

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE CONSTANTINE 1

N° D'ORDRE :

N° DE SERIE :

**FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE , DE LA GEOGRAPHIE ET DE
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE**

DEPARTEMENT DES SCINCES GEOLOGIQUES

MEMOIRE DE MAGISTERE

EN HYDROGEOLOGIE





Présenter Par : **LAIB ASSIA**

THEME

**L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES
HYDROSYSTEMES CONSTANTINOIS**

Soutenu le : 02/07/2015

Devant le jury :

 M.BENAISSA Abdelkader	université de Constantine 1	Président
 Mme DIB Hénia	université de Constantine 1	Examinatrice
 M.CHABOUR Nabil	université de Constantine 1	Rapporteur
 M.DEBIECHE Taha Hocine	université de Jijel	Examineur

2014-2015

SOMMAIRE

Liste des figures	6
Liste des tableaux	9
Résumé	11
Introduction générale	14

CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE

1.1 Situation géographique.....	15
1.2 Climat et végétation	16
1.3 Réseau hydrographique	17
1.4 Habitat	18
1.5 Economie et industrie	19
1.7 Les voies de communication	19

CHAPITRE II : CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.1 Introduction	20
2.2 Géologie régionale	20
2.2.1 Le domaine interne	21
2.2.2 Le domaine des flysch (la zone médiane)	21
2.2.3 Le domaine externe	21
2.3 Les Différentes Phases Tectoniques	23
2.3.1 Les évènements tectoniques durant le Mésozoïque	23
2.3.2 Les évènements tectoniques durant le Tertiaire	25
2.3.3 La Tectonique récente.....	26
2.4-Description lithostratigraphique de la région de Constantine	26
2.4.1-La nappe néritique constantinoise	26
2.4.2-Trias exotique	29
2.4.3 Les nappes telliennes	29

2.4.4 La nappe numidienne ou flysch numidien	29
2.4.5 Les séries post-nappe	29
2.5-Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques	30
2.5.1-Formations non favorables au développement d'aquifères	30
2.5.2- formations favorables au développement d'aquifères	31
2.5.2.1-Formations favorables au développement d'aquifère poreux	31
2.5.2.2- Formations favorables au développement d'aquifères karstiques	31

CHAPITRE III : HYDROCLIMATOLOGIE

3.1 Introduction	32
3.1.1- le changement climatique : causes et impact	32
3.1.2 Les changements climatiques en Algérie	33
3.1.3 Evolution historique des facteurs du climat en Algérie	33
3.1.4 Evolution futur du climat en Algérie	35
3.2 Caractérisation des paramètres météoriques de la région de Constantine	36
3.2.1 Précipitations	36
3.2.1.1 distributions mensuelles et saisonnières des précipitations de la région de Constantine	37
3.2.1.2. Distribution mensuelle et saisonnière des précipitations de la région d'Ain M'lila	39
3.2.1.3 Comparaison des données des précipitations mensuelles entre les deux stations pluviométriques	42
3.2.1.4 Distribution annuelle des précipitations	42
3.2.2 Températures	46
3.2.2.1 Température moyenne mensuelle de la région de Constantine	46
3.2.2.2. Température moyenne mensuelle de la région d'Ain M'lila	48
3.2.2.3. Températures saisonnières des de Constantine.....	48

3.2.2.4. Température annuelle de la région de Constantine	48
3.3. Relation précipitations-températures mensuelles	49
3.4. Relation entre les précipitations et les températures moyennes annuelles	52
3.5 Climogramme d'emberger	53
3.6 Calcul de l'évapotranspiration	55
3.6.1 Définition	55
3.6.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	55
3.6.3 Relation ETP-Température	57
3.7. Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule de Turc	57
3.8 Estimation du ruissellement et d'infiltration	58
3.8.1 Le ruissellement	58
3.8.1.1 Méthode de Texeront et Berkaloff	58
3.8.2 L'infiltration	59
Conclusion	60

CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

4.1 Données de bases sur les ressources en eau en Algérie	61
4.1.1 Les caractéristiques naturelles	61
4.1.2 Les ressources en eau	61
4.1.3 Utilisation actuelle et futur dans l'irrigation	63
4.2 Hydrogéologie de l'Est Algérien	63
4.3 Hydrogéologie locale	64
4.3.1 Les massifs calcaires	64
4.3.1.1 les exutoires karstiques de la région de Constantine	65
4.3.1.2 les exutoires karstiques de la région d'Ain M'lila	68
4.3.2 les formations du Mio-plio-quaternaire.....	69
4.4 Impact des précipitations sur les eaux souterraines	69

4.4.1	Suivi journalier de la source d'Ain Zouaoui	69
4.4.2	Suivi mensuel	73
4.4.3	Impact des précipitations sur les débits annuels de la source de Boumerzoug	76
4.4.4	Variation du niveau piézométrique de l'aquifère mio-plio-quadernaire de Boumerzoug en fonction des précipitations	77
4.5	Impact de changement des précipitations sur les eaux superficielles	79
4.5.1	Impact des précipitations sur les eaux superficielles d'Oued Rhumel	80
4.5.2	Relation ETR avec l'écoulement des eaux d'Oued Rhumel	82
	Conclusion	83

CHAPITRE V : HYDROGEOCHIMIE

5.1	Introduction	84
5.2	Etude des paramètres physico-chimiques	86
5.2.1	Etude des paramètres physiques	86
5.2.1.1	Température de l'eau	86
5.2.1.2	Potentiel hydrogène (pH)	86
5.2.1.3	Conductivité	87
5.2.1.4	Alcalinité ou basicité	87
5.2.1.4.1	Titre Alcalimétrique Complet ou T.A.C	87
5.2.1.4.2	Titre Alcalimétrique ou T.A	88
5.2.1.4.3	Dureté totale DHT	88
5.2.2	Etude des paramètres chimiques	88
5.2.2.1	Cations	89
5.2.2.2	Anions	90
5.3	Etude des rapports caractéristiques	91
5.4	Classification et potabilité des eaux	92
5.4.1	Classification de Stabler	93

5.4.2	Classification de Scholler et Berkallof	93
5.4.3	Classification de Piper	93
5.4.4	Normes et classe de qualité des eaux	94
5.5	Evolution physique et chimique des eaux des forages en fonction des précipitations	95
5.5.1	Forage de Boumerzoug (1998-2013)	95
5.5.2	Forage de Hamma Bouziane (1998-2013)	97
5.5.3	Forage de Salah Bey (1998-2013)	99
5.5.4	Forage d'Ain Smara captage (2004-2013)	100
5.5.5	Forage d'Ain Smara ENMTP (2004-2013)	101
5.5.6	Forage d'El Khroub (2004-2013)	103
5.5.7	Discussion et conclusion	104
5.6	suivi de quelques forages dans la région de Constantine	104
5.7	Variation de la minéralisation de certaines sources en fonction des pluies...	105
	Conclusion	107
	Conclusion générale.....	109
	Bibliographie	110
	Annexe	116

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : carte le découpage administratif de l'est algérien	15
Figure 1.2 : couverture végétale de l'est algérien	17
Figure 1.3 : Réseau hydrographique du bassin versant Kébir Rhumel	18
Figure 2.1 : Les grands domaines d'origine alpine en méditerranée occidentale	20
Figure 2.2 : Les grands ensembles de l'édifice structural alpin de l'Algérie du nordorientale	22
Figure 2.3: Log lithostratigraphique des différents massifs	28
Figure 3.1 : précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1979-2011)	37
Figure 3.2 : Précipitation saisonnière (1913-1938)	38
Figure 3.3: précipitations saisonnières (1979-2011)	39
Figure 3.4 : précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1930-1960) et (1971-1982)	40
Figure 3.5 : précipitations saisonnières (1930-1960)	41
Figure 3.6 :précipitations saisonnières (1971-1982)	41
Figure 3.7 : carte des moyennes pluviales (1913-1938) d'après P.SELTZER	43
Figure 3.8: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien	44
Figure 3.9: Evolution des précipitations moyennes annuelles de la station d'Ain El Bey (1979-2011)	45
Figure 3.10 : Evolution des précipitations moyennes annuelles de la station de Hamma Bouziane (1979-2008)	45
Figure 3.11 : Températures moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1971-2011)	47
Figure 3.12 : les températures saisonnières de Constantine (1913-1938, 1971-2011) ..	48
Figure 3.13: Evolution de la température moyenne annuelle (1971-2011)	49
Figure 3.14 : Diagramme Ombro-thermique de la région de Constantine, SELTZER, (1913-1938)	50
Figure 3.15 : Diagramme Ombro-thermique de la région de Constantine (1979-2001)	51

Figure 3.16 : Diagramme Ombro-thermique de la région d'Ain M'lila	52
Figure 3.17: Relation entre les précipitations et les températures moyennes annuelles	52
Figure 3.18 : Climagramme de L.EMBERGER.....	54
Figure 3.19 : Relation-ETP-Température de Constantine.....	57
Figure 4.1 : carte hydrogéologique de l'est Algérien (ANRH, 2008)	64
Figure 4.2 : situation des sources thermales de la région du Hamma Bouziane. (Djébar, 2005).....	66
Figure 4.3 : Coupe Hamma Bouziane Salah Bey	67
Figure 4.4 : émergence de la source de Fesguia et celle de Fourchi,.....	69
Figure 4.5 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 1998 à aout 1999 (Djebar, 2005)	70
Figure 4.6 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 1999 à aout 2000, (Djebar, 2005)	71
Figure 4.7 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 2000 à aout 2001 (Mesures hebdomadaires), (Djebar, 2005)	72
Figure 4.8 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 2001 à avril 2002 (Mesures hebdomadaires), (Djebar, 2005)	73
Figure 4.9: Variation mensuelles pluies-débits de la source de Hammam Zouaoui	74
Figure 4.10 : variation des débits de la source et les débits pompés en fonction de pluie (Rapport SEACO, 2012)	75
Figure 4.11 : évolution débits- précipitations de la source de Boumerzoug, (1900-1969), ...	76
Figure 4.12 : Rabattement de la nappe de Boumerzoug en fonction de la précipitation (1979-2001)	77
Figures 4.13.: relation mensuelle de précipitation-rabattement-débit de différentes années	78/79
Figure 4.14: variations annuelles des précipitations, déficit d'écoulement et du ruissellement,	81
Figure 4.15 : variation mensuelle de l'ETR en fonction des pluies	83

Figure 5.1 : carte d'inventaire des points d'eau analysés	85
Figure 5.2: diagramme de Piper pour les points d'eaux de la région de Constantine	94
Figure 5.3 : Evolution chimique du forage de Boumerzoug (1998-2013)	96
Figure 5.4 : Evolution chimique du forage d'El Hama (1998-2013)	98
Figure 5.5: Evolution chimique du forage de Salah Bey (1998-2013)	99
Figure 5.6 : Evolution chimique du forage d'Ain Smara captage (2004-2013)	101
Figure 5.7: Evolution chimique du forage d'Ain Smara ENMTP (2004-2013)	102
Figure 5.8 : Evolution chimique du forage d'El Khroub (2004-2013)	103
Figure 5.9 Variations mensuelles de la minéralisation des eaux des principales sources du système Ain Zouaoui, Sidi M'Cid et Ain Salah Bey au cours du cycle 1984-1985.....	106

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. 1 : population 1987 et 2006	18
Tableau 3.1: aperçu historique de l'occurrence des sécheresses en Algérie.....	35
Tableau 3.2: valeurs moyennes annuelles de la pluviométrie au cours des années normales, sèches et très sèches aux stations d'Oran, Alger, Annaba et Biskra,	35
Tableau 3.3 : Résultats générés par le modelé MAGICC pour la projection climatique en Algérie à l'horizon 2020. Source : ONM Alger, 2004.....	36
Tableau 3.4: l'écart des précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1979-2011).....	37
Tableau 3.5: précipitations saisonnières (1913-1938)	38
Tableau 3.6: précipitations saisonnières (1979-2011)	38
Tableau 3.7: Précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1930-1960) et (1971-1982)	40
Tableau 3.8 : précipitation saisonnière (1930-1960)	40
Tableau 3.9 : précipitation saisonnière (1971-1982).....	41
Tableau 3.10 : Températures moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1971-2011)	47
Tableau 3.11: Précipitation et température moyenne mensuelle, SELTZER, (1913-1938)...	50
Tableau 3.12: Précipitation et température moyenne mensuelle pour la station d'Ain El Bey (1979-2011)	50
Tableau 3.13: Précipitation et température moyenne mensuelle pour la station d'Ain M'lila (1971-1982)	51
Tableau 3.14 :Paramètres climatiques des deux régions	53
Tableau 3.15 : valeurs de l'évapotranspiration selon la méthode de Turc pour la région de Constantine (1979-2011)	56
Tableau 3.16 : les valeurs de l'ETP calculées pour la région d'Ain M'lila (1971-1982)	56
Tableau 3.17 : valeurs de l'ETR pour les deux régions par la méthode de Turc	58
Tableau 3.18: valeurs du ruissellement pour les deux régions-Constantine et Ain M'lila-	59
Tableau 3.19 : valeurs de l'infiltration pour la région-Constantine-	59

Tableau 4.1: répartition de l'eau utilisée par usages (Source : MRE 2006)	63
Tableau 4.2 : Caractéristiques des principales sources du système Constantine-Hamma Bouziane (Djébar, 2005).....	68
Tableau 4.3: Apports par région hydrographique	80
Tableau 5.1 : Valeurs des températures et du pH des différents échantillons.....	87
Tableau 5.2 : Concentrations des cations	90
Tableau 5.3 : suivi de certains forages dans la région de Constantine.....	105

RESUME

L'impact du réchauffement climatique sur l'eau est un sujet actuellement très débattu. Le sujet de la thèse s'attache à préciser l'influence du changement climatique sur les hydrosystèmes constantinois. Ce travail repose sur trois objectifs principaux qui commencent par une confirmation de la présence des variations climatiques au nord Algérien et notamment dans la région étudiée, par le suivi des deux principaux facteurs climatiques (précipitation qui marque une diminution claire suivie par une diminution du taux du ruissellement et d'infiltration, et la température qui montre une augmentation continue avec le temps). Le deuxième objectif de l'étude est le suivi des variations du niveau piézométrique et les débits de sources en fonction des événements pluviométriques (chaque diminution de la pluie est suivie par un abaissement du niveau piézométrique et du débit des sources soit par une réponse rapide, donc une recharge directe et voisine, ou lente, donc une recharge lointaine). De ce fait, ce travail montre bien une relation claire entre les événements pluviométriques et les variations du niveau d'eau.

Enfin, le dernier objectif de cette étude est de rechercher l'impact des variations de la pluie sur le chimisme de l'eau. Les résultats montrent que la conductivité et la concentration en sulfates suivent les changements pluviométriques, alors que les chlorures montrent une relation inverse avec les précipitations.

Ce travail vise à détecter les conséquences du changement climatique sur la quantité et la qualité des eaux, nous permettant plus tard de prendre les précautions nécessaires pour éviter les pénuries (quantité) ou la dégradation de la qualité de l'eau.

Mots Clés :

Changement climatique, hydrosystèmes constantinois, événements pluviométriques.

Abstract

The impact of climate warming on the water is currently a highly debated. The subject of the thesis is committed to clarify the influence of climate change on the hydrological Constantine's. This work is based on three main objectives which begin with a confirmation of the presence of climatic variations in the north Algerian and particularly in the region studied, by monitoring of the two major climatic factors (precipitation which marks a clear decrease followed by a decrease in the rate of runoff and infiltration, and the temperature, which shows a continuous increase with time). The second objective of the study is the tracking of variations of the piezometric level and flows of sources as a function of rainfall events (each decrease of rain is followed by a lowering of the piezometric level and flow of sources either by a quick response, therefore a direct recharge and neighbor, or slow, so a recharge distant). For this reason, this work demonstrates a clear relationship between rainfall events and variations in water level.

Finally, the last objective of this study is to find the impact of variations in the rain on the chemistry water. The results show that the conductivity and the concentration in Sulphates follow the rainfall changes, while the chlorides show an inverse relationship with precipitation.

This work aims to detect the consequences of climate change on water quantity and quality, allowing us later to take the precautions necessary to avoid shortages (quantity) or the degradation of the quality of the water.

Keywords:

Climate change, Constantine hydrological, rainfall events.

تلخيص

انتقير بتوفاع درجة حرارة المناخ لى الياه موضوع نقيزل ج دلفيل وقت ال حل لى ي هدف موضوع هذه الأطروحة لى توضيحي حثتقيرت غي رال فياخ لى شيك ات ال ياه يقسن طينة. يمتند هذا العمل لى الثة أهداف رئيسية هي: أح لانتقيرت وجود تغيرات من انخيش مال جزئر ح خص قبي فيطقة الواسة ح هذا من خلال رص دنتقيرت من ال عوامل المناخية لى رئيسية ز الأمطار ح لحرارة طين لاطن لتراجع حوض غنبيس اقط الأمطار لى ه لى قضايفي مع دلل جري ال سطح لى ح سرب مع بتوفاع ح سوسفي درجات لحرارة من سنة لى أخرى.

ال هدف لثاني من الواسة هو رص دالتقيرت انتقيرت مبيتوى ال ياه لى لوفية ح ص ادرا التفق فحق التقيرت انتقيرت اقط ح حث لاطن ان ح لى لى مبيتوى ال ياه ال جفوية ح مبيتوى التفق ح هذا يظهرف يعبعض الأحي ان سببات ح لى عة ح يعبعض الأحي ان تكون الامت ح لى قبطية.

ح أنجرا ح تم هذه الراس قبايسة تنقيرت غي رانتقيرت اقط لى لى ياه ال ياه. ح حث أظهرت التفق ح أن تقيرت الصولية ح رليز الكويرت انتقيرت غي رات ح طول الأمطار في ح نتي لى كل وريدات لى ح جود القة لى عسية مع ح طول الأمطار. لى ش ف هذا العمل عن تقيرت غي رال مناخ لى كية ح و عى ال ياه، م لى م ح ح حقت لى ح ح أخذ الا ح رات ال زم ح لى فادي ن ق ص كى ال ياه لى ح تدمورن و عى ها.

للإستنتاجات:

لغيات ال فياخية شيك ات ال ياه س ق ط الأمطار.

INTRODUCTION GENERALE

Le changement climatique est une réalité qui touche toute la terre, il est dû à l'augmentation des gaz à effet de serre (GES), et notamment du CO₂ atmosphérique. L'Algérie, par sa position géographique, climatique et écologique, est touchée par les variations climatiques qui s'exprimeront à travers la diminution quantitative et qualitative des ressources en eau, la dégradation de l'agriculture et la sécurité alimentaire, l'érosion et déforestation,...

Ces variations climatiques produisent des répercussions sur les pays du monde, donc elle influent sur l'Algérie et notamment notre région d'étude sur le climat, l'écoulement superficiel (hydrologie), l'infiltration (réalimentation des aquifères) et par conséquent, sur les ressources renouvelables, et puisque les eaux souterraines constituent un élément important du cycle hydrologique, on peut donc prévoir qu'elles seront touchées par tous les changements climatiques.

Pour comprendre l'influence de ces variations climatiques sur la région d'étude et notamment sur la quantité et la qualité des eaux des hydrosystèmes, on va:

- Présenter les caractéristiques géographiques générales du secteur d'étude.
- Présenter les formations géologiques qui contiennent des aquifères à capacité immense comme les aquifères karstiques qui donnent naissance aux sources karstiques tel que la source de Hamma Bouziane et de Bumerzoug.
- Etudier l'historique des fluctuations climatiques en Algérie et principalement l'évolution des précipitations et des températures et les périodes humides et sèches sur une durée de plus de 30 ans, ainsi que l'évolution de l'ETP et l'infiltration des eaux.
- La circulation des eaux souterraines et l'alimentation de ces aquifères liée aux caractéristiques hydrogéologiques, hydrodynamiques, et hydro-climatiques (pluviométrie). De ce fait, l'étude hydrogéologique du secteur d'étude est basée sur le suivi des débits des sources, le niveau d'eau dans les nappes souterraines et les écoulements superficiels d'Oued Rhumel avec le temps et avec les variations des événements pluviométriques. Donc caractériser la sensibilité des aquifères à une éventuelle modification du climat.
- L'étude hydrochimique a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre l'évolution dans l'espace et dans le temps de ces faciès puis de préciser l'impact des précipitations sur l'évolution des paramètres physiques. (la conductivité), et chimiques spécialement les sulfates et les chlorures.

1.1- Situation géographique :

Notre secteur d'étude fait partie du grand bassin versant du Kébir Rhumel (fig.1.1), il est situé dans la partie nord-orientale de l'Algérie à la limite entre les monts de Constantine et les monts d'Ain M'lila.

Cette région se trouve dans le domaine externe (plus précisément de la mole néritique constantinoise au Nord Est Algérien).

Pour les monts du domaine néritique concernant le secteur d'étude on trouve :

- Dj Kellal à 1256m.
- Rocher de Constantine.
- Dj Oum Settas à 1326m.
- Dj Fortas à 1406m.
- Dj Guerioun à 1729m.

Quant aux plaines elles s'organisent autour de l'altitude de 575m à 800m, Ex : la plaine d'El Khroub et la plaine d'Ain M'lila.

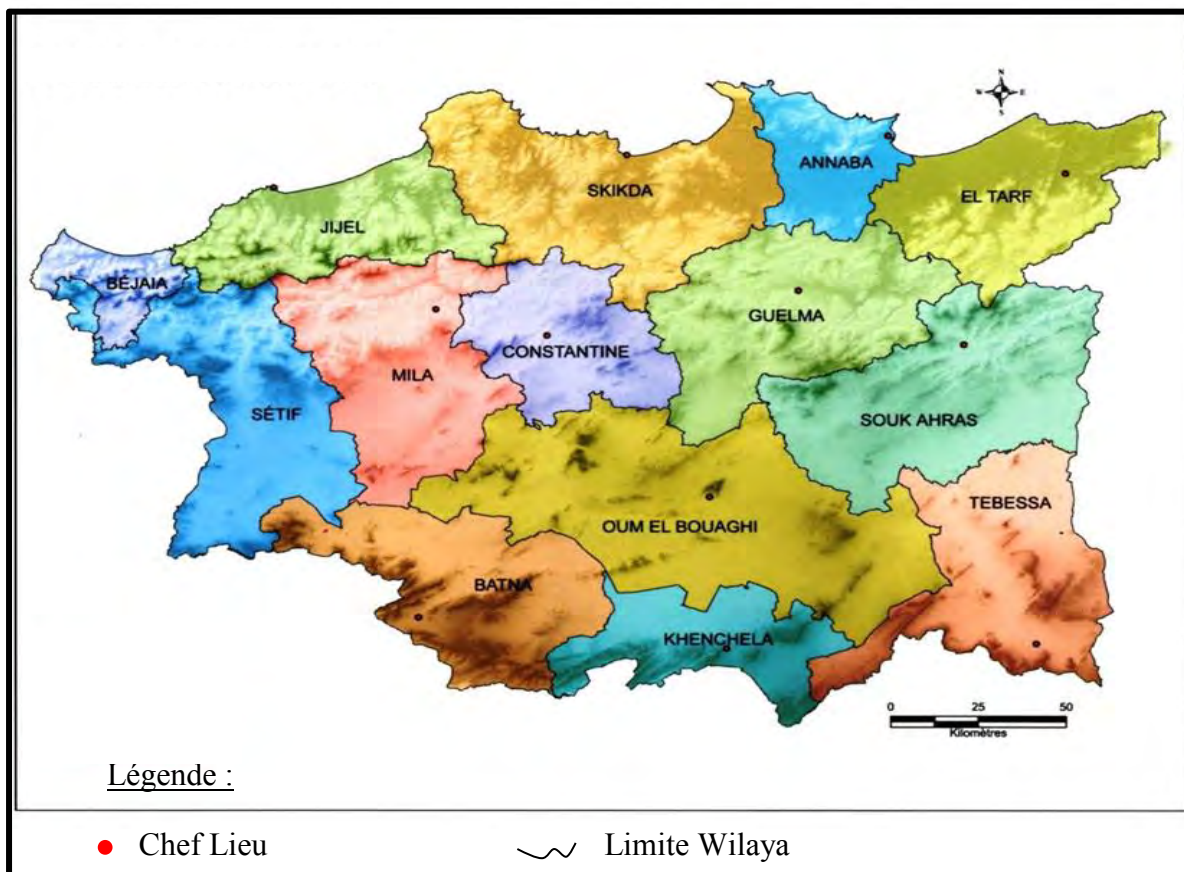


Figure 1.1 : carte de découpage administrative de l'est algérien (D'après ABH, 2003)

1.2- Climat et végétation :

1.2.1- Le climat :

La région est caractérisée généralement par un climat semi-aride avec un hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud.

Au Nord les précipitations sont plus élevées atteignant en moyenne les 600mm par an sur les reliefs par contre au Sud elles chutent à environ de 300 à 330mm par an.

1.2.2- La végétation :

Le couvert végétal dépend de plusieurs paramètres tel que : le climat, les reliefs, l'activité humaine ...

- Sur les reliefs on a une couverture forestière très dégradée au Sud par rapport au Nord.
- Au niveau des plaines, la région est vouée aux céréales (orge et blé). Signalant qu'il existe une culture irriguée et des arbres fruitiers, Fig.1.2

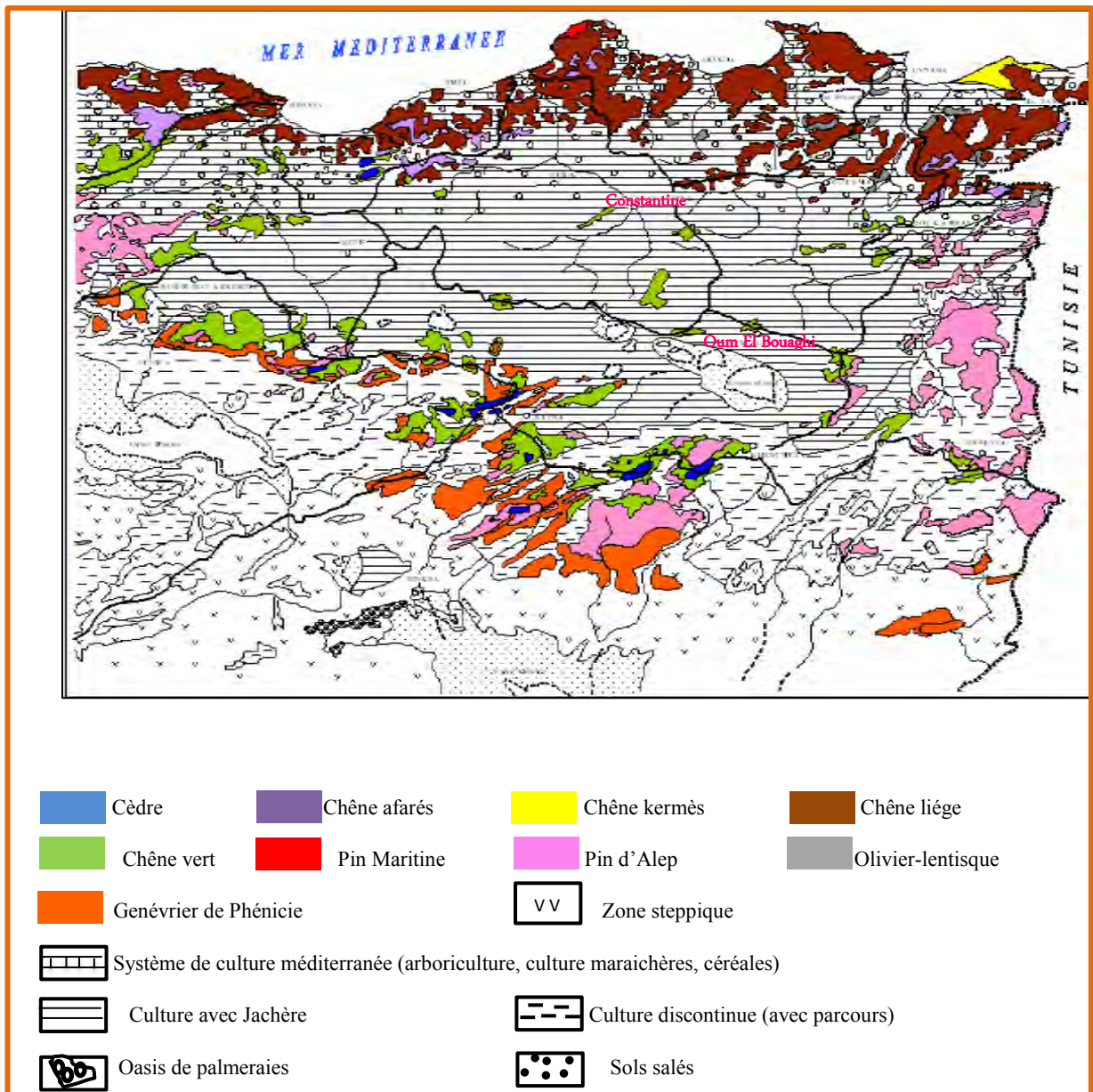


Figure 1. 2 : couverture végétale de l'est algérien (d'après carte internationale du tapis végétal au 1/1000 000 feuilles Tunis-Sfax et Alger, complétées), (Mebarki, 2005)

1.3- Réseau hydrographique :


Le secteur d'étude est caractérisé par un réseau hydrographique assez dense,


Au Nord : le Rhumel draine avec son affluent l'Oued Bumerzoug dans le sous bassin du Kébir Rhumel et jette ses eaux de surface dans la méditerranée. C'est-à-dire le réseau hydrographique principal est orienté vers le Nord.

Au Sud : le régime hydrographique est endoréique ; exemple : des sebkhas et chotts, (Fig.1.3)



Légende :

 Limite du bassin versant Kébir Rhumel

 Oueds et cours d'eau


 Numéro du bassin versant

Figure 1. 3 : Réseau hydrographique du bassin versant Kébir Rhumel

1.4- Habitat :

En générale l'habitat dans les campagnes se regroupe autour des points d'eau (sources ou puits) où les conditions de vie sont favorables, mais ce qui caractérise notre secteur c'est les grandes villes.

Agglomérations principales	1987	2006
Constantine	440842	901192
El Khroub	36924	148136
Ain M'lila	33345	97255
Hamma Bouziane	29203	100480

Tableau 1. 1 : population 1987 et 2006

1.5- Economie et industrie :

- Dans les régions irriguées du secteur d'étude il est possible de cultiver du tabac et légumes maraichères avec les cultures des céréales.
- Le marché d'El Khroub est considéré comme l'un des plus grands marchés à bestiaux de l'Est Algérien.
- L'industrie est concentrée autour des grandes agglomérations Constantine, Khroub, Hamma Bouziane, Ain M'lila.
- L'industrialisation récente appuie le caractère urbain avec une importante usine de tracteurs au Khroub.
- La cimenterie de Hamma Bouziane.
- A Ain M'lila :
 - CCS : cabines sahariennes.
 - Ste Khentouche : Transformation de pierre de marbre.

1.6- Les voies de communication :

- Pour les routes :
 - R.N n°3 : Constantine-Biskra.
 - R.N n°20 : Constantine-Guelma.
 - R.N n°10 : Constantine-Oum El Bouaghi.
- des voies ferrées dans des différentes directions.

2.1- Introduction :

L'Algérie est caractérisée par une géologie complexe et variable notamment du nord au sud,

Dans ce chapitre on essaiera de parler sur la géologie du nord et notamment de nord-est où se trouve notre secteur d'étude,

2.2- Géologie régionale

Le secteur d'étude fait partie de la chaîne Alpine de l'Algérie nord orientale. Cette dernière constitue un tronçon des chaînes plissées d'Afrique du nord, les Maghrébides, qui vont du Rif (Maroc) à la Sicile (Italie) en passant par l'Algérie et la Tunisie (Fig.2.1).

