eau (**Benblidia et Thivet, 2010**), une situation qui pourrait s'amplifier par l'intensité et le rythme du changement climatique et le stress hydrique dépasse 40 % (figure 06).

Ces projections nécessitent plusieurs options d'adaptation dont le dessalement de l'eau de mer, la récupération des eaux usées, ou l'injection des eaux de surface dans les nappes souterraines. Le recours au dessalement de l'eau de mer constitue l'une des réponses possibles pour pallier la pénurie d'eau en raison d'un effet combiné de l'augmentation de la demande et de l'offre réduite. Les orientations du pays ont été axées sur la stratégie de libérer le pays de la dépendance de la pluviométrie pour l'alimentation en eau potable et notamment la région Ouest de l'Algérie qui

souffre d'un déficit persistant en pluviométrie. Mais cette approche ne peut constituer une solution viable à long terme. (El Meddahi, Y, 2016)

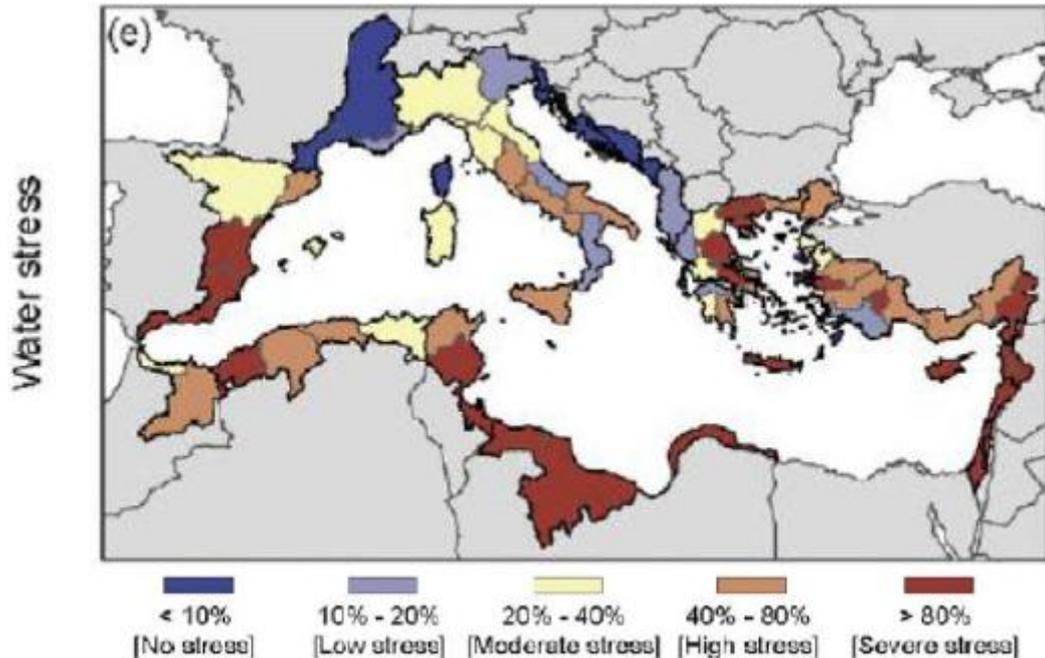


Figure 06 : Projection du stress et de la pénurie d'eau douce en 2050 (Milano et al. 2012).

I.13. la sécheresse

Il n'existe aucune définition universelle de la sécheresse. Elle pourrait être définie comme une période prolongée de précipitations insuffisantes sur une ou plusieurs saisons qui causent un déficit d'eau dans certains secteurs de l'économie d'un pays. (Khaldi, A, 2005)

La sécheresse est aussi définie selon les différents secteurs qui interagissent avec ses effets. On définit donc une sécheresse du point de vue météorologique, hydrologique, agricole ou socioéconomique. (Khaldi, A, 2005)

I.13.1.En agriculture

La sécheresse agricole est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les productions agricoles par rapport à la normale ou les valeurs attendues pour une région de grande étendue (Khaldi, A, 2005)

I.13.2.En météorologie

La sécheresse météorologique se caractérise par une absence prolongée, un déficit marqué ou une faible distribution des précipitations par rapport à la normale climatique. (Khaldi, A, 2005)

I.13.3. En hydrologie

La sécheresse survient suite à l'affaiblissement prolongé des apports pluviométriques au niveau des bassins versants. Un déficit d'écoulement en résulte systématiquement au niveau des cours d'eau. La recharge des nappes souterraines est réduite et les opérations d'irrigation sont compromises. **(Mokssit. A, 1996).**

On distingue schématiquement plusieurs types de sécheresse : Les sécheresses dites exceptionnelles qui se traduit par un déficit pluviométrique important, affectant une vaste région pendant un temps pouvant atteindre plusieurs années consécutives. C'était le cas des sécheresses des années 1913-1915 et 1940-1949 au Sahel. Il faut signaler que durant ces mêmes périodes, on a enregistré des sécheresses analogues en Algérie, durant le 19ème siècle, à partir des données sur Oran Boudens qui ont débuté en 1870, nous avons remarqué qu'une sécheresse s'est produite au début des années 1890. Les sécheresses que l'on pourrait appeler "méditerranéennes" sont liées aux irrégularités du climat méditerranéen. Elles peuvent compromettre les récoltes d'une saison sans qu'il y ait pour autant un déficit global annuel important. En effet pour les céréales, les pluies de printemps, qui correspondent à la phase maturité des céréales jouent un grand rôle dans la valeur du rendement. **(Khaldi. A, 2005)**

II.1. Présentation du bassin de Cheliff

Le grand bassin du Cheliff numéroté 01 selon la nomenclature adoptée par l'ANRH correspond à une cuvette intra montagneuse située au Nord de l'Algérie (figure 07). Il est circonscrit à l'intérieur des chaînes de l'Atlas Tellien parallèlement au littoral méditerranéen. Il se situe entre les méridiens 0°12' et 3°87' Est et en latitude entre 33°91' et 36°58' Nord. Il couvre trois sous-régions, le Cheliff en amont de Boughzoul, le Haut et le Moyen Cheliff et le Bas Cheliff et la Mina. Occupant une superficie de 43750 km², il couvre 77 % de la surface totale du Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez. Il est limité au Nord par la Méditerranée, au Sud par les hautes plaines, à l'Est par le bassin Algérois et à l'Ouest par le bassin Oranais. **(El Meddahi. Y, 2016)**

Ce bassin est drainé par l'oued Cheliff qui le traverse sur une longueur de 750km avant qu'il ne se déverse dans la méditerranée à proximité de Mostaganem. **(El Meddahi. Y, 2016)**

L'Oued Cheliff est une exception notable parmi les grands oueds Nord-africains ; c'est le seul qui draine une partie des hauts plateaux, et l'un de ceux qui possèdent le cours le plus long et le débit le plus élevé. Il doit ces caractères à la structure profonde des paysages qu'il traverse. Formé au départ par Nahr Ouassel et Nahr Touil, il prend sa source dans l'Atlas Saharien au Djebel Amour près d'Aflou, traverse sur une distance de plus de 700 Km les hauts plateaux puis la vallée du Cheliff pour se jeter dans la mer méditerranée à proximité de Mostaganem. **(El Meddahi. Y, 2016)**

Il est géographiquement caractérisé par plusieurs éléments dont :

1) Un relief diversifié ce dernier est constitué par 4 régions naturelles s'orientant parallèlement au littoral.

- Au nord : les hautes collines des monts du Dahra et du Zaccar.
- Au sud : celles de l'Ouarsenis.
- Au centre : les plaines.

2) Un climat aux températures extrêmes Le climat de la région de Chleff est de type :

- Méditerranéen subhumide dans la partie nord.
- Continental vers le sud

3) Une hydrographie moyenne avec notamment l'Oued Cheliff, dont le cours est le plus important de l'Algérie et qui traverse le bassin d'Est en ouest. **(ABH ,2009)**

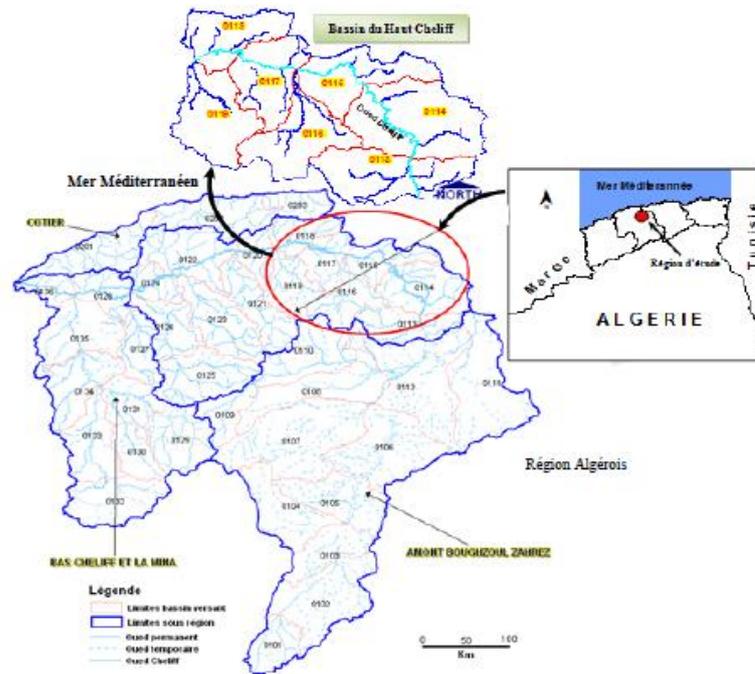


Figure 07 : Carte de localisation du bassin versant du Haut Cheliff (Source : **Touhari, F, 2015**).

Les trois stations retenues dans notre étude sont localisées dans la vallée du haut et du moyen Cheliff à savoir Khemis Miliana et Chleff. Alors que la station de Miliana se situe sur les contreforts du Zaccar. Le tableau 1 nous renseigne sur les caractéristiques des trois stations étudiées.

Tableau n°01 : Représente les coordonnées géographiques des stations de Miliana, Khemis Miliana et Chlef.

Station	Miliana	Khemis Miliana	Chlef
X (degré)	36°30 ^{min}	36° 30 ^{min}	36°.20 ^{min}
Y (degré)	2.23°	2.23°	1.33°
Z (m)	715	300	143

II.2. Localisation des stations étudiées

Tableau n° 02 : Coordonnées géographiques des stations pluviométriques.

N°	Code de station	Station	Coordonnées			période d'observation
			X	Y	Z	
1	11405	GHRIB Bge	487250	318400	460	1968-2003
2	11512	AIN SOLTAN	464100	326500	295	1968-2003
3	11703	BORDJ EL AMIR KHALED	455850	313800	500	1968-2003
4	11706	KHEMIS MILIANA	458800	328200	285	1968-2013
5	11711	SIDI LAKHDAR	452000	329650	250	1968-2003

6	11801	ARIB EBDA	439650	335550	280	1968-2010
7	14401	MILIANA	457795	334893	715	1990-2014
8	11804	AIN DEFLA	434600	329900	270	1968-2014
9	11901	EL TOUIBIA	431350	312850	360	1968-2012
10	12203	PONTEBA DEFLUENT	393900	327400	140	1968-2003
11	12219	EL ASNAM DDA	378650	320500	110	1968-2017

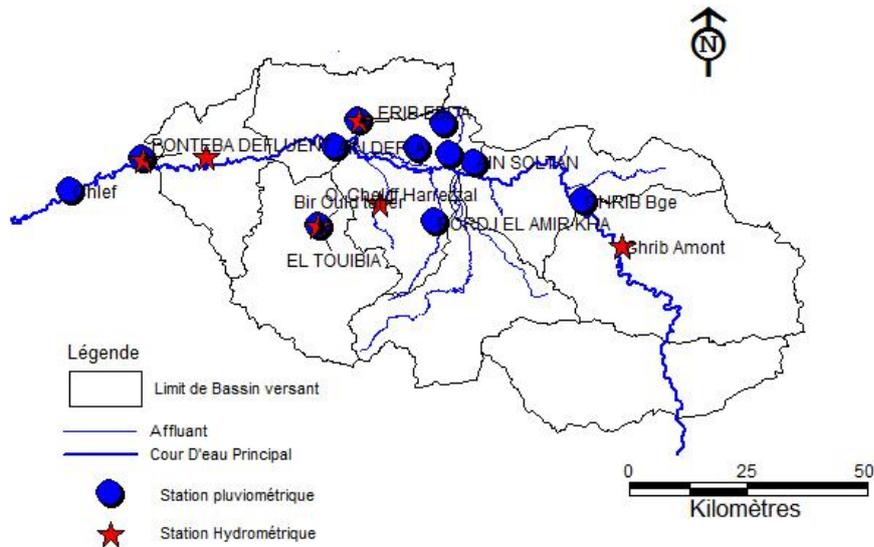


Figure 08 : Localisation géographique des stations pluviométriques et Hydrométriques dans le Haut et Moyen Cheliff.

Tableau n° 03 : Coordonnées géographique des points d'eaux

N°BIRH	X (m)	Y (m)	Z (m)	N°BIRH	X (m)	Y (m)	Z (m)
W084-8	462300	322800	293,4	W84-140	458500	321300	296,90
W84-12	462450	321750	308,38	W84-143	458750	320300	301,10
W084-14	462470	320850	315,8	W084-155	456000	321050	293,02
W084-63	452070	321950	280,6	W084-166	442400	325250	269,18
W084-73	453050	328950	277,3	W084-169	442050	322650	313,15
W084-80	448900	325250	260,12	W84-196	447500	332600	278,01
W084-91	447500	329600	256,64	W085-6	471700	324700	346,26
W084-92	447450	330600	284,31	W085-14	469820	321500	316,43
W84-107	447250	331000	264,81	W085-20	477350	323500	394,87
W084-110	441000	330100	246,76	W85-23	484570	321500	364,80
W84-125	442700	326000	258,29	W085-27	483750	322770	359,94
W84-127	441050	326350	274,14	W085-38	480950	322900	514,99
W084-129	440750	327900	251,75	W084-182	444300	327550	252,28
W84-139	459500	320900	303,64	W084-196	447500	332600	278,01

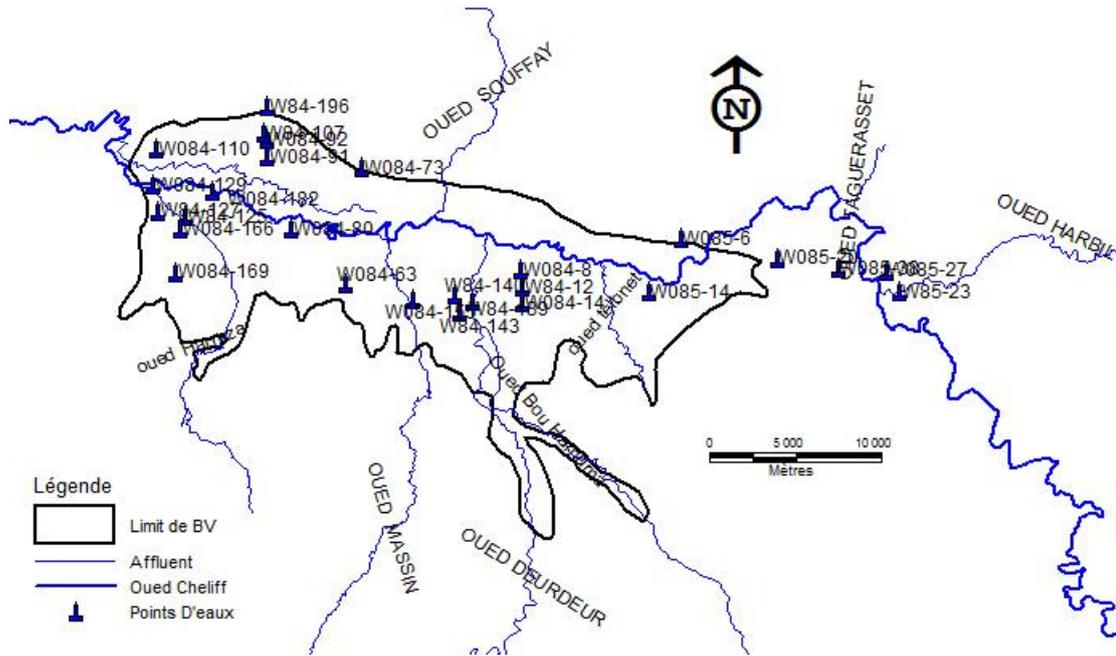


Figure 09 : Localisation géographique des points d'eaux dans le Haut Chelif.

II.3. Morphologie du bassin du Haut Chelif

Le Nord de l'Algérie est constitué de reliefs jeunes, modelés au cours du Tertiaire par les mouvements alpins. Il est délimité au sud, par l'Atlas saharien (chaîne alpine) et au centre, par des plates-formes (Meseta oranaise à l'ouest et môle d'Aïn Regada à l'est). Dans la partie septentrionale, l'Atlas tellien (Jurassique à Miocène) est une zone complexe constituée de nappes mises en place au Miocène inférieur. Des bassins néogènes tardifs, comme le Chélif, se sont installés sur ces nappes. (PNUD2009)

Ainsi on distingue de l'amont à l'aval du bassin : les massifs telliens, la vallée du Chelif et les massifs Côtiers Dahra du Nord. (Figure 07) Cette organisation du relief ainsi que la latitude conditionnent étroitement les caractéristiques spécifiques à chaque bassin versant. (Touhari, F, 2015)

a) Relief

Le cadre physique de la zone d'étude est caractérisé par l'hétérogénéité des unités géomorphologiques. (PNUD2009)

b) Les reliefs littoraux

Les reliefs littoraux sont formés par de vastes collines. On y trouve les monts du Dahra qui forment une dorsale entre la dépression du Chelif et la mer Méditerranée. A l'Ouest, le Dahra est formé de collines de 300 à 600 mètres d'altitude, les crêtes atteignent 800 m. A l'Est, la

région devient plus montagneuse et boisée, avec des altitudes dépassant 1000 mètres et culminant au Djebel Bou-Maad (1415 m) et au Djebel Zaccar (1579 m). **(PNUD2009)**

c) Les plaines et les bassins intérieurs

Les bassins intérieurs sont éloignés de la mer de 20 à 70 Km. Isolés des influences maritimes par les chaînons montagneux qui s'allongent du massif des Traras à celui de l'Ouarsenis, ils s'élèvent entre 350 et 800 m d'altitudes. Aux pieds des plateaux Telliens d'Oranie, on trouve les plaines du Cheliff qui forment une véritable gouttière de 190 km de long. Bien plus qu'une vallée, c'est un chapelet de bassins légèrement étagés séparés par de modestes rétrécissements : bassins du Haut Cheliff entre 250 et 300 m d'altitude, bassin du Moyen Cheliff entre 150 et 200 m d'altitude et le bassin du Bas Cheliff entre 60 et 150 m d'altitude. **(PNUD2009)**

d) Réseaux hydrographiques

Le bassin Cheliff résulte de la jonction de deux cours d'eau importants : l'Oued Touil et Nahr Ouassel, drainant respectivement une superficie de 16 338 km² et 3 651 km² et dont la confluence donne naissance à l'Oued Cheliff. **(Mehaiguene. M, 2013)**

Sur la majeure partie de son cours d'eau, il serpente au fond d'une vallée parallèle à la mer bordée au sud par le massif des Ouarsenis et au nord par la chaîne côtière des monts du Dahra et du Zaccar. De Boughzoul à l'embouchure du Cheliff, la distance en ligne droite est d'environ 250 km et la dénivellation à peu près 625 m. Durant tout ce parcours, l'Oued Cheliff ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive droite sauf l'Oued Ebda et l'Oued Ras Ouahran, mais sur sa rive gauche, il collecte les eaux de l'Oued Deurdeur, Harreza, Rouina Zeddine, Fodda, Sly, Rhiou, Djediouia et L'affluent important plus à l'Ouest : Oued Mina qui suit une direction Sud-Nord. **(Mehaiguene. M, 2013)**

II.4. Climat de bassin Haut Cheliff

Le climat est un facteur déterminant de la disponibilité en eau. Ainsi, pour dégager l'individualité climatique de la région, l'approche la mieux indiquée est celle fondée sur l'étude des paramètres climatiques en rapport avec l'eau, en particulier la pluie, le bilan hydrique et l'évapotranspiration. La plaine du Haut Cheliff est caractérisée par un climat semi-aride avec des influences sahariennes en été et des influences méditerranéennes en hiver, caractérisée par deux saisons distinctes : un hiver froid et un été chaud. **(Touhari. F, 2015)**

II.5. variation climatique à travers le diagramme Ombrothermique

Nous avons établiez le diagramme Ombrothermique pour les trois stations (Chlef, Khemis Miliana, Miliana) pour la période 1968-2017.