La chaîne des Maghrébides :

La chaîne des Maghrébides résulte probablement de la convergence et de la collision d'un élément de la marge sud européenne avec la marge nord-africaine d'un bassin Téthysien Maghrébin qui faisait communiquer la Téthys ligure avec l'Atlantique central (Wildi W., 1983).

Le bassin Maghrébin s'est différencié en plusieurs domaines paléogéographiques qui sont actuellement en partie superposés (Raoult J.F., 1974).

Du Nord au Sud on peut différencier trois grands domaines distincts:

1. Domaine interne
2. Domaine des flyschs
3. Domaine externe

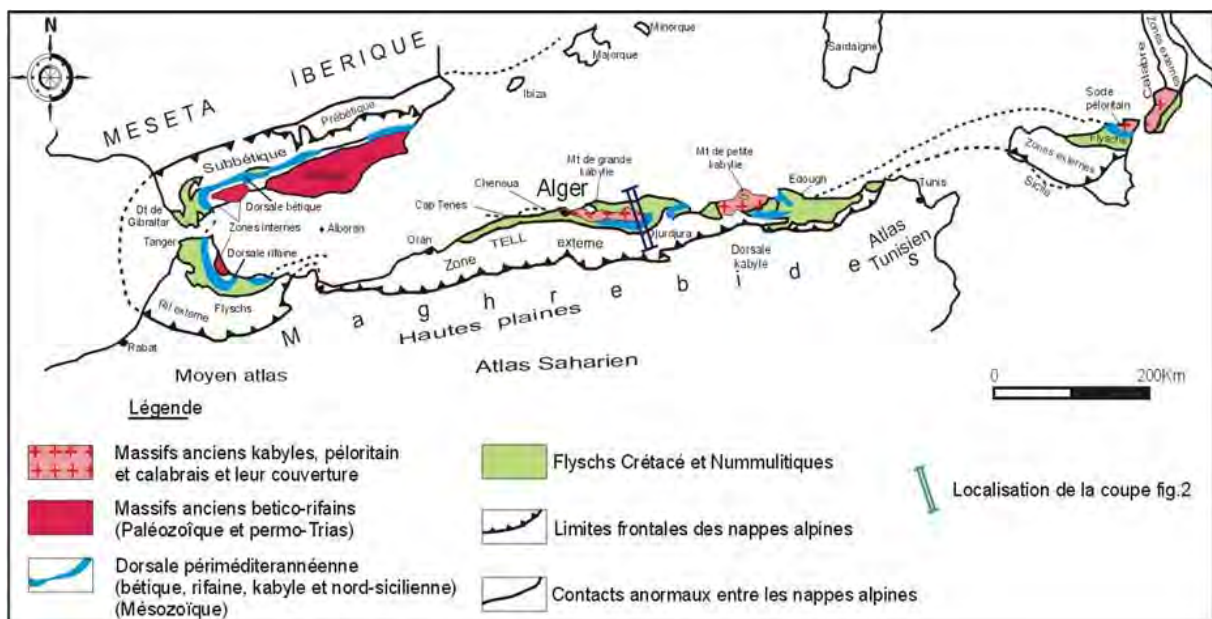


Fig.2.1 : Les grands domaines d'origine alpine en méditerranée occidentale (Durand-Delga M., 1969)

2.2.1-Le domaine interne :

Il est formé par un socle et une couverture kabyle.

➤ **Le socle kabyle :**

On attribue au socle trois ensembles lithologiques (Benabbas C., 2006) :

Un ensemble cristallophyllien inférieur, un ensemble cristallophyllien supérieur et la couverture sédimentaire paléozoïque du socle cristallin.

➤ **La dorsale kabyle :**

La chaîne calcaire (Fig.2.2) est située au sud du socle et subdivisée selon (Durand-Delga M., 1969 ; Raoult J.F., 1974 ; Vila J.M., 1980) en trois unités qui sont du nord au sud:

- **Unité interne:** une série conglomératique à sa base et se termine par des formations calcaires d'âge Permo-triasique à Néocomien suivi par une lacune du Crétacé inférieur au Crétacé moyen (Vila J.M., 1980) et un Eocène inférieur à moyen formé de calcaire néritique massif.
- **Unité médiane:** sa base est semblable à celle de l'unité interne sauf que la lacune concerne l'Aptien et l'Albien. Du Crétacé supérieur à l'Eocène la série est marno-calcaire à microfaune pélagique (Vila J.M., 1980)
- **Unité externe :** caractérisée par une série crétacée à Eocène détritique avec un faciès intermédiaire entre le domaine interne et médian du bassin maghrébin (Vila J.M., 1980).

2.2.2-Le domaine des flysch (la zone médiane):

Ce domaine correspond aux nappes de flyschs dont le matériel Crétacé-paléogène est expulsé vers le sud. Ces flyschs sont déposés dans un bassin de nature marine (Bouillin J.P., 1986).

Ce domaine est composé de trois types d'unités différentes :

- **Flysch mauritanien:** il s'agit d'une réunion en une seule série des flyschs de type Guerrouche (Durand-Delga M., 1969),
- **Le flysch massylien:** flysch argilo-quartzitique d'âge Crétacé inférieur avec des phtanites du Cénomaniens suivi par une alternance d'argiles et de micro-brèches du Crétacé supérieur (Raoult J.F., 1969).
- **Le flysch numidien:** flysch gréseux Oligo-aquitain, qui atteint le Burdigalien inférieur se dépose en discordance sur les premiers contacts tectoniques séparant les unités du domaine interne et la nappe du flysch mauritanien (Benabbas C., 2006).

2.2.3-Le domaine externe :

Ces éléments structuraux sont développés sur près de 100 km du Nord au Sud et supportant les empilements « normaux » des flyschs. Ce sont des « séries épaisses à dominante marneuse issues du sillon tellien », ce domaine est composé du Nord au Sud de :

➤ Les séries Telliennes :

Ce sont des séries très épaisses à dominante marneuse issue du sillon Tellien et ces séries sont subdivisées du nord au sud en trois unités: (Vila J.M., 1980) :

- les unités ultra-telliennes :

Ces unités sont caractérisées par des marnes et quelques bancs de calcaires au Crétacé et par des calcaires à silex et des marnes sombres à l'Eocène (Vila J.M., 1980).

- les unités telliennes Sensu stricto:

Formations marneuses et marno-calcaires du Crétacé et Paléogène (Vila J.M., 1980), avec absence d'intercalations néritiques à caractère prépondérant.

- les unités péni-telliennes et unités méridionales à nummulites : à faciès néritique prépondérant, d'âge Crétacé supérieur à Eocène. Ces séries montrent de grandes affinités avec l'unité néritique constantinoise et les unités Sud-sétifiennes : le versant Nord du Djebel Zouaoui dans le massif de Chettaba., l'Est du Djebel Grouz, le Nord du Djebel Kheneg, Djebel Akhal...

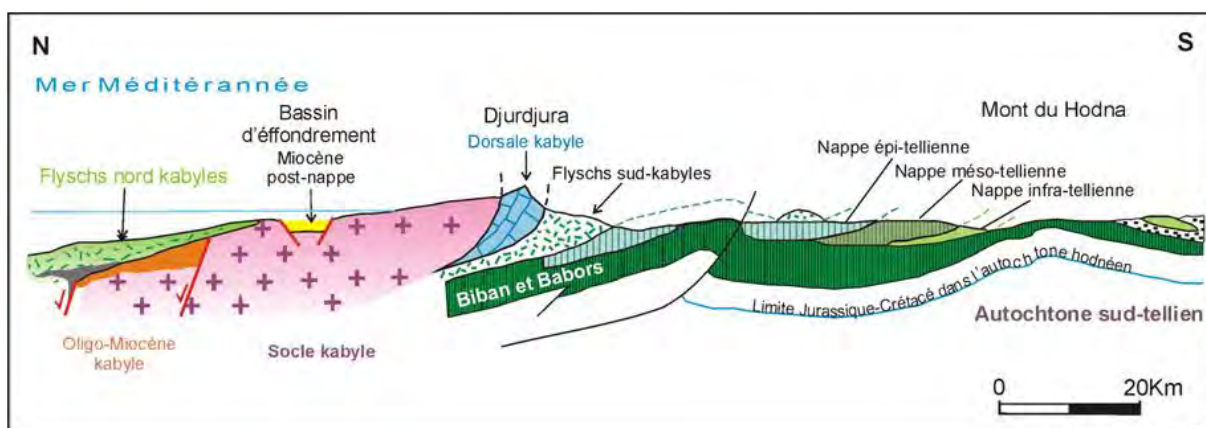


Fig. 2.2 : Les grands ensembles de l'édifice structural alpin de l'Algérie du nord orientale

➤ Les séries de l'avant pays :

Les unités Sud-sétifiennes :

Ces unités considérés allochtones pour (Vila J.M., 1980), sont caractérisées par des séries d'âge jurassique et Crétacé de base marno-calcaire à Ammonites.

L'unité néritique constantinoise : elle se présente sous forme de séries.

Les unités de Sellaoua : ces séries sont développées suivant un axe Sud-Ouest.

Le para autochtone Nord-aurésien : il est défini par l'ensemble des structures formées par les monts d'Aïn Yaghout et par les Djebels (Hanout, Guellif, Sidi Reghis) dans la région d'Aïn Kercha et d'Oum El Bouaghi.

Cet ensemble a été violemment affecté par la tectonique alpine. Le Trias de la région des lacs peut être interprété comme le cœur d'un vaste pli couché (Benabbas C., 2006).

L'autochtone Nord-aurésien: Il est caractérisé par un ensemble secondaire, plissé à la fin de l'Eocène selon des directions atlasiques, et par un Trias diapiriques d'âge aptien, plus à l'Est, dans la région de l'Ouenza et les monts de Tébessa. (Farah A.S., 1991).

2.3 Les Différentes Phases Tectoniques

L'évolution des Maghrébides au Mésozoïque et au Tertiaire s'intègre plus largement dans l'évolution géodynamique de la Méditerranée occidentale, caractérisée par l'affrontement des grandes plaques européenne et africaine, d'abord par coulissage sénestre, puis en régime de collision, à partir de dates diverses dans le Crétacé en fonction des dispositifs locaux, la collision devenant générale au Crétacé supérieur.

2.3.1 Les évènements tectoniques durant le Mésozoïque

A échelle des zones externes de l'Algérie nord orientale, les évènements tectoniques durant cette époque sont peu étudiés. Les travaux réalisés jusqu'à présent s'accordent sur les évènements suivants :

➤ Au Trias

Le Trias correspond à une période d'extension généralisée qui affecte le domaine Atlasique. Les bassins Triasique en Algérie ne sont connus que localement et en sub-surface.

Les présences des pélites et des évaporites très épaisses dans l'ensemble des domaines externes du Tell témoignent d'une forte subsidence à partir du Trias moyen et supérieur qui est facilitée sûrement cette période de distension généralisée. Les séries évaporatiques (sédimentation argilo-gypseuse) sont accompagnées de coulées basaltiques et de carbonates du Keuper (Benabbas C., 2006).

➤ Au Lias:

La distension provoque une subsidence différentielle. Celle-ci se poursuit jusqu'au Crétacé inférieur, permettant de la sorte la création de bassins marins ouverts dans les hauts atlas sahariens, Wildi W., (1983).

La plateforme constantinoise se distingue dès la fin du Lias comme un haut-fond à sédimentation calcaire dominante, (Guellal S., et al, 1973a).

➤ Au jurassique moyen et supérieur :

A cette période, l'approfondissement et le caractère océanique des milieux sédimentaires se confirment et s'accroissent. Le bloc africain est décalé par un coulissage senestre par rapport à

L'Iberie et au bloc Alboran à partir de 165 Ma, engendrant probablement les premiers plissements dans les Babors vers la fin du Malm, avec des axes de plis d'orientation N-S.

Le Malm représente la fin d'une période de distension et de subsidence caractérisant le Lias et le Dogger.

Dans les zones telliennes, les structures associées à la tectonique du Malm sont attestées par des discordances angulaires marquant la base du Crétacé inférieur.

Plus au Sud, dans l'avant pays, la phase Jurassique supérieure se manifeste par une sédimentation terrigène au cours du Néocomien sans discordance angulaire notable, Wildi W., (1983).

➤ Au Crétacé inférieur

Aucune phase tectonique importante n'est connue à cette époque ni en Iberie ni en Afrique. L'origine du dépôt des sédiments détritiques sur la bordure Nord de l'Afrique et sur le continent ibérique ne serait pas tectonique mais climatique.

D'après l'interprétation des anomalies magnétiques dans l'atlantique Nord, les coulissages senestres E-W entre l'Iberie et l'Afrique s'arrêtent pratiquement dès l'Aptien supérieur (110 Ma), Wildi W., (1983).

Suivant une transversale régionale, au Crétacé inférieur on peut noter une alternance de régressions et de transgressions individualisant ainsi des zones sédimentaires préfigurant déjà les unités structurales majeures, tel le domaine néritique, qui dès cette période, apparaît comme un entablement massivement carbonaté situé entre deux zones vaseuses, Guellal S., et al, (1973).

➤ Au Crétacé supérieur

Au Crétacé supérieur, il semble qu'un épisode tectonique important correspondant au Cénomaniens inférieur a eu lieu. En effet sur la bordure Sud-Ouest de la plate-forme néritique constantinoise et dans le Sud sétifien, la sédimentation devient planctonique. Les marnes pélagiques succèdent aux calcaires. Ce changement peut être relié à un épisode tectonique entraînant un relèvement du niveau eustatique. Cet épisode tectonique est le plus souvent traduit dans la sédimentation par une surface durcie (Hard-grounds) observable dans plusieurs massifs (Oum Settas). Cette phase correspond à une phase compressive, qui coïncide avec le début de la rotation anti-horaire de l'Ibérie par rapport à l'Europe. Cette phase compressive a engendré des plis orientés E-W ainsi qu'une forte schistosité de fracture dans les Babors affectant les niveaux anté-vraconiens. Elle est orientée conformément aux plissements W-E à SW-NE. Des évaporites triasiques se trouvent remaniées et sédimentées dans des formations qui datent de l'Albien supérieur au Sénonien inférieur surtout, Wildi W., (1983).

A cette époque la différenciation paléogéographique, apparue au Crétacé inférieur, se poursuit et s'accroît par le fonctionnement des zones positives et négatives. Dans le domaine néritique, la construction de l'entablement carbonaté s'achève avec l'émersion définitive de la fin du Crétacé supérieur. Cette émersion est confirmée par Guellal S et al, (1973).

• Remaniement conglomératique du Vraconien-Turonien dans le Sénonien dans la partie Nord du domaine néritique (massif de Chettaba).

- Présence de nombreux hard-grounds.
- Turonien localement érodé ou absent.
- Faciès néritique en lentilles (massif de Karkara)

2.3.2 Les événements tectoniques durant le Tertiaire

La chaîne alpine de l'Algérie Nord orientale s'est surtout structurée pendant les phases Tertiaires.

➤ A l'Eocène : Phase priabonnaïenne

Cette phase compressive se situe vers la fin du Lutétien, appelée phase fini-lutétienne ou phase atlasique d'après Durand Delga M., (1969) et Raoult J.F., (1974) ou encore phase priabonnaïenne selon Vila J.M., (1980).

Elle marque la fin d'un grand cycle sédimentaire ayant débuté dès le Trias supérieur, et dont l'organisation n'a pas été perturbée malgré des manifestations tectoniques locales enregistrées avant le Cénomaniens, Aris Y., (1994).

Cette phase compressive est expliquée par la fermeture de la Téthys occidentale par la rotation de l'Afrique autour d'un pôle situé à l'Ouest de Tanger, conduisant à la collision entre la partie orientale de l'Alboran et la marge Africaine tellienne. Dans les zones internes la position relative E-W de la Kabylie par rapport au Tell est bloquée dès l'Eocène supérieur. Elle est associée à un métamorphisme régional, Wildi W., (1983).

Cette phase est associée à des accidents verticaux de direction NE-SW tels que l'accident N45°-50° E d'El Kentour qui se prolonge jusque dans l'avant pays au Sud-Ouest, entre les monts du Bélezma et ceux du Hodna correspondant à la « transversale de Constantine ».

➤ Au Miocène

Phase compressive du Burdigalien

La phase Miocène est caractérisée par une direction de raccourcissement N-S. La partie occidentale de la plaque d'Alboran continue sa migration vers l'Ouest, pour entrer finalement en collision avec la marge rifaine de l'Afrique. Cette migration contribue à l'ouverture du bassin nord algérien.

A la fin du Miocène inférieur et au début du Miocène moyen, des bras de mer envahissent des golfes de la partie septentrionale des chaînes algériennes. Dans les Babors, les premiers sédiments post-nappes marins se déposent.

Cette transgression va de pair avec une phase volcanique calco-alcaline et un plutonisme qui a mis en place les intrusions granitiques en grande Kabylie, dans les Babors et en petite Kabylie. Les datations radiométriques y indiquent souvent des âges entre 12 et 16 Ma.

Phase tangentielle tortonienne -phase alpine

Pour Vila J.M., (1980), c'est la phase tortonienne majeure, à vergence Sud qui est responsable de vastes raccourcissements impliquant les formations postérieures au Burdigalien supérieur

dont la nappe numidienne. Toujours selon le même auteur, cette phase serait responsable de la genèse de la nappe néritique constantinoise, des unités allochtones des Sellaoua, de l'ensemble «sud-sétifien» et des «unités méridionales à nummulites».

Cette phase a engendré dans l'ensemble de Algérie Nord orientale des chevauchements vers le Sud des unités méridionales à nummulites, des unités sud-sétifiennes et des écailles de Sellaoua, ainsi que des plissements à axes E-W des monts du Hodna jusqu'à la transversale de l'Aurès ; genèse des « plis emboutis » qui interfèrent et reprennent les plis éocènes.

2.3.3 La Tectonique récente : Cette phase tectonique post-nappes est responsable de l'orographie actuelle.

Elle a induit le comblement des bassins mio-pliocènes, alimentés par la destruction des reliefs environnants.

A l'échelle du Constantinois, les structures attribuées à cette tectonique évoquent une tectonique polyphasée. En effet, deux phases successives de distension et de compression ont affecté les formations tortoniennes, entraînant ainsi un resserrement des structures préexistantes, et la formation de plis qui s'alignent en gros sur la direction atlasique. Parmi ces plis on note ceux de Djebel Ouahch, du massif du Chettaba et du Djebel Djaffa.

Par ailleurs, des failles inverses parfois décrochantes ou chevauchantes ainsi que des déformations cassantes de direction E-W et NW-SE, tel l'accident de M'cid Aïcha-Debbar d'une centaine de kilomètres, peuvent être observées. Le long de cet accident, des chevauchements Nord-Sud post-miocène sont localement signalés, Guellal S., et al, (1973).

2.4-Description lithostratigraphique de la région de Constantine :

2.4.1-La nappe néritique constantinoise :

Les séries néritiques constantinoises caractérisées principalement par une puissante série carbonatée composée de 1500 à 2000m de calcaire d'âge mésozoïque, déposée sur la plateforme faiblement subsidence, ces séries forment des massifs isolés de taille variables d'orientation générale SW-NE.

➤ Jurassique supérieur :

Le Jurassique supérieur est essentiellement carbonate. Il comprend des dolomies noires, largement cristallines, surmontées par une barre de 90 à 100 m de calcaires massifs (Benabbas C., 2006).

➤ Le Néocomien

Il est constitué de carbonate et débute par une série montre une alternance entre les calcaires fins et des marnes rosées ou jaunâtres. Il se prolonge par 150 m de calcaires à silex, sauf au Djebel Gueriou (fig.2.3) et Fortass.

➤ Le Barrémien

Il est formé de calcaire-dolomitique, représenté par une épaisse série (250 à 300m) de calcaires massifs, clairs dans lesquelles s'intercalent de rares passées de marnes grises, il est riche en microfaune (Benabbas C., 2006; Aris Y., 1994).

➤ Aptien

Il débute par 50 m de calcaires massifs en gros bancs, pour se poursuivre sur 100 à 120 m, par des calcaires micritiques noirs, riches en *Milliolides* et en débris de *Rudistes*.

L'aptien se termine par une surface d'érosion originale (Aris Y., 1994), il affleure au Djebel karkara et Zouaoui sous forme d'un ensemble de marnes et de calcaires marneux biomicritiques et graveleux, et selon (Vila J.M., 1980) des formations correspondantes au Clansayésien (Aptien sup) affleurent au Djebel Felten.

➤ Albien et le Vraconien

Ils sont constitués de bancs calcaires noirs (Benabbas C., 2006).

Dans le massif de Djebel Friktia au sud-ouest de Chettaba, l'Albien est représenté par une série constituée de marnes et de calcaires noduleux à ammonites, melobisies et des *hedbergelles* de types *washitensis*, avec une association à foraminifères benthiques et à ostracodes (Vila J.M., 1980). Il affleure aussi au Dj Felten (identique à celui de Djebel Friktia) et au Djebel Zouaoui.

➤ Le Cénomaniens

Les formations cénomaniennes sont carbonatées et peuvent atteindre 250 à 300 m d'épaisseur (Benabbas C., 2006). Il manque dans la plupart des massifs méridionaux de la nappe néritique Constantinoise, et il est pélagique dans la série très septentrionale du Kef Hahouner (Vila J.M., 1980).

➤ Le Turonien

Comprend des calcaires rubanés à patine blanche et à cassure grise, et par de grosses barres de calcaires massifs clairs à rudistes et à minces intercalations de calcaires sombres (Benabbas C., 2006). Selon (Vila J.M., 1980) son affleurement au Djebel Oum Settas peut être lié au fonctionnement de failles de direction Atlasique.

➤ Le Sénonien transgressif

Le sénonien représente une couverture des affleurements septentrionaux de la nappe néritique constantinoise.

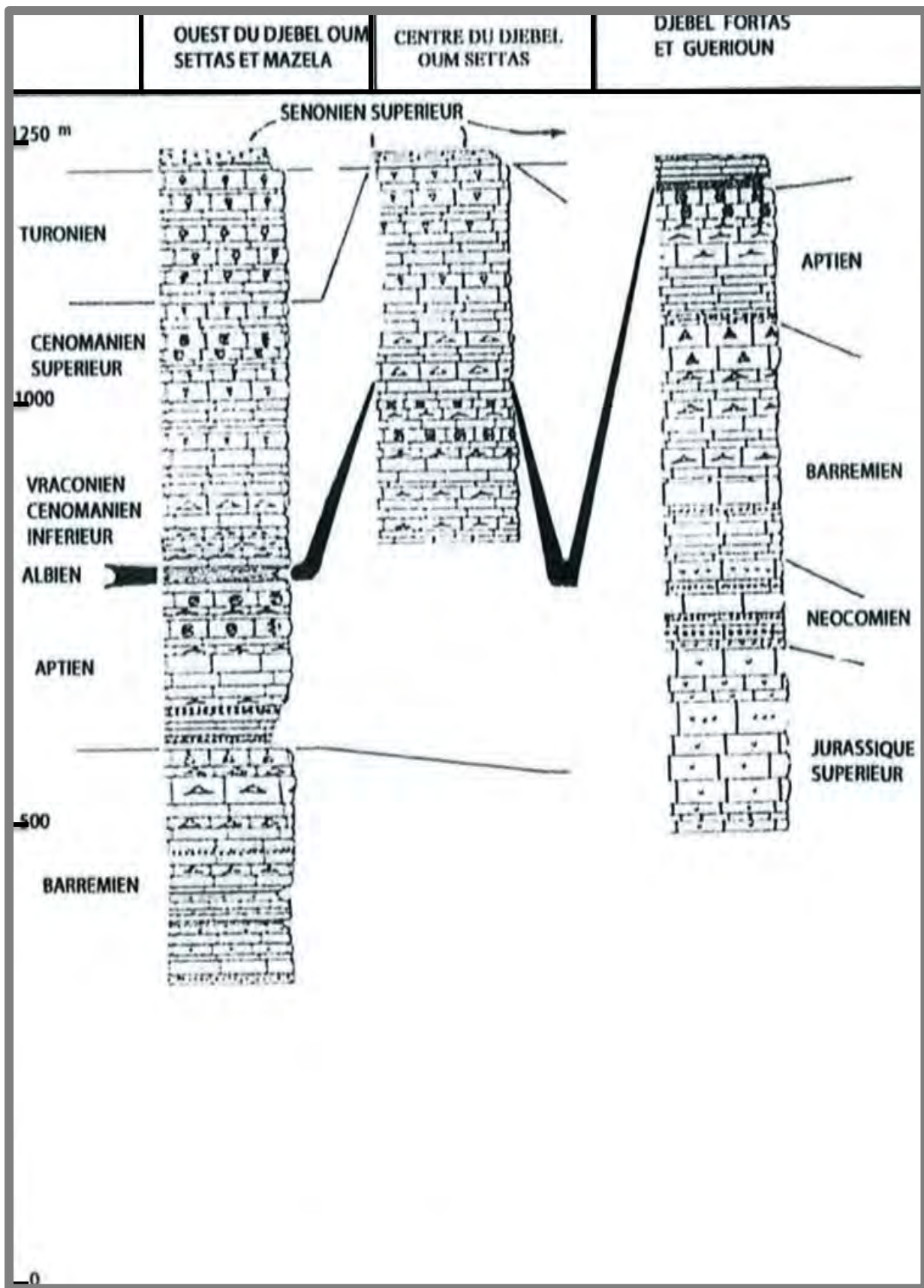


Figure 2.3: Log lithostratigraphique des différents massifs (D'après J.M.VILA, 1980).

2.4.2-Trias exotique :

Le Trias exotique correspond aux plus anciens terrains des zones externes, Il est essentiellement évaporitique et se présente en pointements diapiriques et en lames injectées le long de certains accidents. Représenté par des masses de gypse et d'argile, de couleur rouge lie-de-vin bien caractéristique, contenant le plus souvent de blocs calcaro-dolomitiques, des cargneules, des marnes bariolées verdâtres et des blocs des roches volcaniques (Benabbas C., 2006).

2.4.3 Les nappes telliennes

- **La nappe ultra-tellienne**
L'unité ultra-tellienne est largement développée dans le Constantinois. Elle est représentée par des formations marneuses et marno-calcaires de facies généralement clairs d'âge Barrémien à Eocène.
- **Les nappes telliennes sensu-stricto**
Localisées dans le triangle Chelghoum El Aid-Constantine-Sigus à matériels allant du Sénonien inférieur à l'Eocène, ces nappes sont semblables à la série de type Djemila (Vila J.M., 1980).

2.4.4 La nappe numidienne ou flysch numidien

Le flysch Numidien est représenté par une série argilo-gréseuse d'âge Oligocène à Burdigalien basal.

La série Numidienne typique est caractérisée, de la base au sommet, par une succession de trois types de facies: des argiles à Tubotomaculum (sub-numidiennes), des grès épais alternant avec des niveaux argileux et des marnes à silexites vers le sommet.

2.4.5 Les séries post-nappes

➤ Le Mio-Pliocène continental

Des conglomérats rougeâtres marquent la base du Miocène inférieur et constituent une zone limitée le plus souvent par des failles. Le Miocène moyen, Laguno-lacustre, affleure surtout dans la dépression séparant Constantine de la chaîne Numidique et comprend deux termes:

- un terme inférieur formé de marnes grises à gypse et gastéropodes.
- un terme supérieur comprenant des marnes légèrement beiges ou apparaissent des chenaux. Alors que le Miocène supérieur continental est sous forme de dépôts détritiques rougeâtres au Pliocène. La sédimentation est composée d'argiles rougeâtres quelquefois sableuses et de calcaires lacustres.

➤ Le Quaternaire

Les éboulis : sont développés en bordure des reliefs numidiens et des massifs calcaires comme le Djebel Oum Settas.

Les alluvions récentes des oueds correspondent à des limons, des graviers et des galets roulés. Les alluvions anciennes des oueds se composent de cailloux roulés, limons et graviers parfois, encroutés, provenant d'anciennes terrasses.

Les formations de pente constituant le Quaternaire correspondent à des glacis polygéniques qui forment des surfaces très faiblement inclinées, près des plaines recouvertes d'un matériel élastique, avec de vastes placages sur les versants marneux. Les glacis anciens de Constantine, dans la région d'El Aria, sont constitués exclusivement de blocs du Numidien bien roulés.

2.5-Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques :

2.5.1-Formations non favorables au développement d'aquifères :

Il s'agit à des formations imperméables suivantes :

- Les argiles varicolores et les gypses broyés blanc du Trias
- La nappe Néritique :
- Les marnes de l'Albien-Vraconien
- La nappe Tellienne :
 - La nappe Tellienne S.S
- Les marnes grises avec intercalations marno-calcaires et les marnes du Sénonien inférieur et supérieur.
- Les marnes noires à boules jaunes du Maestrichtien à Paléocène.
- Les calcaires marneux de l'Yprésien-Lutétien inférieur.
- Les marnes noires à boules jaunes du Lutétien à Priabonien.
- La nappe ultra-tellienne :
 - Les marnes et biomicrites claires du Coniacien et Santonien.
 - Les marnes noires à boules jaunes du Lutétien
 - Les argiles à blocs du Priabonien.
- La nappe des flysch :
 - ❖ La nappe numidienne
 - Argile de base
 - Argiles et grès
 - ❖ Le recouvrement
 - Mio-pliocène :
- Des argiles et marnes gypsifères.

2.5.2- formations favorables au développement d'aquifères :

2.5.2.1-Formations favorables au développement d'aquifère poreux :

Il s'agit de :

- Recouvrement :
 - Les formations flysch gréseuses.
 - Des calcaires lacustres, des conglomérats, grès et sables du Mio-Pliocène.
 - Sebkha et sol salés.
 - Croutes calcaires du Villafranchien, les travertins et tufs hydrothermaux.
 - Des éboulis à blocs, alluvions récents, terrasses glaciaires polygéniques et glaciaires anciens de Constantine du Quaternaire.

2.5.2.2- Formations favorables au développement d'aquifères karstiques :

Il s'agit de :

- La nappe néritique constantinoise :
 - Carbonatée avec alternances calcaire-dolomitique du Néocomien.
 - Calcaires à silex, calcaires dolomitique du Barrémien.
 - Calcaires massifs et calcaires micritiques noirs de l'Aptien.
 - Calcaires du Cénomaniens, calcaires rubanés du Turonien et le calcaire noir micritique du Sénonien transgressif.

3.1-Introduction :

Située dans une zone de transition, entre les régimes tempérés et subtropicaux, l'Algérie présente une grande sensibilité au climat à cause de la grande variabilité des pluies saisonnières et annuelles. Eu égard au caractère aride et semi-aride de son climat, l'Algérie ressentira davantage les effets des changements climatiques. De ce fait, elle est fortement vulnérable et l'autorité politique est directement interpellée aujourd'hui.

L'Algérie, par sa position géographique et climatique est influencée par les changements climatiques qui s'expriment à travers la diminution quantitative et qualitative des ressources en eau, la baisse des rendements agricoles, la dégradation des écosystèmes, l'assèchement des Oueds...

Le dérèglement actuel du cycle évaporation-pluie conduit à envisager l'occurrence probable d'événements extrêmes comme les sécheresses prolongées ou les inondations catastrophiques et brutales, ce qui constitue une menace sévère sur la santé et la sécurité du citoyen algérien, les ressources en eau et les écosystèmes terrestres, notamment.