Un mois est considéré sec lorsque la courbe des températures ($T^{\circ}\text{C}$) est supérieure à celles des précipitations ($P=2T$). La partie du graphe comprise entre les courbes (T et P) traduit à la fois la durée et l'intensité de la sécheresse.

Le tableau n° 04 représente les paramètres qu'il y a permis de établir le diagramme Ombrothermique.

Tableau n° 04 : Moyennes mensuelles des températures ($^{\circ}\text{C}$) et des précipitations (mm) aux stations de Chlef, Miliana et Khemis Miliana (1968-2003).

	khemis Miliana		Chlef		Miliana	
	Précipitation (mm)	Température ($^{\circ}\text{C}$)	Précipitation (mm)	Température ($^{\circ}\text{C}$)	Précipitation (mm)	Température ($^{\circ}\text{C}$)
Septembre	22,63	23,82	13,75	23,51	29,17	27,27
Octobre	37,82	18,91	32,88	18,79	36,74	22,99
Novembre	54,12	13,39	47,67	13,48	79,04	17,94
Décembre	59,99	10,18	49,75	10,33	67,99	12,99
Janvier	59,61	9,29	47,8	9,96	109,54	9,83
Février	58,03	10,33	48,52	11,17	67,92	8,83
Mars	52,18	12,37	40,58	12,95	64,59	9,61
Avril	39,14	14,49	34,93	15,58	57,33	11,8
Mai	28,83	18,84	25,34	19,75	33,56	13,51
Juin	9,96	23,68	5,72	24,15	5,89	17,89
Juillet	3,04	27,43	0,99	27,76	3,08	22,9
Août	4,66	27,62	4,04	27,77	6,7	26,97
Total	430,01	17,53	351,97	17,8	561,56	16,88

D'après les figures 10, 11, 12 on peut dire que le mois de décembre représente le mois le plus pluvieux à la période 1968-2017, pour la station de Chlef et de Khemis Miliana à (49,75 mm) et (59,99 mm). Alors que le mois d'août représente le mois le plus sec de la même période dans les deux stations.

La période sèche commencé au mois mai jusqu'à le mois d'octobre à la station de Chlef et elle s'étend sur une période de sept mois, du mois d'avril jusqu'au moitié de mois d'octobre.

La période humide au niveau de station de Chlef s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril au niveau de la station de Khemis Miliana elle commence de la fin d'octobre jusqu'à début de mois d'avril.

A la station de Miliana on remarque que la période humide commencé au mois de novembre et se termine au mois d'avril, et la période sèche s'étale de mois d'avril jusqu'à le mois de septembre.

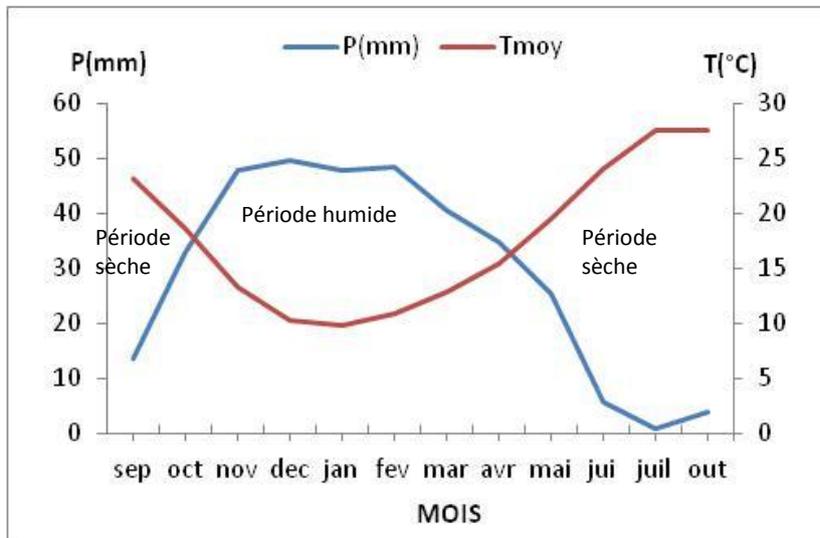


Figure 10 : Digramme Ombrothermique à la station de Chlef (1968-2017).

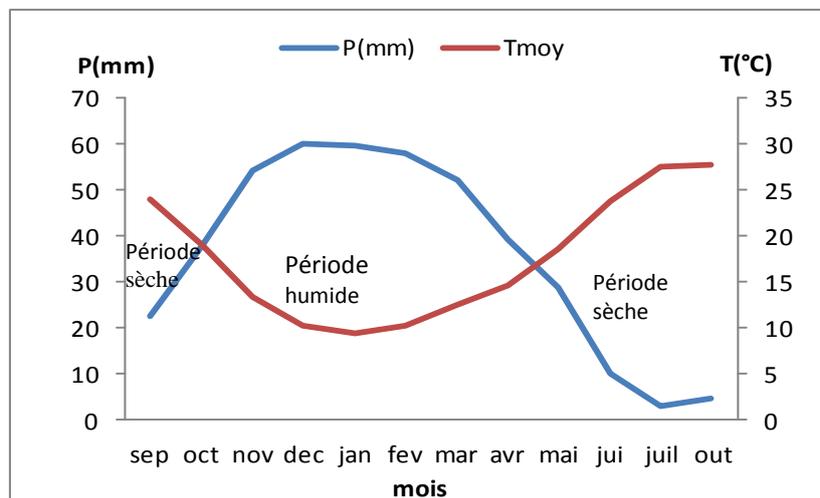


Figure 11 : Diagramme Ombrothermique à la station de Khemis Miliana (1968-2010).

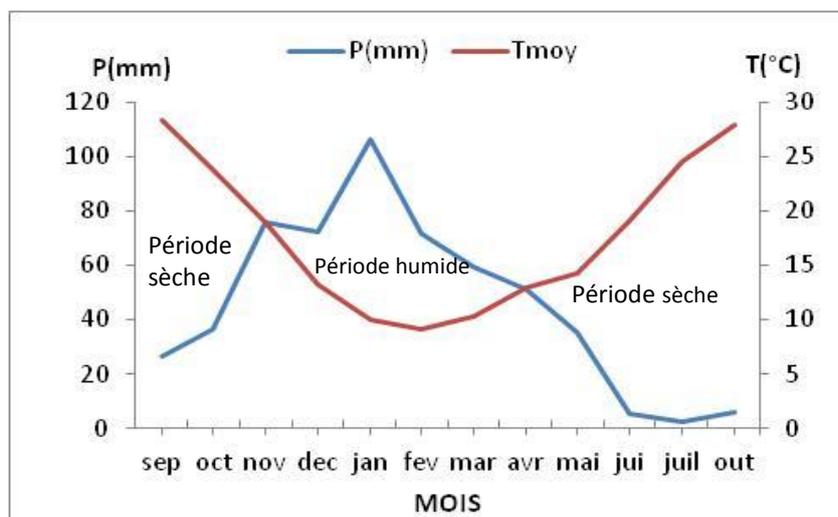


Figure 12 : Diagramme Ombrothermique à la station de Miliana (1990-2005).

II.6. Le Quotient pluviométrique

Pour les calculs, nous devons convertir les températures en degrés kelvin (+273,2). Nous avons regroupé l'ensemble de nos calculs sur le tableau n°05.

Tableau n° 05 : Calcul de Q2 aux différentes stations.

Station	m (°k)	M (°k)	m ²	M ²	M ² -m ²	P (mm)	2000*P	Q2
Chlef	278,67	308,76	77657,80	95332,77	17674,97	351,24	702474,04	39,74
Khemis	276,68	309,95	76549,67	96068,79	19519,12	430,00	860001,59	44,06
Miliana	279,13	307,57	77914,25	94598,54	16684,28	549,28	1098550,00	65,84

Après avoir calculé le quotient pluviométrique (Q₂) des stations considérées pour la période étudiée, nous avons reporté chaque station sur le climagramme d'Emberger.

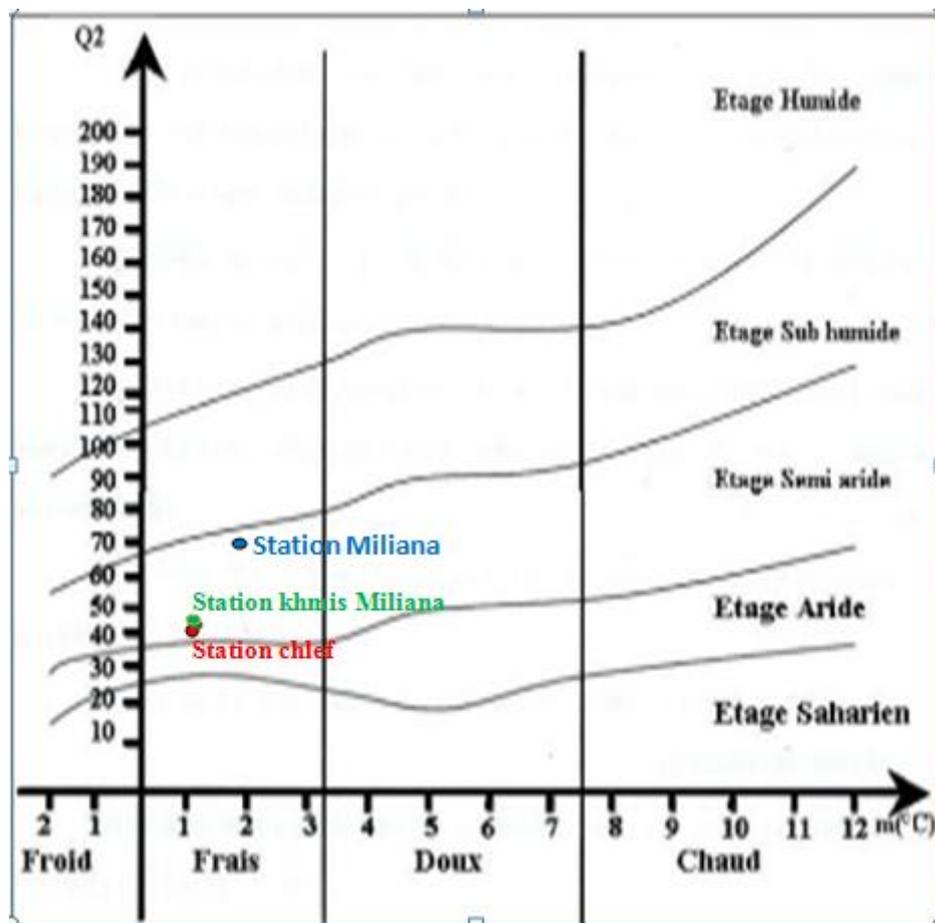


Figure 13 : Climagramme d'Emberger des stations Chlef, khemis Miliana et Miliana.

II.7. Potentialités en eau

II.7.1. Ressources en eau souterraine

Les potentialités en ressources en eau souterraine, dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff sont estimées à 84,5 hm³/an. [Cadastré]

II.7.2. Ressources en eau superficielle

Le bassin du Haut et du Moyen Cheliff est totalement contrôlé par (14) stations hydrométriques. Néanmoins on rappelle que la superficie totale contrôlée par ces stations est plus étendue que l'aire d'étude. L'apport moyen annuel de l'ensemble du bassin s'élève, selon la série de référence étudiée, à 583,04 hm³ [cadastré]

II.8. Caractéristiques hydrogéologiques

Dans la série stratigraphique de la plaine alluviale du Haut Cheliff, ce sont les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaires qui forment le remplissage le plus important et constituent l'aquifère le plus sollicité. (Touhari. F ,2015)

La nappe alluviale est séparée de la nappe des grés par une couche relativement épaisse d'alluvions argileuse. Cette couche est continue sauf à l'Ouest où le contact entre les deux formations existe.

Au Nord de la plaine les grés du Mio-Pliocène atteignent les 200 m d'épaisseur, à la rive gauche, ils sont totalement absents et les alluvions quaternaires sont discordantes sur le Miocène marneux. Ce dernier s'amincit dans la région de l'Oued Massine provoquant la remontée du substratum. (Touhari. F ,2015)

III.1.L'origine des données

Après la collecte des données climatiques et météorologiques à partir des stations météorologiques de l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH) et l'office national météorologique (ONM). Elles sont enregistrées au niveau des stations météorologiques (Chlef, Miliana et Khemis Miliana, Ain defla) réparties dans le bassin du Haut et du Moyen Cheliff sur une période de (1968 – 2017).

Et pour but d'étudier la variation des paramètres climatiques tels que la Température, précipitation, évaporation, le bilan hydrologique et le déficit d'écoulement et leur effet sur la fluctuation de niveau piézométrique et la sécheresse, nous avons utilisé plusieurs méthodes des calculs et des indices et trois logiciels XLSTAT 2016, EXCEL 2007, MapInfo 7.5.

III.2.Méthodes de calcul**III.2.1.Température moyenne de l'air (T moyenne)**

La température moyenne de l'air est donnée par :

$$T_m = \frac{T_{m+T_m}}{2} \quad (01)$$

Où :

T_m : Moyenne température de l'air [C°].

T_m : Température minimale de l'air [C°].

T_m : Température maximale de l'air [C°].

III.2.2.Précipitation**III.2.2.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em)**

C'est l'indice le plus utilisé pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année. L'écart à la médiane est le plus utilisé par les agro météorologues. Bien évidemment, quand l'échantillon de données est dissymétrique, la différence entre la moyenne et la médiane est grande. L'écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (P_i) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (P_m).

$$E_m = P_i - P_m \quad (02)$$

L'écart est positif pour les années humides et négatives pour les années sèches. On parle d'année déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne et d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée.

III.2.3. Les indices de la sécheresse**III.2.3.1. Indice de pluviosité (Ip)**

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation.

$$I_p = P_i / P_m \quad (03)$$

III.2.3.2. Indice standardisé de précipitation

L'indice standardisé de précipitation « SPI » (standardised precipitation index) peut caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Cet indice est exprimé mathématiquement comme suit :

$$ISP = (P_i - P_m) / \sigma \quad (04)$$

III.2.4. L'indice d'aridité

Afin de rechercher les variations de cet indice et de connaître les variations de l'aridité régionale. Nous avons calculé l'indice d'aridité annuel de De Martonne (I_{AA}) des trois stations pour une longue période.

Cet indice s'écrit :

$$I = P / T + 10. \quad (05)$$

P = pluviométrie annuelle (mm).

T = température moyenne annuelle (mm).

III.2.5. Quotient pluviométrique d'Emberger

Il permet de connaître l'étage bioclimatique d'une région. En abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid, et en ordonnées le quotient pluviométrique (Q_2) d'Emberger

$$Q_2 = 1000P / (M+m) / 2(M-m). \quad (06)$$

Ou :

P : Moyenne des précipitations annuelles en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en °K.

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en °K.

III.2.6. Diagramme Ombrothermique de Gausсен

Gausсен (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation $P \leq 2T$, avec :

P : moyenne mensuelle des précipitations en mm

T : moyenne mensuelle des températures en °C avec $T = (M+m)/2$.

III.2.7. Les paramètres statistiques

III.2.7.1. Le coefficient de variation

Pour évaluer la variabilité des précipitations annuelles sur la région, nous avons employé des formules climatiques simples mais capables de donner de bonnes informations, permettant aussi une représentation efficace du phénomène. A ce propos nous avons utilisé le coefficient de variation exprimé en pourcentage (%) sachant que :

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\bar{x}} \right) \times 100. \quad (07)$$

\bar{x} : Moyenne de la série σ : Écart-type.

III.2.7.2. La moyenne mobile

Chaque observation est remplacée par une moyenne arithmétique calculée sur la valeur de cette observation et les valeurs voisines qui l'encadrent ; dans le cadre de notre étude on a utilisé trois valeurs : ainsi x_i est remplacé dans la série par :

$$\frac{X_{i-1} + X_i + X_{i+1}}{3} \quad (08)$$

Cette méthode réduit l'influence des variations accidentelles, élimine l'effet des fluctuations de très courtes périodes et par conséquent les résultats sont plus commodes à interpréter. On a opté pour cette méthode en raison de sa simplicité.

III.2.8. Calcul l'évapotranspiration réelle

III.2.8.1. Formule de turc

TURC a proposé une formule permettant d'évaluer directement L'ETR annuelle moyenne d'un bassin a partir de la hauteur annuelle de pluie et de ; la Température moyenne annuelle :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + P^2/L^2}} \quad (09)$$

Avec :

$$L=200+25T+0,05T^3 \quad (10)$$

ETR : représente l'évapotranspiration réelle (mm/en) .

P :la hauteur annuelle de pluie en (mm).

T : la Température annuelle en (°C).

III.2.8.2.Méthode de coutagne

Elle s'écrit :

$$ETR=P-\lambda P^2 \quad (11)$$

$$\text{Avec } \lambda = \frac{1}{0,8+0,14T} \quad (12)$$

cette formule n'est applicable que si : $\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$

III.2.9.Estimations de l'évapotranspiration réelle

Deux modèles, conçus pour tenir compte des fluctuations de la disponibilité de l'eau, ont été utilisés pour calculer l'ETR à partir des estimations ETP. Ces modèles incluent un modèle de l'indice des précipitations antécédentes (IPA) basé sur les données des précipitations journalières et un modèle Advection-Aridité (AA) paramétré par les équations ETP.

III.2.9.1.Le modèle d'indice de précipitation (IPA)

Le modèle d'indice de précipitation (IPA) est une modification de l'équation ETP de Priestley-Taylor (1972). Le modèle IPA permet de moduler le ETP prédit sur la base des précipitations antérieures dans les 28 jours précédents afin de tenir compte des variations du taux d'humidité du sol et de prédire l'ETR dans les conditions de sécheresse du modèle est la suivante :

$$ETR_{IPA} = 0.408\alpha \left[\frac{\Delta}{\Delta+\gamma} (R_n - G) \right]$$

Où

R_n : est le rayonnement net (MJm j).

G : est la densité du flux de chaleur du sol à la surface du sol (MJm j).

γ : est la constante psychrométrique (kPa/ C°).

Δ: est la pente de la courbe de pression de vapeur saturante-température (kPa /C°).

Et le coefficient adimensionnel, est exprimé comme :

$$\alpha = 0,123 \quad \text{pour } IPA \leq 20$$

$$\alpha = 1,26 \quad \text{pour } IPA > 20$$

Avec IPA (mm) calculée à partir de la précipitation (P) chaque jour (d) selon la fonction donnée par Kohler et Linsley (1951) :

$$II(d) = \sum_{t=1}^z K^{t-1} P_{(d-t)} \quad (14)$$

Où

K : la constante de récession sans dimension, est fixée à 0,9

t : est limitée à chacun des 28 jours précédents (t = 1, 2, 3, ..., 28).

III.2.9.2. Le modèle Advection-Aridité

Le modèle Advection-Aridité (AA) développé par Brutsaert et Stricker (1979) pour prédire l'ETR repose sur une hypothèse développée par Bouchet (1963). Bouchet a postulé que lorsque l'ETR est moins que le ETP en raison de la disponibilité limitée de l'eau, l'excès d'énergie est transféré à d'autres composants du bilan énergétique, ce qui augmente le ETP, même si l'ETR a diminué. Le modèle A-A suppose que l'augmentation de ETP est exactement égale à la réduction de l'ETR, ce qui conduit à l'équation suivante :

$$E_{A-A} = 2E_p - E_p \quad (15)$$

Où Brutsaert et Stricker ont suggéré d'utiliser le modèle de Priestley-Tay pour l'ETP dans des Conditions non potentielles, et l'équation de Penman pour l'ETP dans des conditions non saturées de l'eau (ETP_p). En remplaçant les équations (14) et (15) dans l'équation (48) donnent :

$$ETR_{A-A} = (2\alpha - 1)0.4 \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \right] - \left[\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} EA \right] \quad (16)$$

G : est la densité de flux de chaleur du sol à la surface du sol (MJ m⁻² j⁻¹).