3.1.1-Le changement climatique : causes et impact :

Les changements climatiques ont été définis dans un rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC, comme : tout changement du climat dû à sa variabilité naturelle ou résultant de l'activité humaine pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus).

-Les causes des changements climatiques :

La terre absorbe une partie des rayons du soleil et émet en retour un rayonnement infrarouge. Certains gaz naturellement présents dans l'atmosphère retiennent une partie de ce rayonnement, formant autour du globe terrestre une sorte de coque qui emmagasine de la chaleur. Exactement comme une serre, Ce processus maintient sur notre planète une température moyenne de 15°C. Sans lui, la température moyenne sur terre serait de l'ordre de -15°C.

Si la coque s'épaissit, ou autrement dit si la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère augmente, la température moyenne sur terre s'accroît : on parle d'une intensification de l'effet de serre.

C'est ce qui se passe actuellement, car les activités humaines à travers notamment le chauffage, le transport, la combustion d'énergie fossile (pétrole, charbon, gaz) l'agriculture et

la climatisation, émettent beaucoup de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le plus connu est le CO₂, mais citons aussi le méthane ou l'ozone troposphérique.

3.1.2-Les changements climatiques en Algérie :

Selon un rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement, publié en 2000 par le Ministère de l'aménagement du territoire et l'environnement, l'Algérie a ratifié, par décret n° 93-99 du 10 Avril 1993, la Convention Cadre sur les Changement Climatiques (CCCC). Cette dernière se rapporte particulièrement à la stabilisation des émissions des gaz à effet de serre pour empêcher une interférence de l'homme avec le système climatique, (Achour-Bouakkaz Nawel, 2006).

Les deux principes directeurs de la convention sont :

- La responsabilité commune mais différenciée.
- Le principe de précaution.

-Les gaz à effet de serre en Algérie

Les activités qui libèrent les gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont nombreuses et variées. Ces émissions proviennent notamment des sources suivantes :

- La production, le traitement et la consommation d'énergie d'origine fossile.
- Les activités industrielles qui produisent le CO₂.
- Les systèmes agricoles, mode d'occupation et d'utilisation des sols, tels que l'urbanisation rapide et non contrôlée, le déboisement des forêts, les incendies.

-La problématique des changements climatiques en Algérie :

Etant une préoccupation nouvelle, cette problématique avait besoin d'une mise en place d'un cadre pour sa prise en charge. C'est ainsi qu'un projet région RAB/94/G31, financé par le fonds mondial de l'environnement (FEM) a été mis en place en 1994, afin de « renforcer les capacités dans le Maghreb pour faire face aux changements climatiques ».

Le principe de précaution dans le cadre des changements climatiques vise deux objectifs :

« L'atténuation des émissions dues aux activités humaines, des gaz à effet de serre et l'adaptation, pour limiter les impacts potentiels de ces changements », (BOUCHERF, 2004)

3.1.3-Evolution historique des facteurs du climat en Algérie :

L'étude de l'évolution historique des facteurs du climat met en évidence, pour ces dernières décennies, une hausse des températures et une baisse des précipitations sur l'ensemble du

pays, une occurrence plus grande des phénomènes extrêmes comme les inondations et les sécheresses, (Kamel Mostafa-Kara, 2008)

Une estimation sur 30 ans d'années, les valeurs ont marqué une évolution claire :

-Evolution des températures :

Le suivi des températures, en Algérie, pour deux périodes de 30 ans (1931-1960) et (1960-1990) met en évidence :

- Une hausse de température moyenne sur l'ensemble du pays au cours des saisons d'hiver et d'automne.
- Une hausse nette des températures minimales et maximale sur l'ensemble des stations de l'Algérie du nord depuis la décennie 70 et se prolongeant jusqu'à nos jours : durant ces dernières 20 ans, les températures maximales moyennes mensuelles ont augmenté plus que le minimale ; cette augmentation est environ de 2°, (Kamel Mostafa-Kara, 2008).

-Evolution des précipitations :

L'évolution des précipitations pour la même période (1931-1960 et 1960-1990) montrent :

- Qu'en automne et en hiver, il y a diminution des pluies sur le nord.
- Qu'au printemps, la pluviométrie est plus importante à l'Ouest, au centre et au sud du pays et qu'il y a diminution des précipitations à l'est.

Il y a environ 10% de baisse des précipitations ces 20 dernières années. (Kamel Mostafa-Kara, 2008).

- Sécheresses :

La sécheresse est un phénomène récurrent en Algérie et doit être gérée de façon structurelle par la mise en place d'un système de surveillance et d'alerte, (Kamel Mostafa-Kara, 2008).

Le tableau suivant donne un aperçu historique de l'occurrence de la sécheresse à partir de 1930 et précise pour chaque décennie, les années de sécheresse aux stations d'Oran, Alger et Annaba. Ces dernières années, l'Est du pays est moins touché par la sécheresse que l'Ouest et le centre, les sécheresses les plus sévères, qui ont touché le pays en entier, sont celles de 1945, 1961 et 1994, (Tab.3.1 et 3.2)

Tableau 3.1: aperçu historique de l'occurrence des sécheresses en Algérie, (Kamel Mostefa-Kara, 2008)

station	Période 1930-40	Période 1940-50	Période 1950-60	Période 1960-70	Période 1970-80	Période 1980-90	Période 1990-95
Oran	Néant	71-44- 45-47	59	61-66	70-78	81-83- 85-88-89	94
Alger	37 (très forte)	41-45	Néant	61	77	81-83- 87-89	90-91- 93-94
Annaba		45 (très forte)	Néant	60-61- 66-68	70-74-75	Néant	94

Tableau 3.2: valeurs moyennes annuelles de la pluviométrie au cours des années normales, sèches et très sèches aux stations d'Oran, Alger, Annaba et Biskra, (Kamel Mostefa-Kara, 2008)

Station	Période de calcul	Année normale	Année sèche en mm et % de la normale	Année très sèche et % de la normale
Oran	1961-1990 1927-1995	372 mm	288 mm (77%)	239 mm (64%)
Alger	1961-1990 1936-1995	686 mm	511 mm (74%)	436 mm (63%)
Annaba	1961-1990 1945-1995	615 mm	507 mm (82%)	441 mm (71%)
Biskra	1961-1990 1968-1995	135 mm	54 mm (40%)	12 mm (9%)

A partir de ces tableaux, on peut observer la persistance des sécheresses surtout durant les vingt dernières années.

3.1.4- Evolution future du climat en Algérie :

Un ensemble de scénarios climatiques ont été simulés, afin de projeter une éventuelle évolution du climat Algérien à l'horizon de l'année 2020, pour l'évolution probable des températures et des précipitations saisonnières à l'échelle nationale.

Tableau 3.3 : Résultats générés par le modelé MAGICC pour la projection climatique en Algérie à l’horizon 2020. Source : ONM Alger, 2004.

saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
T : Température	T : hausse de 0.7 à 1.1 °C	T : hausse de 0.65 à 0.8 °C, un max de +0.8°C au sud	T : hausse de 0.85 à 0.95 °C, un max de +0.95°C au sud	T : hausse de 0.85 à 1.05 °C
P : Précipitations	P : baisse de 6 à 8%	P : baisse de 10%	P : baisse de 5 à 9%	P : baisse de 8 à 13%

Les deux paramètres montrent un changement considérable, par la hausse de température allant en moyenne de 0.8°C à 1°C pour l’ensemble de l’année, et une nette baisse des précipitations pouvant atteindre les 13% en été. Ce qui représente une tendance au réchauffement annuel de l’ensemble des régions du territoire Algérien, (Djamel BOUCHERF, 2004).

3.2- Caractérisation des paramètres météoriques de la région de Constantinoise (Est Algérien) :

L’Est algérien est une région variée, du point de vue climat, par rapport aux autres régions. Aussi, tout bilan hydrologique est influencé par les changements du climat, et surtout les paramètres pluviométriques et évaporométriques,

Les traitements des paramètres enregistrés par les stations climatiques et les paramètres calculés empiriquement permettent l’établissement d’un bilan hydrique qui détermine le fonctionnement du système hydrogéologique, spécialement l’alimentation des aquifères.

3.2.1-Précipitations :

Schématiquement, les précipitations décroissent du littoral vers l’intérieur du pays suivant un fort gradient latitudinal, altéré néanmoins par l’effet orographique de l’Atlas saharien, avant de s’accroître à nouveau dans le Piémont saharien où les pluies se raréfient, (Mébarki, 2005)

Les Hautes Plaines sont nettement cernées dans leur bordure Nord par l’isohyète 500mm, (Mébarki, 2005), les précipitations de notre secteur d’étude sont variables et irrégulières d’une année à l’autre.

3.2.1.1-distribution mensuelle et saisonnière des précipitations de la région de Constantine (station d'Ain El Bey) :

➤ **distribution mensuelle :**

Pour la période des précipitations 1913-1938, on note que la pluviométrie est importante au mois de janvier (98mm) et elle est très faible au mois de juillet (5.8mm). Tableau (3.4) et (Fig.3.1).

Pour la période 1979-2011, les résultats montrent que le mois le plus pluvieux est décembre (81.69mm) et le moins pluvieux est juillet (7.40mm). (Tab.3.4) et (Fig.3.1)

Le mois sec pendant toute la série (1979-2011) est le mois de Juin 1994, 2009 et juillet 1995 avec aucune précipitation.

A titre d'indication, l'écart des précipitations entre les deux périodes (1913-1938 et 1979-2011) fluctue entre 1.6 et 30.1 mm (Fig.3.1).

Tableau 3.4: l'écart des précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1979-2011)

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jll	Aou
P (1913-1938)	23.5	44.1	55.8	61.01	98	58.9	43.4	63	47	26.8	5.8	8.9
P (1979-2011)	38.3	41.26	53.3	81.69	67.9	54.8	55.98	54.68	40.81	20.2	7.40	12.85
Ecart	+14.8	-2.84	-2.52	+20.7	-30.1	-4.12	+12.6	-8.32	-6.19	-6.60	+1.6	+3.95

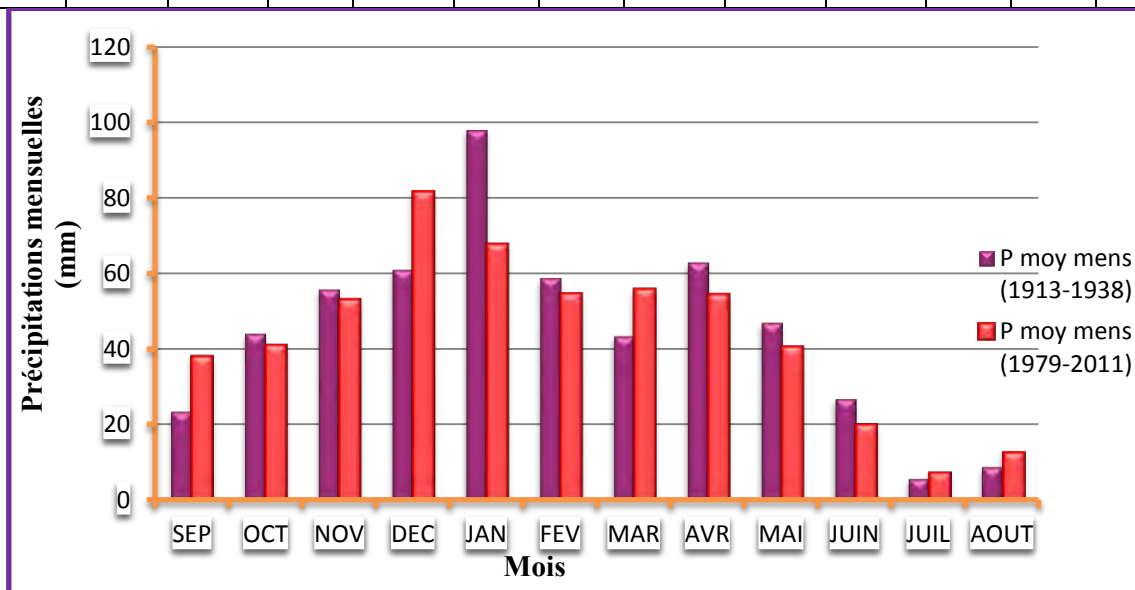


Figure 3.1 : Précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1979-2011)

On remarque une croissance des valeurs de la période 1979-2011 par rapport à la période 1913-1938 aux mois de juillet, août, septembre, décembre et mars, et une diminution des valeurs pour la période 1979-2011 pour le reste des mois de l'année et en particulier le mois de janvier.

➤ **Distribution saisonnière :**

Pour les données saisonnières de la série 1913-1938, la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec 40.64%, et la saison sèche c'est l'été avec 7.65% des précipitations totales, (Tab.3.5),(Fig.3.2).

Tableau 3.5: précipitations saisonnières (1913-1938)

Saison	automne	hiver	printemps	été
P %	23,01	40,64	28,61	7,74

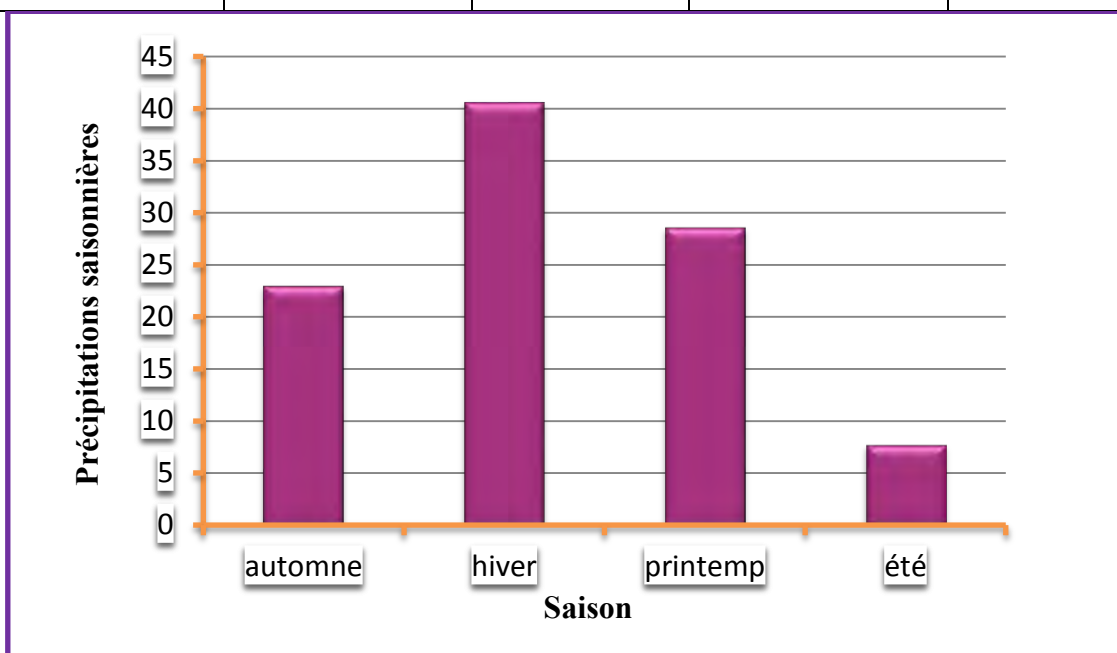


Figure 3.2 : Précipitation saisonnière (1913-1938)

Pour la période 1979-2011, la saison la plus pluvieuse est l'hiver avec 38.62% des précipitations totales, et la saison sèche est l'été avec 7.65% des précipitations.

Tableau 3.6 : précipitation saisonnière (1979-2011)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
P %	25,10	38,62	28,63	7,65

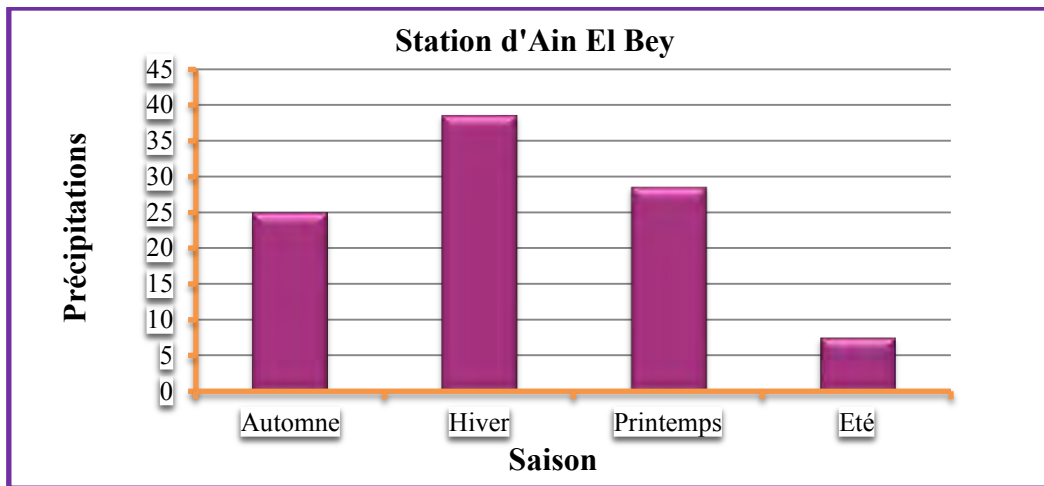


Figure 3.3: Précipitations saisonnières (1979-2011)

Une simple comparaison montre une croissance des valeurs au niveau de l'hiver, et une diminution pour l'automne et le printemps, ce qui affirme les résultats de l'évolution des valeurs moyennes mensuelles pour les deux périodes (1913-1938) et (1979-2011).

3.2.1.2-distribution mensuelle et saisonnière des précipitations de la région Ain M'lila (station de Fourchi) :

➤ Distribution mensuelle :

Pour la série des données (1930-1960), on remarque que le mois le plus arrosé est le mois de décembre (44.5mm) et le mois le plus sec est le mois de juillet (4.7mm).

Le Tableau 3.7 et la figure 3.4 montrent que le mois d'avril est le plus pluvieux (39.4 mm) par contre le mois sec est le mois de juillet (3.07 mm).

Pendant cette période, on remarque que trois mois présentent des valeurs proches des précipitations qui sont les mois de : mars, avril et mai avec 39.12, 39.4 et 39.25mm pour chaque mois.

A partir des données précédentes on note :

un écart des précipitations qui varie de 1.1 à 19.7 mm, avec une croissance pour les mois de mars, mai, aout et septembre et une diminution pour le reste des mois, en particulier le mois de décembre.

Tableau 3.7 : l'écart des précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1930-1960) et (1971-1982)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Jull	Aout
P (1930-1960)	27,6	34,9	29,1	44,5	32,1	29,4	28,6	42,1	38,1	21,2	4,7	12,5
P (1971-1982)	38,6	30	25,3	24,8	25,6	28,3	39,1	39,4	39,3	18,7	3,07	15,5
Ecart	+11	-4,9	-3,8	-19,7	-6,51	-1,1	+10,5	-2,75	+1,15	-2,53	-1,63	+3

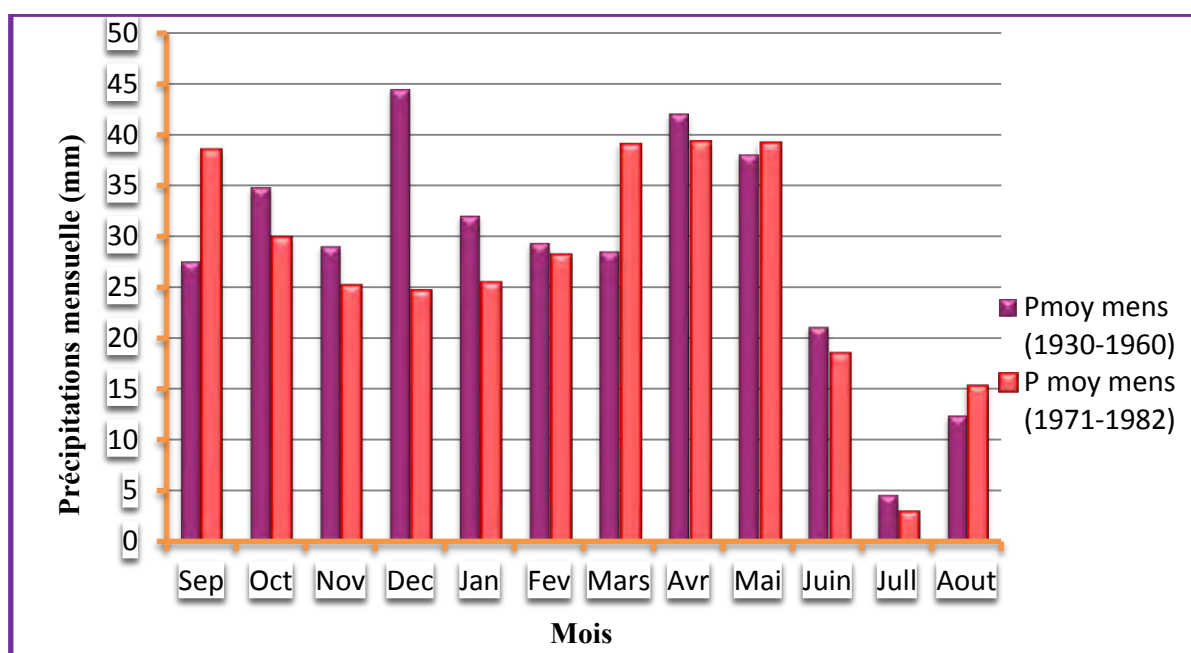


Figure 3.4 : Précipitations moyennes mensuelles entre les deux périodes (1930-1960) et (1971-1982)

➤ **Distribution saisonnière :**

Pendant la période 1930-1960, le printemps représente la saison la plus pluvieuse avec 31.54%, et l'été présente la saison sèche avec 11.13% des précipitations totales. (Tab.3.8 et Fig.3.5).

Tableau 3.8 : précipitation saisonnière (1930-1960).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
P%	26,55	30,72	31,54	11,13

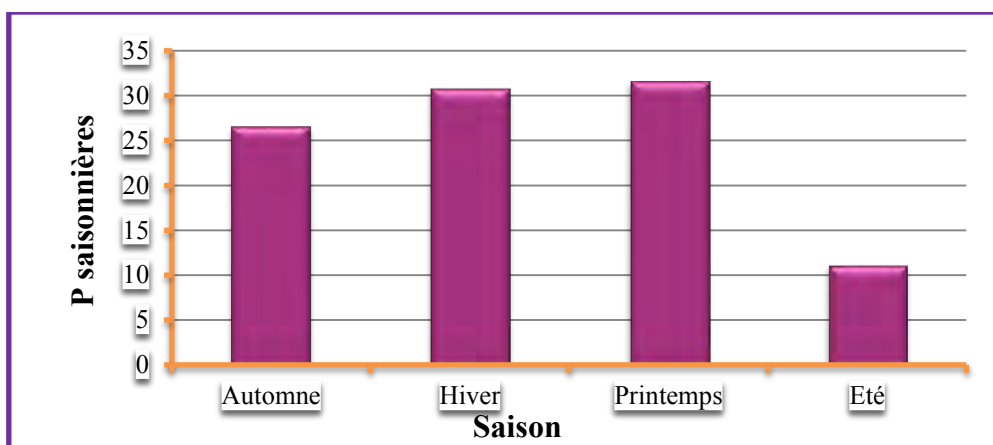


Figure 3.5 : Précipitations saisonnières (1930-1960).

Entre l'année 1971 et 1982, le printemps représente la saison la plus pluvieuse (35.94%) et l'été représente la saison sèche avec 11.37% des précipitations totales.

Le printemps affirme les données des précipitations moyennes mensuelles de la période (1971-1982) où les trois mois : mars, avril et mai présentent des valeurs proches et peu élevées.

Tableau 3.9 : précipitation saisonnière (1971-1982)

Saison	Automne	hiver	Printemps	Été
P%	28,66	24,02	35,94	11,37

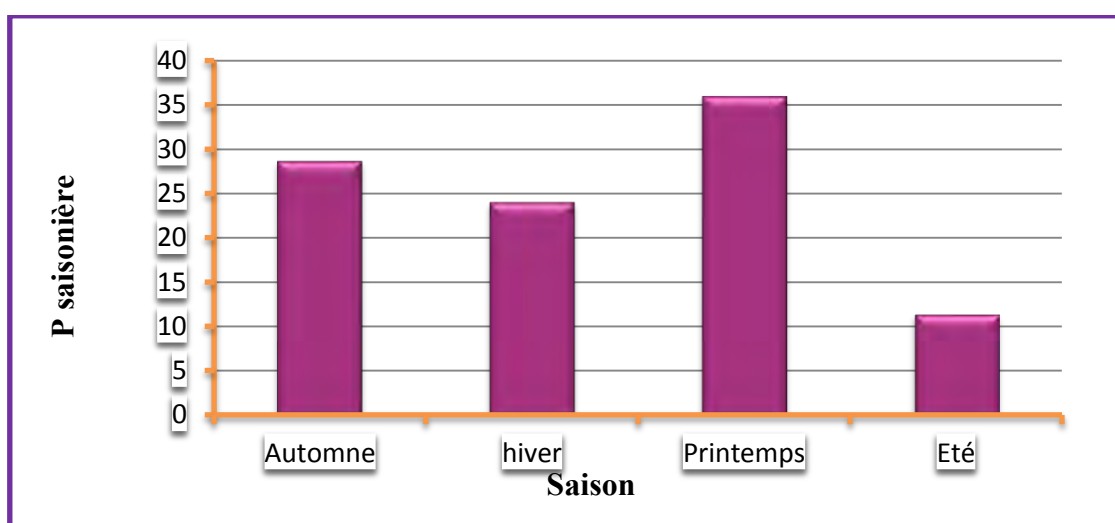


Figure 3.6 : Précipitations saisonnières (1971-1982).

3.2.1.3-Comparaison des données des précipitations mensuelles entre les deux stations pluviométriques :

A partir des données mensuelles précédentes, la région de Constantine présente les valeurs les plus élevées par rapport à la région d'Ain M'lila pour le mois pluvieux et le mois sec.

Au niveau des données saisonnières, la région de Constantine est caractérisée par un hiver pluvieux et un été sec, par contre la région d'Ain M'lila caractérise par un printemps pluvieux et un été sec.

Au niveau de l'écart entre les précipitations moyennes mensuelles des données des deux périodes, la station d'Ain El Bey présente un ordre d'écart élevé par rapport à la station d'Ain M'lila.

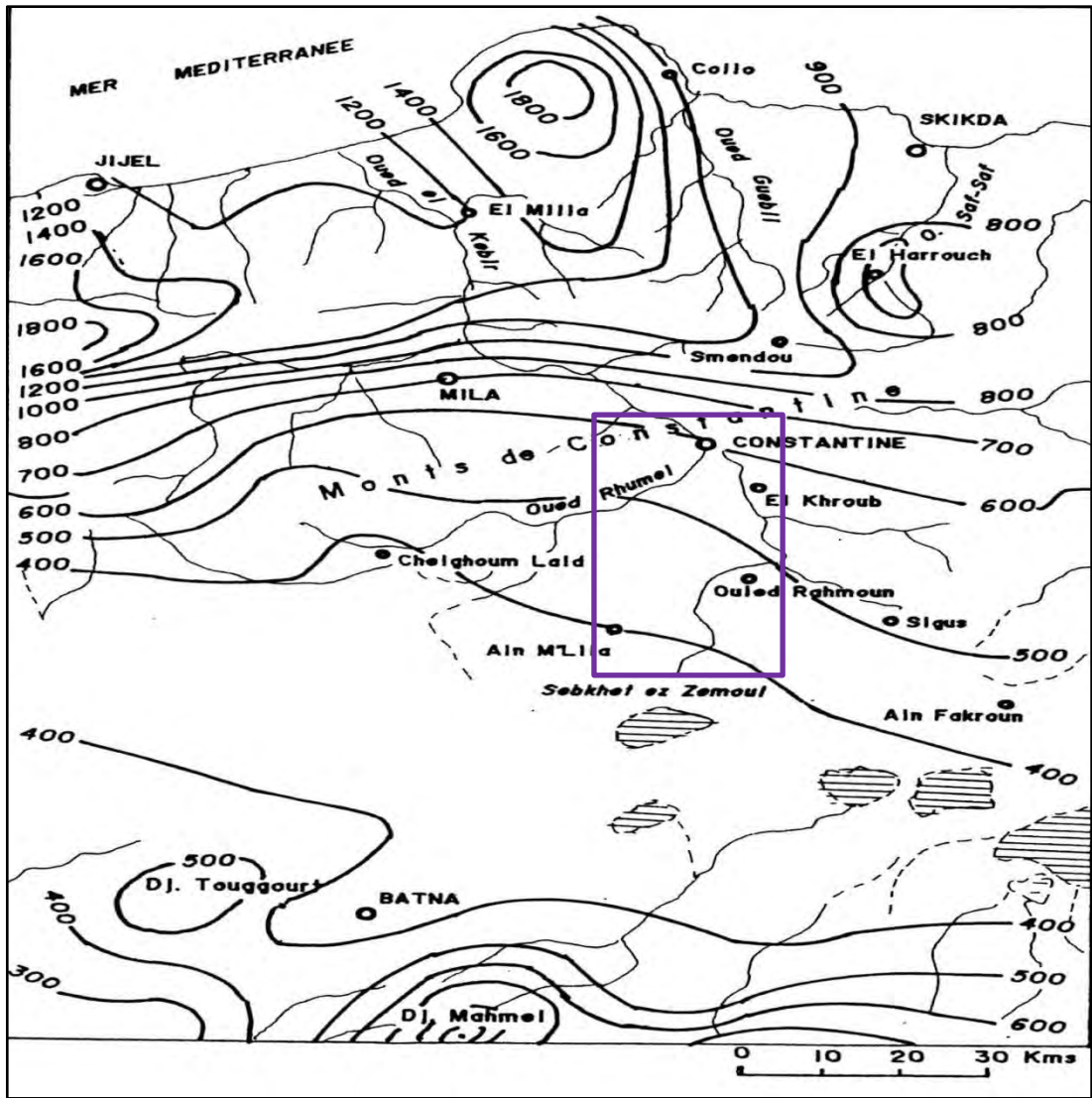
3.2.1.4- Distribution annuelle des précipitations :

Les cartes des précipitations moyennes annuelles, d'après SELTZER (1913-1938), (Fig. 3.7) et l'ANRH 1993,(Fig.3.8), montrent une répartition géographique des précipitations caractérisées par une décroissance en fonction de la latitude et la longitude.

La pluviométrie décroît du littoral (> 1000 mm) vers l'intérieur (350 mm) avec des creux assez nets (300-200 mm), et de l'Est (700 mm) vers l'Ouest (350 mm).

La carte pluviométrique ancienne (1913-1938) montre que la région de Constantine présente une valeur proche de 600mm alors que la région d'Ain M'lila marque une valeur de précipitation proche de 400mm par an.

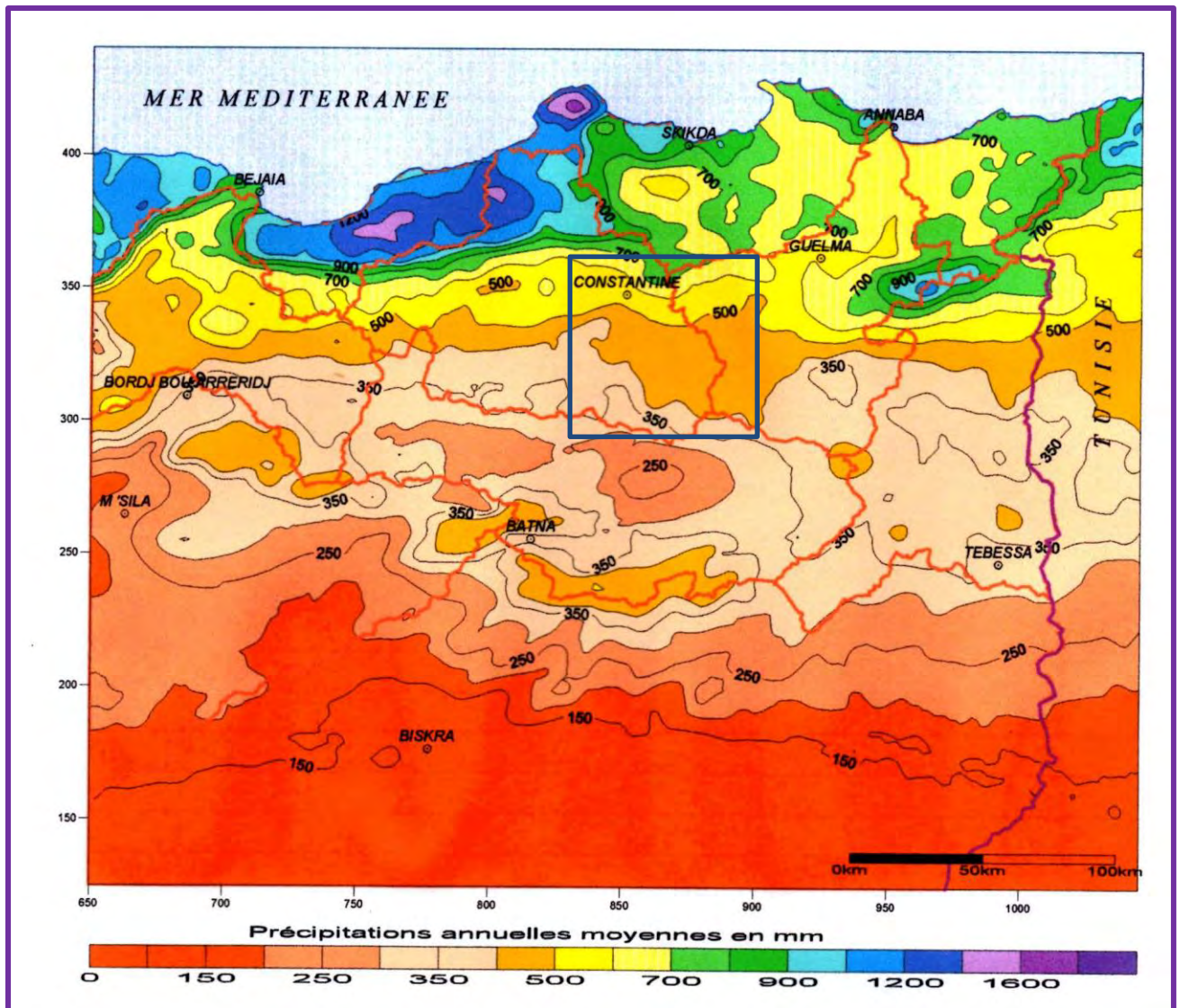
La carte pluviométrique de 1993, montre que la pluviométrie de la région de Constantine, s'échelonne entre 500 et 700 mm, alors que de 350 à 500 mm c'est l'échelon de la région d'Ain M'lila.



Légende :

- ⤵ Courbe d'égalé précipitation
- Secteur d'étude

Figure 3.7 : carte des moyennes pluviiales d'après P.SELTZER, (1913-1938)



Courbe d'égalé précipitation
 Secteur d'étude

Figure 3.8: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Est algérien (Établie d'après A.N.R.H., 1993 in Mébarki, 2005)

➤ **La région de Constantine (station d'Ain El Bey) :**

La série 1913-1938 présente un ordre de précipitation de 571.9mm.

Pour la série 1979-2011, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 529.09mm.

L'analyse des données annuelles des précipitations pour la station d'Ain El Bey et de Hamma Bouziane démontre une irrégularité interannuelle des précipitations (Fig.3.9 et Fig.3.10), où on note, pour une période commune 1979-2008, que :

- Pour la station d'Ain El Bey :
 - L'année la plus pluvieuse est l'année 1984 avec 882.6 mm, et qui présente aussi le mois le plus pluvieux qui est le mois de décembre avec 335.1 mm ;
 - L'année la plus sèche c'est 1983 avec une P=252.7 mm ;
- Pour la station de Hamma Bouziane :
 - L'année la plus pluvieuse est l'année 1984 avec 920.9 mm ;
 - L'année la plus sèche c'est 2001 avec une P=297.4 mm ;

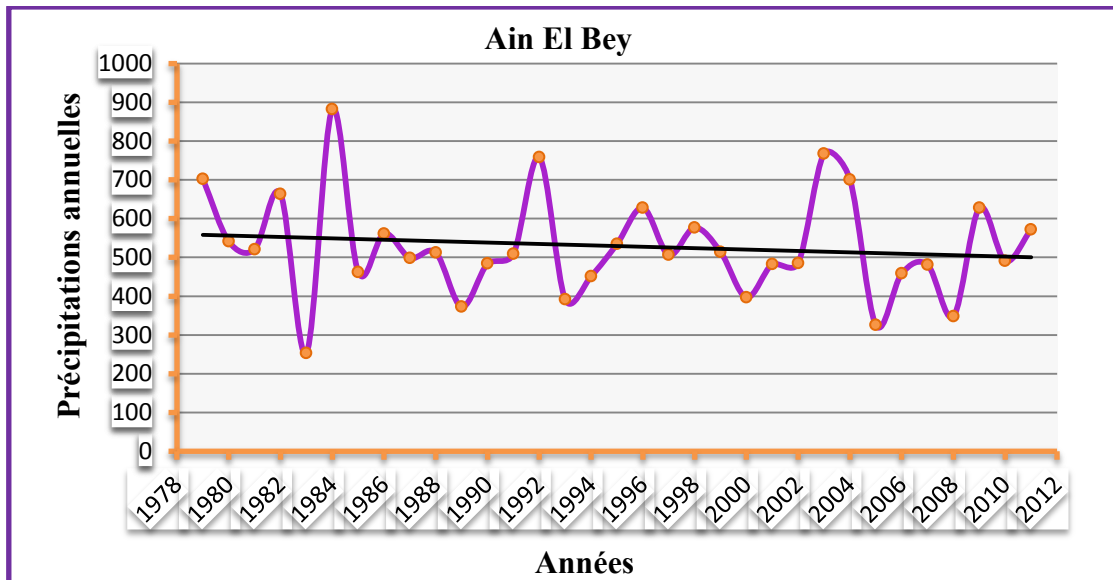


Figure 3.9: Evolution des précipitations moyennes annuelles de la station d'Ain El Bey (1979-2011)

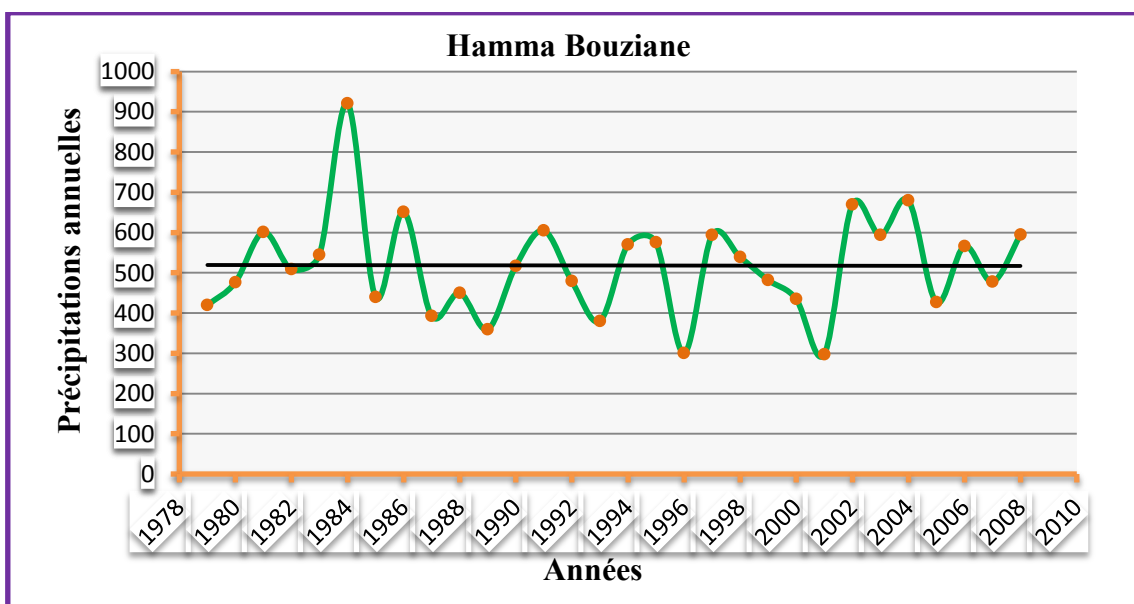


Figure 3.10 : Evolution des précipitations moyennes annuelles de la station de Hamma Bouziane (1979-2008)

La courbe de tendance pour la station d'Ain El Bey et la station de Hamma Bouziane présente une diminution permanente des précipitations pour la période étudiée.

➤ **La région d'Ain M'lila (station de Fourchi) :**

Pour la série ancienne 1930-1960, les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 345.00 mm et de 327.53 mm pour la série récente 1971-1982.

A partir des données précédentes, on peut dire que la région de Constantine marque les valeurs les plus élevées des précipitations moyennes annuelles pour les deux stations (Ain El Bey et Hamma Bouziane), par rapport à Ain M'lila.

Discussion des résultats :

Une diminution des précipitations marquée aux mois pluvieux qui peut devenir plus sec avec le temps, et une augmentation des pluies aux mois qui sont mois pluvieux tels que : mai, juillet, aout et septembre à cause des précipitations estivales qui sont concentrées sur une courte durée.

La comparaison entre les données pluviométriques annuelles anciennes et récentes présente une décroissance des valeurs:

- La région de Constantine marque une diminution des précipitations :
 - De : 571.9 mm jusqu'à 529.09 mm entre la période: 1913-1938 et 1979-2011.
- La région d'Ain M'lila enregistre aussi une diminution de la pluviométrie :
 - De : 345mm pour la période 1930-1960, jusqu'à 327.53mm pour la période 1971-1982.

3.2.2-Températures :

Ce paramètre est très important dans l'évolution et l'estimation du bilan hydrologique.

3.2.2.1-Températures moyennes mensuelles de la région de Constantine :

Les températures moyennes mensuelles de la période 1913-1938, ont montré que le mois de janvier marque la plus basse température avec 7.10°C, et le mois d'aout présente le maximum de température avec une valeur de 25.45°C. La moyenne annuelle de cette période c'est 15.66°C (Tab.3.10), (Fig.3.11)

D'après la série des températures moyennes (1971-2011) (Tab.3.10) et (Fig.3.11), on note que :

- Le mois le plus chaud est juillet avec 25.40 C°.
- Le mois le plus froid est janvier avec 6.65 C°.
- La température moyenne annuelle de cette série est 15.20°c.

L'écart de la température entre les deux périodes 1913-1938 et 1971-2011 varie entre 0.11 à 4.34°C pour les mois de juillet et décembre respectivement.

L'écart entre les valeurs est important pour la saison d'hiver avec une moyenne de 2.91°C.

Tableau 3.10 : Températures moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1971-2011)

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jull	Aou
T°C 1913-1938	22,8	17	12	7,75	7,1	8,45	10,6	13,1	16,8	21,6	25,4	25,5
T°C 1971-2011	22,23	18,78	13,6	12,1	10,3	9,64	13,1	15,6	19,1	22,7	25,2	25,1
l'écart	-0,57	+1,78	+1,7	+4,34	+3,20	+1,19	+2,46	+2,53	+2,2	+1,1	-0,11	-0,3

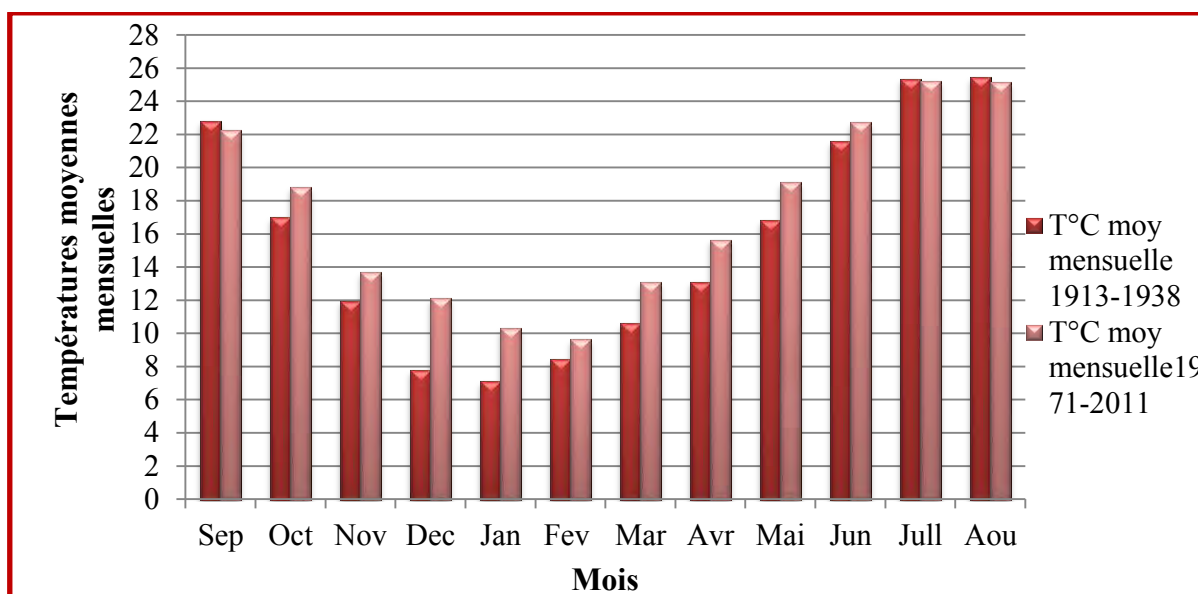


Figure 3.11 : Températures moyennes mensuelles entre les deux périodes (1913-1938) et (1971-2011)

3.2.2.2-Température moyenne mensuelle de la région d'Ain M'lila :

Le mois de janvier présente le mois le plus froid (6.89°C) alors que juillet et aout présentent les mois les plus chauds avec une température de 24.5°C pour chaque mois. La température moyenne annuelle de cette région est de 14.7°C .

3.2.2.3-Les températures saisonnières de Constantine:

Les températures saisonnières de la région de Constantine présentent une élévation pour la durée 1971-2011 par rapport à la durée ancienne 1913-1938 pour les quatre saisons (fig.3.12), où l'hiver marque un écart important avec ($2,91^{\circ}\text{C}$) alors que l'été marque le faible écart avec (0.20°C),

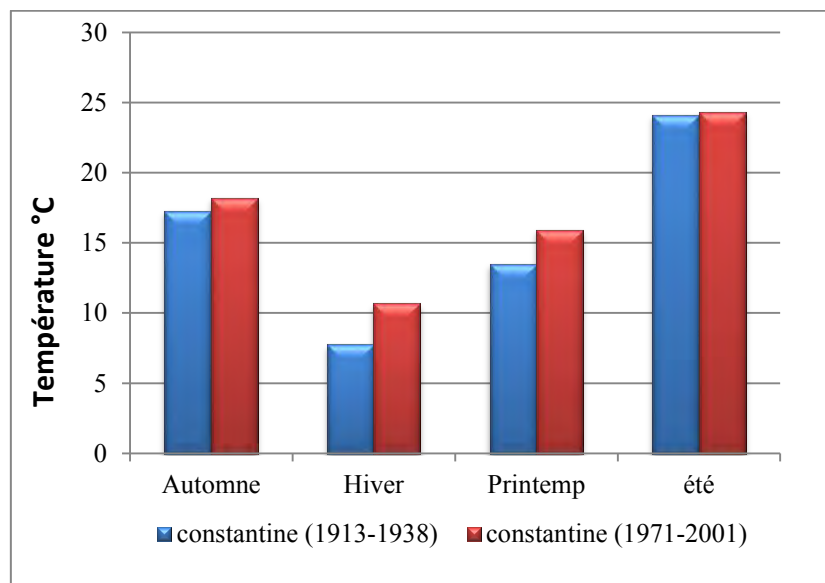


Figure 3.12 : Les températures saisonnières de Constantine (1913-1938, 1971-2011)

3.2.2.4-Températures annuelles de la région de Constantine (station d'Ain El Bey) :

La série des températures depuis 1971 jusqu'à 2011 (fig.3.13) présente que :

- La température moyenne annuelle est de 15.20°C .
- L'année la plus chaude c'est 2006 avec une $T^{\circ}\text{moy}$ annuelle= 16.35°C .
- L'année la plus froide c'est 1976 avec une $T^{\circ}\text{moy}$ annuelle= 13.30°C .

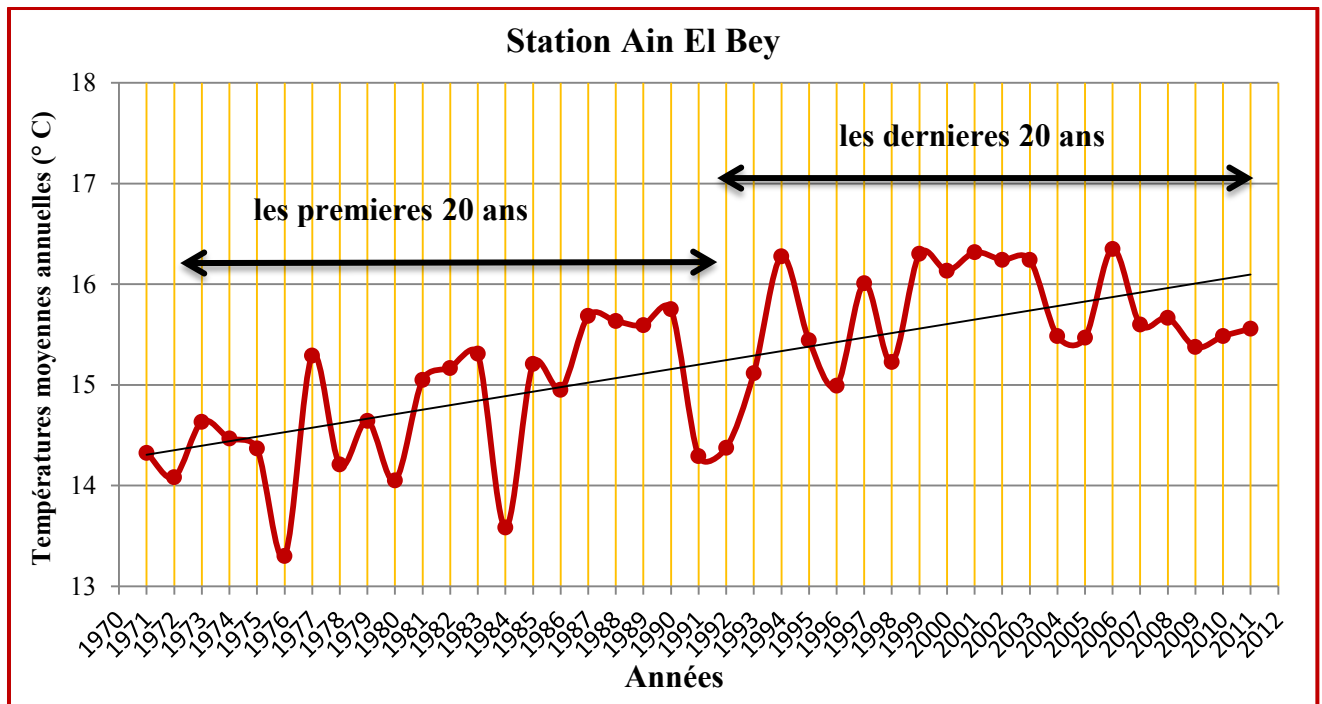


Figure 3.13: Evolution de la température moyenne annuelle (1971-2011)

L'analyse des données précédentes montre que :

- L'augmentation et la diminution de la température d'une année à une autre ne dépassent pas les 2°C. La forte augmentation apparaît en 1976-1977 avec 1.99°C, alors qu'aucune variation entre l'année 2002-2003 (0°C).
- A partir de l'année 1993, la température moyenne annuelle reste supérieure à 15°C et les dernières 20 ans (1992-2011) marquent les plus fortes températures (supérieure à 16°C), avec une moyenne de 15.68°C alors que les premières 20 ans marquent une moyenne de 14.74°C.

La courbe de tendance montre une augmentation permanente des températures sur les quarante années d'observation, prouvant effectivement un changement climatique avec une tendance à la hausse. L'élévation des températures au secteur d'étude, et particulièrement l'Est Algérien suit donc les résultats sur l'élévation de la température mondiale dans ces dernières années. Ce qui va certainement influencer sur le taux des précipitations et l'évapotranspiration.

3.3- Relation précipitation-température mensuelle :

➤ la région de Constantine (Station d'Ain El Bey) :

Selon la définition de Bagnouls et Gaussen, une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales du mois sont inférieures ou égales au double de la température du même mois.

A partir des valeurs moyennes mensuelles des températures et des précipitations de la même période de la station d'Ain El Bey (1979-2011) et la station d'Ain M'lila (1971-1982),(Tab.3.11), le diagramme Ombro-thermique a été établi (Fig.3.14)

Période \longrightarrow **sèche** P (mm) mois $\leq 2T^{\circ}\text{C}$ (même mois)

La détermination de cette période permet de connaître la période déficitaire en eau.

Tableau 3.11: Précipitation et température moyenne mensuelle, SELTZER,(1913-1938)

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jull	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
P(mm)	98	58.9	43.4	63	47	26.8	5.8	8.9	23.5	44.1	55.8	61.01
T°C	6,70	7,58	9,93	12,56	17,21	22,40	25,63	25,63	21,32	16,94	11,32	7,70

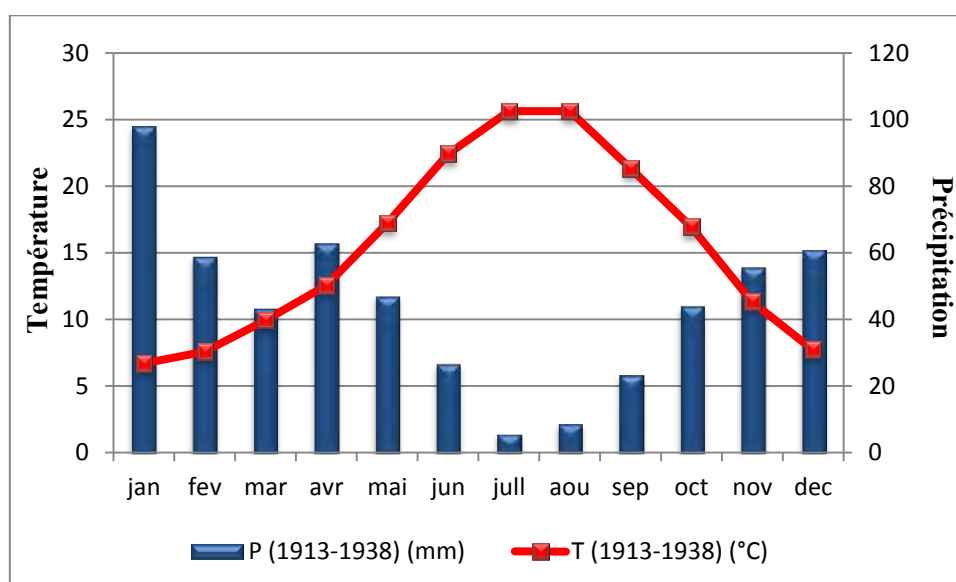


Figure 3.14 : Diagramme Ombro-thermique de la région de Constantine, SELTZER, (1913-1938)

Tableau 3.12: Précipitation et température moyenne mensuelle pour la station d'Ain El Bey (1979-2011)

MOIS	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jull	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
P(mm)	67,88	54,78	55,98	54,68	40,81	20,20	7,40	12,85	38,28	41,26	53,28	81,69
T°C	6,70	7,58	9,93	12,56	17,21	22,40	25,63	25,63	21,32	16,94	11,32	7,70

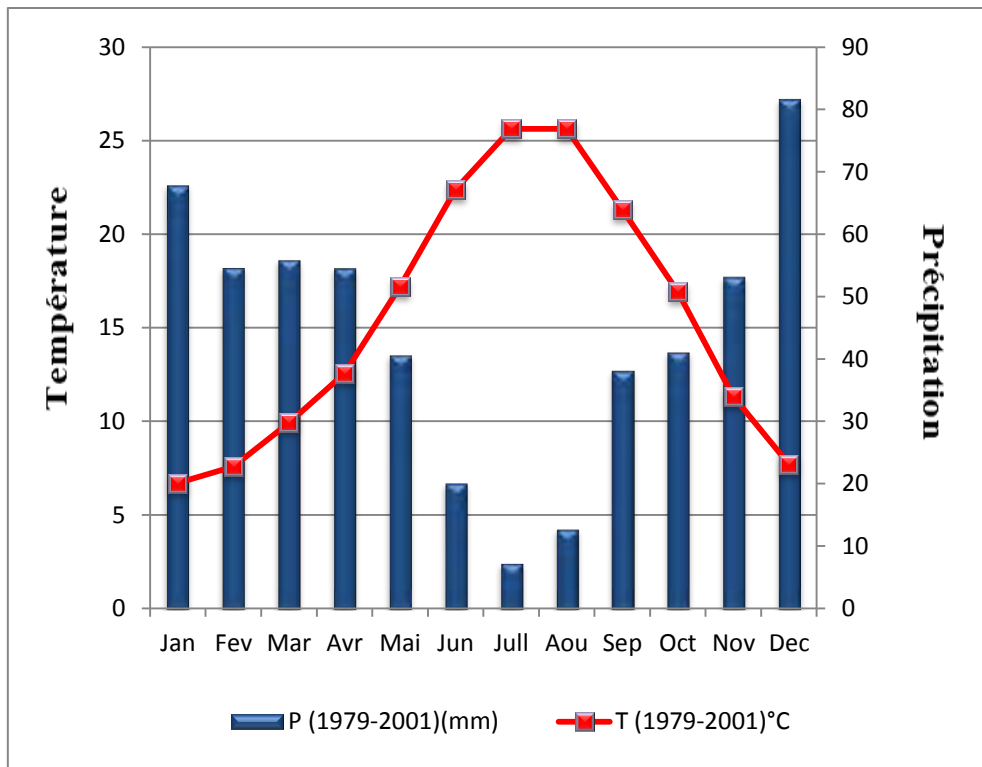


Figure 3.15 : Diagramme Ombro-thermique de la région de Constantine (1979-2001)

➤ **La région de Ain M'lila :**

Selon les figures précédentes, on peut remarquer que les deux régions présentent deux saisons, l'une sèche s'étendant de début Juin à la fin d'Aout et l'autre humide s'étendant de la fin d'Aout à début de Juin (tab.3.13) et (fig.3.16).

Tableau 3.13 : Précipitation et température moyenne mensuelle pour la station d'Ain M'lila, (1971-1982)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jull	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Précipitation (mm)	25,6	28,3	39,12	39,4	39,3	18,7	3,07	15,5	38,6	30	25,3	24,8
Température °C	6,89	7,57	9,07	11,6	16,6	21,5	24,5	24,5	21,5	14,8	10,6	7,82

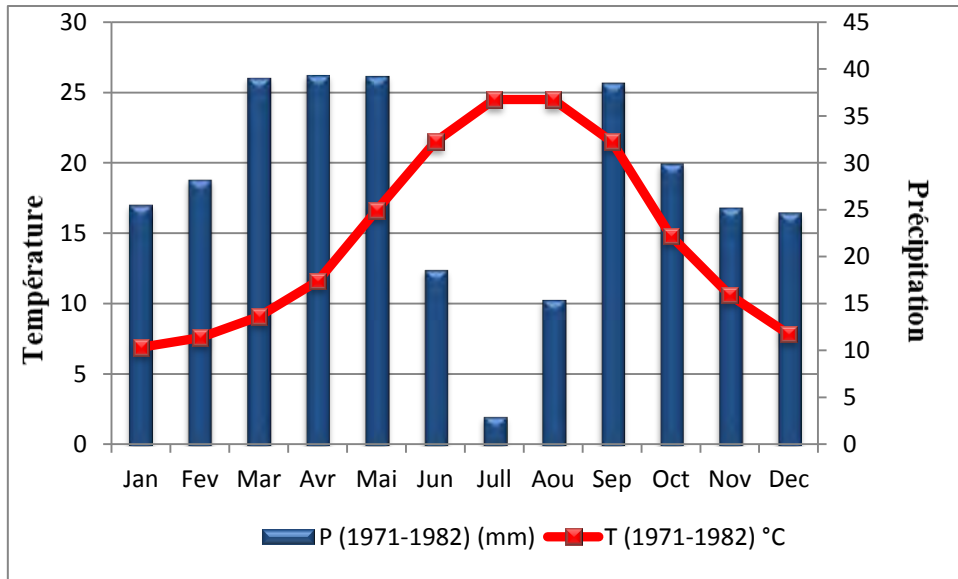


Figure 3.16 : Diagramme Ombro-thermique de la région d'Ain M'lila (1971-1982)

3.4-relation entre les précipitations et les températures moyennes annuelles :

La lecture des données des précipitations et températures moyenne annuelle montre que l'augmentation des précipitations suivis par une diminution des températures, Fig.3.17

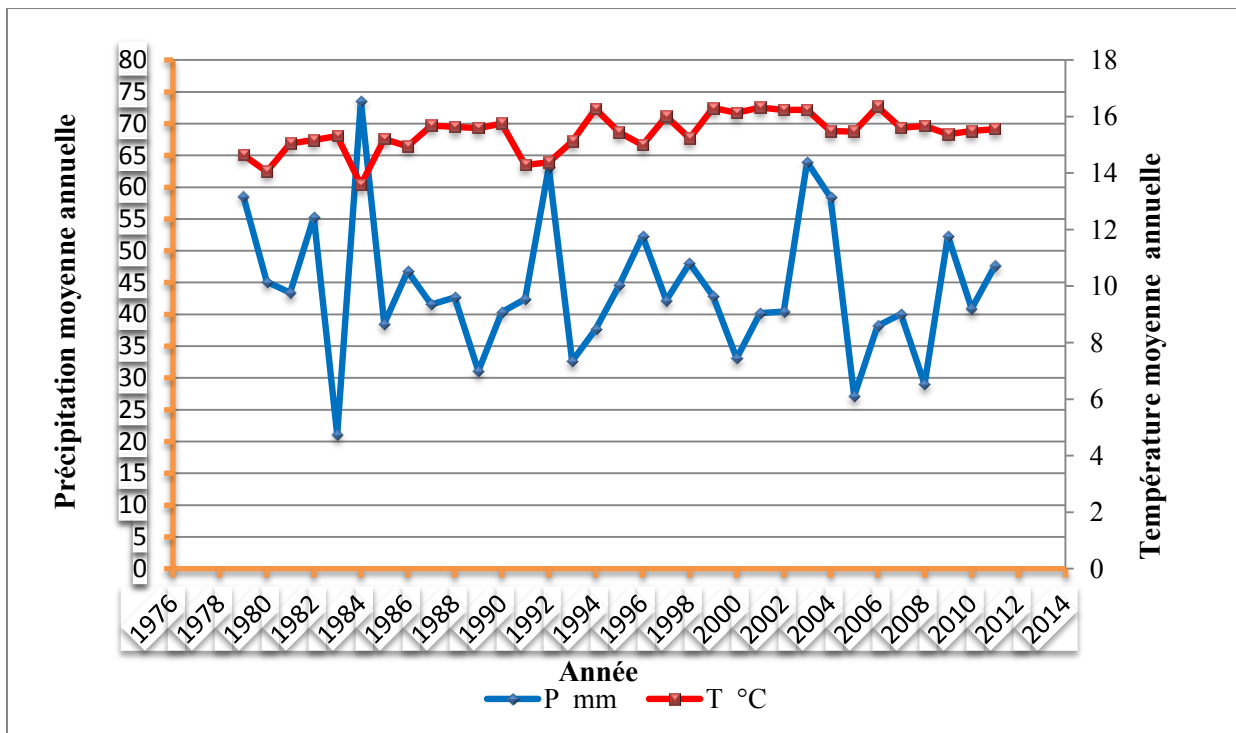


Figure 3.17: Relation entre les précipitations et les températures moyennes annuelles à Constantine (1979-2011)

A partir des données et des résultats précédents, on peut parler d'un changement permanent au niveau des températures, mais seulement de variabilités pour les précipitations car l'évolution de ces derniers est irrégulière.