γ : est la constante psychrométrique (kPa/ C°).

Δ : est la pente de la courbe tension-température de vapeur de saturation (kPa/ C°).

EA : est calculée à partir de l'équation (43.1).

III.2.10. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

Cette méthode est utilisée pour les climats subhumide et semi-aride, et vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule a été appliquée. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la Hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 100 mm au maximum.

L'estimation de ce paramètre a été faite à l'aide de la formule de Thornthwaite. La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitation, température T (°C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i) de calculer l'évapotranspiration potentielle selon la relation suivante :

Avec :

ETP : Évapotranspiration potentielle (mm).

K : coefficient de correction mensuel qui dépend de la latitude du bassin et de la durée moyenne d'ensoleillement du jour.

I : Indice thermique annuelle.

i : Indice thermique mensuel.

T : Température moyenne mensuel en °C.

Le principe de calcul du bilan hydrologique de Thornthwaite est le suivant :

- Si pour un mois $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = ETR, la quantité d'eau qui reste ($P-ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum (100 mm) et si elle dépasse cette valeur il y aura un excès (WS) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace vers la nappe, soit sous la forme de ruissellement.
- Si $P < ETP$, On évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit : La valeur de $ETR = P + \min(RFU, ETP-P)$.
- Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole $Da = ETP - ETR$, ce dernier paramètre représente alors le besoin des cultures à l'irrigation, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de la sécheresse.

III.2.11. Le bilan hydrologique et déficit annuel d'écoulement

III.2.11.1. Le bilan hydrologique et ses nuances géographiques

Le bilan hydrologique permet de quantifier les transferts d'eau issus des précipitations. Il comporte trois principaux termes : les entrées, les sorties et les stocks.

Dans l'hypothèse d'un cycle complet où les variations de stocks sont nulles et les pertes par infiltration profonde sont supposées négligeables (se qui suppose un nombre d'années de référence suffisamment grand), l'équation du bilan d'un bassin – versant peut s'écrire :

$$E \text{ (mm)} = P \text{ (mm)} + D \text{ (mm)} \quad (17)$$

P = Lame d'eau annuelle moyenne précipitée. Elle peut être estimée par la méthode des isohyètes.

E = Lame d'eau annuelle moyenne écoulée, soit :

$$E \text{ (mm)} = Q \text{ (m}^3/\text{s)} * T \text{ } 10^{-6} \text{ secondes} / 10^{-3} * S \text{ (Km}^2\text{)}$$

$$E \text{ (mm)} = ql/\text{s/Km}^2 * T \text{ } 10^{-6} \text{ s}$$

(Q : débit absolu, q : débit spécifique, T : temps nombre de secondes de l'année, S : superficie du bassin)

D = Déficit annuel d'écoulement, soit : $D = P - E$.

Il peut être assimilé à l'évapotranspiration réelle (ETR).

Pour rendre plus parlant l'expression du bilan, on utilise parallèlement, une autre variable, le coefficient d'écoulement $C=(E/P)*100$ qui, en tant que valeur relative, reflète mieux le rôle diversifié des facteurs physico – géographique propres à chaque bassin.

III.2.12. Logiciel utilisé

Dans notre étude, nous avons utilisé trois logiciels qui nous ont permis de la saisie, de mieux gérer notre base de données et de réaliser tous les calculs nécessaires au niveau des différentes stations pluviométriques et hydrométriques pour la période d'étude.

- Excel 2007 pour traité les données et établir les graphes des variations de la température, la précipitation, débit d'écoulement la fluctuation de niveau statique de piézomètre.
- xlstat2016 version.02.27444 pour établir la régression linéaire entre le débit et la pluviométrie aux différentes stations retenues.
- Logiciel SIG, MapInfo version 7.5 Release Build 23.1985-2003, Pour établir les carte de localisation de la région d'étude et les stations pluviométriques et les points d'eaux

IV.1. Etude de la tendance climatique

IV.1.1. Variation de la température

Les températures moyennes mensuelles sont, de novembre à avril, inférieures à la moyenne annuelle et sont supérieures à cette moyenne de mai à octobre, divisant ainsi l'année en deux saisons, l'une froide et d'autre chaude.

Au cours de la saison froide, on a enregistré les moyennes les plus basses au mois du janvier à la station de Chlef et Khemis Miliana avec un minimum (5,47°C) (3,48°C) respectivement et le mois de février à la station de Miliana avec un minimum (5,51°C).

Au cours la saison chaude, on relève les moyennes les plus élevées au mois de juillet à la station de Chlef et Khemis Miliana avec un maximum (35,56°C) et (36,75°C) respectivement, et le mois Septembre à la station de Miliana avec un maximum (33,1°C). (Figures n°14 16 18)

D'Après les figures n°15 17 19 on observe que la température elle est plus élevé à quatrième décade de 1990 à 2000 est d'environ 19,4°C à la station de Chlef et dernière décade de 2000 à 2010 avec une température 18,9°C et de 1997 à 2005 avec une température 18,1°C à la station de Khemis Miliana et Miliana respectivement.

Le réchauffement est d'environ de 0,3°C 1,4°C et 2,5°C entre la première et la dernière décennie aux les stations de Chlef, Khemis Miliana et Miliana respectivement.

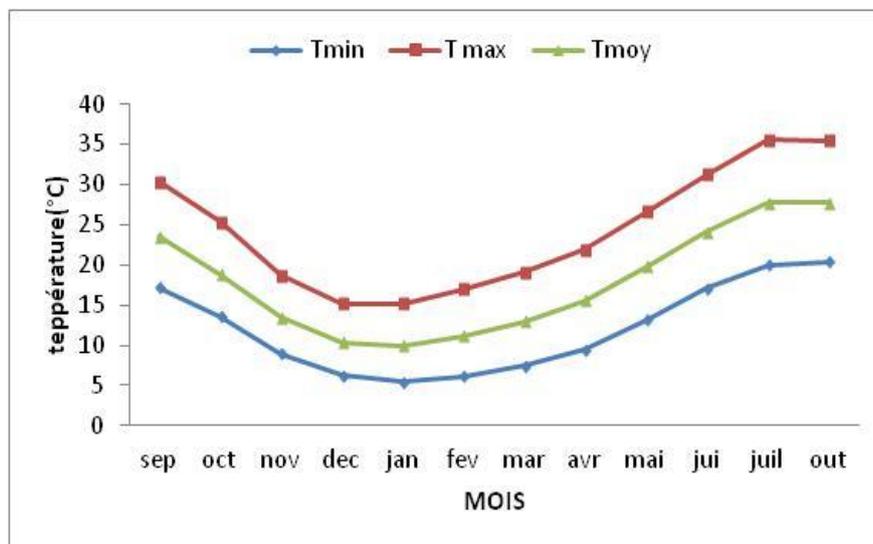


Figure 14 : Température minimale, maximale et moyenne à la période de 1968 à 2017 (station de Chlef).

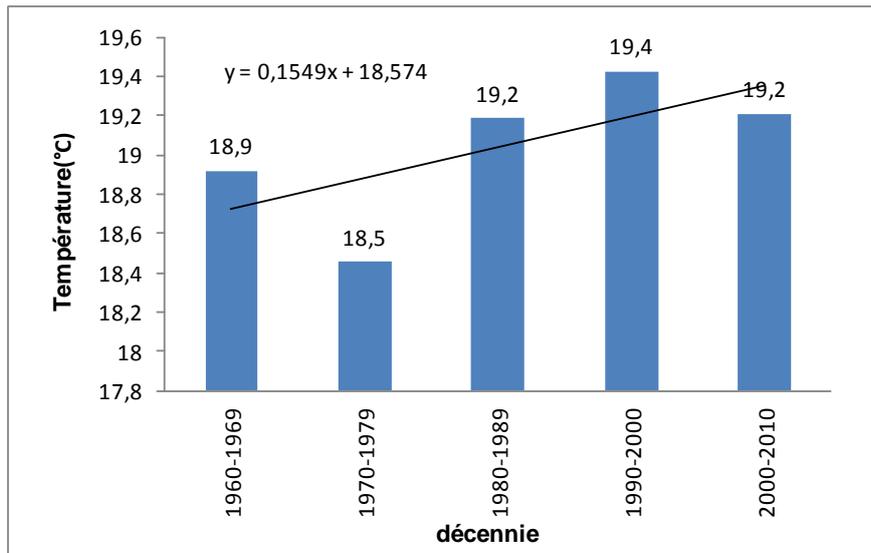


Figure15 : Moyen décennie de la température à la station de Chlef (1960-2010).

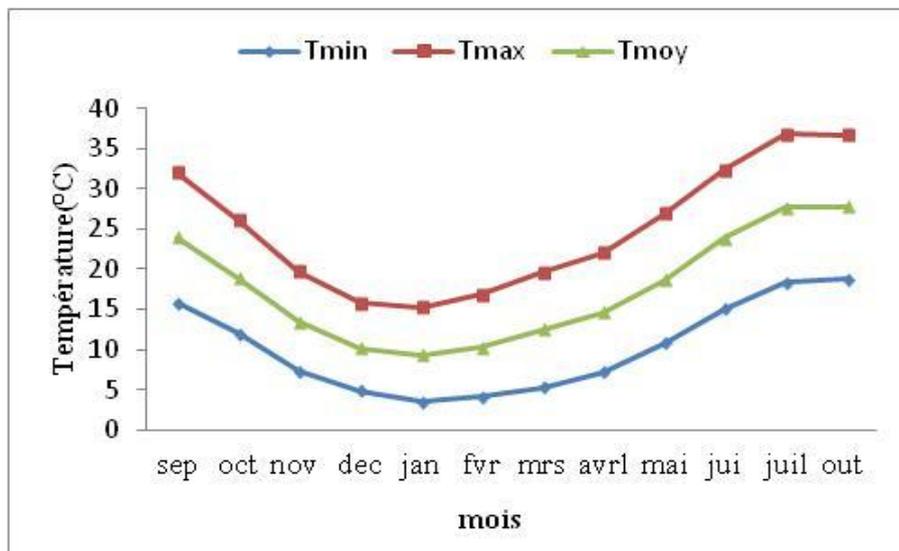


Figure 16 : Température minimale, maximale et moyenne à la période de1960 à 2010(station de Khemis Miliana).

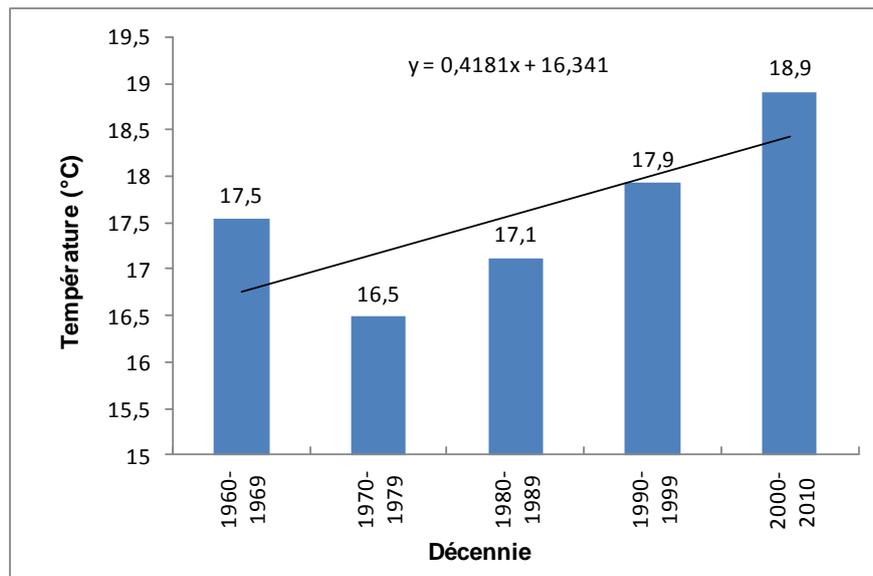


Figure17 : Moyen décennie de la température à la station de Khemis Miliana (1960-2010).

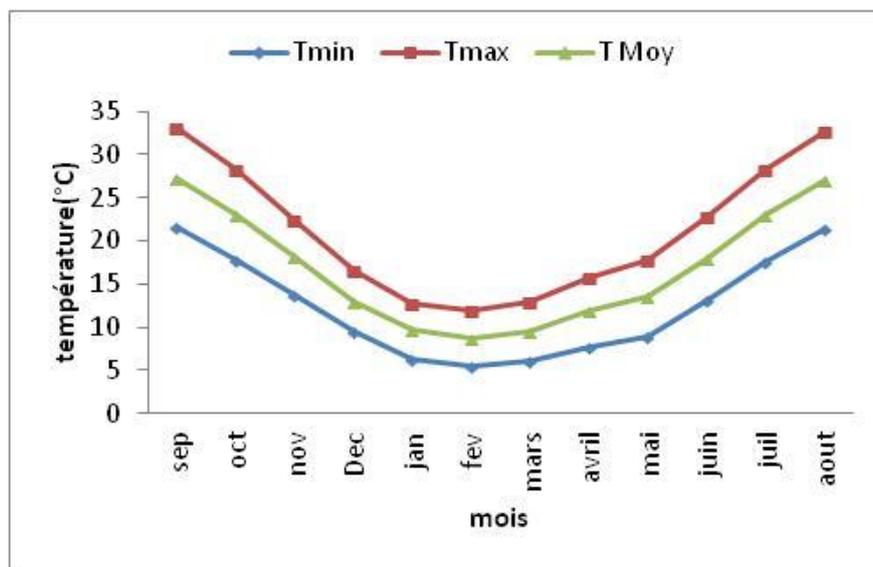


Figure 18 : Température minimale, maximale et moyenne à la période de 1967 à 2005(station de Miliana).

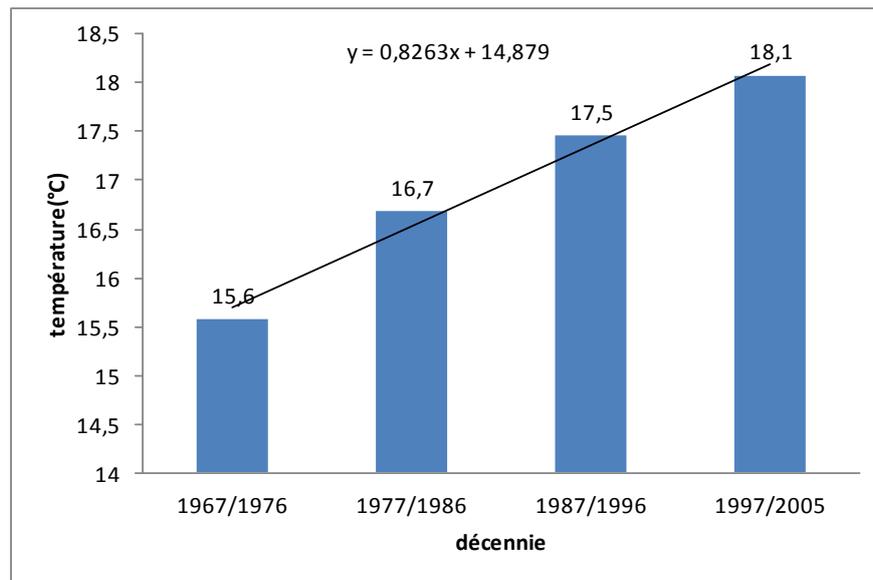


Figure 19 : Moyen décennie de la température à la station de Miliana (1967-2005).

IV.1.2. Pluviométrie

Dans le cadre de l'analyse pluviométrique nous aborderons les principaux caractères de précipitation et l'importance de leur variabilité.

IV.1.2.1. Variabilité interannuelle des pluies

L'une des caractéristiques principales de la pluviométrie, dans notre région, est sa grande variabilité interannuelle. En effet, d'une année à l'autre le total annuel peut varier fortement, ceci nous a conduits à une étude détaillée de la variabilité interannuelle des précipitations. Dans cette partie, nous avons axé notre travail sur 11 stations.

Tableau n° 06 : Analyse des précipitations interannuelles à déférente stations (1968_2017).

Station	Maximale (mm)	Minimale (mm)	L'écart type	Moyen (mm)	Médiane	Coefficient de variation %
Miliana	831,5	291,5	155,6	544,47	497,4	28
Ain Defla	627,1	246,9	99,9	447,7	450,8	22
Arib Ebda	786,1	283	134,7	514,3	525,9	26
Sidi lakhdar	683,09	187,8	103,25	405,33	401,4	25
Khemis Miliana	711	174,3	103,39	431,25	435,1	23
Bordj El Amir Khaled	1065,4	174,1	180,05	413,23	388,2	44
El Touibia	503,7	153,5	86,7	314,2	309,2	28
Ponteba Defluent	696,3	174,1	112,04	407,65	413,2	27
Chlef	559,5	165	92,27	351,95	352,3	26
Ain soltane	752,2	209,7	134,4	454,2	450,5	30
Ghrib bge	676,9	237,5	111,2	456,3	426,7	24

Le calcul de l'écart-type et du coefficient de variation (Cv%) pour chaque station montre pour l'ensemble des stations retenues que le coefficient de variation annuel varie entre 22% et 44 %. Les valeurs les plus élevées sont observées dans la station Bordj el Amir Khaled 44% et Ain Soltane 30%, et les valeurs les plus faibles sont observées à la station Ain Defla 22%, et Khemis Miliana 25%. Il est conseillé de remarquer que notre zone présente des zones pluviométriques relativement hétérogènes. (Tableau n°06)

Le tableau n°06 caractérise bien la variabilité interannuelle, Ce même tableau montre que les moyennes des 11 stations sont assez proches des médianes et montre que la loi de distribution est symétrique.

Pour une analyse plus détaillée, nous allons caractériser la variabilité interannuelle par les variables moyenne interannuelle, moyenne mobile et l'indice de précipitation. Les figures n° (20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) représentent cette variabilité interannuelle des précipitations sur 11 stations pour la période de 1968 à 2017, on y remarque la concordance des années déficitaires (moyenne mobile inférieur à la moyenne annuelle) de 1980 à 2003 les stations de : Ain Defla, Arib Ebda, Sidi lakhdar, Khemis Miliana, Ponteba defluent, Chlef, Ain Soltane, Ghrib Bge. Pour les stations de Miliana, bordj el Amir Khaled et El Touibia l'année déficitaires varie entre de 1993 à 2002 ,1976 à 2004 et 1976 à 1980 respectivement.

Par ailleurs, nous observons dans les mêmes stations, des excédents pluviométriques (moyenne mobile supérieur à la moyenne annuelle) relatifs à la période de 1968 à 1979 sauf à la station de Miliana l'année pluvieuse est 1990-1991 et de la période de 2002 à 2009 pour la station d'Arib Ebda.

A partir de ces critères en suivant l'évolution de l'indice SPI durant la période analysée présentée sur les figures, on a pu estimer l'intensité et la durée de la sécheresse dans les 11 stations étudiées.

Les phénomènes les plus intenses durant les années 2000 et avec des valeurs extrêmes atteignant -2,08 à la station de Ponteba defluent (012203) situé sur la plaine de Cheliff et les plus intenses qui atteignant 3,62 à la station de bordj El Amir Khaled (011703).

On peut constater des phénomènes moins intenses avec des valeurs dépassant -2.0 qui ont eu lieu en :

- 2000 dans la station de bordj El Amir Khaled.
- 1993 dans la station d'Arrib Ebda.
- 1973 dans la station de Touibia.
- 1999 dans la station de Ghrib Bge.
- 1993 dans la station d'Ain soltane.
- 2014 dans la station de Miliana.