3.5- Climagramme d'emberger :

C'est un abaque dont la température moyenne des minima de la saison la plus froide en °C (T°C) est portée en abscisse et les valeurs du quotient pluviométrique en ordonnée.

$$Q_n = \frac{P}{(m+M)(M-m)/2} \times 1000$$

Où :

- Qn : Quotient pluviométrique d'emberger ;
- M : la moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés Kelvin absolu (°K) ;
- m : la moyenne des minima du mois le plus froid en degrés Kelvin absolu (°K)

Tableau 3.14 : paramètres climatiques des deux régions.

Paramètres	Station d'Ain El Bey		Station d'Ain M'lila (1971-1982)
	1913-1938	1971-2011	
M (°K)	305.95	306.92	307.15
M (°K)	276.05	275	274.65
P (mm)	571.9	529.09	327.53
Qn (°K)	65.72	56.97	34.64
T°C	3.3	3.02	2.05

On report les coordonnées suivants sur le diagramme d'EMBERGER : (3.3-65.72), (3.02-56.97) et (2.05-34.64).

Les points obtenus indiquent que le régime climatique de la région est semi-aride avec un hiver frais à tempéré comme il été indiqué par la carte (Fig.3.18).

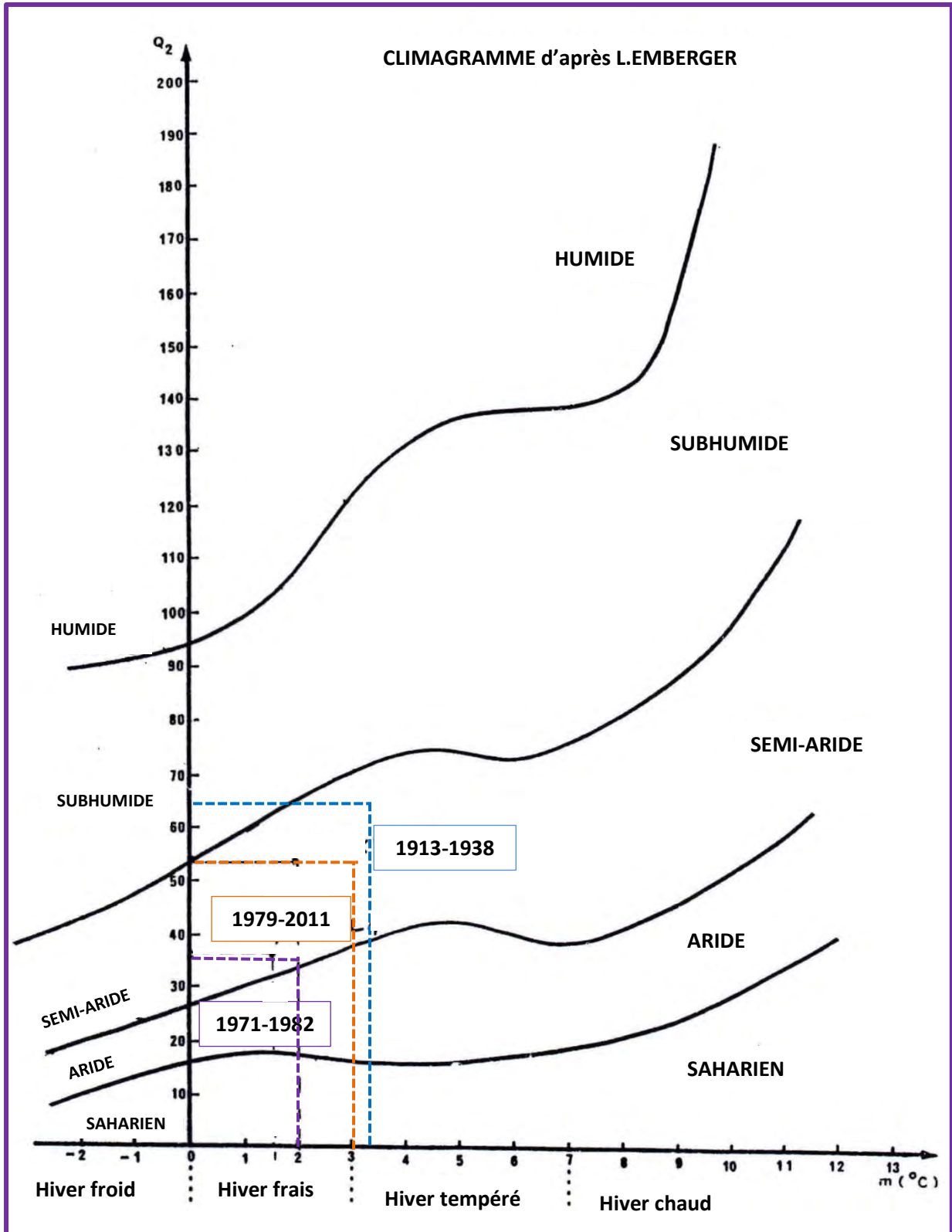


Figure 3.18 : Climagramme de L.EMBERGER.

3.6- Calcul de l'évapotranspiration :

Le but de l'analyse du bilan de l'eau est d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique à savoir :

L'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, ce dernier qui intervient dans le cycle de l'eau dès le moment où les précipitations atteignent la surface du sol.

3.6.1- Définition :

L'évapotranspiration potentiel ou ETP est l'évaporation à partir de la surface du gazon court passant activement le recouvrant totalement le sol et bien pourvu d'eau. ETP est une grandeur essentiellement climatique et du même ordre de grandeur que l'évaporation mesurée à partir d'une nappe libre.

3.6.2- Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) par la formule de Turc :

La méthode de L. Turc considère que les principaux éléments qui régissent l'ETP sont essentiellement : la température, la radiation solaire, les précipitations, la réserve en eau du sol.

Suivant la valeur d'humidité relative hr , la formule de Turc (1961) s'écrit dans son expression mensuelle :

- Si $Hr > 50\%$ \longrightarrow $ETP = 0.4 (R_G + 50) \frac{t}{(t+15)}$
- Si $Hr \leq 50\%$ \longrightarrow $ETP = 0.4 (R_G + 50) \frac{t}{(t+15)} \times (1 + \frac{50-hr}{70})$

$R_s=R_G$: rayonnement global ($\text{cal}/\text{cm}^2/\text{J}$) ; $R_s = Ra \times (0.25 + 0.5 \times \frac{n}{N})$

Hr : humidité relative en (%).

Ra : radiation globale théorique

n : nombre d'ensoleillement réel (h/jours)

N : nombre d'ensoleillement théorique (h/jours)

t : température ($^{\circ}\text{C}$) ;

Tableau 3.15 : valeurs de l'évapotranspiration selon la méthode de Turc pour la région de Constantine (1979-2011)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jull	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Hr	79,35	76,54	73,89	71,58	67,14	55,92	48,33	51,90	63,45	68,76	74,34	77,77
T°moy	6,65	7,55	9,71	12,33	16,98	22,04	25,40	25,36	21,12	16,52	11,03	7,71
n h/j	5,14	6,33	6,81	7,73	8,97	10,39	10,96	9,94	8,22	6,87	5,59	4,80
N	10,1	11	11,9	13,1	14	14,5	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8
Ra	200,9	262,8	338,4	423,2	524,6	583,7	626,4	573,85	446,3	323,4	226,5	184,3
Rs	101,37	141,33	181,42	230,64	299,23	355,06	396,65	354,72	259,48	179,16	118,09	91,21
t/(t+15)	0,31	0,33	0,39	0,45	0,53	0,59	0,63	0,63	0,58	0,52	0,42	0,34
ETP mm/mois	18,60	25,63	36,39	50,64	74,17	96,40	114,56	101,73	72,39	48,04	28,49	19,18

Selon la formule de Turc pour la région de Constantine (1979-2011) on note que le mois de janvier présente une valeur faible d'ETP avec 18.60mm alors que juillet présente la valeur la plus forte avec 114.56 mm, avec une valeur annuelle de 810.14mm (Tab.3.15),

Tableau 3.16 : les valeurs de l'ETP calculées pour la région d'Ain M'lila (1971-1982)

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
T°moy	6.89	7.57	9.07	11.59	16.62	21.45	24.50	24.50	21.50	14.75	10.57	7.82
i	1.62	1.87	2.46	3.57	6.16	9.06	11.09	11.09	9.10	5.14	3.10	1.96
ETP mm/mois	14.81	16.75	26.91	42.13	81.31	122.05	152.62	142.77	103.41	54.1	28.52	17.42

Les valeurs obtenues de l'ETP permet de remarquer que pour les deux régions le mois de juillet présente la forte valeur de l'ETP avec : 159.01 et 152.62mm pour la région de Constantine et d'Ain M'lila successivement, et le mois de janvier représente la faible valeur de l'ETP avec : 13.00 et 14.81mm pour Constantine et Ain M'lila (Tab.3.16).

La région de Constantine présente une ETP de 810.14 mm qui est plus forte que la région d'Ain M'lila où ETP annuelle est de 802.2mm.

3.6.3-Relation ETP-Température:

La figure (Fig.3.19) confirme les résultats précédents qui montrent que l'ETP est forte en juillet et faible en décembre et janvier. Ceci montre bien que la température influe sur l'évapotranspiration

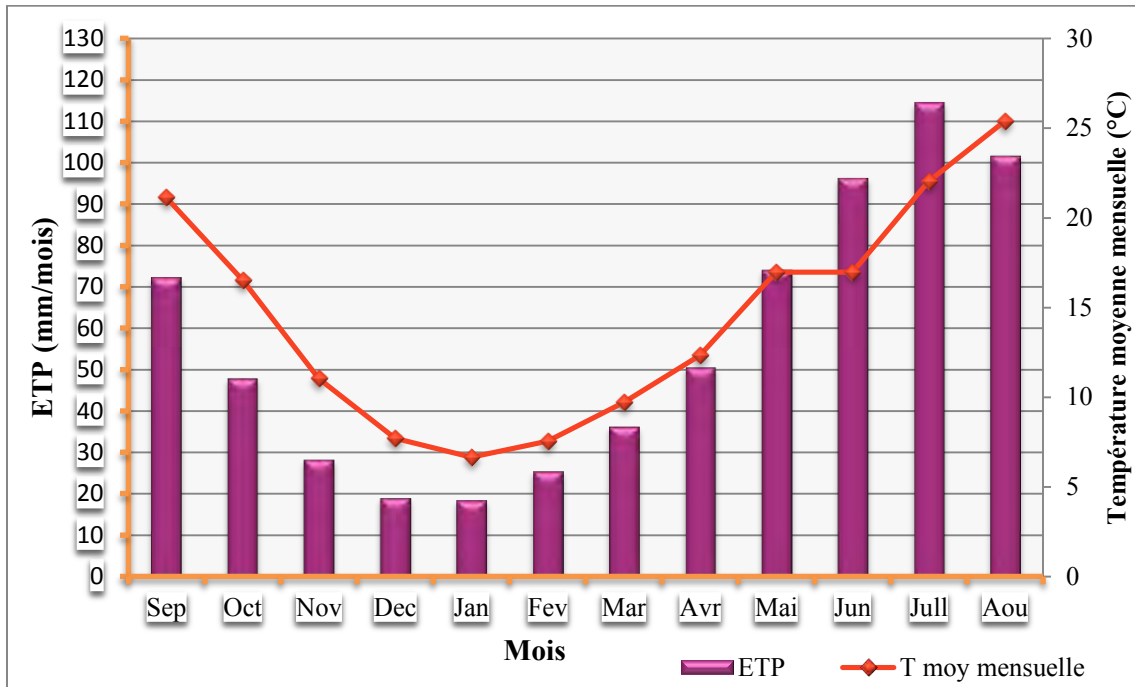


Figure 3.19 :Relation l'ETP-Température de Constantine.

3.7- Calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR) par la formule de Turc :

L'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement est la quantité évaporée effectivement par le sol, l'estimation de l'ETR est évaluée par les méthodes suivantes : Coutagne, Turc, Thornthwaite, Wundt et Verdeil, les deux dernières méthodes sont graphiques ;

L'ETR représente le déficit d'écoulement (D) :

$$ETR = D (mm) = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Avec

$$L(mm) = 300 + 25T + 0.005T^3$$

Où :

- P : Précipitation annuelle en (mm) ;
- L : Paramètre fonction de la température ;
- T : Température moyenne annuelle en °C ;

Tableau 3.17 : valeurs de l'ETR pour les deux régions par la méthode de Turc

Paramètres	Station d'Ain El Bey		Station d'Ain M'lila (1971-1982)
	1913-1938	1979-2011	
P (mm)	571.9	529.09	327.53
T (°C)	15.66	15.41	14.73
L (°C)	883.51	703.57	828.05
ETR (mm)	497.96	437.05	318.66

La valeur de l'ETR est forte pour la période ancienne (497.96 mm) (Tab.3.17) par rapport à la période récente (437.05mm) pour Constantine, et elle est 318.66mm pour la région d'Ain M'lila.

3.8- Estimation du ruissellement et de l'infiltration :

3.8.1- Le ruissellement :

Le ruissellement est l'écoulement par gravité à la surface du sol suivant la pente du terrain, une partie des eaux continue de ruisseler dans les réseaux hydrographiques et l'autre partie des eaux s'infiltré et alimentera les nappes souterraines.

3.8.1.1- Méthode de Texeront et Berkaloff :

La loi de Texeront et Berkaloff (1960), nous permet d'estimer le ruissellement à partir des précipitations moyennes annuelles et l'ETP calculé. La formule utilisée concerne surtout les régions à climat semi-aride :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

Avec :

R : ruissellement en (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle (mm) ;

ETP_{moy} : calculé par Thornthwaite.

Tableau 3.18: valeurs du ruissellement pour les deux régions-Constantine et Ain M'lila-

Paramètre	Station d'Ain El Bey		Station d'Ain M'lila
	1913-1938	1979-2011	1971-1982
P (mm)	571.9	529.09	327.53
ETP (mm)	842.86	810.14	802.8
Ruissellement (mm)	87.76	75.22	18.17
Ruissellement %	15.34	14.22	5.54

Les résultats obtenus par la méthode de Texeront et Berkloff (Tab.3.18) montrent des valeurs du ruissellement pour la région de Constantine de 87.76mm (15.34%) pour la période ancienne et 75.22mm (14.22% des précipitations) pour la période récente, alors que pour la région d'Ain M'lila le ruissellement est de l'ordre de 18.17mm (5.54% des précipitations).

3.8.2- L'infiltration:

On utilise la formule suivante pour estimer l'infiltration :

$$P = ETR + R + I$$

Où : $P-ETR=R+I$; les valeurs de $R+I$ calculées pour la région de Constantine sont rapportées sur le tableau suivant (Tab.3.19) :

Tableau 3.19 : valeurs de l'infiltration pour la région de Constantine.

Paramètre	Station d'Ain El Bey	
	1913-1938	1979-2011
P (mm)	571.9	529.09
ETR (mm)	175.86	335.19
R+I (mm)	396.64	193.9
R (mm)	87.76	75.22
I (mm)	308.88	118.68
I %	54.00	22.43

L'infiltration de la région de Constantine est de 308.88mm (54.00% des précipitations) pour la série ancienne et de 118.68mm (22.43% des précipitations) pour la série récente ; donc une diminution claire d'infiltration qui est influencée directement par la diminution des précipitations.

Conclusion :

Ce chapitre a fait l'objet d'une description et une analyse hydroclimatologique qui nous a permis de cerner les différents paramètres climatiques favorisant l'écoulement des eaux de surface.

La région est caractérisée par un climat semi-aride où l'hiver est pluvieux et froid et l'été sec et chaud.

Les variations des valeurs de précipitations mensuelles et l'irrégularité des données interannuelles d'une période à une autre dépendent de l'altitude et la latitude, la météorologie, ...

Le caractère d'irrégularité temporelle des précipitations est une donnée fondamentale du climat algérien, où on a marqué qu'il y a des variabilités des précipitations et un changement continu de la température.

L'augmentation de la température avec le temps a engendrée une augmentation de l'évapotranspiration qui va influencer directement sur les réserves d'eau superficielles.

Les valeurs du ruissellement et d'infiltration ont diminué avec le temps et sont liées directement aux précipitations et ETP ; par conséquent, ces valeurs influent sur la réalimentation des aquifères.

La diminution des précipitations et donc le stock des eaux souterraines et superficielles, et l'augmentation remarquable de la température, ces dernières décennies, sont liés au changement climatique sur la terre, changement qui est le résultat de l'effet de serre.

Donc l'Algérie, par sa position géographique et climatique est influencée par les changements climatiques qui s'expriment à travers la diminution quantitative des ressources en eau, la baisse des rendements agricoles, la dégradation des écosystèmes, l'assèchement des Oueds...

4.1-DONNEES DE BASE SUR LES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE :

4.1.1-Les caractéristiques naturelles

Le territoire algérien s'étend sur 2,4 millions de km². Du Nord au Sud, il est caractérisé par trois ensembles différents par leur relief et leur morphologie : la chaîne du Tell et le littoral, la chaîne de l'Atlas et le désert saharien.

La majeure partie du pays (87%) est un désert où les précipitations sont quasi nulles, mais qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines. La partie Nord du pays est caractérisée par son climat méditerranéen ; elle dispose de ressources en eau renouvelables, tant pour les eaux de surfaces que pour les nappes phréatiques. Les 90% des eaux de surface sont situées dans la région du Tell qui couvre environ 7% du territoire. Le pays est également caractérisé par une forte disparité entre l'Est et l'Ouest. La région Ouest est bien dotée en plaines mais est peu arrosée. La partie Est du pays est une zone montagneuse où coulent les principaux fleuves (Programme des Nations unies pour le développement (*PNUD*), 2009)

Le climat de l'Algérie connu pour sa grande diversité spatiale et sa grande variabilité interannuelle:

4.1.2-Les ressources en eau :

- **Les potentialités globales en eau :**

Selon le plan national de l'eau et adaptation, 2009, les potentialités globales en eau sont évaluées à 19.4 milliards de m³/an, Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2 Milliards de m³/an. Les ressources superficielles sont estimées à 12 milliards de m³/an.

Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT). Les réserves d'eau y sont très importantes et sont de l'ordre de 60 000 milliards de m³ dont 40 000 milliards sont situées en Algérie. La particularité de cette ressource est qu'elle n'est pas renouvelable (PNUD, 2009).

- **Capacités de mobilisation**

Les capacités totales de mobilisation sont de 12 milliards de m³/an dont:

- Un volume de 6,8 Milliards au Nord (5 Milliards de m³/an pour les eaux de surface, 1.8 Milliards de m³/an pour les eaux souterraines),

- Un volume de 5,2 Milliards de m³/an dans les régions Sahariennes qui équivaut aux réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique,

Ces ressources sont principalement mobilisées par :

- Les barrages : La capacité totale des 59 barrages de tous les bassins hydrographiques est de 6 milliards de m³ en 2008 et un volume régularisable de 3 Milliards de m³.
- L'exploitation des eaux souterraines atteint actuellement 1.6 milliards de m³ par forages et 85 millions de m³ par foggaras.
- Le dessalement de l'eau de mer est pratiqué dans 23 stations pour une capacité de 347 000 m³/jour dont trois grandes stations :
 - La station du Hamma à Alger: avec 200 000 m³/jour couplée avec la centrale électrique du Hamma et entrée en production en 2008.
 - La station d'Arzew près d'Oran: avec 90 000 m³/jour, et production d'électricité (318 Megawatts).
 - La station de Skikda avec 100 000 m³/jour, et production d'électricité de 800 mégawatts
- Le recyclage des eaux usées épurées : Le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à 730 millions de m³. La capacité installée d'épuration des eaux usées est de 365 millions de m³/an correspondant à 65 stations d'épuration en exploitation.

4.1.3-Utilisations actuelles et futures dans l'irrigation

Le volume total prélevé en 2006 est estimé à 6,5 millions de m³, dont 52% destinés à l'irrigation (Tab.4.1).

Tableau 4.1: répartition de l'eau utilisée par usages (Ministère des Ressources en Eau (MRE, 2006)

	Utilisation actuelle (millions de m³/an)	2030 (en millions de m³/an)
Usage domestique et industriel	3.1	4.2-4.6
Irrigation (Grands et petits périmètres)	3.4	7.8-8.2
Total	6.5	12-12.8

L'agriculture irriguée occupe environ 11% des surfaces cultivées et globalement 40% de la production agricole nationale lui sont imputables. Les superficies irriguées se subdivisent en grands périmètres irrigués (GPI) et en petite et moyenne hydraulique (PMH). Les GPI ont une superficie équipée de 215 000 ha environ dont 150 000 ha sont estimés irrigables à partir des eaux de surface régularisées par des grands barrages. La superficie irriguée en PMH était évaluée en 2007 à près de 907 000 ha et est constituée de périmètres de taille très variable dont l'alimentation en eau provient à 78% des eaux souterraines (forages, puits, sources et retenues collinaires).

4.2-ressources en eau de l'Est Algérien :

Le nord-est Algérien se caractérise par différentes formations géologiques qui peuvent contenir des formations aquifères, tel que les massifs calcaires (Dj.Msid Aicha près de Mila, Dj.Rhedir près d'El Harrouch) et les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire : travertins, calcaires hydrothermaux (Hamma Bouziane, Dj.Rara et Dj. Souri près de Zighoud Youcef, au nord de Dj.Ghedir à l'est d'El Harrouch) et des alluvions, sables et croutes calcaires comme aux plaines de Ain M'lila, Sigus, Tleghma, Chelghoum Laid,...

L'est Algérien se caractérise par la présence de sebkhas comme celle d'Ain M'lila (Ezzemoul) et celle de Sétif (sebkha de Bazar), et en plus la répartition des plans d'eaux comme le barrage de Beni Haroun (Mila), barrage de Beni Zid (Collo), barrage de Hammam Grouz (Oued Athmania), Guenitra (Oum Toub) et barrage de Zardaza (SE d'El Hrouch),

Les cours d'eaux sont assez intenses et exogènes mais l'Oued le plus important c'est l'Oued Kébir Rhumel qui traverse la région de Constantine, (Fig.4.1)

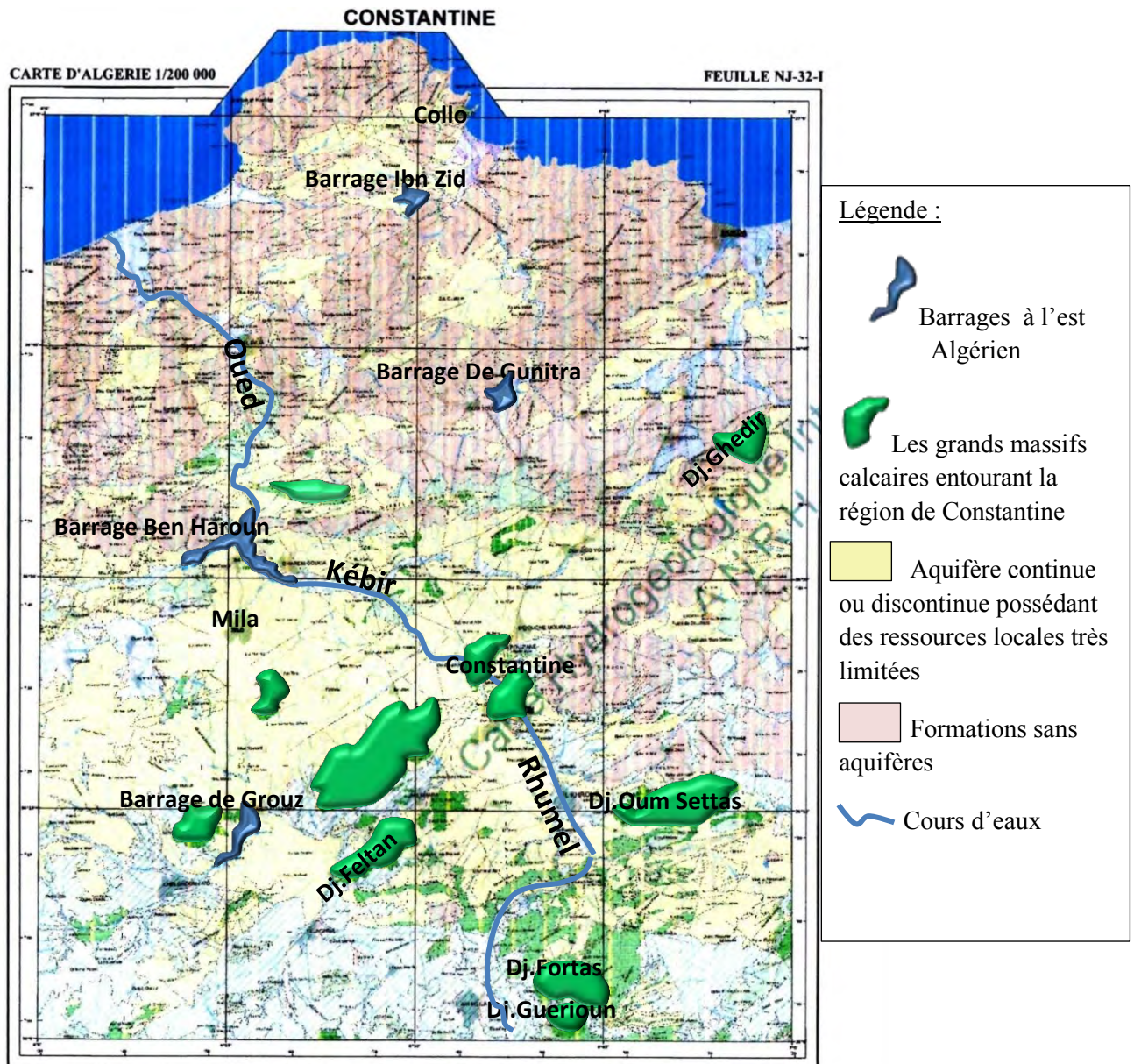


Figure 4.1 : carte ressources en eau de l'est Algérien (ANRH, 2008)

4.3-Hydrogéologie locale :

La région de Constantine est caractérisée par des formations carbonatées (sous couverture néogène) affleurant sous forme d'îlots, et qui constituent le contexte hydrogéologique de la région :

4.3.1-Les massifs calcaires : représentés par le Dj.Kellel, Oum Settas, Mazela, Feltene, Fortas, Guerioun et le rocher de Constantine, ce dernier est caractérisé par une série carbonatée Mésozoïque assez épaisse (515 à 2000m), et est limité par des failles profondes dont le grand accident du fossé d'effondrement Ain Smara-Constantine,

Ces massifs ont subi une karstification très prononcée : une karstification classique, gravitaire et une karstification hydrothermal qui est caractérisée par le développement des grandes cavités,

Les massifs méridionaux présentent un karst superficiel développé avec des émergences qui se situent au piémont des massifs. Les massifs septentrionaux sont caractérisés par la karstification où on peut trouver des sources thermales émergeant à la faveur des failles (Source de Sidi M'cid) au pied du rocher de Constantine.

Ces massifs calcaires néritiques constituent un système hydrogéologique assez complexe englobant des systèmes fissurés et karstiques.

4.3.1.1-les exutoires karstiques de la région de Constantine :

- La zone d'El Hamma Bouziane :

Le Karst hydrothermal du Hamma Bouziane a pour exutoire naturel d'importantes sources chaudes provenant des structures en horsts des calcaires créacés. La source thermale de Hammam Zouaoui (fig.4.2) avec une température de 35°C possède un très fort débit (900 l/s). Cette source thermale émerge des sables et des alluvions quaternaires, la seconde source est celle d'Ain Skhouna avec un débit de 45 l/s et une température 36°C, émerge des sables miocène. D'autres sources moins importantes se situent à Hamma Bouziane comme Ain Bergli, à l'Ouest d'Ain Skhouna, émergeant dans un affleurement de calcaire cénomanien (7 l/s et 33°C). Ain Murat, à l'Ouest d'Ain Bergli, émerge des travertins déposés par les griffons thermaux et alluvions, (débit faible et 28°C). Ain Toundji, se situe au NE d'Ain Murat (débit inférieur à 1 l/s).

En plus de ces sources thermales, il existe d'autres sources froides émergeant des dépôts de travertins, produits par les sources chaudes au cours du Quaternaire ancien, on cite : l'Ain Touta (cote 433, T 19°C, Q 6 l/s), Ain Bou Sba (cote 400, T 19°C, Q 20 l/s) , Ain Ben Djelloul, la source du Liagre, la source de la Grotte et le groupe de sources d'Ain Chaouch, avec des débits variant de 7 l/s à 25 l/s (Djebar, 2005).

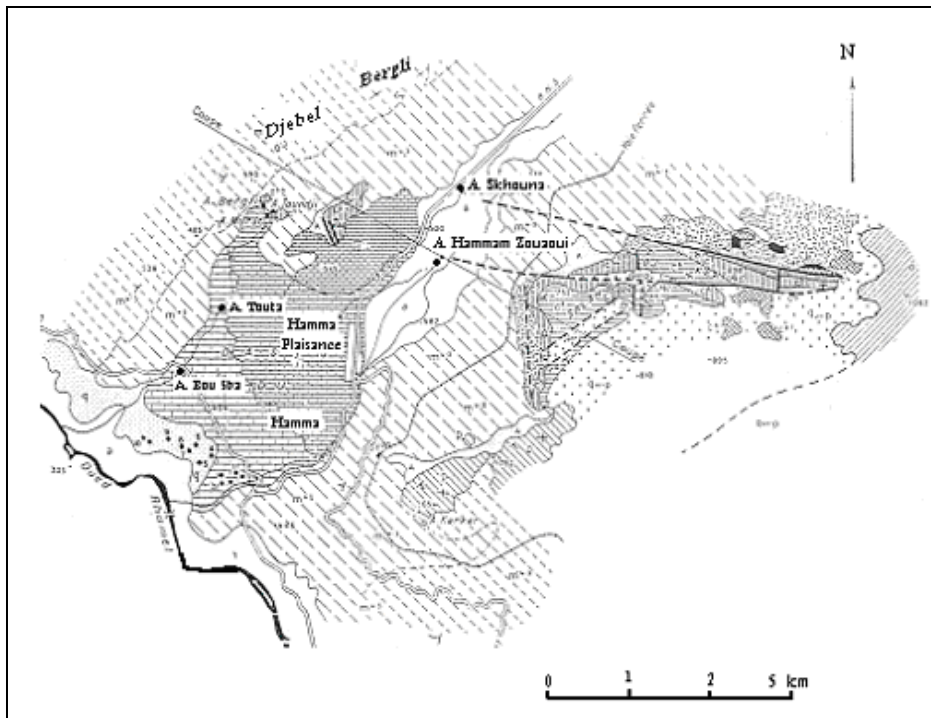
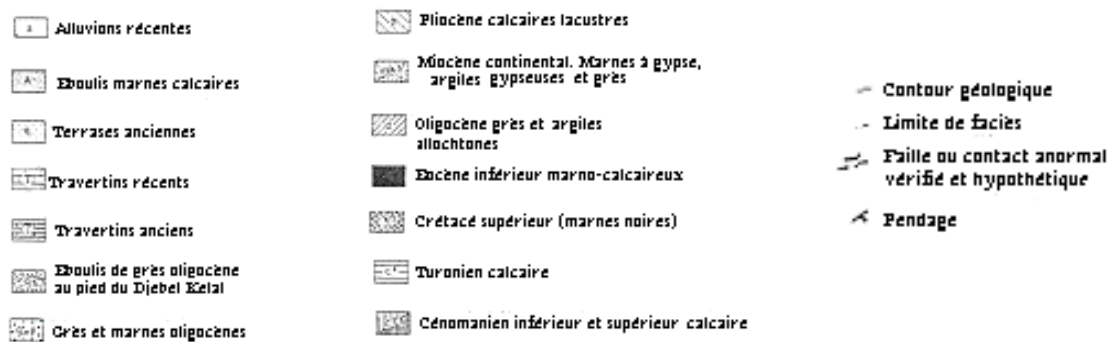


Figure 4.2 : situation des sources thermales de la région du Hamma Bouziane (Djébar, 2005).



- La zone de Salah Bey :

La source de Salah Bey (Fig.4.3) donne un débit de 40 L/S avec une température de 28°C, se localise sur le flanc nord d'un synclinal de grès et conglomérats continentaux à l'Ouest de Constantine, très près du Rhumel.

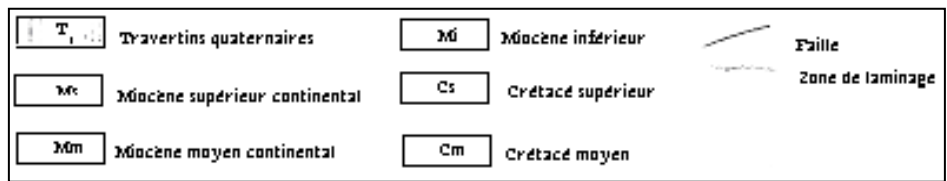
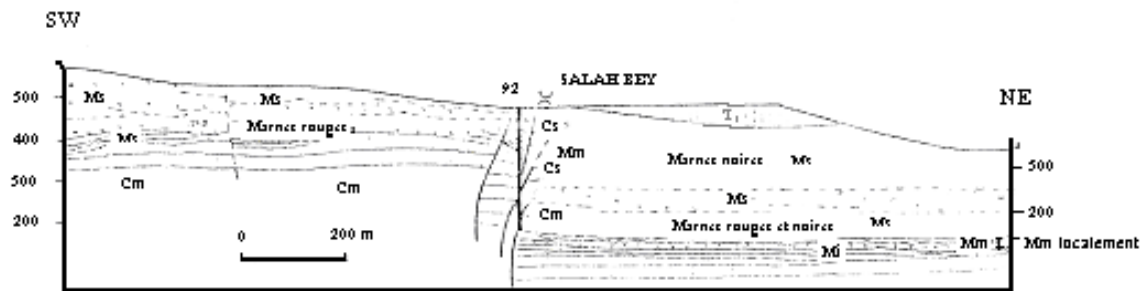


Figure 4.3 : Coupe Hamma Bouziane Salah Bey (Durozoy, 1961 in Djebar, 2005)

- La zone de Constantine :

Plusieurs sources émergent dans le rocher de Constantine dont la plus importante est celle de Sidi M'cid avec un débit de 20 L/S et une température de 26°C.

La source de Ibn Ziad donne un débit de 10 L/S, et d'autres sources tel que la source d'Ain Rached, Ain Chekkar, Ain Sidi Mimoun, El Kantara ... ces sources sont thermales et sont les exutoires du massif.

Tableau 4.2 : Caractéristiques des principales sources du système Constantine-Hamma Bouziane (Djébar, 2005).

Sites	Sources	Côte (m)	T° C	Q moy l/s	Conditions d'émergence	Observations
Constantine	Sidi Mcid	480	29	18	Calcaires	-
	Moulin la vie	450	27	10	crétacés	Temporaire
	Sidi Mimoun	452	28	<1	//	Tarie
	Ain Rached	490	28	≈ 4	//	//
	Ain Chekkar	470	28	≈ 5	//	//
Hamma Bouziane	Ain Zouaoui	480	35	800	Alluvions	*Débit actuel <10 l/s
	Ain Skhouana	505	36	25	//	
	Ain Bergli	505	33	7	Travertins	*Débit actuel <1 l/s
	Ain Murat	500	25	environ	//	
	Ain Rhiren	500	20	11	//	
	Ain Toundji	510	21	<10	//	Tarie
	Ain Touta	400	20	< 5	//	Temporaire
	Ain Bou Sba	450	21	11 < 6	//	Tarie -Temporaire
Salah Bey	Ain Salah Bey	471	25	15	Travertins	

4.3.1.2-les exutoires karstiques de la région d'Ain M'lila :

La zone Dj Guerioun et Fortas :

Les deux importantes sources connues autour du massif du Guerioun et Fortas sont : la source de Fesguia (fig.4.4) (Q=85-100 l/s et température de 19°C), localisée dans le prolongement

d'une faille orthogonale à grand rejet, et la source de Boumerzoug ($Q=650$ l/s) située sur une faille E-W limitant Dj. Fortas

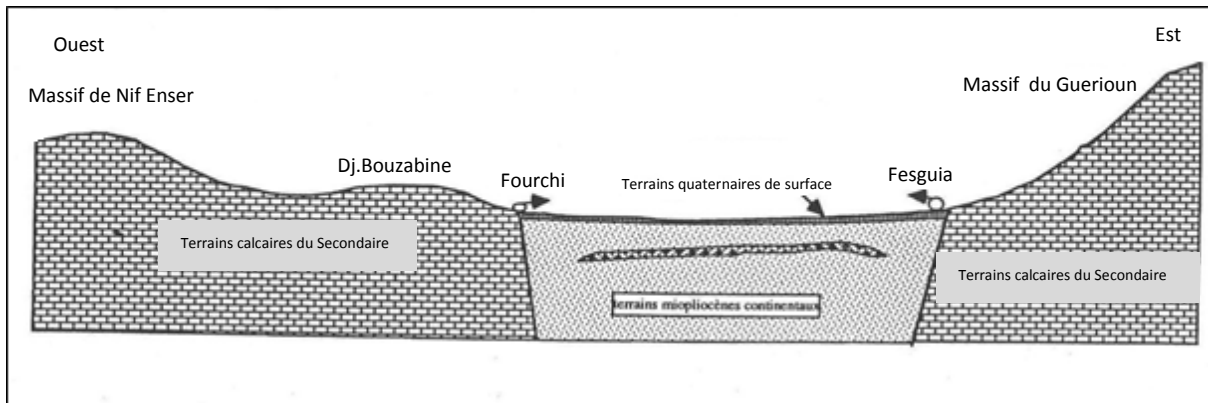


Figure 4.4 : émergence de la source de Fesguia et celle de Fourchi.

D'autres zones d'émergences se trouvent au niveau du djebel Guerioun comme la source de Kef ARZEN n°1 et n° 2 qui sont situées à la face ouest et sud du Guerioun, elles émergent dans les calcaires néocomiens avec des débits insignifiants, la source d'Ain Kerbouche : située au sud de Dj Guerioun, a un débit inférieur à 1 L/S.

4.3.2- les formations du Mio-plio-quaternaire :

Ces formations s'étendent sur de vastes superficies, et forment l'aquifère des accumulations fluvio-lacustre Mio-pliocène et Quaternaire. Cette série est irrégulière dans son épaisseur et son faciès a une porosité efficace moyenne faible.

4.4-Impact des précipitations sur les eaux souterraines :

4.4.1-Suivi Journalier de la source d'Ain Zouaoui septembre 1998-avril 2002 :

- **Le cycle Septembre 1998-Août 1999**

Pour la saison humide, après une pluie assez importante (mois de février), le débit de la source augmente. Au mois de mars (0.288 m³/s), et à la saison sèche, on observe que la pluie est insignifiante mais il y a un accroissement du débit au mois de juin (0.249 m³/s), (fig.4.5).

Donc la réponse de la source se fait avec un décalage de quelques jours à quelques semaines

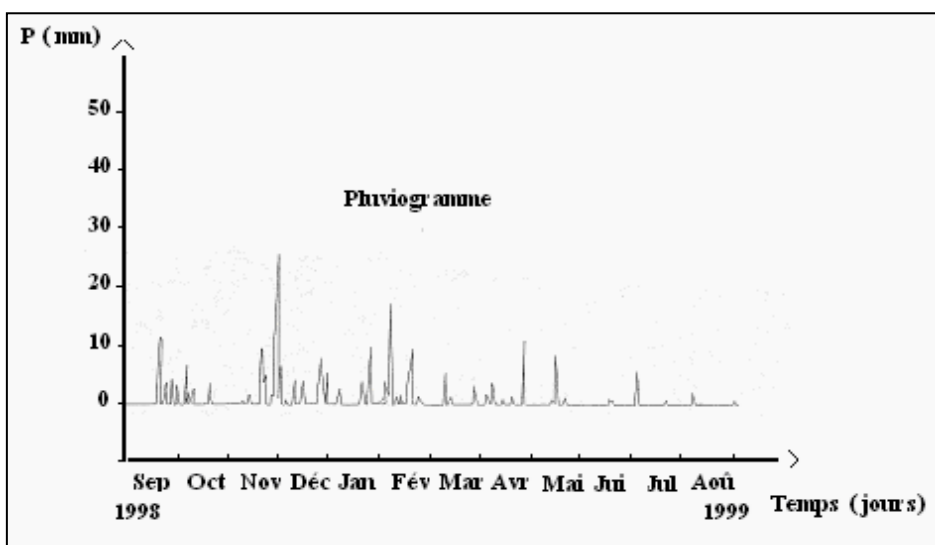
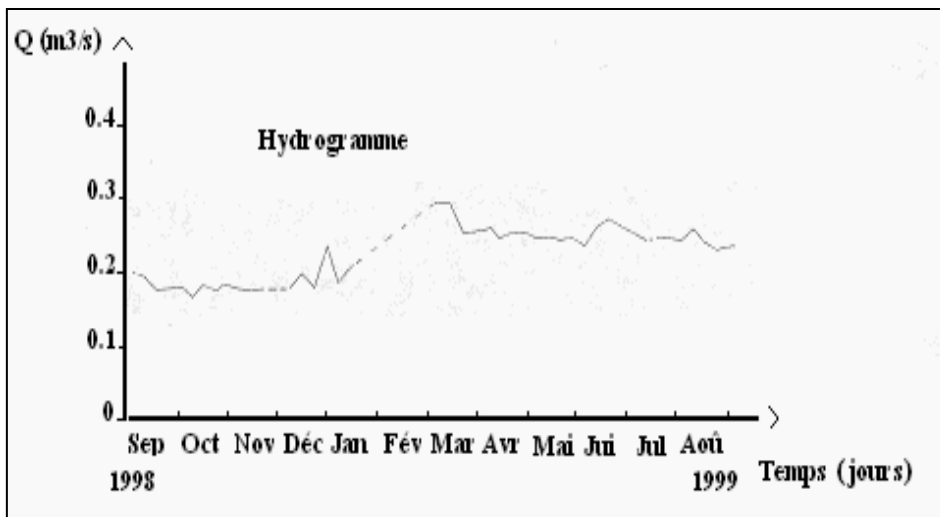


Figure 4.5 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 1998 à aout 1999 de Ain Zouaoui, (Djebar, 2005)

Entre le mois de mars et d'aout où la pluie est insignifiante, on enregistre une sensible stabilité des débits variant entre 0.246 et 0.274 m³/s ce qui est lié probablement à la spécificité de la zone d'infiltration du système, (Djebar, 2005)

- **Le cycle Septembre 1999-Août 2000**

Deux crues du débit enregistrées en septembre (0.3 m³/s) et en janvier (0.411 m³/s) correspondent à une forte pluie en septembre et en décembre,

La figure montre que le débit diminue à partir du mois de février jusqu'au mois d'aout.

L'augmentation du débit en mai se fait par une arrivée d'eau avec un retard.

En début de juin une légère augmentation du débit correspond aux fortes pluies du début de ce mois (43.3 mm), (fig.4.6).

Donc, pour ce cycle, la source répond assez rapidement à la pluie et en particulier au mois de septembre et décembre,

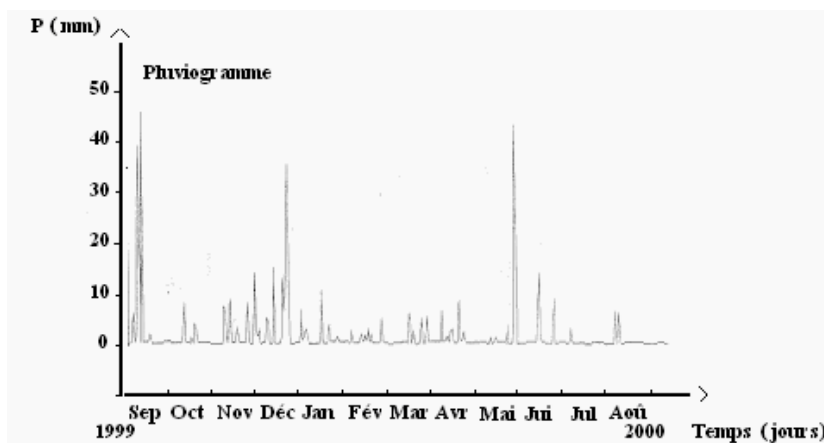
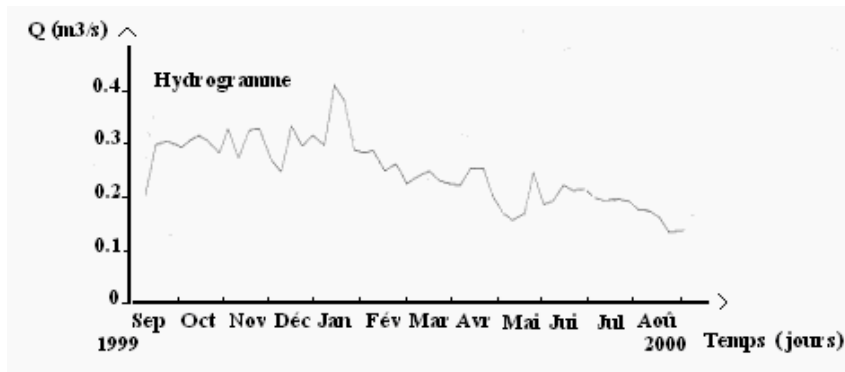


Figure 4.6 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 1999 à aout 2000, (Djebar, 2005)

- **Le cycle Septembre 2000-Août 2001**

Ce cycle se caractérise par deux évènements pluviométriques importants à la fin d'octobre (45 mm) et au mois de janvier (56 mm) produisant une légère élévation du débit surtout au février (0.214 m³/s) et au mars (0.266 m³/s), (fig.4.7).

D'autres augmentations des débits apparaissent entre le mois d'Avril et le mois de Juillet dues aux faibles précipitations produites entre le mois de Mars et le mois de Mai.

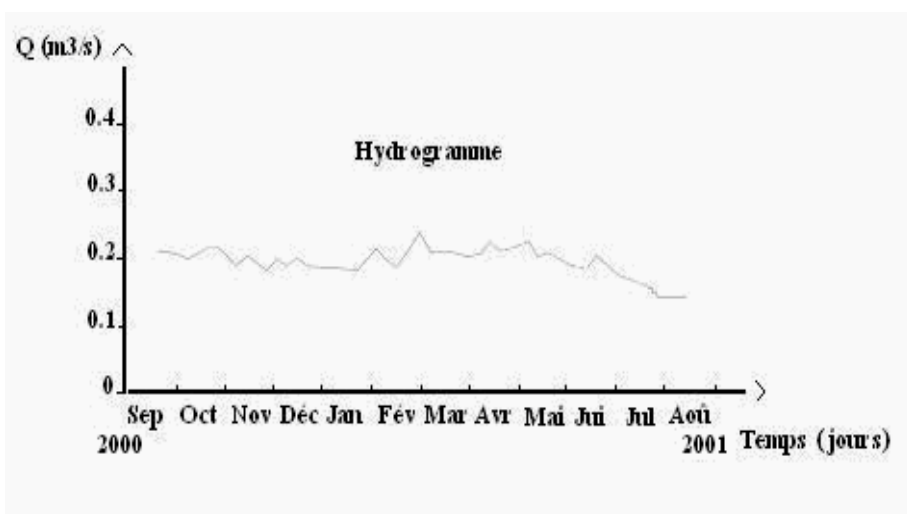
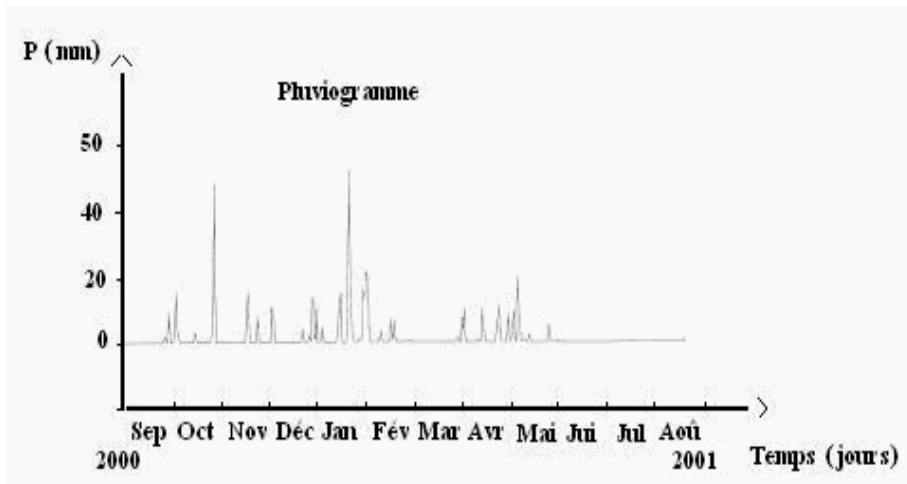


Figure 4.7 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 2000 à aout 2001

(Mesures hebdomadaires), (Djebar, 2005)

La corrélation entre le pluviogramme et l'hydrogramme est à prendre avec d'avantage de précautions pour ce cycle, du fait de la nette interférence de la surexploitation de l'aquifère.

- **La période Septembre 2001-Avril 2002**

L'hydrogramme de la période du 08/09/01 au 20/04/02 est inexploitable du fait que les débits de la source sont très abaissés ($0.099 \text{ m}^3/\text{s}$ à $0.138 \text{ m}^3/\text{s}$), (fig.4.8).

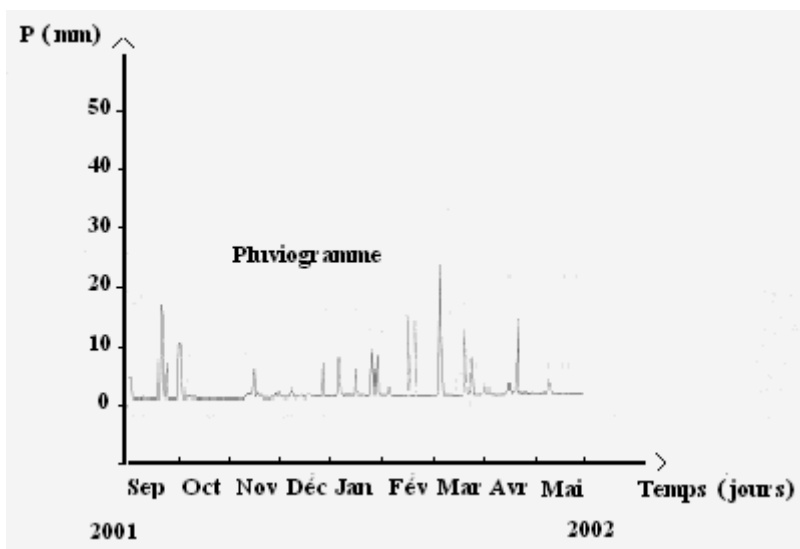
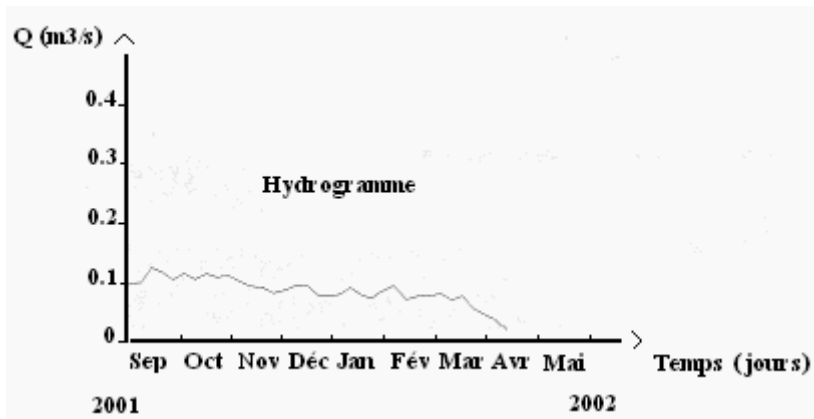


Figure 4.8 : Hydrogramme et pluviogramme du cycle septembre 2001 à avril 2002

(Mesures hebdomadaires), (Djebar, 2005)

4.4.2--Suivi mensuel:

Le suivi temporel du débit de la source de Hammam Zouaoui (fig.4.9) est basé sur l'observation durant 120 mois,

Durant cette période le débit a commencé à diminuer depuis l'année 95/96 et ce jusqu'aux années 2002/2003 où la source a pratiquement tari (0.033 m³/s en avril 2002). Cela est dû certainement à la faiblesse des précipitations mais aussi au fort pompage. Le débit a commencé à augmenter par la suite et ce suite aux fortes précipitations de janvier 2003. En aout 2005 le débit a atteint 0.542 m³/s.

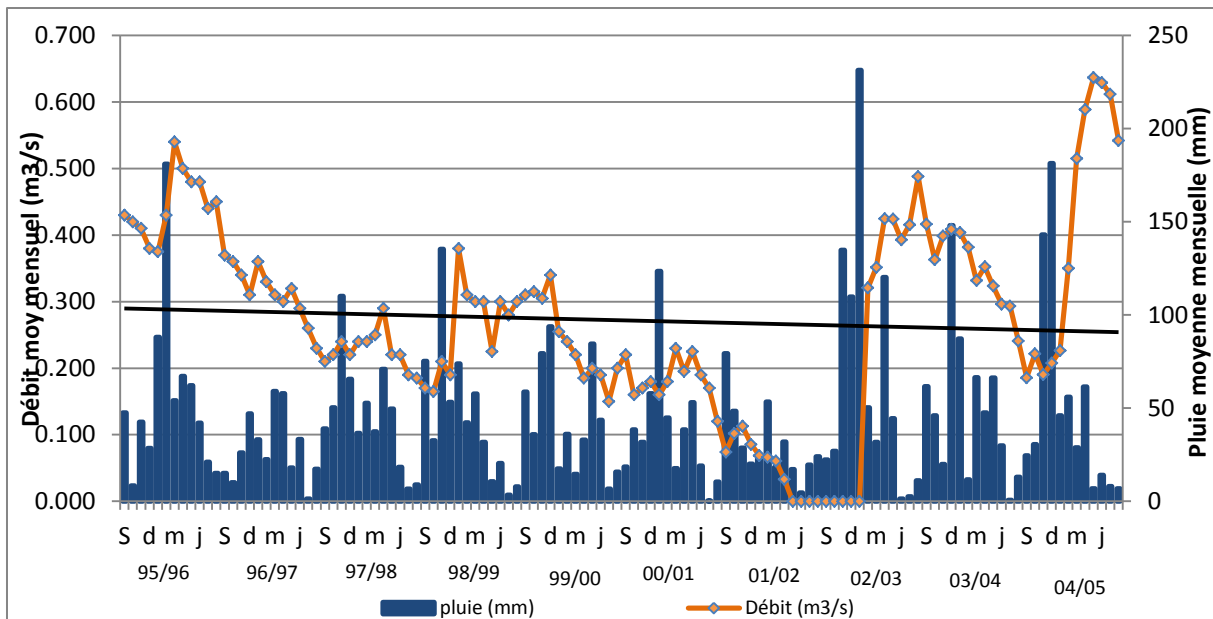


Figure 4.9: Variation mensuelles pluies-débits de la source de Hammam Zouaoui

On remarque que la source présente quatre périodes d'augmentations :

- Entre septembre 95/96 et juin 96/97 (0.430- 0.540 m³/s).
- De janvier 98/99 à 99/2000 (0.280-0.380 m³/s).
- De février 2002/2003 à juillet 2003/2004 (0.296- 0.488 m³/s).
- De février 2004/2005 à aout 2004/2005 (0.350- 0.637 m³/s).

Et trois périodes de diminution :

- De juillet 96/97 à décembre 98/99 (0.170- 0.290 m³/s).
- Janvier 99/2000 à janvier 2002/2003 (cette dernière qui présente la période de sécheresse de la source), (00- 0.255 m³/s)
- Aout 2004/2005 à janvier 2004/2005, (0.186- 0.241 m³/s).

Globalement il y a une influence des variations des pluies sur les débits de la source durant certain mois comme en février, mai, juin, juillet, (95/96), en octobre, novembre, décembre, février, avril, mai, juin, juillet (97/98), en novembre, décembre, janvier, février, mai, juin, juillet et aout (98/99).

Alors que les précipitations d'autres mois ne semblent pas influencer les débits des sources. Ceci est dû :

- soit aux pluies intenses (averses) où elles sont fortes et de courte durée donc l'efficacité de ces pluies,
- soit à l'impact de fort pompage comme pour la période de novembre 2004 à mai 2005 et à cause de l'absence du pompage fort (à cause d'un problème d'électricité) où on note l'augmentation du débit après une forte pluie ,
- ou bien la présence des deux causes ensemble comme pour la période de sécheresse de la source entre mai 2002-janvier 2003

Le suivi des débits de la source de Hammam Zouaoui et les débits pompés (septembre 2000-fevrier 2005) des forages près de la source montre qu'il y a une relation entre les deux débits comme il est claire entre le mois novembre 2003 jusqu'à mars 2005 où le débit de la source diminue lorsque les débits pompés augmentent et la pluie augmente aussi (fig.4.10).

Et pour la période où la source est fortement rabattue (mai 2002 à janvier 2003...) le pompage continue avec des débits de 500 à 650 l/s.

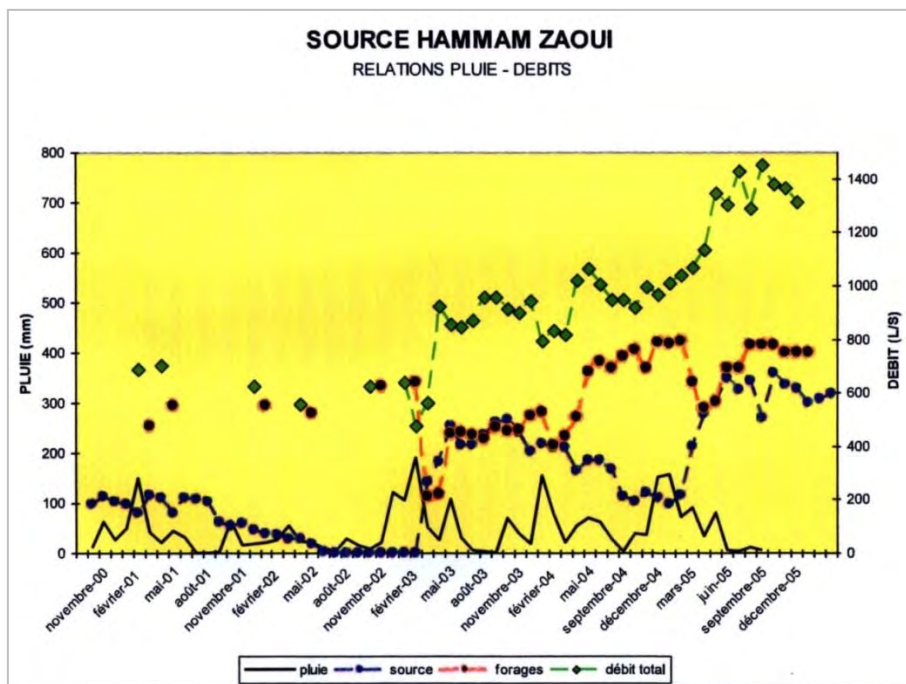


Figure 4.10 : variation des débits de la source et les débits pompés en fonction de pluie (Rapport SEACO, 2012)

Donc on peut parler d'une influence des pluies sur les débits de la source, surtout pour les variations annuelles où la diminution des précipitations annuelle suivie par une diminution du débit, et l'augmentation de la lame précipitée suivie par une augmentation du débit.

4.4.3--Impact des précipitations sur les débits annuels de la source de Boumerzoug :

Cette source apparait à la cote 737 m au pied des petits massifs calcaires du Boumerzoug et Boulechrhal, accolés aux massifs beaucoup plus importants qui sont les Djebel Fortas et Gueriou, cette émergence sourde à la faveur d'une extrémité de faille.

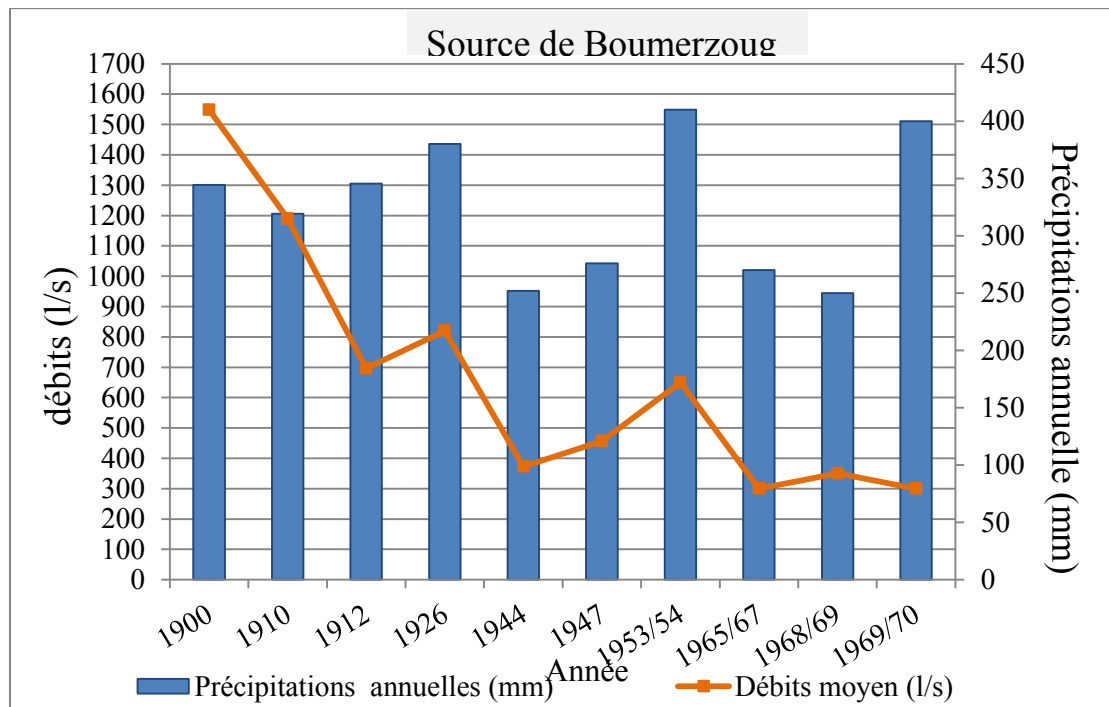


Figure 4.11 : évolution débits- précipitations de la source de Boumerzoug, (1900-1969), (DUROZOY, 1960 in rapport C501/JBH-Fevrier 1997)

Le suivi des débits de cette source et la hauteur des pluies annuelles à Ain M'lila pendant la période (1900-1969/70), montre (Fig.4.11) que l'année 1900 marque le plus fort débit avec 1548 l/s alors que l'année 1965/67 et 1969/70 marque un faible débit avec 300 l/s. Ceci est causé par les pompages des forages qui sont mis en service à partir de 1970 avec des débits de 350 à 400 l/s, (Durozoy, 1960),

Les débits de la source suivent les variations des précipitations sauf pour l'année 1912 où la pluie augmente mais les débits diminuent à cause d'une perte des eaux ou bien liée aux pluies intenses qui ne sont pas efficaces (tombant sur une courte durée).