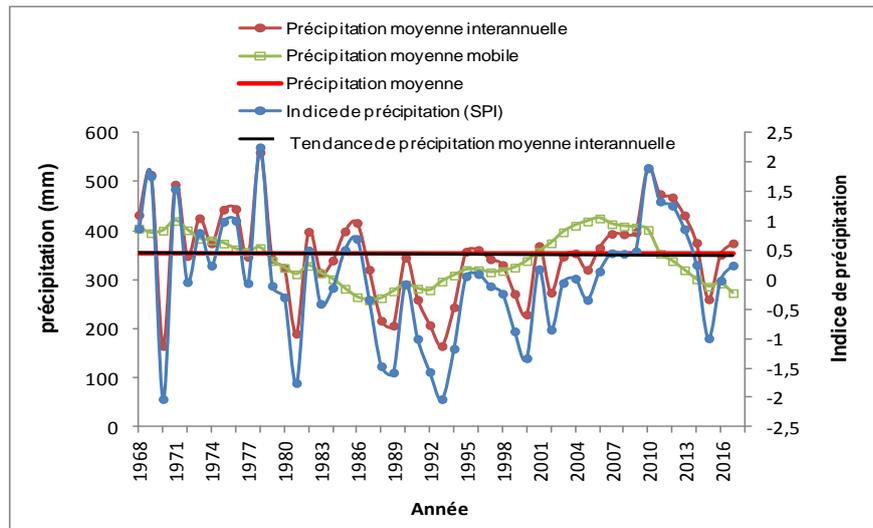


Figure 20 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station de Chlef.

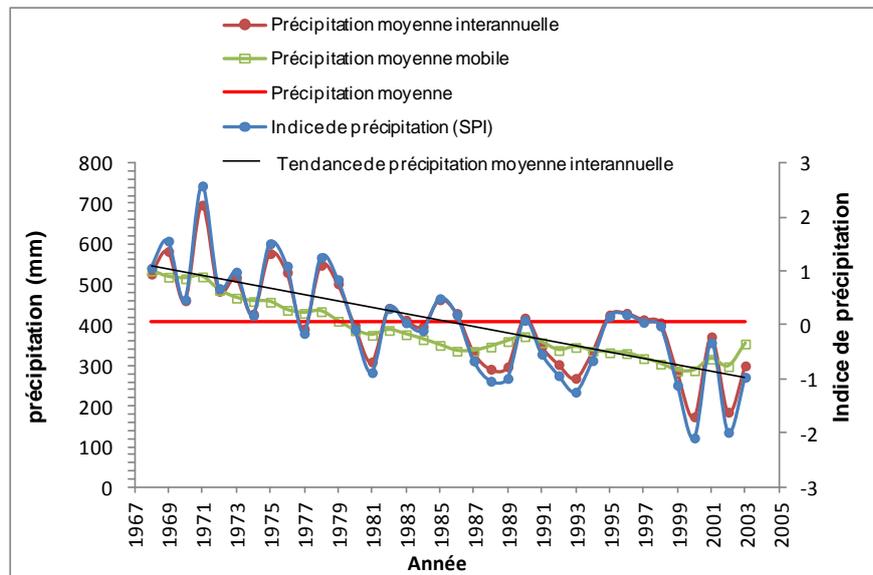


Figure 21 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station de Ponteba Defluent.

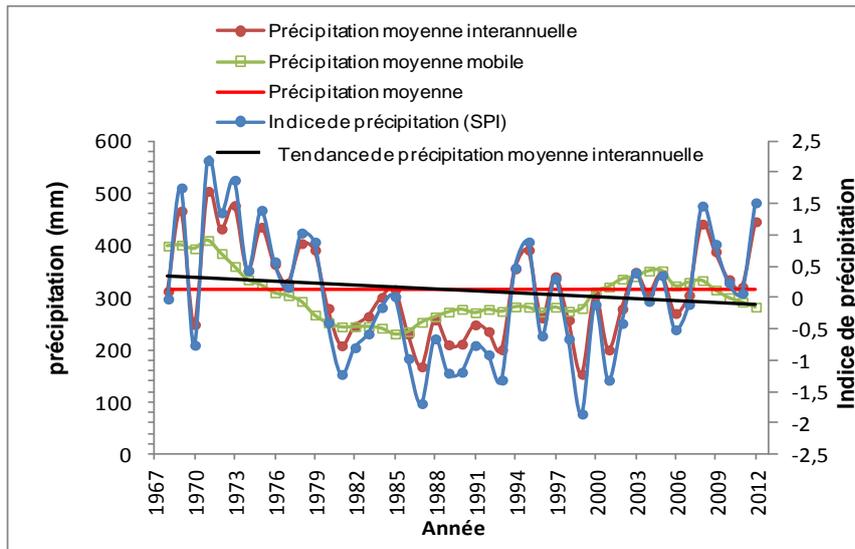


Figure 22 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station d’El Touibia.

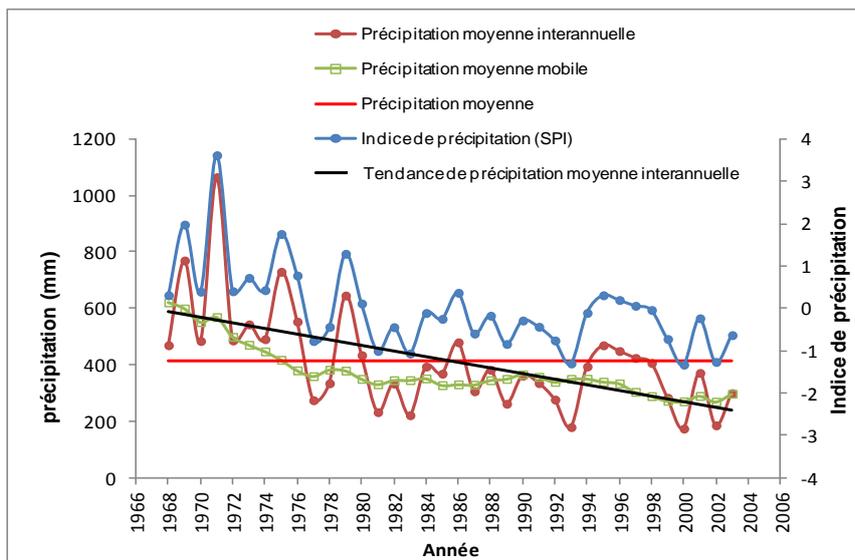


Figure 23 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station de Bordj El Amir Khaled.

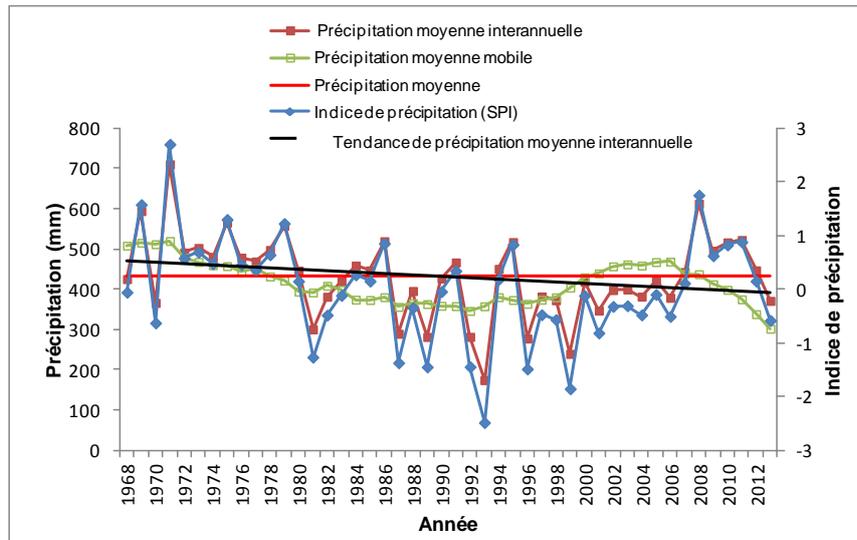


Figure 24 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station de Khemis Miliana.

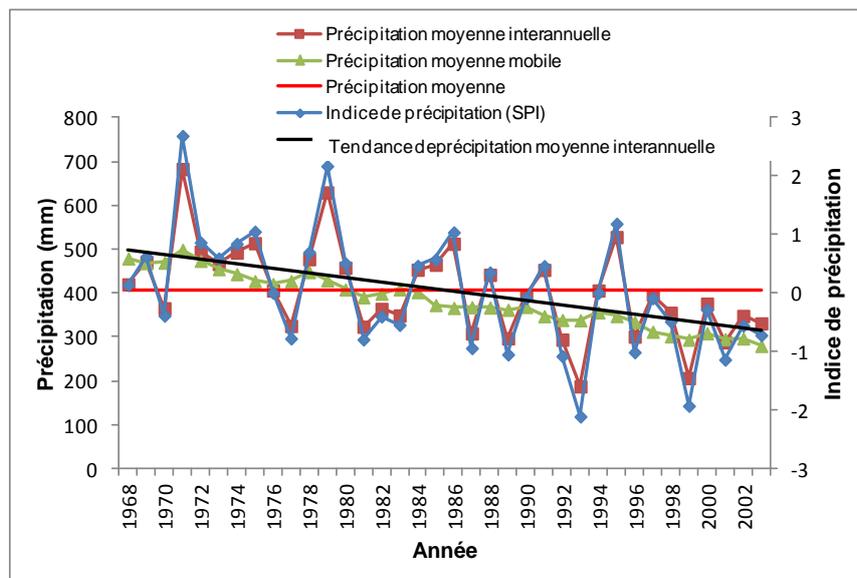


Figure 25 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station de Sidi lakhdar.

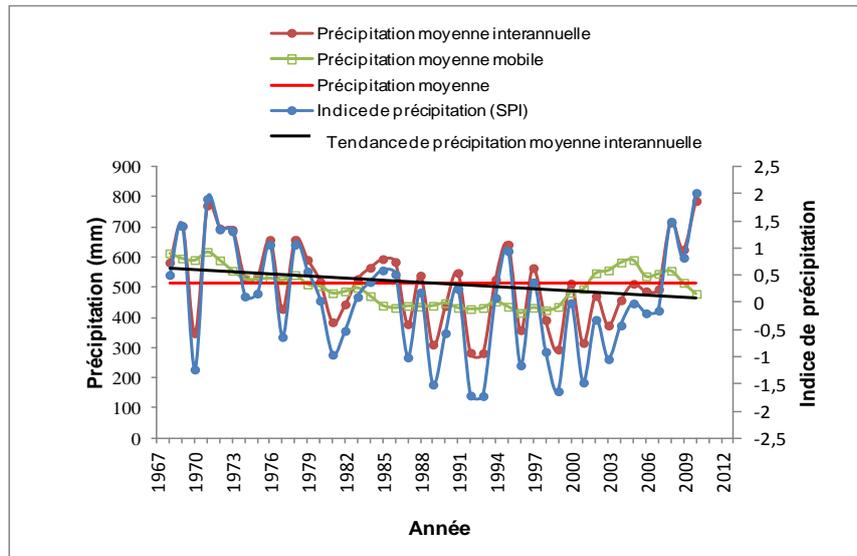


Figure 26 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station d’Arib Ebda.

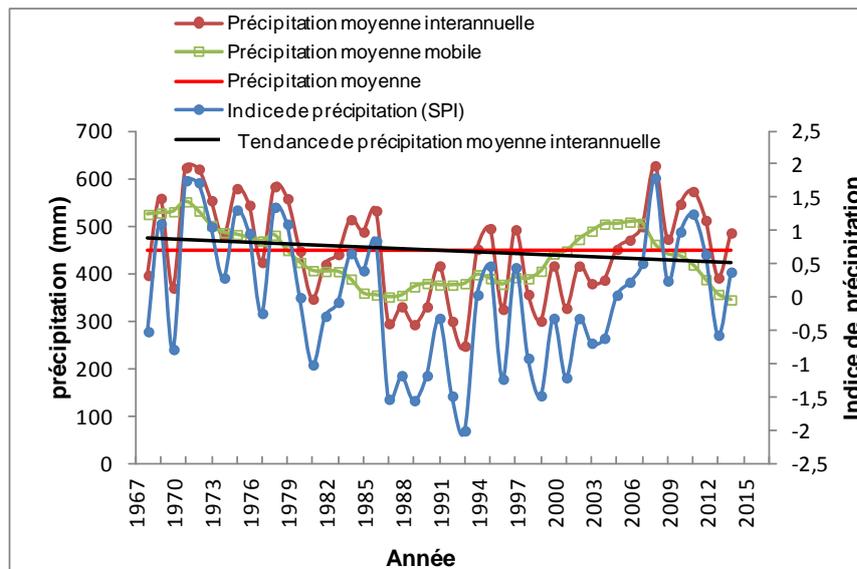


Figure 27 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station d’Ain Defla.

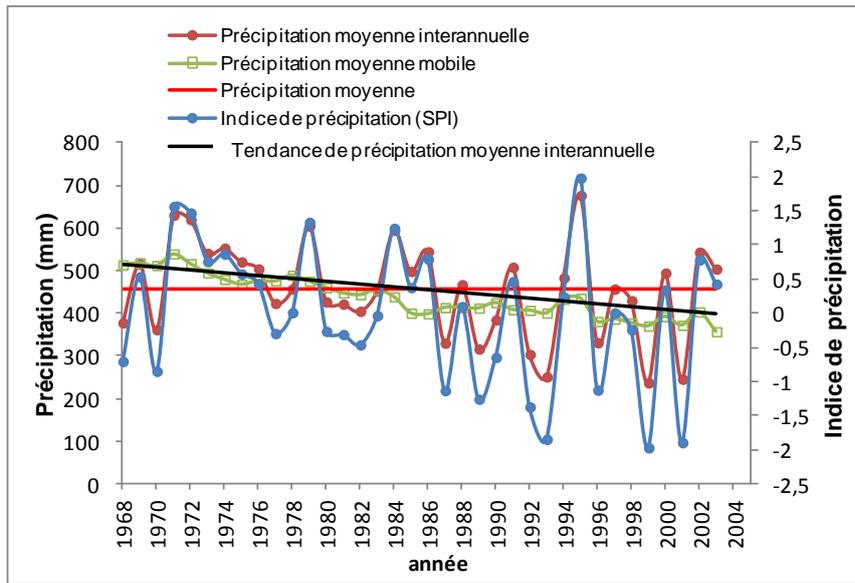


Figure 28 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station de Ghib Bge.

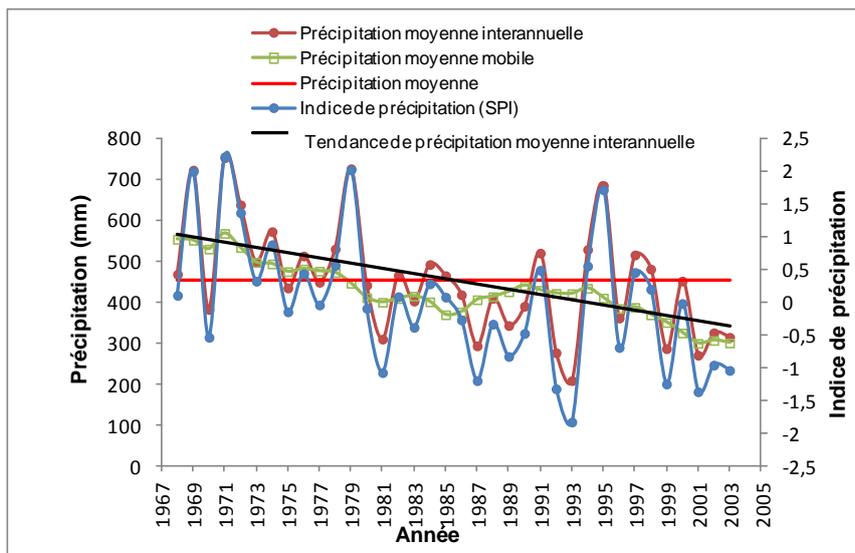


Figure 29 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station d'Ain Soltane.

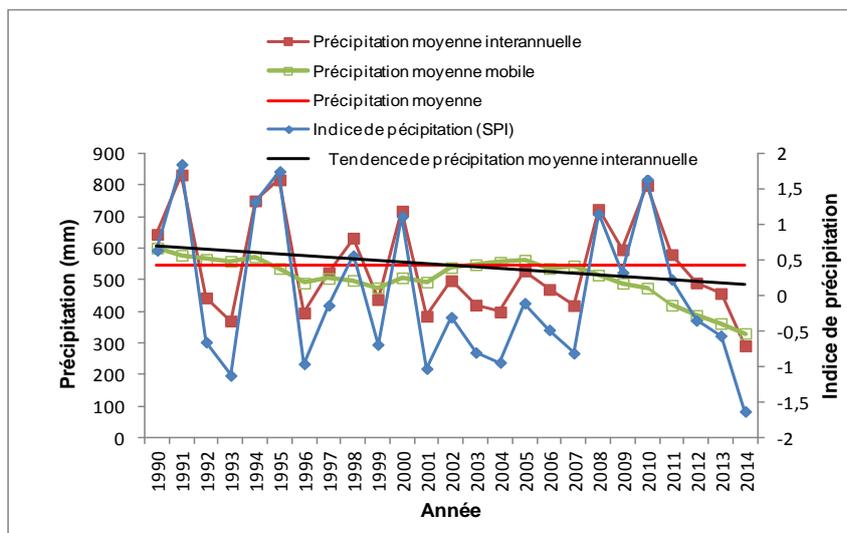


Figure 30 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile, indice de précipitation à la station de Miliana.

IV.1.2.2. Variation des précipitations mensuelles

D'après les figures n° : 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 la variation des précipitations mensuelles sur le plan temporel est caractérisée par les mêmes tendances dans toutes les stations de notre région d'étude, La répartition des précipitations mensuelles est irrégulière d'un mois à un autre dans la totalité des stations.

Dans la plupart des stations du Haut Cheliff le mois le plus pluvieux est le mois de janvier (Miliana 98mm, Ain Soltane 67mm, Bordj El Amir Khaled et Khemis Miliana 60mm, Sidi lakhder 59mm, Ponteba defluent 58mm). Les stations d'Arib Ebda 77mm et Ghrib Bge 67mm et Chlef 50 mm où c'est le mois de décembre, et le mois de février pour la station d'Ain defla et El Touibia avec un moyenne de 64mm, 43mm respectivement.

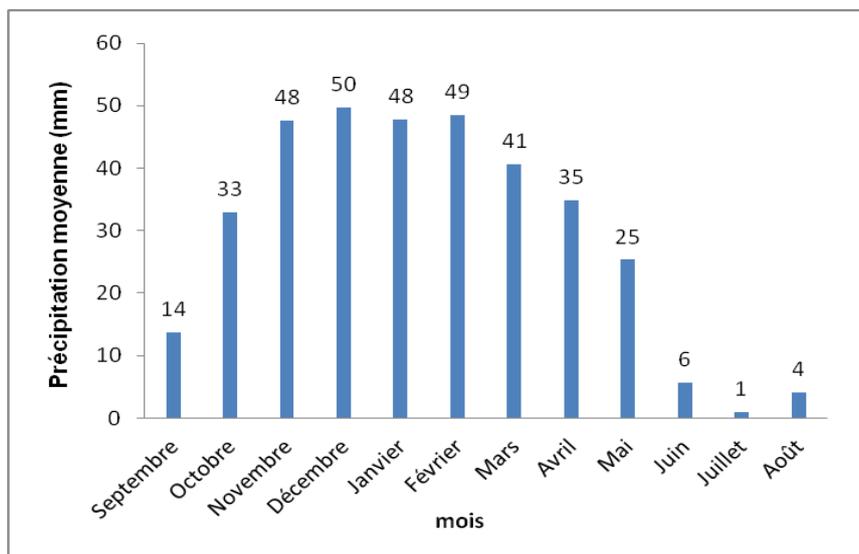


Figure 31 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station de Chlef.