4.4.4-Variation du niveau piézométrique de l'aquifère mio-plio-quaternaire de Boumerzoug en fonction des précipitations :

La figure 4.12 ; montre que l'année 1989 marque le plus fort rabattement de la nappe avec (-14.90 m), par contre l'année 1992 marque le plus faible rabattement avec (-4.48 m), (Fig.4.12)

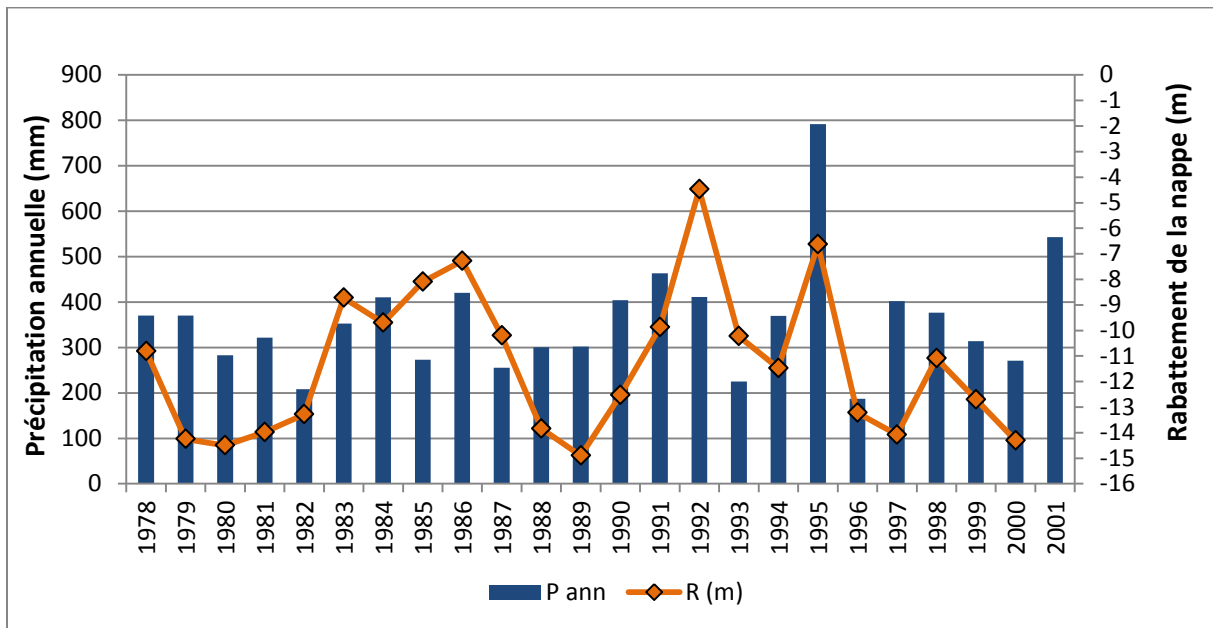


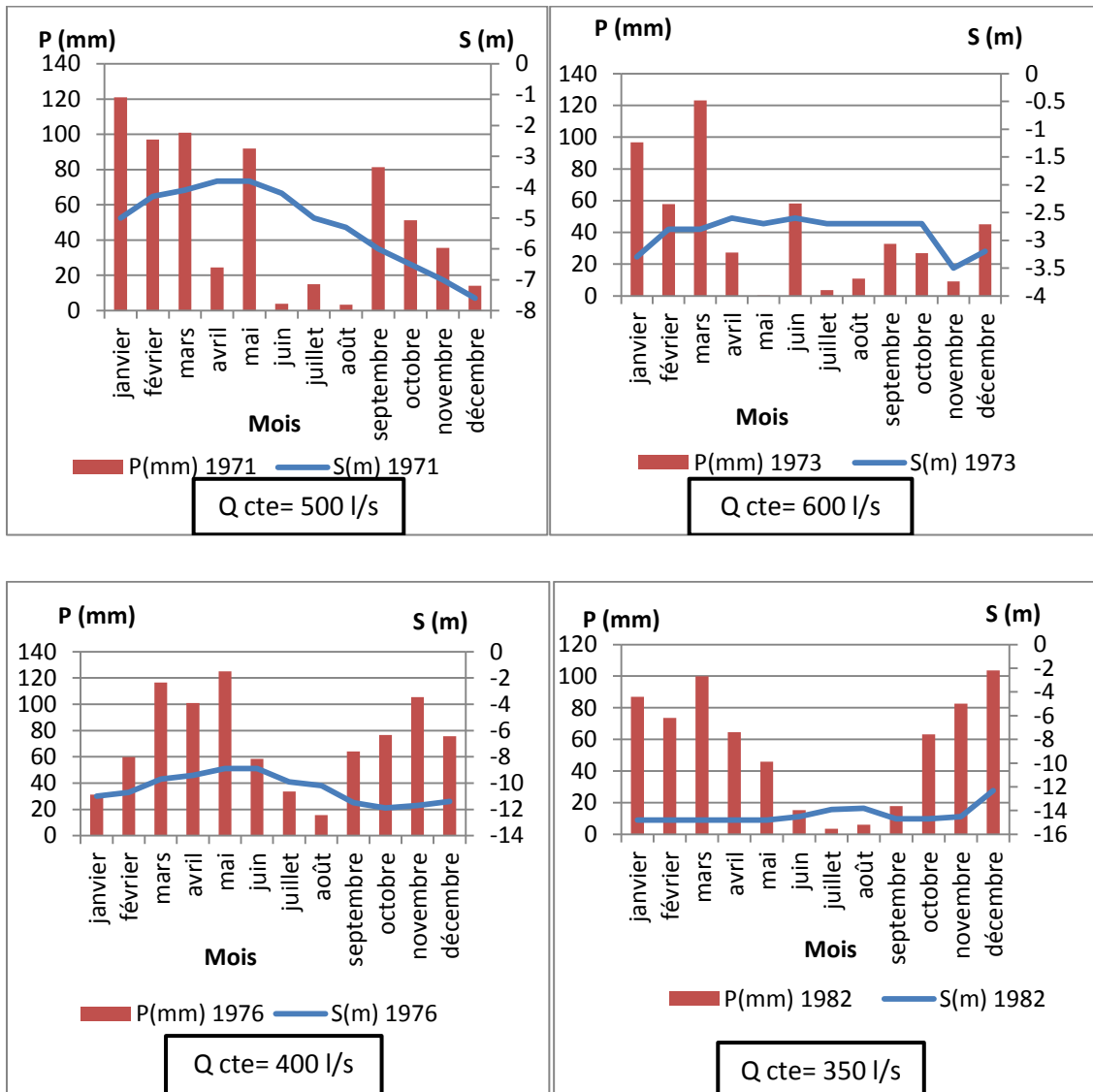
Figure 4.12 : Rabattement de la nappe de Boumerzoug en fonction de la précipitation (1979- 2001)

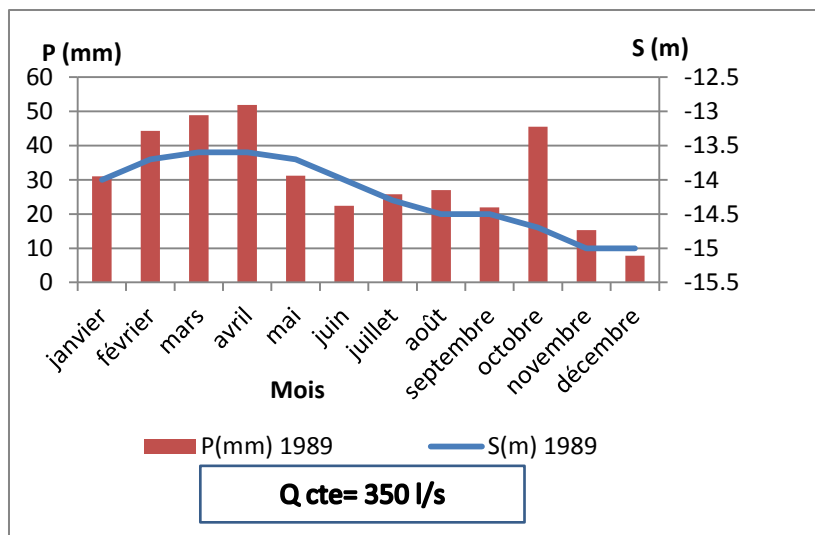
Au cours des années 1979, 1980, 1981, 1982, 1988, 1989, 1996, 1997, 1999 et 2000, la recharge de la nappe a été très faible. La nappe a été fortement rabattue, avec des niveaux se situant entre 13 et 14 mètres de profondeur, malgré les fortes précipitations mais le rabattement reste fort comme en 1979, 1981, 1988, 1989, 1997 c'est la conséquence de la faible précipitation de l'année/ précédente où la nappe marque un fort rabattement donc elle ne répond pas à une année mais à plusieurs années,

D'autres années présentent une influence directe des pluies sur le niveau de la nappe comme en 1995 qui marque une forte précipitation avec 791.7 mm suivi par une élévation du niveau piézométrique (-6.63 m), l'année 1996 qui marque la faible précipitation avec 187 mm suivi par un abaissement du niveau de la nappe (-13.23 m) c'est aussi le cas des années 1980, 1981,1983, 1986, 1987, 1990, 1991, 1993, 1996, 1999 et 2000.

Durant certaines années les rabattements suivent l'évolution des précipitations avec un décalage conséquent au retard à l'infiltration. Certaines courbes présentent des anomalies au niveau de l'évolution des rabattements.

Pour bien suivre le rabattement de la nappe en fonction des pluies on élimine les facteurs qui dérangent cette relation, on suit les rabattements en 1971, 1973, 1976, 1982 et 1989 (fig.4.13) où le débit de pompage est constant. On remarque que les précipitations de l'automne 1971 et octobre 1989 ne semblent pas influencer le niveau piézométrique. Les rabattements continuent à augmenter. Le niveau piézométrique ne commence à s'élever qu'à partir de janvier 1972. Durant les années 1973 et 1982, les rabattements se sont stabilisés même en période estivale, dénotant une certaine alimentation autre que par les précipitations directes.





Figures 4.13: relation mensuelle de précipitation-rabattement-débit de différentes années .

Discussion :

Pour la relation entre la pluie et la variation du niveau piézométrique de la nappe, on note que pour certaines années l'influence de la pluie est claire soit par une élévation du niveau piézométrique à une année pluvieuse, soit par l'abaissement du niveau piézométrique à une année moins pluvieuse, ce qui donne un indice que la recharge de l'aquifère se fait à partir des pluies.

Pour d'autres années et malgré l'augmentation des pluies, la nappe ne répond pas (fort rabattement) donc la recharge de la nappe ne se fait pas rapidement.

Certaines années et malgré la diminution des pluies, le niveau piézométrique augmente, c'est l'indice d'une autre alimentation à partir des aquifères avoisinants (du Sud vers le Nord) ou bien à cause de l'infiltration au voisinage de la nappe.

4.5-Impact du changement des précipitations sur les eaux superficielles :

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

Tableau 4.3: Apports par région hydrographique (ABH, 2003)

	Apport (Hm³/an) Période globale	Apport (Hm³/an) Période sèche	Taux de réduction en %
Oranie Chott-Chergui	385	265	31%
Cheliff – Zahrez	1650	1155	30%
Algérois- Hodna –Soummam	4290	2634	39%
Constantinois - Seybouse – Mellegue	4985	4137	17%
Sahara	620	440	29%
Total	11930	8631	28%

4.5.1-Impact des précipitations sur les eaux superficielles d'oued Rhumel:

La relation entre la pluie et l'écoulement est donnée par l'équation suivante :

$$P_{mm} = EC_{mm} + DE_{mm}$$

Où

P : lame d'eau précipitée (mm)

EC : écoulement (mm)

DE : déficit d'écoulement (mm)

➤ **variation annuelle des écoulements en fonction des pluies**

On utilise le coefficient d'écoulement pour estimer le pourcentage d'écoulement dans un bassin avec la relation

$$Ce = \left(\frac{EC}{P} \right) * 100$$

Le bassin Kébir Rhumel se caractérise par un coefficient d'écoulement ne dépassant pas 30%, selon la lithologie du bassin constitué par les calcaires néritiques et les formations du quaternaire avec les variations climatiques telle que l'évaporation.

Pour la période suivie (1973/74-1993/94), on note que :

- L'année 1983/84 marque l'écoulement le plus important avec 72.90 mm qui correspond à une précipitation de 506.2 mm (Ce=14.4%),
- L'année 1987/88 marque l'écoulement le moins important avec 4.4 mm qui correspond à une précipitation de 436.9 mm (Ce=1%),

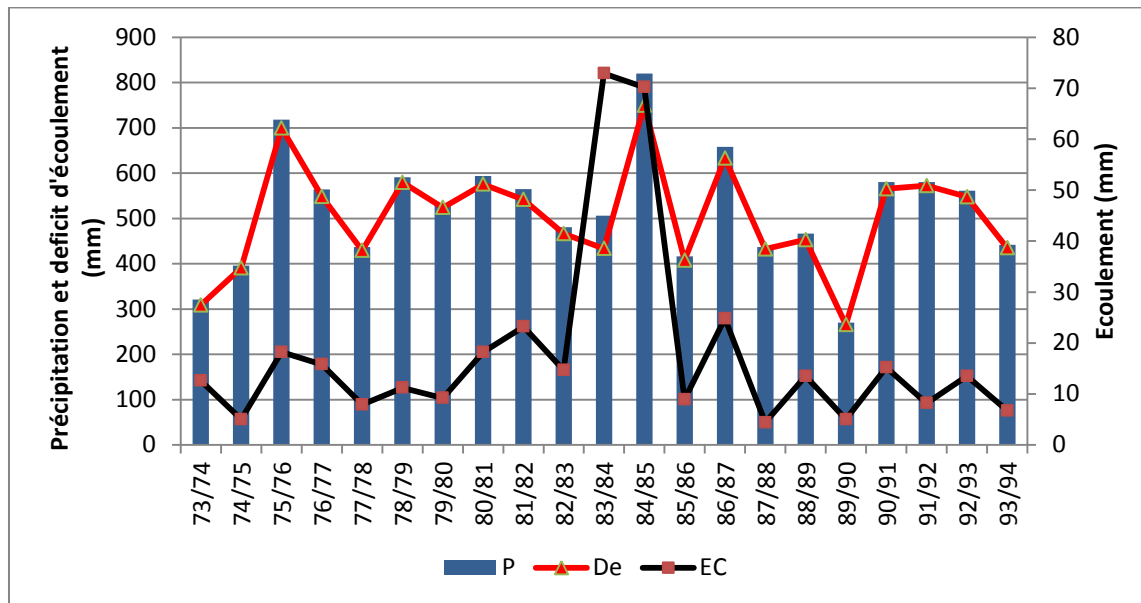


Figure 4.14: variations annuelles des précipitations, déficit d'écoulement et du ruissellement,

La plupart des valeurs (Fig.4.14) élevées de l'écoulement correspondent aux années pluvieuses, et les faibles valeurs de l'écoulement correspondent aux années moins pluvieuses, ce qui est liée d'une part aux variations des précipitations et de l'évaporation.

➤ **Variation mensuelle des écoulements en fonction des pluies :**

L'écoulement le plus important (Fig.4.15) est marqué durant le mois de février qui n'est pas le mois le plus pluvieux, les mois d'été présentent l'écoulement le plus faible

L'écoulement mensuel présente des fortes valeurs à la période des hautes eaux, et les faibles valeurs en période des basses eaux, mais le décalage entre le mois le plus pluvieux et le fort écoulement s'explique par l'infiltration des eaux des précipitations vers les aquifères qui sont un peu à secs après la période d'été.

➤ **Variation annuelle du déficit d'écoulement :**

Les valeurs du déficit d'écoulement varient entre 749.6 mm en 1984/85 où la pluie enregistrée est de 819.8 mm (DE=98.15%) alors qu'en 1989/90 où la pluie marque 270.3 mm le déficit d'écoulement est de 265.3 mm (98.15%).

Selon la figure (Fig.4.14) on remarque que la variation du déficit suit la variation de la pluie, sauf en 1975/76 et 1984/85 qui sont des années pluvieuses mais elles marquent un déficit d'écoulement supérieur à 90% ($P_{75/76} = 717.8$ mm, $DE_{75/76} = 699.6$ mm et $P_{84/85} = 819.8$ mm, $DE_{84/85} = 749.6$ mm) ce qui conduit à penser à un autre facteur climatique influant avec la pluie qui est la température donc le rôle de l'évaporation sur les eaux écoulées.

4.5.2-Relation de l'évapotranspiration réelle et l'écoulement des eaux d'oued Rhumel :

Pour calculer l'ETR on utilise la relation de TURC qui est basée sur les données de pluie et de température :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Où $L = 300 + 25T + 0.05T^3$

Et P : lame moyenne annuelle (mm)

T : température moyenne (°C),

La valeur annuelle de l'ETR est égale à 466.3 mm avec une pluviométrie annuelle de 532.5 mm.

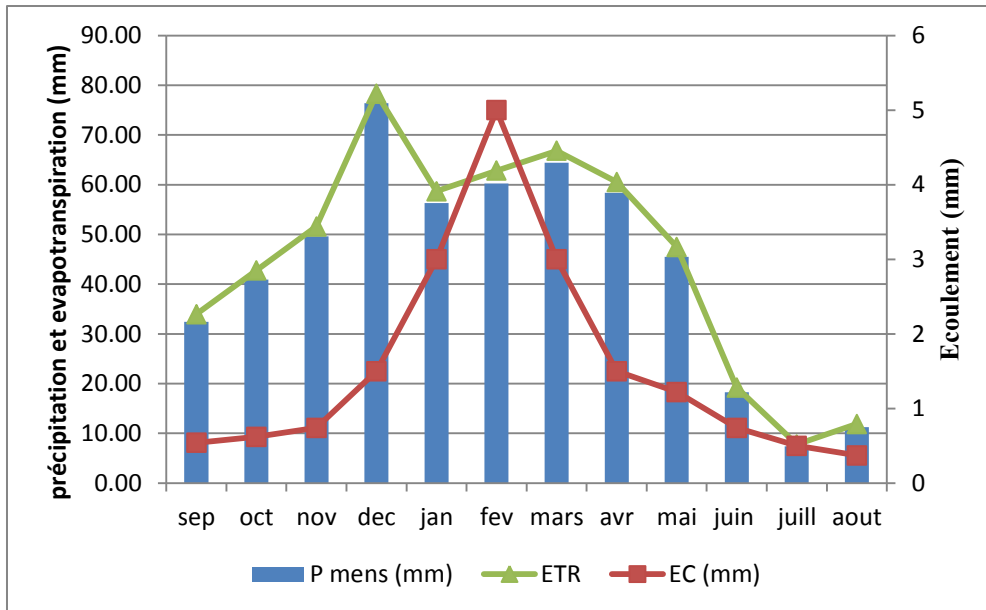


Figure 4.15 : variation mensuelle de l'ETR en fonction des pluies,

Pour l'ETR mensuelle (fig.4.15), on note qu'elle suit la variation des précipitations, où elle est élevée en décembre avec 78.3 mm et faible en juillet avec 0.37 mm.

Il y a donc un impact des précipitations sur l'écoulement des eaux superficielles et sur le déficit d'écoulement au niveau d'oued Rhumel. Ce qui fait que les précipitations et la température influent sur les quantités d'eaux superficielles.

5.1-Introduction :

La connaissance du chimisme d'eau est importante pour la détermination des différents faciès, de la qualité et la potabilité des eaux, et le suivi de l'évolution chimique de certains points d'eau, dans le temps et l'espaces. Elle nous permet aussi de comprendre les relations entre la chimie des eaux et d'autres facteurs influençant comme : les formations géologiques, les précipitations, la pollution ...

Notre étude basée sur l'analyse physique et chimique de 20 échantillons d'eaux réparties sur le terrain d'étude (Fig.5.1) en deux périodes : les périodes de haute et basse eau.

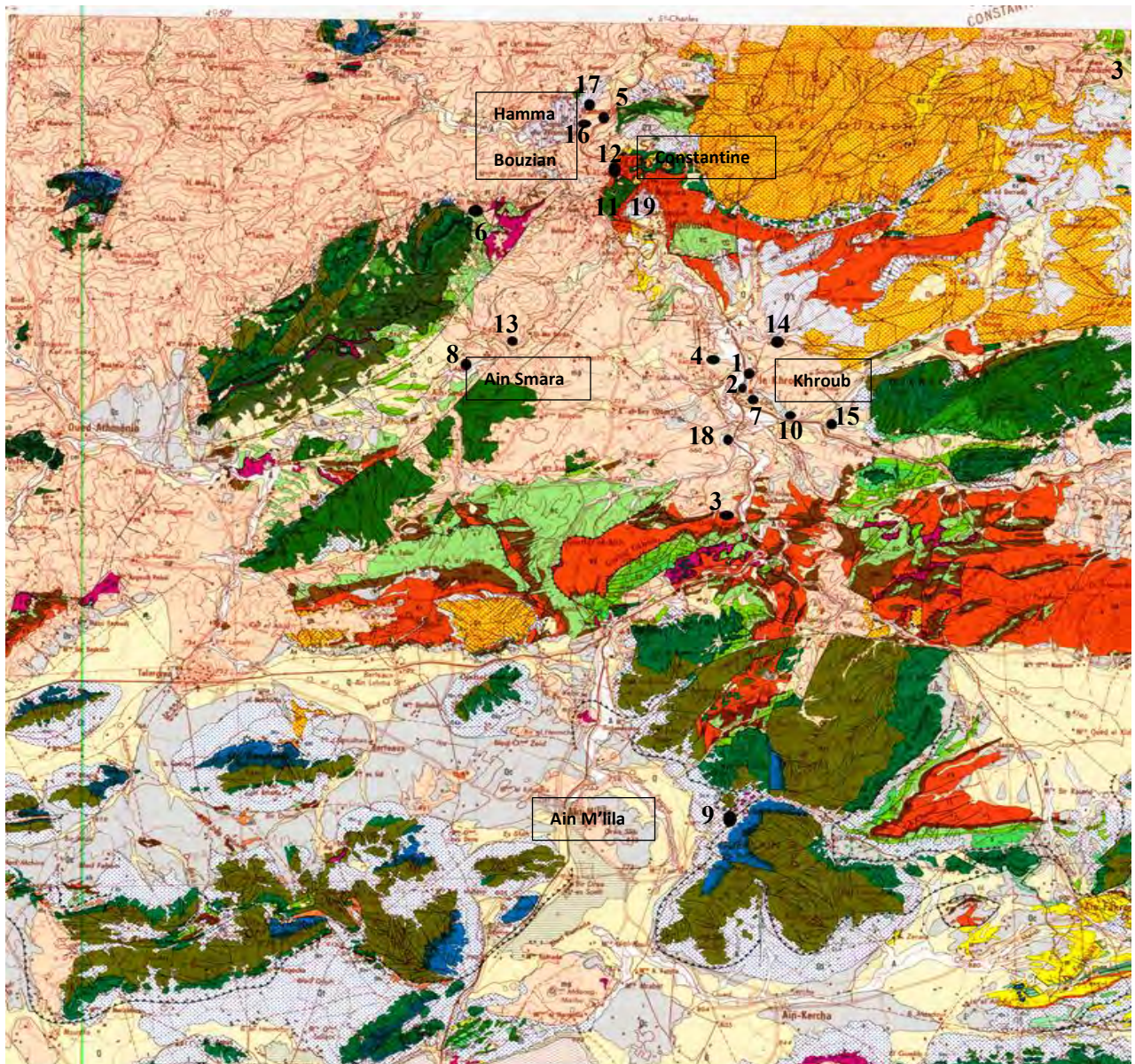
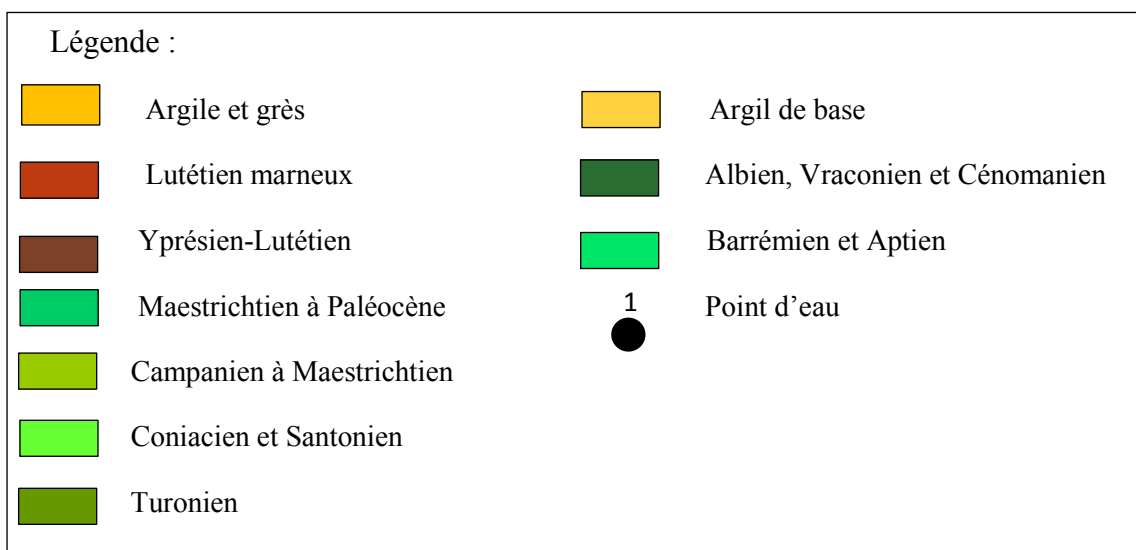


Figure 5.1 : carte d'inventaire des points d'eau analysés



5.2-Etude des paramètres physico-chimiques :

5.2.1-Etude des paramètres physiques :

Cette étude comprend la mesure de la température, le potentiel hydrogène (pH), la minéralisation, le degré hydrométrique et la conductivité.

5.2.1.1- Température de l'eau :

C'est un paramètre intéressant joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et l'évaporation des eaux.

Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

La température moyenne annuelle de notre région d'étude est de 15.19°C, et celle des eaux prélevées varie entre 14 et 34°C pour la période de haute eau, elle varie entre 15.5 et 34°C pour la période de basse eau, (voir tableau en annexe).

5.2.1.2- Potentiel hydrogène (pH) :

Il exprime la concentration en ions $[H^+]$ d'une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau ainsi que l'état d'équilibre des éléments chimiques. Le pH varie de 0 à 14.

- $pH=7$, le milieu est un milieu neutre.
- $pH>7$, correspond à un milieu basique.
- $pH<7$, pour un milieu acide.

Les résultats des pH mesurés sont présentés dans le tableau (Tab.5.1) ce dernier montre que les valeurs sont comprises entre 7.4 et 7.7 pour le mois de mai et varie entre 7 et 7.8 en septembre.

D'après les résultats obtenus, le caractère des eaux est basique au niveau de tous les points d'eau.

Tableau 5.1 : Valeurs des températures et du pH des différents échantillons.

Echantillon	T terrain °C		pH	
	T° mai	T° sep	pH mai	pH sep
F1	17	16.5	7,5	7.1
F2	18	18.5	7,4	7.5
F3	17	17	7,6	7.5
F4	17,5	17	7,5	7.4
F5	32	34	7,4	7
F6	28	32	7,4	7.4
F7	17	16	7,4	7.3
F8	16,5	16	7,7	7.8
F9	14,5	15.5	7,6	7.4
F10	16,5	17	7,4	7.5
Sc	19	19.5	7,5	7.5
F11	16	16.5	7,5	7.5
F12	16,5	17	7,6	7.4
F13	20	17	7,6	7.1
F14	19	16	7,6	7.3
F15	17	17	7,4	7.4
F16	31	30.5	7,4	7.3
F17	34	34	7,4	7.4
F18	17,5	17	7,4	7.2
F19	17	16	7,6	7.4

5.2.1.3- Conductivité électrique :

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs de la conductivité mesurée sont corrigées à une température standard de 20°C.

Le tableau (voir tableau en annexe) montre que pour la période de haute eau la conductivité varie entre 554.5 comme une valeur faible, et 2627.3µS/cm comme une valeur élevée, au niveau des forages F9 et F4 respectivement, alors que la deuxième période présente une conductivité de 556.4 comme une valeur faible et 2712.14 µS/cm comme une valeur élevée.

5.2.1.4- Alcalinité ou basicité :

5.2.1.4.1- Titre Alcalimétrique Complet ou T.A.C :

Le T.A.C donne la teneur en CO₃²⁻ en HCO₃⁻, en alcalin (Na⁺ et K⁺), en alcalineux terreux (Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺), en OH⁻ due aux hydrates alcalins (NaOH et KOH) contenues dans l'eau.

Le T.A.C traduit le caractère basique de l'eau, il est exprimé en mé/l ou en °F

$$\text{T.A.C (mé/l)} = r \text{CO}_3^- + r\text{HCO}_3^- + r\text{OH}^-$$

$$\text{T.A.C (°F)} = (r \text{CO}_3^- + r\text{HCO}_3^- + r\text{OH}^-) \times 5$$

Pour notre secteur d'étude, les valeurs du T.A.C varient de 16 (F1) à 40°F (F10), où le premier forage capte la nappe de quaternaire d'El Khroub et le deuxième capte le Mio-Pliocène pour la période de haute eau, (voir tableau en annexe)

5.2.1.4.2- Titre Alcalimétrique ou T.A:

Le T.A traduit la teneur en hydrates alcalins (Na, K, Li), en carbonates alcalins et en alcalins terreux (Ca, Mg).

Les résultats des 20 échantillons analysés montre que le T.A=0 ce qui correspond à un pH < 8.3 pour les mois de mai et de septembre (voir tableau en annexe)

5.2.1.4.3- Dureté totale DHT:

Elle exprime approximativement la teneur de l'eau en sels de calcium, magnésium, ces élément précipitent avec le savon et perdant ainsi leurs pouvoir détersif et ne mousse plus que difficilement.

Elle est égale à la somme de la concentration calcique et magnésienne, elle est exprimée en degré Français (°F).

R Ca^{++} et r Mg^{++} désignent respectivement la quantité en réaction de calcium et de magnésium en mé/l.

Dans notre secteur d'étude, les DHT sont très variables allant de 28.3 (F1) (nappe quaternaire d'El Khroub) à 110 °F (F10) (Mio-Pliocène) de la période haute eau (voir tableau en annexe)

La majorité des eaux sont très dures.