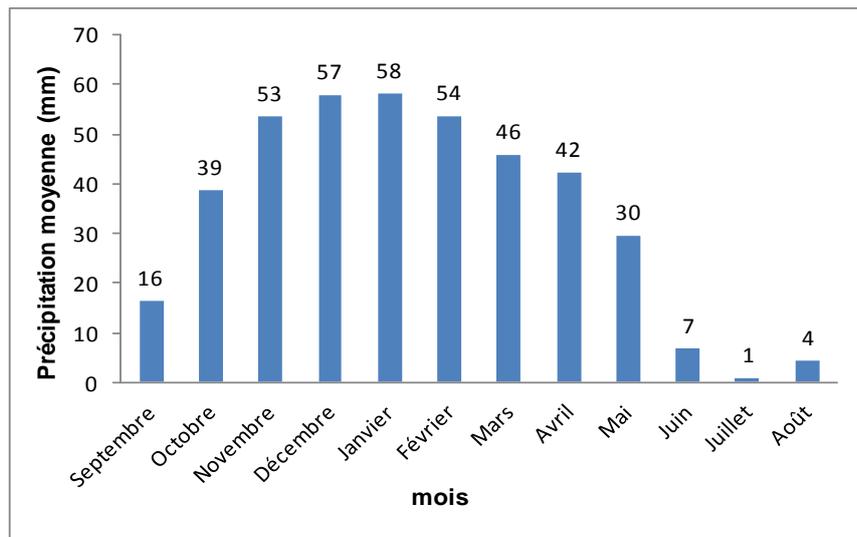


Figure 32 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station de Ponteba defluent.

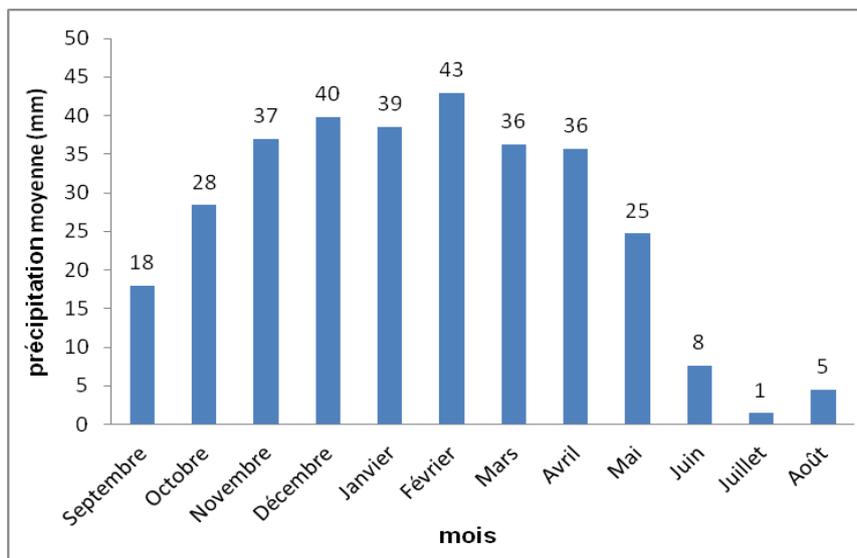


Figure 33 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station d'EL Touibia.

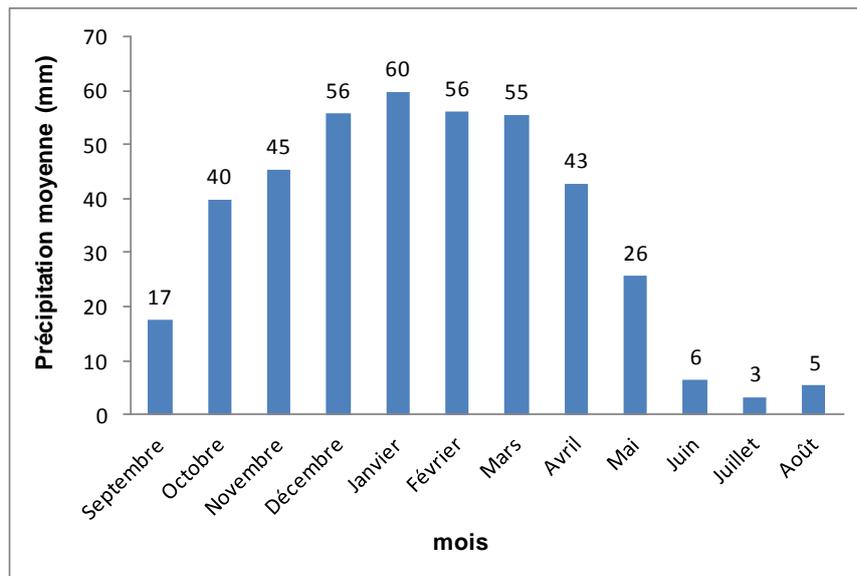


Figure 34 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station de Bordj El Amir Khaled.

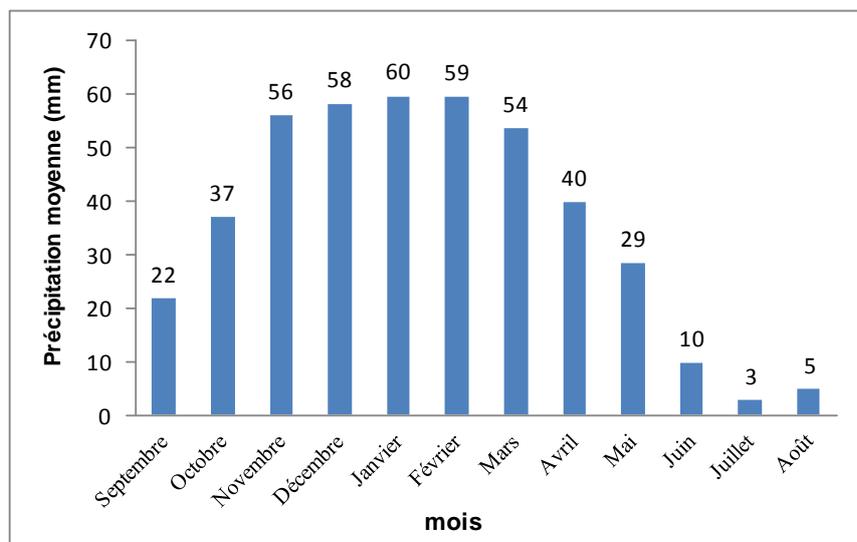


Figure 35 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station de Khemis Miliana.

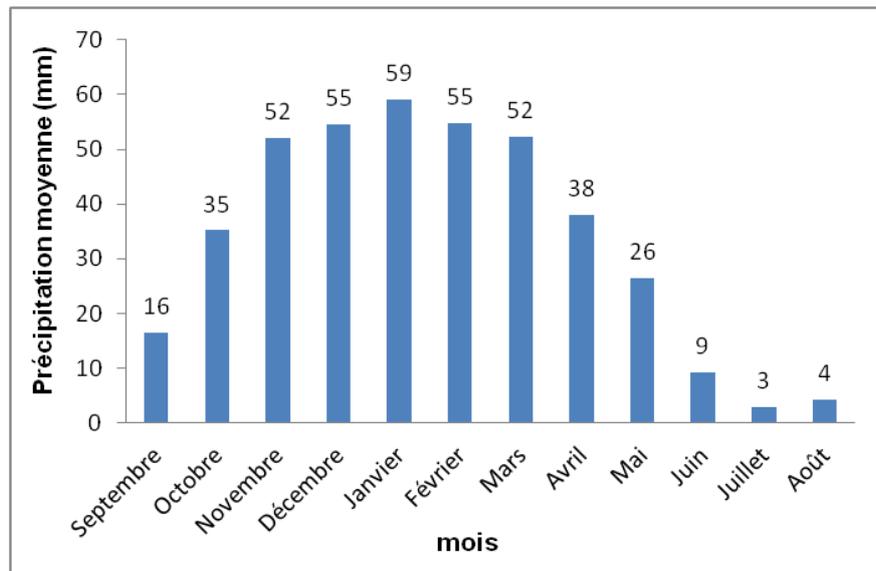


Figure 36 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station de Sidi lakhdar.

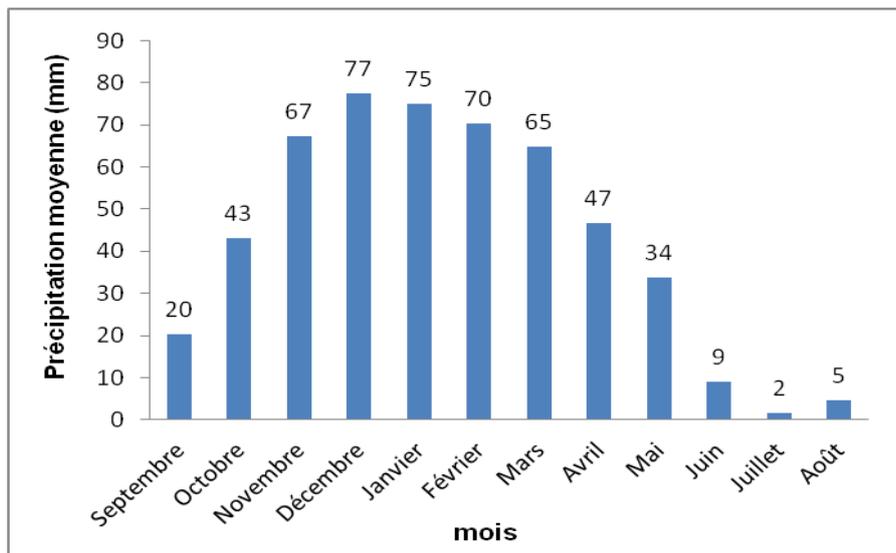


Figure 37 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station d’Arib Ebda.

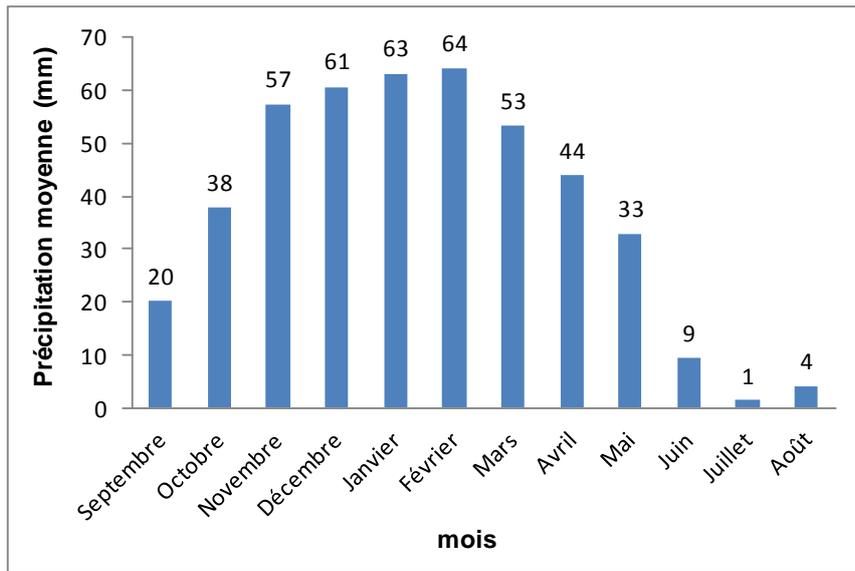


Figure 38 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station d’Ain Defla.

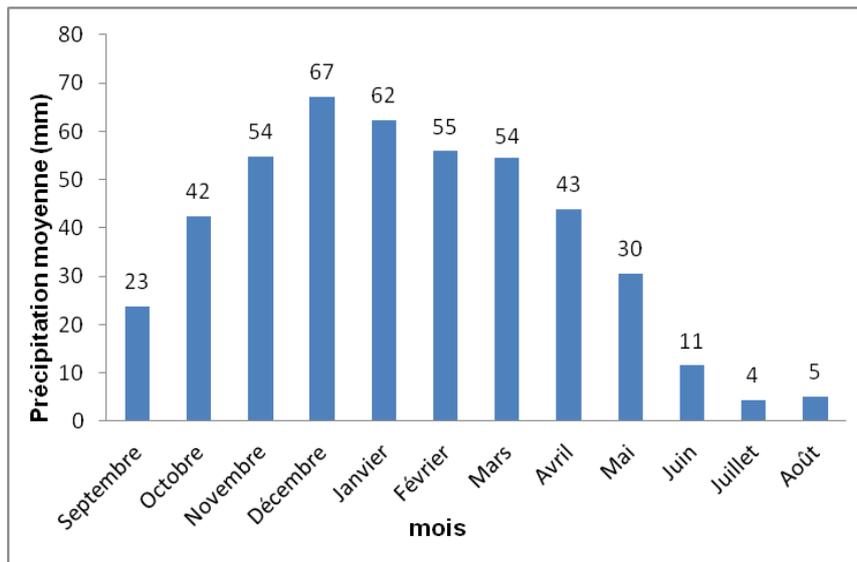


Figure 39 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station de Ghib Bge.

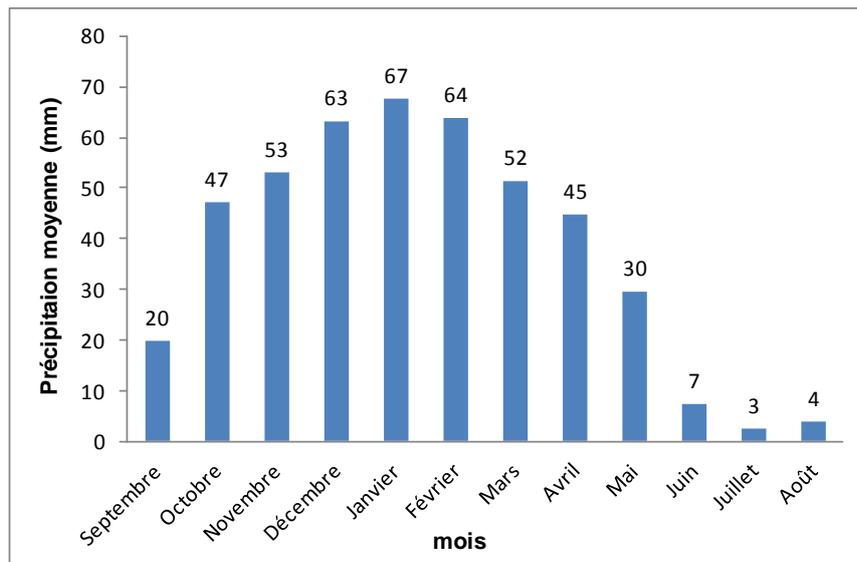


Figure 40 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station d'Ain Soltane.

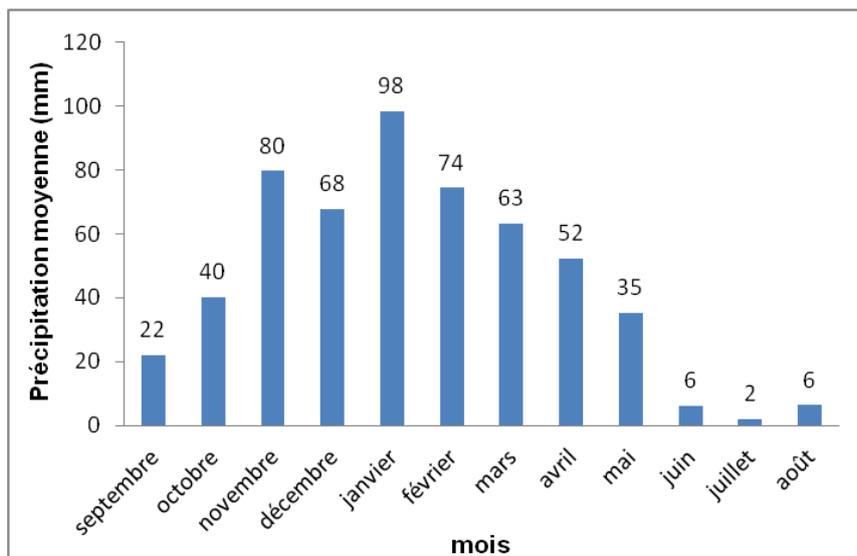


Figure 41 : Moyenne inter-mensuelle de précipitation à la station de Miliana.

IV.1.2.3. Variation saisonnière

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons.

Le tableau n°07 donne les moyennes hivernales et printanières pour les 4 stations, en considérant les deux périodes (1968-2000) (2001-2014). Ce dernier montre que la moyenne pour la deuxième période est toujours inférieure par rapport à la première, en considérant les deux saisons.

Durant les deux dernières décennies est principalement a occasionnées par une baisse tendance à cause d'une baisse pluies du printemps et particulièrement celles de l'hiver.

Tableau n°07 : Analyse des moyennes hivernales et printanières sur les deux périodes (1968-2000) (2001-2014).

Stations	Hiver		Printemps	
	Moyenne 1	Moyenne 2	Moyenne 1	Moyenne 2
Miliana	260,30mm	224,87mm	170,41mm	135,41mm
Bordj el Amir Khaled	208,78mm	134,2mm	149,36mm	98,48mm
Khemis Miliana	189,1mm	160,3mm	134,6mm	110,1mm
Ain defla	200,4mm	176,2mm	137,4mm	123mm

IV.1.3. L'indice d'aridité

Afin de rechercher les variations de cet indice et de connaître les variations de l'aridité régionale. Nous avons calculé l'indice d'aridité annuel de De Martonne (I_{AA}) des trois stations pour la période de 1968 à 2017.

Tableau n°08 : Représente les calculs de l'indice d'aridité de De Martonne (I_{AA}) du trois stations.

Période	Station	P (mm)	T moy (C°)	T+10	I_{AA}
1968-2017	CHLF	351	18,86	28,86	12,16
1968-2014	KHMISS	431,24	23,38	33,38	12,92
1990-2003	Miliana	549,28	17,73	27,73	19,81

On constat d'après les calculs (tableau n°07) que la valeur de l'indice d'aridité est compris entre $5 < A < 20$. Donc la région est à climat semi-aride.

IV.1.4. L'évapotranspiration

Le déficit d'écoulement est défini par la différence entre les précipitations et la lame d'eau qui s'écoule sur un bassin versant. Tableau n°09, représente l'évapotranspiration réelle avec différentes méthodes à la station de Khemis Miliana.

Tableau n° 09 : L'évapotranspiration réelle avec différentes méthodes à la station de Khemis Miliana.

Méthodes	ETR (mm)	P-ETR (mm)
Turc	408,31	14,98
Coutagne	374,26	56,97
ETR- d'indice de précipitation antérieure	854,12	-422,88
ETR- Advection-Aridité	422,84	8,4
Thornthwaite	363.23	68,01

IV.1.5. Réseau hydrométrique

Le bassin versant a un réseau hydrographique plus dense, il est caractérisé par un cours d'eau principale d'oued Chlef.

Les différents paramètres des débits annuels sont présents dans le tableau n°10.

Tableau n° 10 : Différents paramètres de débit (1968-2001).

	Stations	Superficie (Km ²)	Débit annuelle moyenne Q (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/km ²)	Lame d'eau écoulée E (mm)	Apport annuel moyen (hm ³ /an)	Coefficient d'écoulement C=E/P %	P (mm)	D=P-E (mm)
011514	DJenen.B. Ouadah	1164	5,1634	4,4300	139,9	162,830	29	483,2	343,30
011702	Aribe Chlef	2204	4,8254	2,1800	69	152,170	15,1	458,2	389,20
012001	El Abadia	4098	9,6593	2,3500	74,3	304,610	15,9	466,5	392,60
011715	El ababsa	102	0,1761	1,7200	54,5	5,550	13,9	392	337,60
011801	Arib Ebda	270	2,5649	9,4900	299,6	80,880	45,5	658,7	460,90
011905	Bir Ouled Taher	435	0,5228	1,2000	37,9	16,480	8,3	456,5	418,50
012203	Ponteba defluent	4704	10,3947	2,2098	69,7	327,807	15,3	456,5	386,90
011407	Ghrib Amont	1898	4,3887	2,3123	6,50	138,402	2,2	289,3	282,90

Le régime hydrologique des différents oueds hydrographiques est diminué dans la station de El ababsa par un moyen de débit égale à 0,17m³/s pour atteindre un débit minimum égale à 0,01m³/s à l'année 1999 et un maximum de 0,96m³/s à l'année 1971, plus on remarque que il y a

une augmentation dans la station de El abadia avec un minimum $0,11\text{m}^3/\text{s}$ à l'année 1983 et maximum égale à $46,84\text{m}^3/\text{s}$ de l'année 1969.

A partir des caractéristiques Hydrologiques des stations étudiés (tableau n°11) nous avons déduit que :

Le coefficient de variation varie entre 75 et 128 % pour les stations (011714 et 011515) respectivement. Ceci met en évidence l'irrégularité de l'écoulement et la forte dispersion autour de la moyenne de série chronologique des débits moyens.

Tableau n°11 : Paramètres statistiques des débits interannuels.

	Moyenne	Somme	Minimum	Maximum	Variance	Ecart type	Cv%
011514	5,16	175,65	0,52	15,13	14,88	3,87	75
011702	4,82	164,06	0,23	17,11	19,21	4,38	91
012001	9,65	328,42	0,11	46,84	104,83	10,23	106
011715	0,17	5,99	0,01	0,96	0,05	0,23	128
011801	2,56	87,21	0,26	9,57	4,82	2,19	86
011906	1,28	38,41	0,11	4,21	1,25	1,12	87
011905	0,52	17,78	0,06	1,73	0,17	0,41	78

IV.1.5.1. Variabilité interannuelle des écoulements

En se basant sur ces graphes il apparait que durant les années (1970-1980) la majeure partie des débits moyens annuels est inférieur au débit moyen inter annuelle.

L'évolution des indices d'écoulement calculés par rapport à la moyenne 1968-2001 pour les stations communes à cette période de référence, nous permet d'apprécier les variations d'écoulement depuis la mise en place de la sécheresse.

Les figures suivantes de 42 à 47 traduisent l'évolution temporelle des stations déficitaires (indice d'écoulement négatif). On remarque une tendance à l'augmentation du nombre des postes déficitaires entre 1968 et 2001 dans toutes les stations, Cette tendance s'accélère a partir les années 1980 (période d'apparition de la sécheresse). Le maximum (-1,20) est observé en 1993 à

la station de Djenan.B.Ouadah suivie par la station de Bir Oueld Taher qui se caractérise par deux période d’augmentation du nombre des postes déficitaires (1974-1983) et (1985-2001) et le maximum observé en 1999 à (-1,13). En suite par la station d’Arib Ebda avec un maximum (-1,05) enregistré en 1989 en remarque une faible tendance à la diminution du nombre des postes déficitaires à la station d’El abadia en 1983 avec (-0,93) et (-0,74) à la station d’El ababsa en 1992.

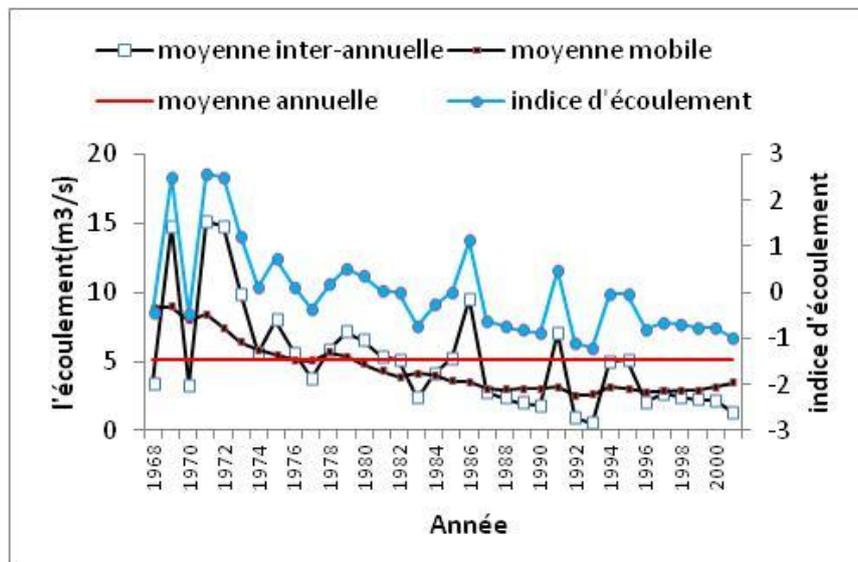


Figure 42 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d’écoulement à la station de Djenan.B.Ouadah (011514) (1968-2001).

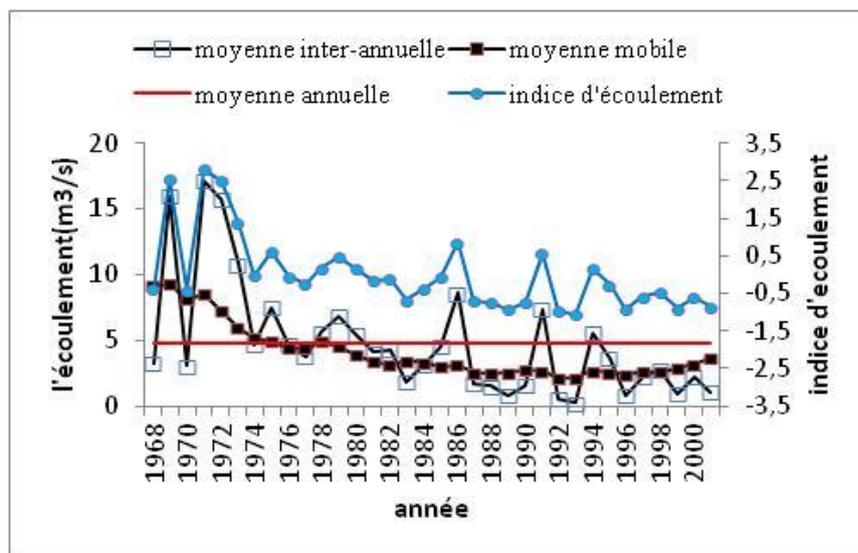


Figure 43 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d’écoulement à la station d’Arib Chlef (011702) (1968-2001).

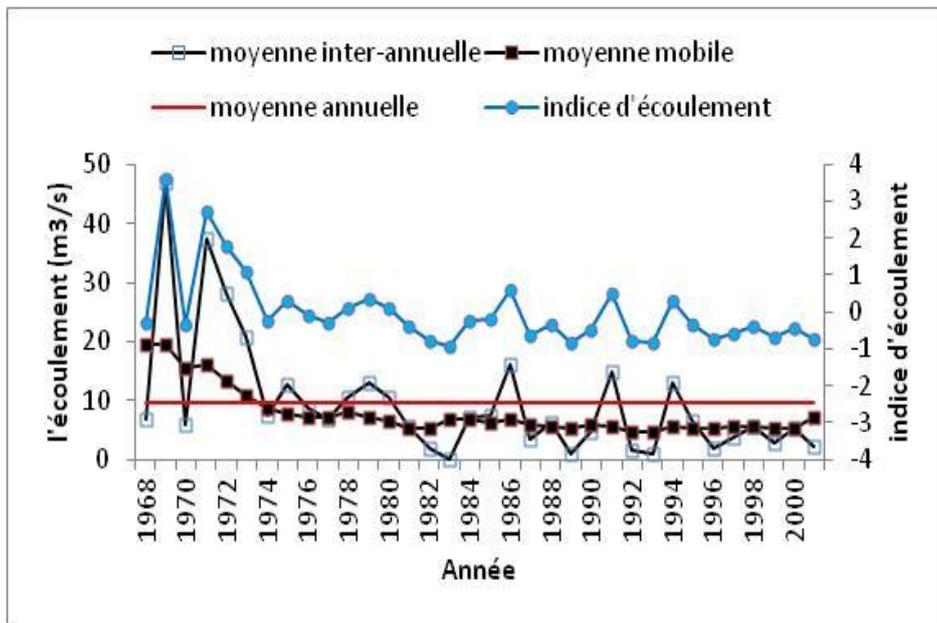


Figure 44 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d'écoulement à la station d'El abadia (012001) (1968-2001).

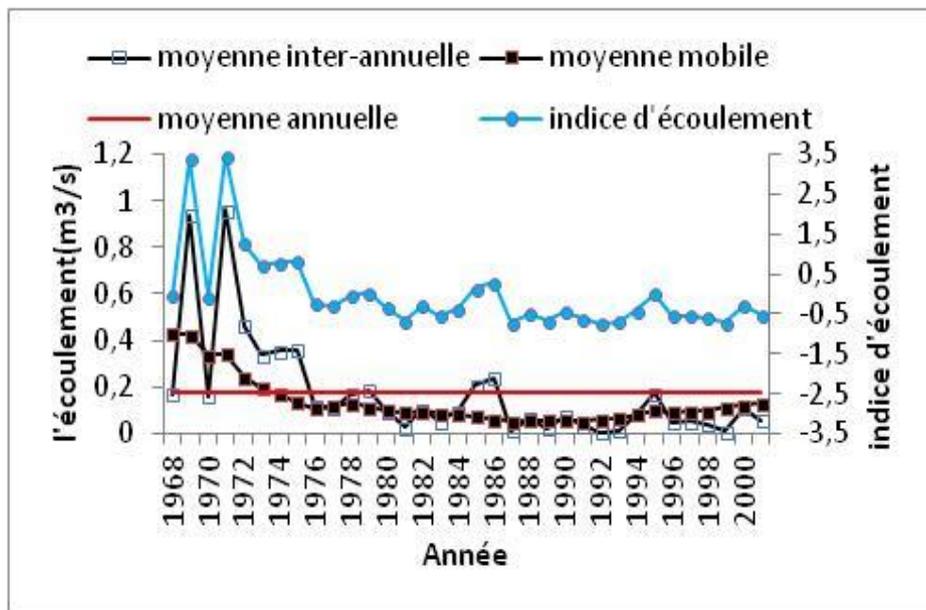


Figure 45 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d'écoulement à la station d'El ababsa (011715) (1968-2001).

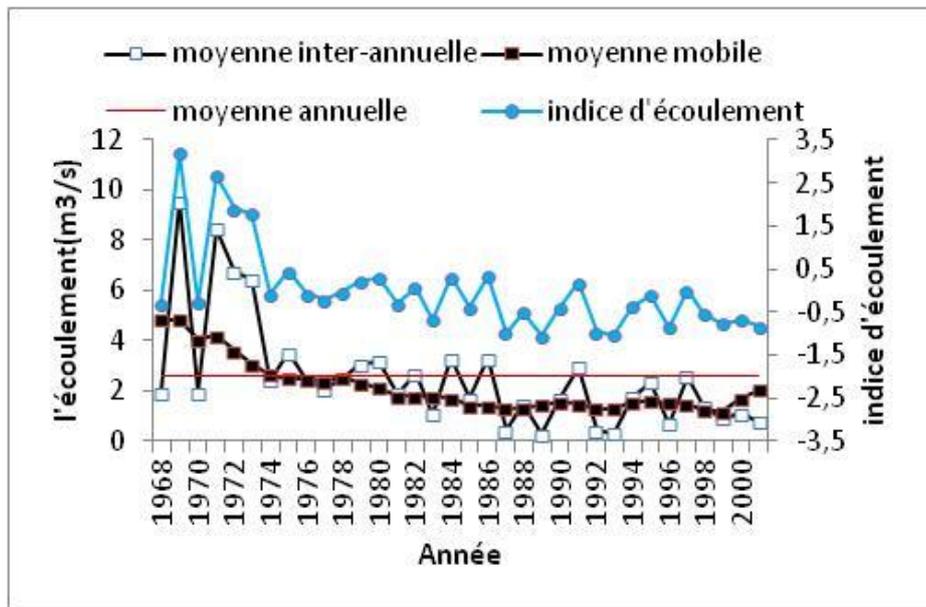


Figure 46 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d'écoulement à la station d'Arib Ebda (011801) (1968-2001).

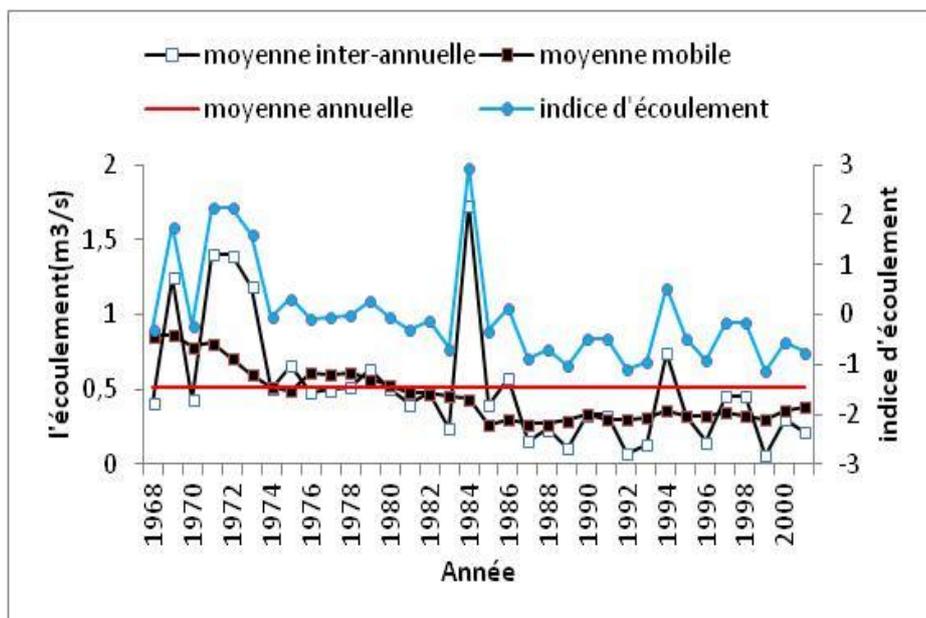


Figure 47 : Moyenne interannuelle, moyenne mobile et indice d'écoulement à la station de Bir Oueld Tahar (011905) (1968-2001).

IV.1.5.2. Variation mensuelle des écoulements

D'après les graphes correspondant les figures de 48 à 53 on peut dire que l'écoulement moyenne mensuelle subit des grandes variations durant la période considéré pour les 6 stations, on remarque que l'écoulement moyen est plus élevé au mois de mars à la station de d'El abadia

avec un débit $23,78 \text{ m}^3/\text{s}$ et au mois de février à la station d'Arib Chlef et Djenan.B.Ouadeh et Bir Oueld Taher avec un débit $10,96$ et $9,69$ et $4,25 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement. Pour la station d'Arib Ebda est caractérisé par le mois de décembre avec un moyen de $5,13 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ au mois de janvier à la station d'El ababsa.

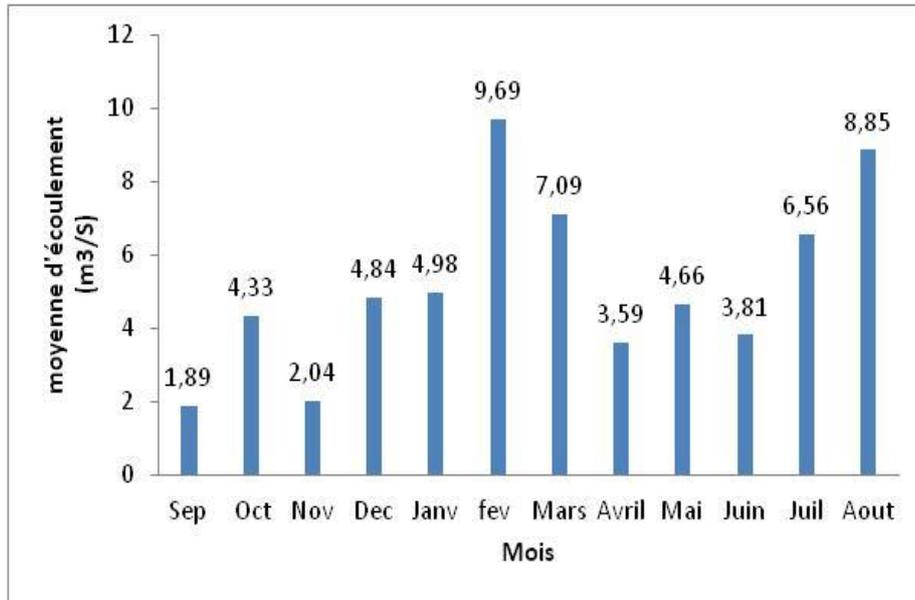


Figure 48 : Moyenne mensuelle d'écoulement à la station de Djenan.B.Ouadah (011514) (1968-2001).

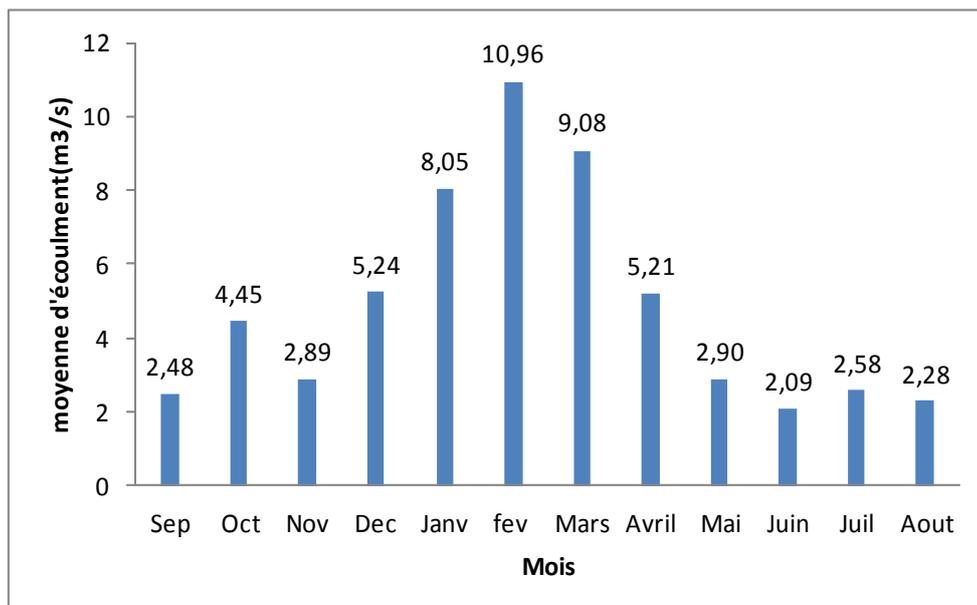


Figure 49 : Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'Arib Chlef (011702) (1968-2001).

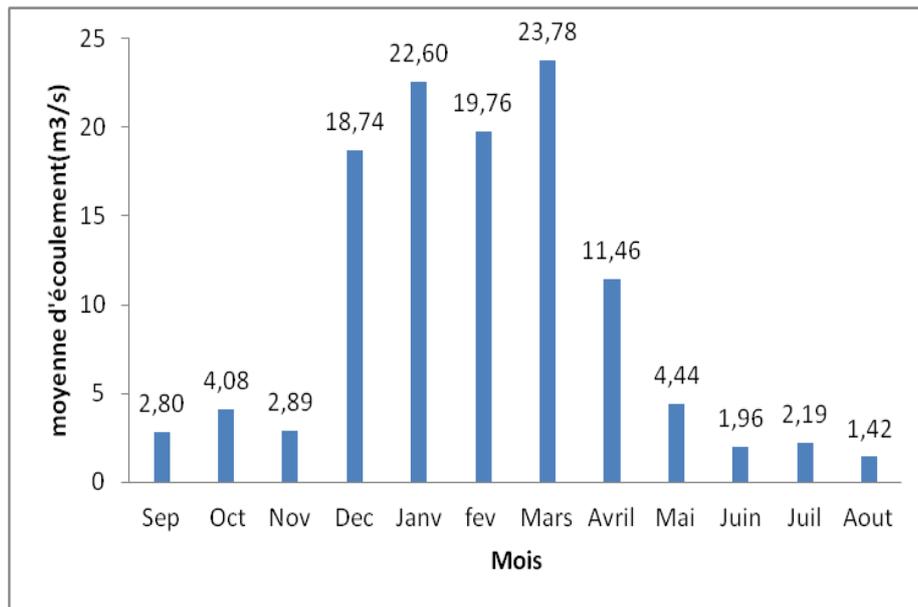


Figure 50 : Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'El abadia (012001) (1968-2001).

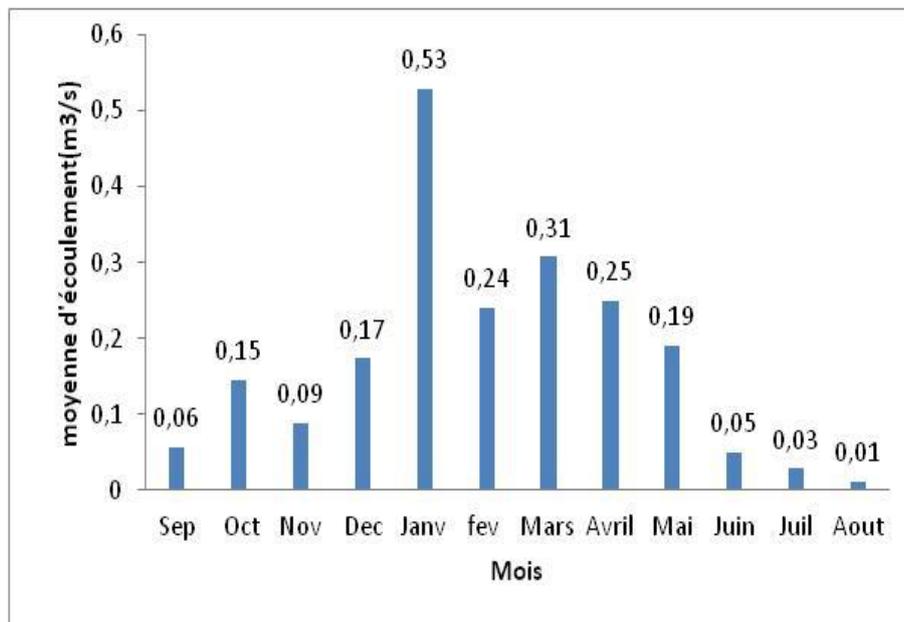


Figure 51 : Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'El ababsa (011715) (1968-2001).

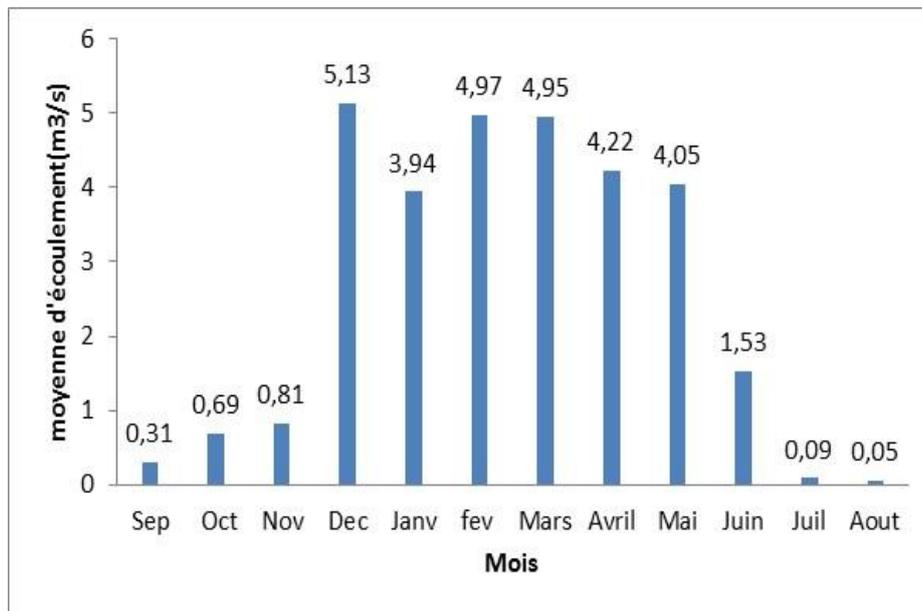


Figure 52 : Moyenne mensuelle d'écoulement à la station d'Arrib Ebda (011801) (1968-2001).

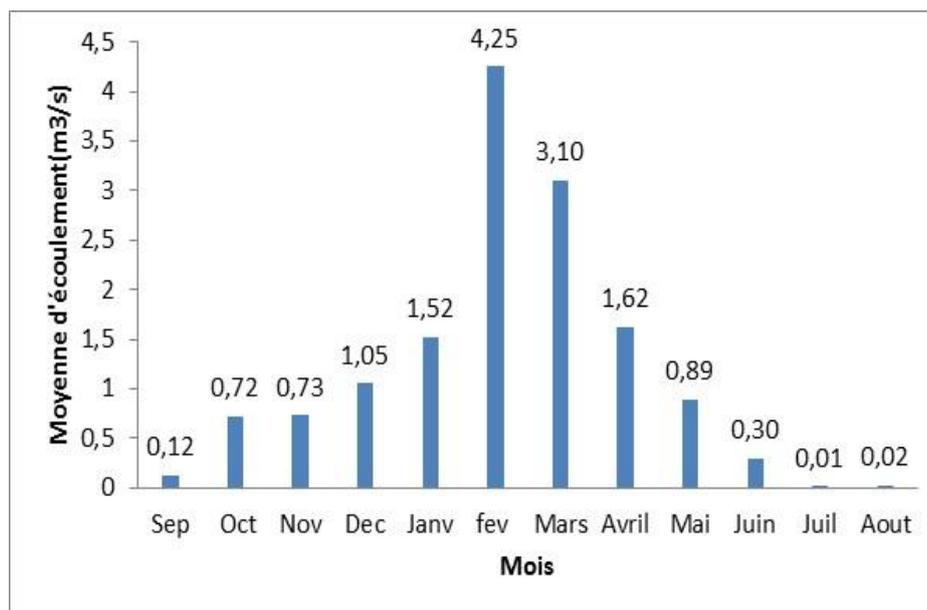


Figure 53 : Moyenne mensuelle d'écoulement à la station de Bir Ouled Taher (011905) (1968-2001).

IV.1.6. Relation entre le débit et la précipitation

La corrélation par la méthode de régression linéaire simple entre la pluie moyenne et le débit sur 07 stations pluviométriques et d'autre hydrométrique montre une bonne corrélation pour intervalle de confiance égal à 95% avec coefficient de corrélation R^2 supérieur à 0,5 et d'autre faible avec R^2 inférieur à 0,5 entre les stations hydrométriques et d'autres pluviométriques.

D'après les Figures de 54 à 61 qui représente la relation pluie –débit on remarque que il ya une bonne corrélation entre la station 011715 et 011703(hydrométrique et pluviométrique respectivement) avec un coefficient de corrélation $R^2= 0,7$.

L'équation de corrélation est écrite comme suit : $Q = -0,27 +1,050E-03*P$

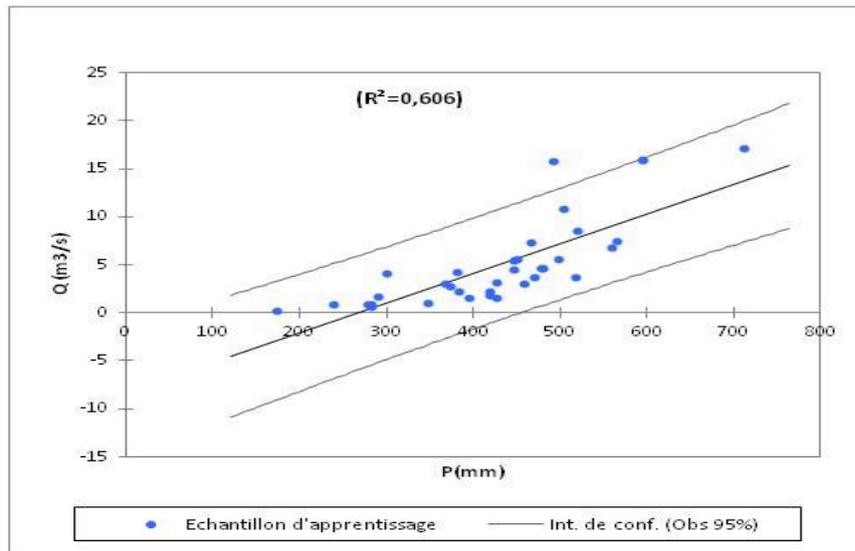


Figure 54 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011702) et Pluviométrique (011706), période (1968-2001).

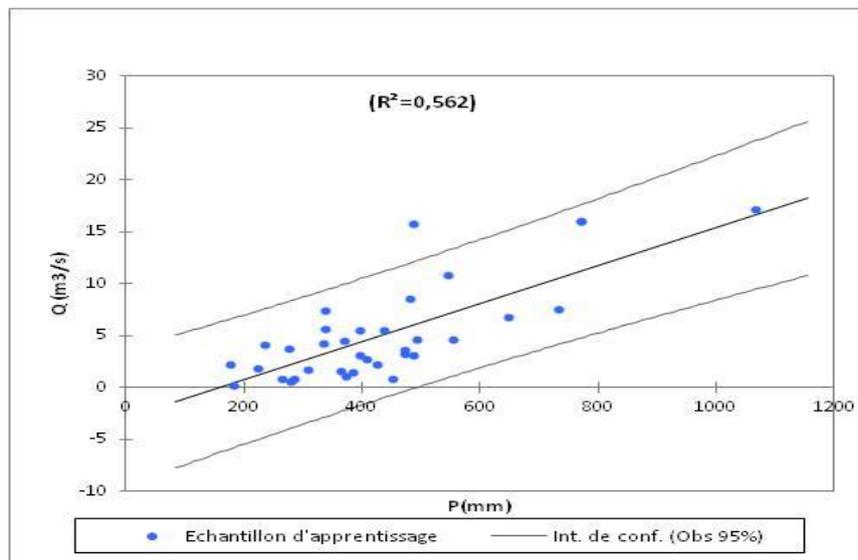


Figure 55 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011702) et Pluviométrique (011703), période (1968-2001).

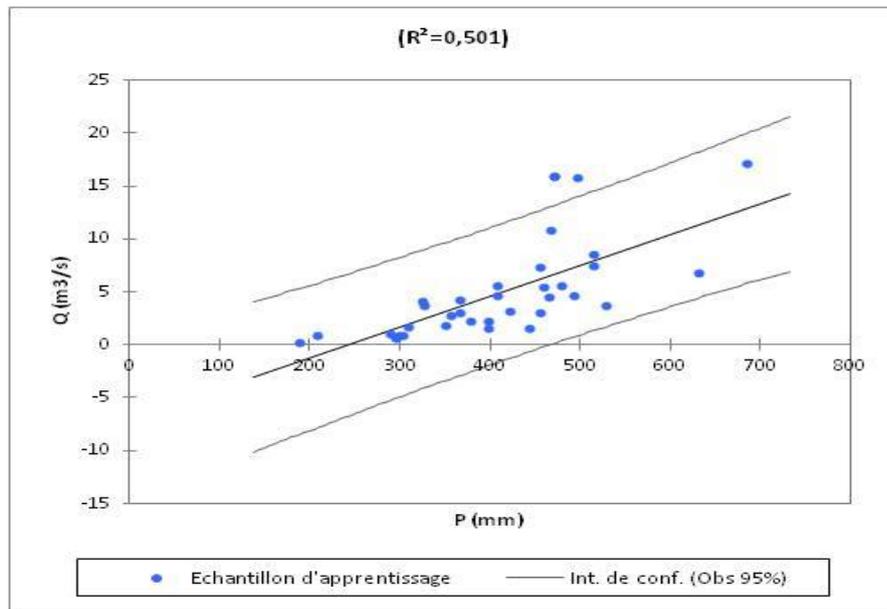


Figure 56 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011702) et Pluviométrique (011711), période (1968-2001).

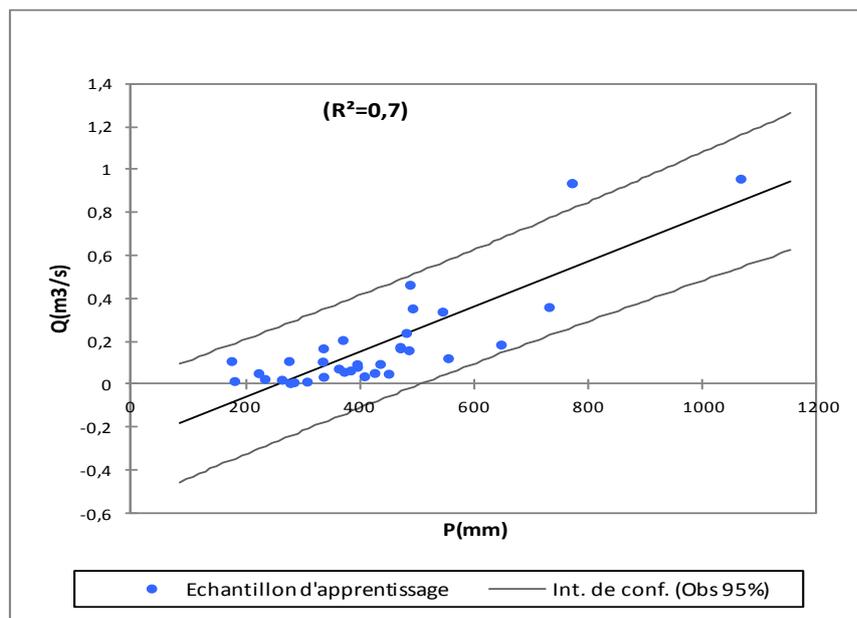


Figure 57 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011715) et Pluviométrique (011703), période (1968-2001).

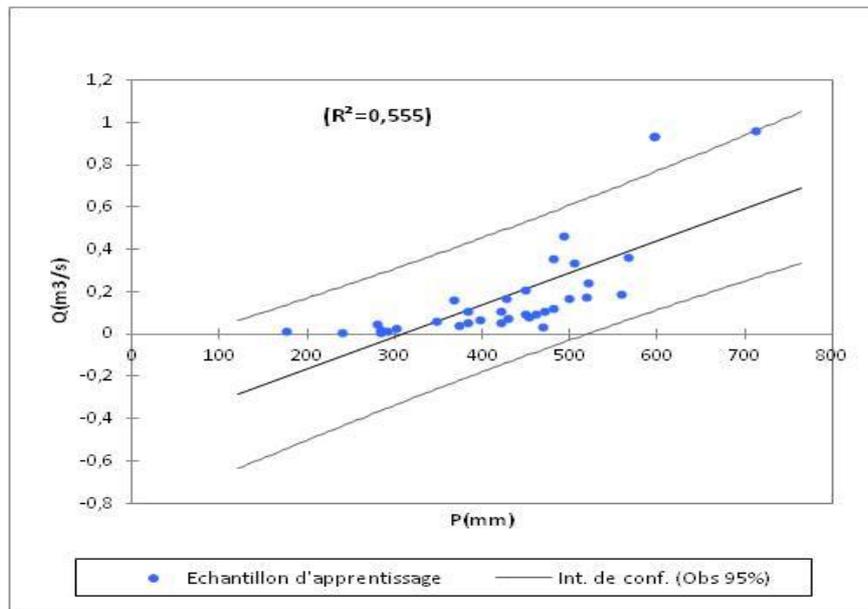


Figure 58 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011715) et Pluviométrique (011706), période (1968-2001).

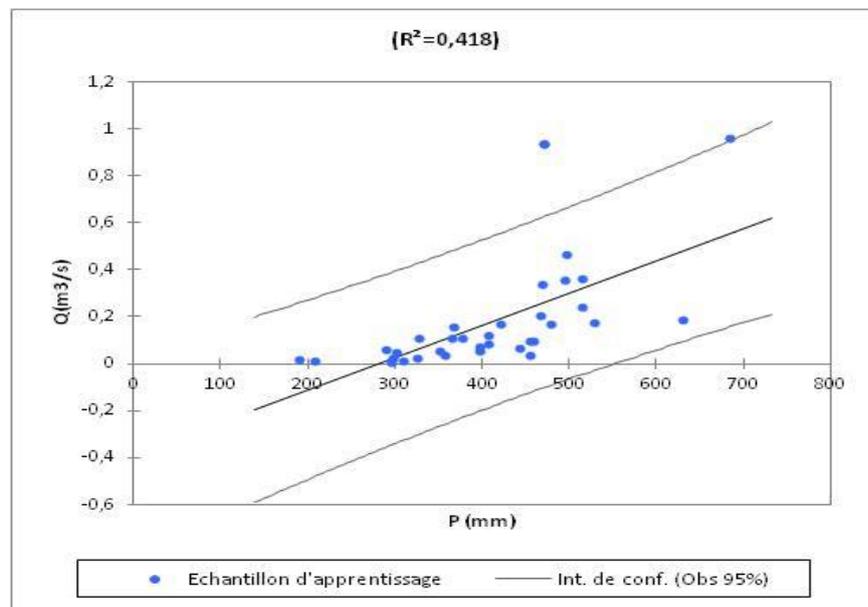


Figure 59 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011715) et Pluviométrique (011711), période (1968-2001).

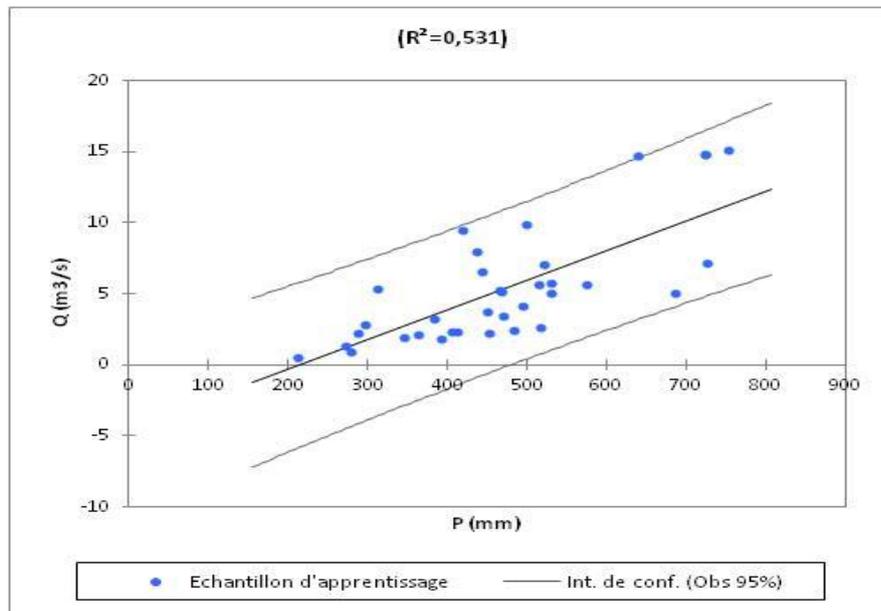


Figure 60 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011514) et Pluviométrique (011512), période (1968-2001).

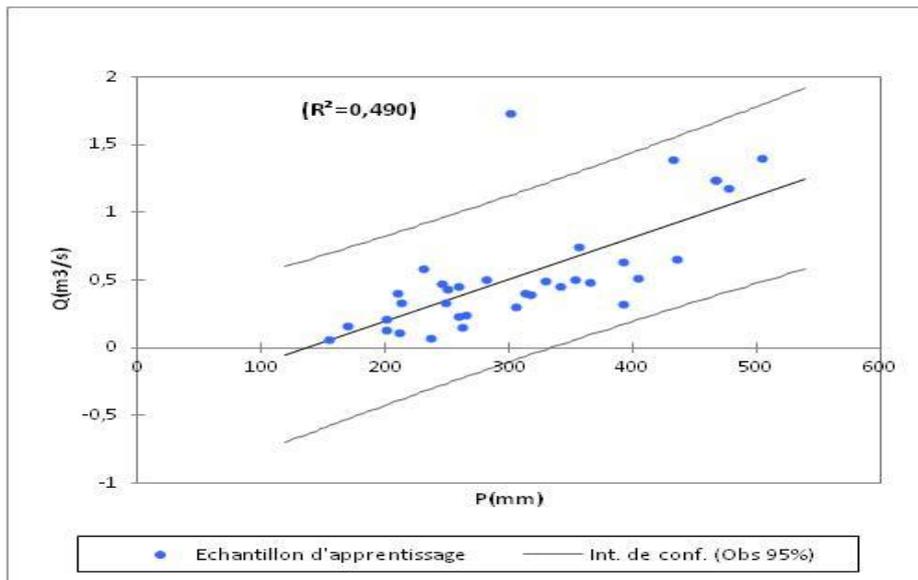


Figure 61 : Relation pluie –débit aux stations hydrométrique (011905) et Pluviométrique (011901), période (1968-2001).

IV.1.7. Déficit annuel de l'écoulement. Sa corrélation avec les hauteurs d'eau précipitées

Les déficits d'écoulements au niveau du bassin étudié sont : 343,30 mm à Djenan.B.Ouadah, 386,9 mm à Ponteba Défluent, 389,2 mm à Arib Chlef et 392,60 mm et 337,60 mm et 418,50 mm à El abadia, El ababsa et Bir Oueld Tahar respectivement.

Le déficit d'écoulement oscille entre 282,9 mm à Ghrib Amont et 460,90 mm à Arib Ebda (Tableau n°10). Son décroissement de l'Est à l'Ouest. L'intérêt capital du déficit d'écoulement est d'estimer la relation qui le lie aux hauteurs d'eau précipitées, afin d'évaluer par extrapolation la lame d'eau annuelle moyenne écoulee en divers secteurs non contrôlés du bassin. C'est pourquoi, la courbe de la loi de Coutagne $D = f(P)$ établie ne représente qu'une approche de solution (Figure 62). Les points obtenus ont tendance à représenter deux courbes traduisant vraisemblablement les deux grands régimes climatiques opposés du bassin.

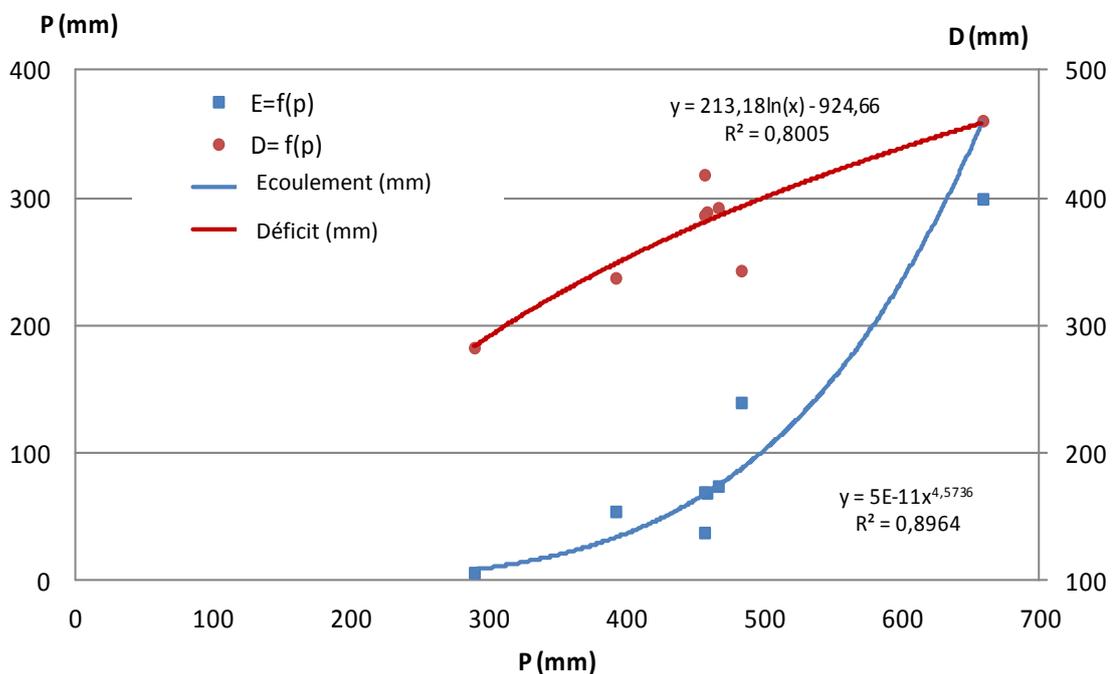


Figure 62 : Ecoulement interannuel et déficit d'écoulement. (1968-2001).

IV.1.8. Fluctuation des niveaux statiques

Le niveau piézométrique de cette nappe évolue en fonction de plusieurs paramètres : les précipitations, les conditions d'exploitation et la nature du toit de la nappe. Deux cas d'évolution sont observés (Figure 63 et 64) :

Les variations piézométriques sont très influencées par les pluies et une exploitation temporaire où le niveau piézométrique présente une diminution brutale due à l'effet du pompage durant la période des hautes eaux Mai 2007, sachant que cette année est une année moyenne avec une hydraulicité ($K_i=1,1$), aux points d'eau (W84-12) (Sud), (W84-196) (Nord), (W084-125), (W084-155) (Sud), (W085-38), (W84-143) (Sud), (W85,23), niveau revient à son état initial pendant l'année suivante.

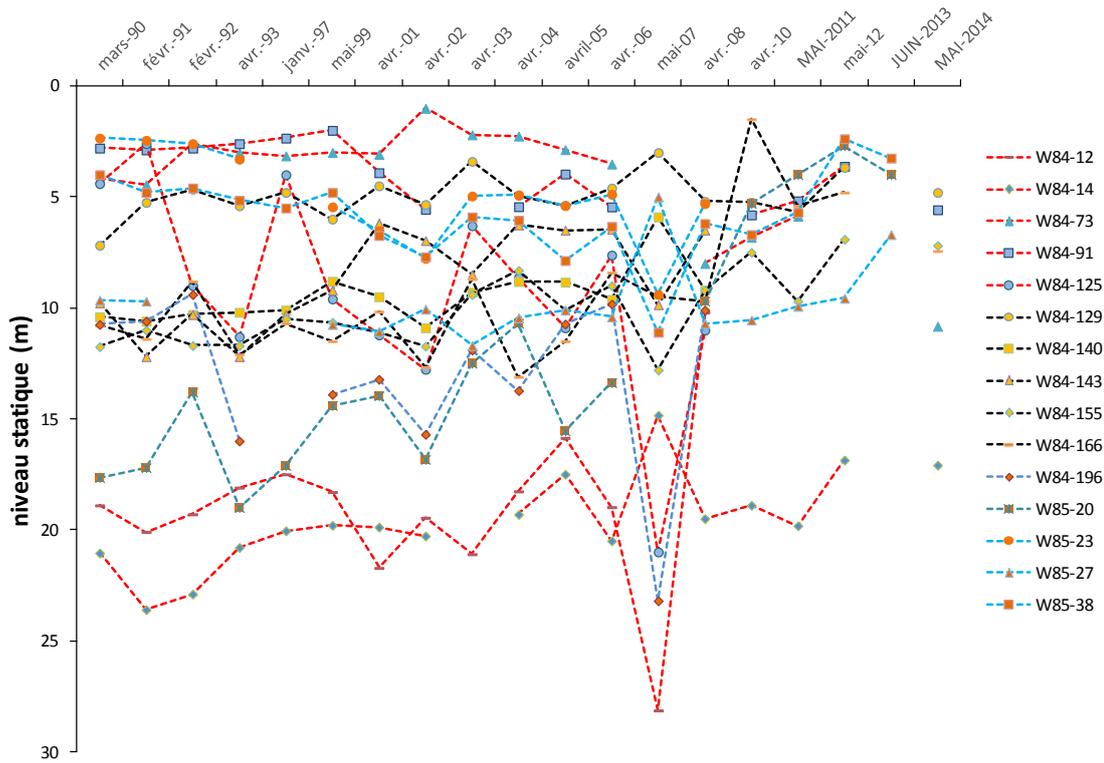


Figure 63 : Évolution temporelle du niveau piézométrique durant la période des hautes eaux (1990-2014).

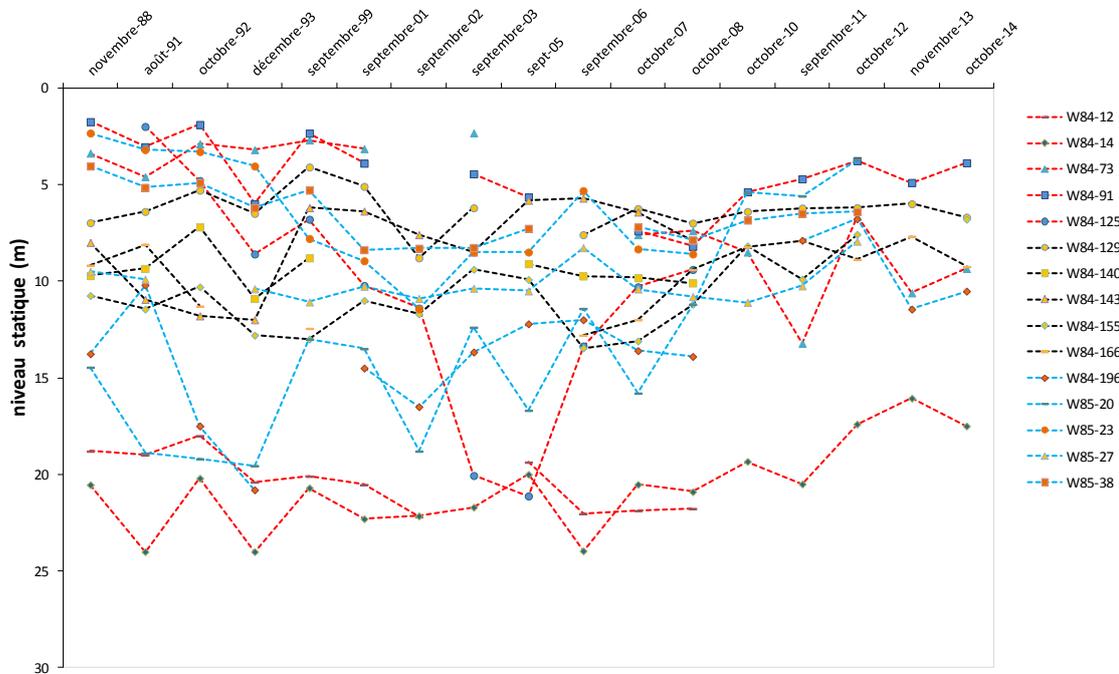


Figure 64 : Évolution temporelle du niveau piézométrique durant la période de basses eaux (1988-2014).

L'étude des fluctuations moyennes des points d'eau sur la plaine de Haut Cheliff a montré que les plus importantes se manifestent au sud à le point d'eau W084-12 (21,1m) et à l'Ouest à le point d'eau W084-166 (12,67m) de la nappe et peuvent atteindre la valeur maximale du déficit - 2,3 et -2,4m en 2008 et 2013 respectivement. Pour les années excédentaires 2001 et 2002 le niveau statique revient à la hausse 0,97m et 1m respectivement, bien que l'année 2001-2002 est une année moyenne en témoigne le coefficient d'hydraulicité ($K_i = 0,9$) cet effet due à la recharge artificielle : lâchés d'eau à partir du barrage au le drainage des eaux d'irrigation. (Figure 65)

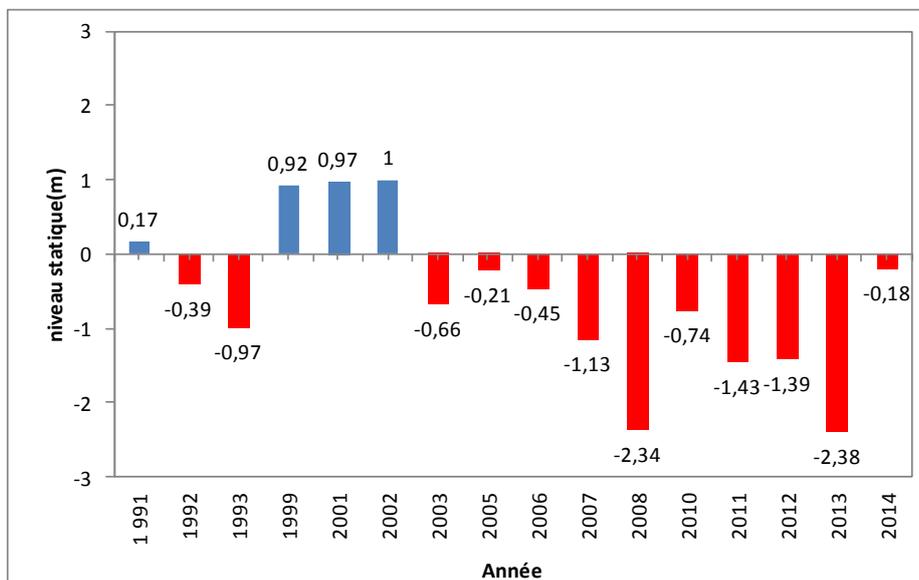


Figure 65 : Fluctuation moyenne des points d'eau sur la plaine de Haut Cheliff.

CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail, mené sur le bassin versant de l'Ouest algérien (Haut Cheliff), aux nuances climatiques variées, nous avons essayé de dégager les grands traits sur la variabilité des précipitations et le phénomène de la sécheresse, du point de vue persistance, étendue, causes et conséquences. Cependant, la disponibilité des données pluviométriques et hydrométriques, piézométriques durant une longue série des données, notamment pour l'étude de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau.

Se basant sur l'évolution des écoulements de surface à l'échelle régionale, il est admis que le climat subit sans cesse des fluctuations significatives dans le temps comme dans l'espace, en présentant des oscillations plus ou moins irrégulières à caractère cyclique. C'est dans ce cas précis que les potentialités des ressources en eau, se faisant bien sentir, sont de plus en plus affectées.

Durant les dernières décennies cet élément " l'eau " s'est raréfié, un déficit important s'est fait sentir et particulièrement à l'Ouest algérien. Notre étude serait un complément à celles menées dans ce domaine. Elle va nous permettre d'analyser Les paramètre climatique tel que la pluviométrie, la température et le déficit d'écoulement à l'échelle spatiale, temporelle et ses conséquences sur les ressources en eau.

Cette étude s'est basée sur l'analyse des données pluviométriques et hydrologiques observés au niveau de notre région. Nous avons choisi à partir de l'historique des stations existantes 11 stations pluviométriques et 08 stations hydrométriques, couvrant d'une manière plus au moins uniforme la plus grande superficie du bassin versant de Haut Cheliff.

Les résultats obtenus par l'étude de la sévérité de la sécheresse, en utilisant différents indices comme ceux des indices de la pluviosité et indice standardisé de précipitation, confirment la persistance et l'abondance des années déficitaires durant les trois dernières décennies.

L'étude de la variabilité des précipitations à partir de moyen mobile, a été faite sur les stations représentatives de la région d'étude. Cette analyse 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 70, une période globalement déficitaire, qui aurait commencé au début des années 80 et qui persiste jusqu'à nos jours.

Il est délicat d'avancer une tendance générale même si la répartition annuelle, mensuelle des précipitations durant les trois dernières décennies a été particulièrement irrégulière d'une année à

l'autre. Ces variations climatiques dans l'Ouest Algérien ont générés une réduction du régime hydrologique.

L'analyse de la température minimale et maximale moyenne a permis de déceler une augmentation des minima et des maxima sur les stations Chlef, Khemis Miliana et Miliana durant les trois dernières décennies enregistrée à la station de Chlef. Cette tendance à la hausse de la température a engendré une accélération de l'évapotranspiration qui s'accompagne d'un manque d'eau dans le sol. La diminution de la pluviométrie associée à l'accroissement considérable de la température durant les trois dernières décennies a influencé le régime des écoulements.

La région étudiée se caractérise par un relief contrasté et d'une vaste superficie, (43750 km²) marquée par les empreintes d'un climat méditerranéen semi-aride (hiver humide et un été chaud et sec). Ces caractéristiques varient avec l'éloignement de la mer ; Ceci rend délicat l'interprétation et la généralisation des résultats obtenus.

L'étude de l'évolution du régime hydrologique a été menée par l'indice d'aridité de De Martone et le quotient pluviométrique sur le diagramme d'Emberger, pour définir l'étage climatique de notre zone d'étude.

La mise en relation du déficit d'écoulement et des lames d'eau écoulées avec les hauteurs précipitations nous a amené, par ailleurs, à établir une extrapolation dans l'espace des écoulements ponctuels observés.

La confrontation des niveaux piézométriques pour la période des basses eaux (1988-2014) et la période des hautes eaux pour la période de (1990-2014)

L'évolution de la piézométrie dépend des conditions climatiques, qui influent sur le battement de la nappe par la recharge durant la période de hautes eaux et l'évaporation pendant la période de basses eaux.

Le niveau piézométrique présente une évolution régulière, 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, suite à la recharge de la nappe. Néanmoins, on remarque une certaine perturbation locale au niveau de la zone sud-ouest de la plaine en 2001 et 2007, due à la surexploitation de la nappe pour assurer l'irrigation d'une part. et d'autre part on remarque que la perturbation au niveau piézométrique est forte à l'ouest de la plaine malgré que 2007 est une année moyenne avec $K_i=1,1$ cette résultats due à l'effet de recharge artificiel : lâchés d'eau à partir du barrage au le drainage des eaux d'irrigation.

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.

Finalement, notre écosystème est vulnérable à un éventuel changement climatique, il est donc indispensable d'encourager et de promouvoir les efforts entrepris dans le domaine de la recherche scientifique pour aboutir à des travaux pluridisciplinaires sur le problème l'impact du changement climatique sur les ressources en eau.

Références bibliographiques

- **ABH Cheliff. Zahrez. (2009)** –Rapport de synthèse du PDARE de la région Cheliff. Zahrez. Agence de bassin hydrographique de Cheliff. Pp19-39.
- **Baghdadli I., (2014)** : L'influence du changement climatique sur les ressources en eaux du Meffrouch, thèse Master, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM Pp 2-89.
- **Benblidia M et Thivet, G (2010)** : Gestion des ressources en eau: les limites d'une politique de l'offre. Les notes d'analyse du CIHEAM (Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes), N°58.climatiques, projet GEF /PNUD 00039149 Alger Common evapotranspiration models based on measurements from two extensive green roofs
- **Daniel E. Marascoa, Patricia J. Culligana, Wade R. McGillis., (2015):** Evaluation of common evapotranspiration models based on measurements from two extensive green roofs in New York City. New York City: s.n., 2015.
- **DRO., EURL BEREGE(2005),**Etude de Création Des Champs Captunts Dans La Wilaya De Ain Defla.
- **El Meddahi Y., (2016)** : Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff, thèse doctorat, UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF. 203 p
- **Khaldi A., (2005)** : Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen – Saida ", thèse doctorat, UNIVERSITE D'ORAN. 229 p
- **MATE, Projet ALG/98/G31(2001)** : Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques.155 p.
- **Meddi M., Talia A et Martin C (2009)** : Evolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie).Géographie Physique et Environnement. Pp 61-84
- **Mehaiguene M., (2013):** Étude des débits de base et des étiages en Nord Ouest de L'Algérie, thèse doctorat, ENSH Blida. Pp 28-106.
- **Milano M, Ruelland D, Fernandez S, Dezetter A, Fabre J et Servat E (2012):** Facing climatic and anthropogenic changes in the Mediterranean basin: What will be the medium-term impact on water stress? Comptes Rendus Géoscience 344 (2012) Pp432–440.

- **Mostfaoui H., (2011) :** Etude d'impact du changement climatique sur la productivité du blé dur en zone semi-aride cas du bassin Chélif, thèse Magister UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF, Pp 39,42-92.
- **ONM 2017 :** Bilan climatique de l'année 2017 Eté 2017. 03 p.
- **PNUD (2009) :** **Second** communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques, Projet GEF/PNUD 000391 49 Alger, 147p.
- **Tetbirt Z., Chemani A. (2017) :** Les méthodes de l'estimation de l'évapotranspiration dans la région du Haut et Moyen Cheliff, thèse Master, UNIVERSITE DJILALI BOUNAAMA KHEMIS MILIANA. Pp32-65.
- **Touhari F., (2015) :** Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Cheliff, thèse doctorat, Es- Science, Ecole nationale Supérieur Hydraulique, 199p.
- **Yahiaoui D., (2015) :** Impact des variations climatiques sur l'agriculture en Oranie, thèse Magister, UNUVERSITE D'ORAN 1 SENIA, Pp69-111.