5.2.2-Etude des paramètres chimiques :

Au cours de leurs trajets et leurs séjours souterraines, les eaux dissolvent un certain nombre de substances notamment des roches sédimentaires, suivant la nature de la roche au sein de laquelle les eaux circulent et séjournent, une concentration bien déterminée des sels minéraux est obtenue.

L'analyse a permis de déterminer des éléments majeurs qui sont :

- les cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ .
- les anions : Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- .

5.2.2.1- Cations :

Calcium Ca^{++} :

La présence des ions Ca^{++} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution des formations carbonatées soit la dissolution des formations gypseuses.

Le tableau (voir tableau en annexe) présente les concentrations du calcium variant d'un forage à un autre au mois de mai et d'autres concentrations pour le mois de septembre, où la concentration faible est de 91.38 mg/l (F1, F3) et le fort est de 260 mg/l (F10) .

Magnésium Mg^{++} :

Ses origines sont comparables à celles du Calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fort teneur en Mg^{++} (magnésite et la dolomie). Mais leur forte solution nécessite un temps de contact plus long que celui du calcium.

Le tableau au-dessous (Fig.5.2) montre que tous les forages présentent une diminution des concentrations de Mg^{++} ,

Le secteur d'étude présente des valeurs de Mg^{++} variant de 09.12 (F9) ce forage qui est dans les formations de l'Aptien, à 107.69 (F10) ce dernier qui est dans les formations du Mio-Pliocène pour la période de haute et basse eau (voir tableau en annexe)

Sodium (Na^+) et Potassium (K^+) :

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportion très variables.

Le cation Na^+ a comme origine, le lessivage des formations salifères ou les rejets d'eau usée d'origine industrielle et domestique, alors que le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium rarement présent dans l'eau à des proportions supérieures à 20 mg/l. ses orines sont les argiles potassiques.

Le tableau 5.2 montre que tous les forages présentent une diminution des concentrations de ($\text{Na}+\text{K}$),

Les fortes concentrations sont observées au niveau de (F 11) avec 65.78 mg/l au mois de mai puis elle diminue en septembre, alors que le forage (F1) présente la faible concentration avec 1.99 mg/l (en septembre) alors il été 3.41 mg/l en mai.

Tableau 5.2 : Concentrations des cations

Forage	Ca mg/l		Mg mg/l		(Na+K) mg/l	
	mai	sep	mai	sep	mai	sep
F1	91,38	92.3	13,09	9.63	3,41	1.99
F2	180,36	186.15	43,94	35.26	65,32	57.15
F3	91,38	107.41	41,65	29.16	63,14	45.08
F4	226,85	220.25	89,49	85.27	10,04	8.24
F5	121,84	124.25	35,85	35.40	46,92	32.20
F6	121,84	121.84	36,81	31.08	64,36	54.05
F7	193,19	190.25	33,85	26.25	61,53	57.16
F8	100,2	96.20	30,6	28.26	54,28	27.14
F9	97,8	98.8	11,4	09.12	9,58	7.22
F10	260,52	260.52	107,69	18.75	5,94	3.14
Sc	195,59	194.6	40,57	37.26	45	42.65
F11	188,38	191.63	39,61	38.5	65,78	58.75
F12	123,45	124.3	26,25	24.15	13,61	11.5
F13	121,04	130.66	29,62	28.68	6,67	3.99
F14	89,78	101.85	12,37	10.25	10,58	9.17
F15	108,22	112.75	28,67	26.85	25,11	20.13
F16	121,84	121.85	34,89	33.19	40,1	24.6
F17	124,25	135	36,81	34.15	37,07	34.18
F18	185,17	195.32	31,46	28.97	61,99	55.4
F19	115,43	114.98	13,3	12.10	61,6	54.9

5.2.2.2- Anions :

Chlorures (Cl⁻) :

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation qui est due à la dissolution des sels naturels, les rejets d'eau usée d'origine domestique. Il peut aussi provenir des rejets industriels tels que l'acide chlorhydrique, par les engrais chimiques et aussi par les précipitations atmosphériques ce dernier facteur qu'on essayera dans les titres suivants de trouver s'il y a des relations avec la pluie et le Cl.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées où la teneur en Ion chlore des eaux naturelles est inférieur à 50mg/l, dans notre cas la majorité des forages dépassent cette valeur à l'exceptionnelle des forages F8, F9 et F14 qui présentent les valeurs suivantes :

39.05, 39.05 et 28.40 mg/l pour la période de haute eau et pour la période basse eau on note un abaissement pour les même forages : 31.95, 31.5 et 25.5 mg/l, ces forages qui captent successivement les formations suivantes : Calcaire du Crétacé, l'Aptien et le Mio-pliocène. (Voir tableau en annexe)

Sulfates SO_4^{2-} :

La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses, l'oxydation de l'anhydrite sulfureuse atmosphérique par les eaux de pluie ou par l'oxydation des eaux usées industrielles contenant de l'acide sulfurique.

Les analyses chimiques (voir tableau en annexe) montrent des teneurs varient de 20 mg/l (F9) et 382 mg/l (F10) pour le mois de mai alors que le mois de septembre montre des valeurs entre 17 (F9) et 380 mg/l (F10)

Bicarbonates (HCO_3^-):

Résultant de la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique.

La concentration des bicarbonates dans l'eau est fonction des paramètres suivants :


- la température de l'eau.
- la tension du CO_2 dissous.
- la concentration de l'eau en sels et la nature des terrains traversés.

Les valeurs de HCO_3^- (voir tableau en annexe) varient de 201.3 (F1) à 488 mg/l (F10) pour la première période et varient de 207.23 (F8) et 483 mg/l (F10) pour la deuxième période.

5.3- Etude des rapports caractéristiques :

Cette étude permet de connaître la prédominance des éléments chimiques contenus dans l'eau (voir tableau en annexe)

- **Rapport $\frac{r Mg}{r Ca}$** , avec :

$\frac{r Mg}{r Ca} > 1$  Prédominance du Magnésium

$\frac{r Mg}{r Ca} < 1$  Prédominance du Calcium

$\frac{r Mg}{r Ca} = 1$  Equilibre

Les résultats d'échantillons du secteur d'étude montrent la prédominance des Ca^{++} par rapport au Mg^{++} pour tous les points d'eau.

- **Rapport** $\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}}$, avec :

$$\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}} > 1 \quad \Longrightarrow \quad \text{Prédominance des sulfates}$$

$$\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}} < 1 \quad \Longrightarrow \quad \text{Prédominance des chlorures}$$

$$\frac{r \text{ SO}_4}{r \text{ Cl}} = 1 \quad \Longrightarrow \quad \text{Equilibre}$$

La majorité des résultats présentent une répartition inférieure à 1 qui traduit la prédominance des chlorures par rapport aux sulfates, sauf au F8, F10 et la source qui marquent une prédominance des sulfates.

- **Rapport** $\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Cl}}$, avec :

$$\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Cl}} > 1 \quad \Longrightarrow \quad \text{Prédominance de Sodium}$$

$$\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Cl}} < 1 \quad \Longrightarrow \quad \text{Prédominance des chlorures}$$

$$\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Cl}} = 1 \quad \Longrightarrow \quad \text{Equilibre}$$

L'étude du rapport $\frac{r \text{ Na}}{r \text{ Cl}}$ montre que tous les points d'eau présentent des valeurs inférieures à 1 sauf au forage (F8) (Forage d'El Khroub), ce qui traduit la prédominance des chlorures par rapport au sodium.

5.4-Classification et potabilité des eaux :

Il existe plusieurs classifications des eaux naturelles basées sur la composition chimique des eaux et leurs origines ou gisement,

Les classifications les plus utilisées sont :

- Classification de Stabler ;
- Classification de Schoeller et Berkallof ;
- Classification de Piper.

5.4.1- Classification de Stabler :




Pour cette méthode, les concentrations exprimées en (mé/l) sont réduites en quantités en réactions pourcent (r%), et peuvent être exprimées de façon imagée par une formule caractéristique (ou formule ionique) qui s'obtient en classant les r% de gauche vers la droite et par ordre décroissant.

Toutes les eaux peuvent être classées en trois groupes : Bicarbonatées, Sulfatées et Chlorurées.

Selon échantillons analysés, notre secteur d'étude est caractérisé par un faciès bicarbonaté calcique comme le faciès dominant, le faciès chloruré calcique et sulfaté calcique comme des faciès moins (voir le diagramme en annexe).

5.2.4.2- Classification de Scholler et Berkallof:

Les résultats des analyses chimiques (voir le diagramme en annexe) sont représentés sur un diagramme logarithmique vertical correspond aux principaux ions analysés. Ce diagramme a l'avantage de permettre :

- d'obtenir graphiquement le CO₂ libre.
- des comparaisons entre les normes de potabilité.
- la détermination du pH d'équilibre (pHeq), il donne, donc, une idée sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau, où :
 - Si : $pHeq > pH \text{ mesuré}$  l'eau est agressive ;
 - Si : $pHeq < pH \text{ mesuré}$  l'eau est incrustante ;
 - Si : $pHeq = pH \text{ mesuré}$  l'eau est neutre.

Les résultats de notre secteur d'étude montrent un caractère incrustant pour tous les forages analysés.

5.2.4.3- Classification de Piper:

Le diagramme de Piper permet d'établir une classification des eaux susceptibles de constituer un moyen d'interprétation de l'évolution chimique des eaux.

Le diagramme obtenu de la région étudiée (Fig.5.2) présente un faciès bicarbonaté calcique, chloruré et sulfaté calcique.

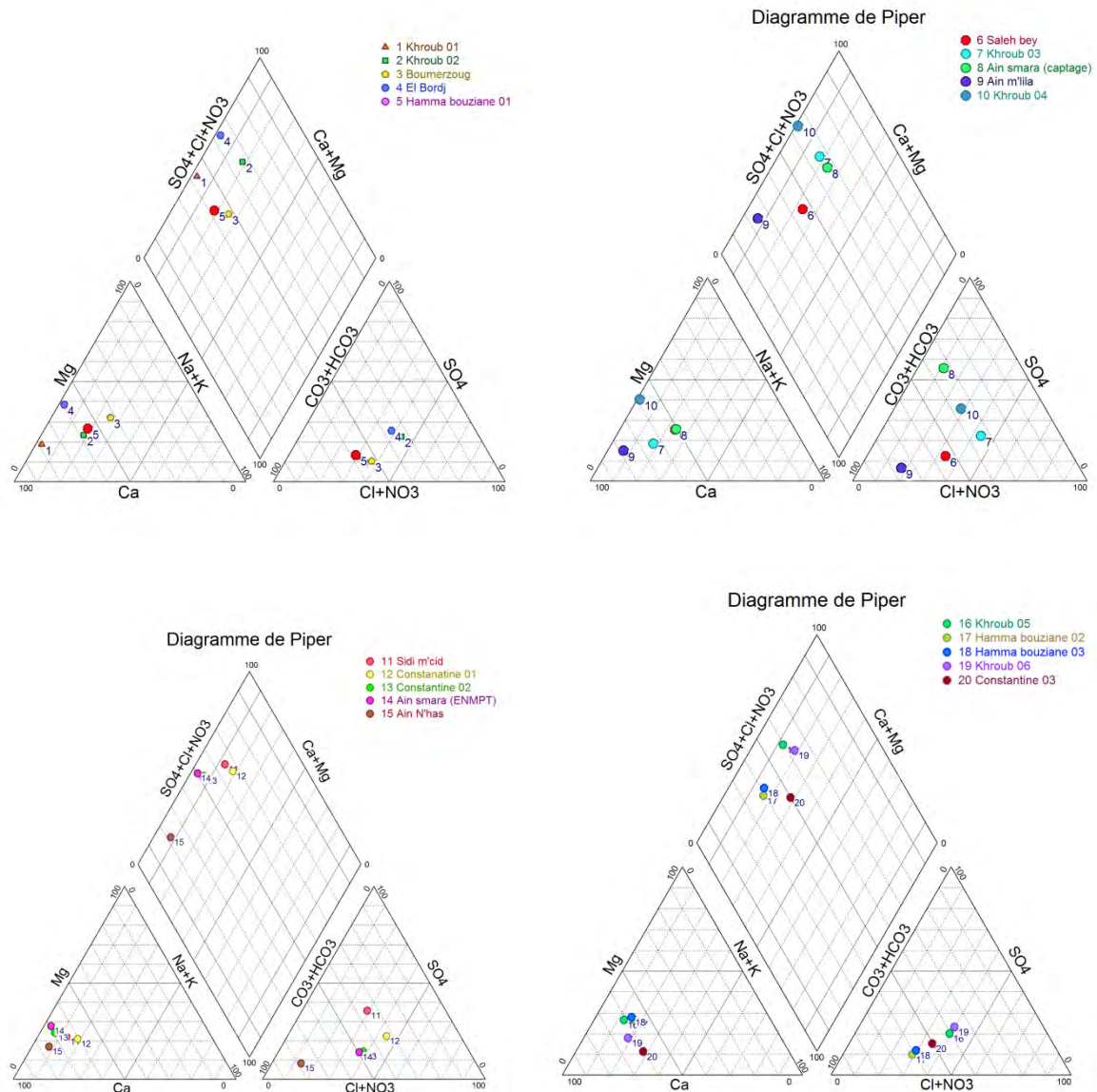


Figure 5.2: diagramme de Piper pour les points d'eaux de la région de Constantine

A partir des résultats des diagrammes précédents on voit que les eaux de la région étudiée présentent les trois faciès de l'eau : faciès bicarbonaté calcique, chloruré calcique et sulfaté calcique.

5.4.4-Normes et classe de qualité des eaux :

Les eaux souterraines influencées par les terrains traversés subissent des changements de leurs caractéristiques chimiques qui ne doivent pas dépasser certains seuils de potabilité réalisée par l'OMS.

Selon les normes de l'OMS et suivant le tableau (voir tableau en annexe) la majorité des points d'eau présentent une eau de très bonne qualité où les valeurs des éléments chimiques ne dépassent pas les normes de l'OMS, c'est le cas de : F1, F3, F5, F6, F9, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F19. Pour les deux périodes.

5.5-Evolution physique et chimique des eaux des forages en fonction des précipitations :

Les sulfates et les chlorures sont introduits dans les eaux souterraines soit par la dissolution des formations géologiques du réservoir soit par l'eau météorique, les engrais chimiques et les rejets industriels avec des doses variables, et la conductivité liée au minéralisation de ce fait, chaque changement au niveau d'un de ces facteurs produit des variabilités sur le chimisme de l'eau, comme notre objet d'étude c'est de trouver des corrélations entre précipitations et chimisme d'eau donc de trouver s'il y a un changement chimique/physique des eaux analysées en fonction d'un changement des précipitations.

Les eaux météoriques et les eaux qui arrivent aux nappes profondes ne sont pas neutres à cause de la pollution d'air et le trajet de ces eaux vers le profond, donc on ne peut pas donner des explications exactes sur les variations des éléments chimiques mais on essaye de baser sur les variations des concentrations en fonction des variations des pluies.

La conductivité est l'indice de la minéralisation des eaux ; donc la teneur en sels minéraux, la variation de la conductivité s'explique par la variation des concentrations des sels minéraux, dans notre étude on a basé sur le suivi de l'ABH entre 1998-2004 donc seulement le suivi des concentrations des sulfates, des chlorures et de la conductivité et notre analyse de l'année 2013.

5.5.1-Forage de Boumerzoug (1998-2013) :

➤ Evolution de la conductivité :

L'évolution de la conductivité est irrégulière (Fig.5.3), où elle marque :

- La conductivité est égale ou supérieure à 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et elle marque deux périodes d'augmentations entre (1998-1999 et 2001-2002) et entre (2003-2007) ; jusqu'à 1266.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la première série et jusqu'à 1315 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la deuxième série.
- Deux périodes de diminutions entre (2000/2001-2001/2002) et (2007-2013), avec 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la première série et 1140.36 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour la deuxième série.
- Et elle marque une stabilité entre la période (2001/2002) et (2002/2003) avec une valeur de 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

➤ Evolution des chlorures :

Les valeurs des chlorures sont comprises entre 120 et 172 mg/l entre l'année 1998-1999 et 2013, où deux périodes de d'augmentation des valeurs sont marquées entre 1998-2000 et 2004-2006, et deux périodes de diminution la première entre 2000-2003 (146 à 120) et la deuxième entre 2006-2013 (172 à 142 mg/l). (Fig.5.3)

L'année 2003 présente la faible valeur et l'année 2006 marque la valeur la plus forte.

➤ Evolution des sulfates :

Une évolution continue des sulfates entre l'année 1998-1999 et 2002-2003 où les valeurs sont comprises entre 122 et 150 mg/l, alors elles varient de 76 à 132 mg/l entre 2004-2007. L'année 2013 marque une chute des valeurs jusqu'à 54 mg/l. (Fig.5.3)

➤ Evolution des précipitations :

Les valeurs des précipitations utilisées pour cette étude sont enregistrés au niveau de la station d'Ain El Bey où on a les utilisées pour la relation précipitation-paramètres physique et chimiques de tous les forges suivis.

Les précipitations marque une augmentation de 397 à 767.6 mm entre (1999-2000 et 2002-2003) puis elle diminue jusqu'à l'année 2005-2006 avec 458.3 mm, à partir de cette année elle augmente une autre fois jusqu'à 510 mm pour l'année 2013.

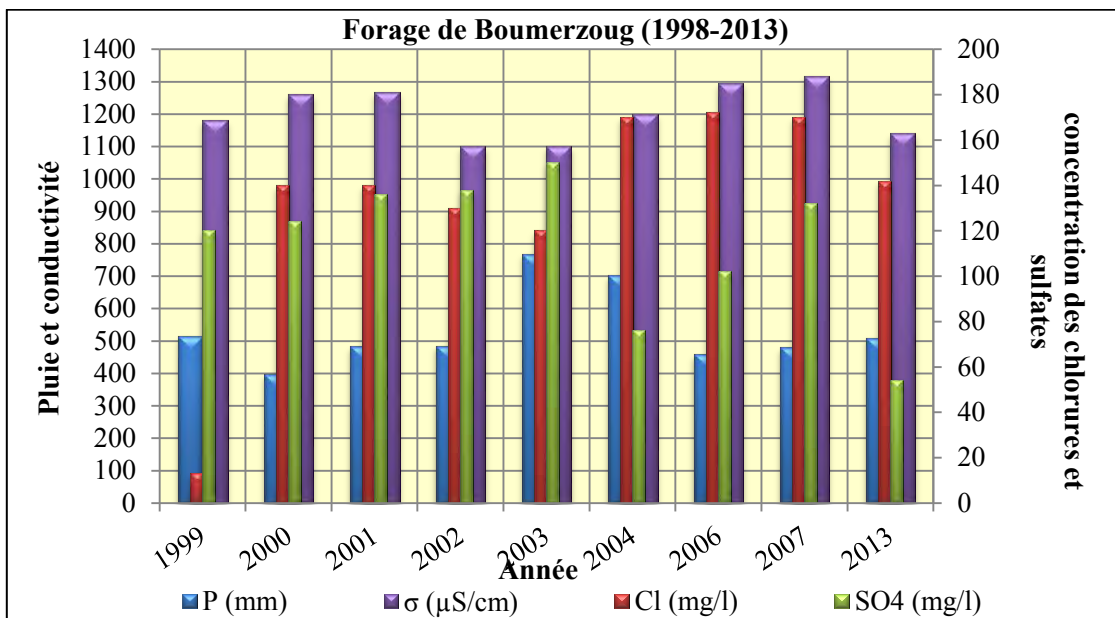


Figure 5.3 : Evolution chimique du forage de Boumerzoug (1998-2013)

Discussion:

A partir des résultats précédents ; on peut remarquer que :

- La conductivité est égale ou supérieure à 1100 μ S/cm.
- Deux périodes d'évolutions sont présentées par chaque paramètre (diminution et augmentation).
- Les sulfates, les chlorures et la conductivité présentent la même variation à partir de l'année 2004.
- La diminution est de 32 mg/l pour les chlorures, et de 78 mg/l pour les sulfates entre l'année 2007 et 2013.

Une relation claire entre précipitation annuelle-conductivité d'un côté et précipitation-sulfates d'autre coté, présente pendant la période 1998-2013 pour tous les forages, où les diagrammes (Fig.5.3; Fig.5.4, Fig.5.5, Fig.5.6, Fig.5.7, Fig.5.8) montrent bien surtout la corrélation précipitation-conductivité où:

- La diminution de précipitation annuelle suivie par une augmentation de conductivité et des sulfates.
- L'augmentation de précipitation annuelle suivie par une diminution de conductivité et des sulfates.

5.5.2-Forage de Hamma Bouziane (1998-2013) :

➤ Evolution de la conductivité :

Comme le forage de Boumerzoug, la conductivité de ce forage marque une irrégularité d'évolution au niveau des valeurs (Fig.5.4),

Pendant la période 1998- 1999 et l'année 2013, on marque :

- 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme une valeur faible en 2002/2003.
- 1220 $\mu\text{S}/\text{cm}$ comme une forte valeur enregistrée en 2005 et 2007.
- Alors que l'année 2013 marque 1087.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

➤ Evolution des chlorures :

Les chlorures sont compris entre 113.6 et 135 mg/l pour la période 2004-2013 où la plus faible valeur est celle de l'année 2013 et la plus forte c'est en 2004 (Fig.5.4).

Les valeurs sont stables pendant 1998-2001 et 2002-2003.

Une décroissance continue à partir de 2004 jusqu'à 2013.

➤ Evolution des sulfates :

Les valeurs des sulfates sont variées de 80 à 189 mg/l entre 1998-2005, puis une croissance des valeurs marquée à partir de l'année 2006 jusqu'à l'année 2013 cette dernière qui marque 72 mg/l qui est la faible valeur alors que la forte est marquée en 2005 (Fig.5.4).

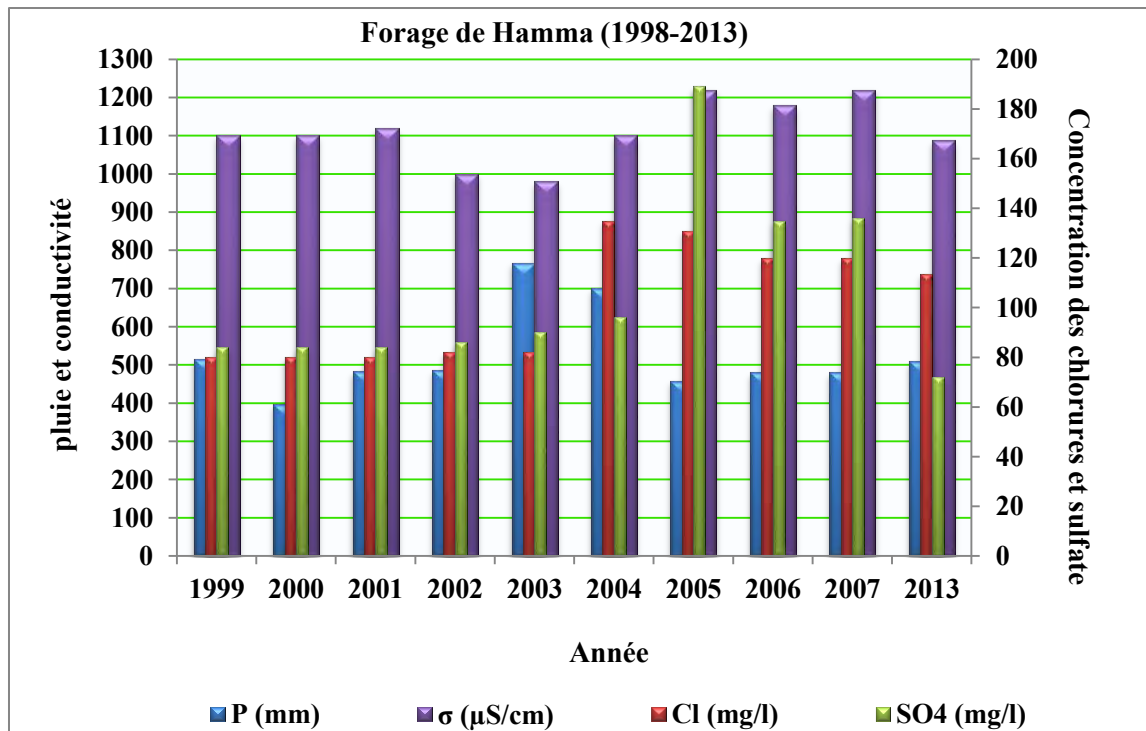


Figure 5.4 : Evolution chimique de l'eau du forage d'El Hamma (1998-2013)

Discussion :

La figure et les résultats montrent :

- Une stabilité pour tous les paramètres entre 1998 et 2000.
- Une augmentation continue puis une diminution pour les sulfates, les chlorures et la conductivité.
- L'année 2005 présente la forte valeur pour les sulfates et la conductivité.
- La diminution entre l'année 2007 et 2013 est de 6.4 mg/l pour les chlorures, et de 64 mg/l pour les sulfates.

Pour ce forage, la corrélation précipitation-conductivité est claire où quand le premier facteur augmente le deuxième diminue pour toutes les années suivies.

Une relation opposée entre la pluie et le Cl pour l'année 2003, 2004, 2005 et 2006 où l'augmentation du premier facteur suivi par une diminution du deuxième facteur et la décroissance de la pluie suivi une croissance des chlorures, alors que l'année 2001, 2002, 2004 et 2005 présente que les variations de concentration du Cl suivi la pluie donc une variation similaire entre les deux facteurs.

A partir de l'année 1999-2000 on note une variation des quantités des pluies avec une stabilité pour les concentrations des sulfates, puis à partir de l'année 2002 jusqu'à 2005, on note l'augmentation continue des SO_4^- avec une variation annuelle continue pour ces années.

Entre l'année 2007-2013 l'évolution des précipitations suivies par une diminution des sulfates, donc ce forage présente en quelques années une relation pluie- SO_4^- positive et en autres années on note une relation négative.

5.5.3-Forage de Salah Bey (1998-2013) :

➤ Evolution de la conductivité :

Le forage de Salah Bey présente des valeurs supérieures à 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour les séries 1998-2004 et 2006-2007, puis on marque une diminution en 2005 avec 1130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et en 2013 avec une valeur de 1196.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.5.5).

➤ Evolution des chlorures :

Les valeurs des chlorures sont variés de 120 à 163 mg/l pendant 1998-1999 jusqu'à 2013, l'année 1998-1999 présente la plus faible valeur et l'année 2005 marque la forte valeur alors que l'année 2013 présente 142 mg/l des chlorures (Fig.5.5).

➤ Evolution des sulfates :

Des périodes de croissance et des périodes de décroissance des valeurs des sulfates entre l'année 1998 et 2013 avec 94 mg/l (2004) comme la faible valeur, et 195 mg/l (2005) comme la forte valeur(Fig.5.5).

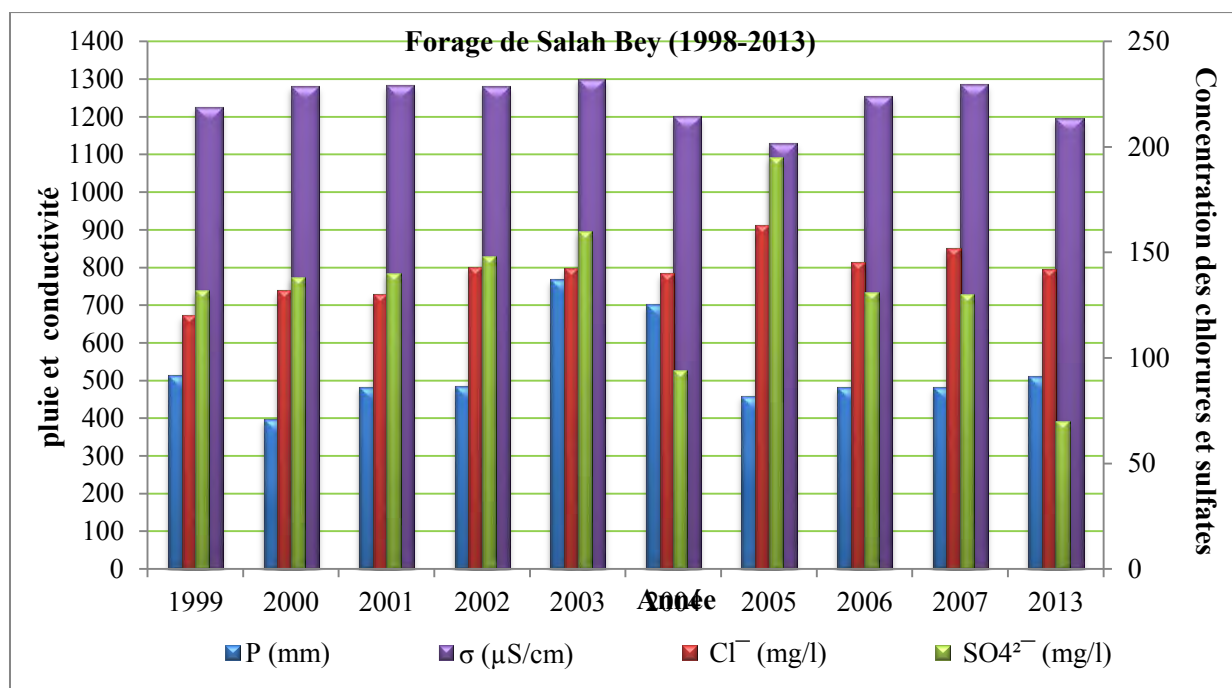


Figure5.5 : Evolution chimique du forage de Salah Bey (1998-2013)

Discussion :

- une évolution avec les deux stades (croissance et décroissance) pour chaque élément ;

- les fortes valeurs des chlorures et des sulfates correspondent à la faible valeur de conductivité.
- Décroissance de 10 mg/l pour le Cl^- et de 60 mg/l pour le SO_4^{2-} entre l'année 2007-2013.

Même pour ce forage la relation entre la pluie et la conductivité est présente,

A partir de 1999 jusqu'à 2001 et entre l'année 2002-2003, 2004-2005 et 2007-2013 l'évolution des chlorures et d'une façon inverse que les précipitations, alors que pour les autres années on note une évolution similaire entre les deux facteurs,

A partir de l'année 2000 jusqu'à 2003, une élévation continue des SO_4^- suivi l'augmentation continue des pluies, puis en 2004, 2005 et 2006 l'abaissement des précipitations suivi par un abaissement des sulfates, et entre 2007 et 2013 une augmentation de précipitation suivi par un abaissement des sulfates,

5.5.4-Forage d'Ain Smara captage (2004-2013) :

➤ Evolution de la conductivité :

Le suivi de ce forage se fait à partir de 2004 jusqu'à 2013. La conductivité est augmentée d'une année à une autre de 2004 à 2007 à partir de 2000 jusqu'à 2255 $\mu\text{S}/\text{cm}$ successivement puis elle diminue en 2013 jusqu'à 956.32 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (presque la moitié de la valeur de 2007), cette dernière qui est la faible valeur (Fig.5.6).

➤ Evolution des chlorures :

Les valeurs des chlorures sont comprises entre 170 mg/l (2004) et 260 mg/l (2006) puis une chute des valeurs jusqu'à 39.05 mg/l en 2013 (Fig.5.6).

➤ Evolution des sulfates :

Les sulfates sont toujours en évolution avec le temps pour la période 2004-2007 où les valeurs sont comprises entre 298 et 374 mg/l, puis l'année 2013 marque la faible valeur des sulfates avec 264 mg/l (Fig.5.6).

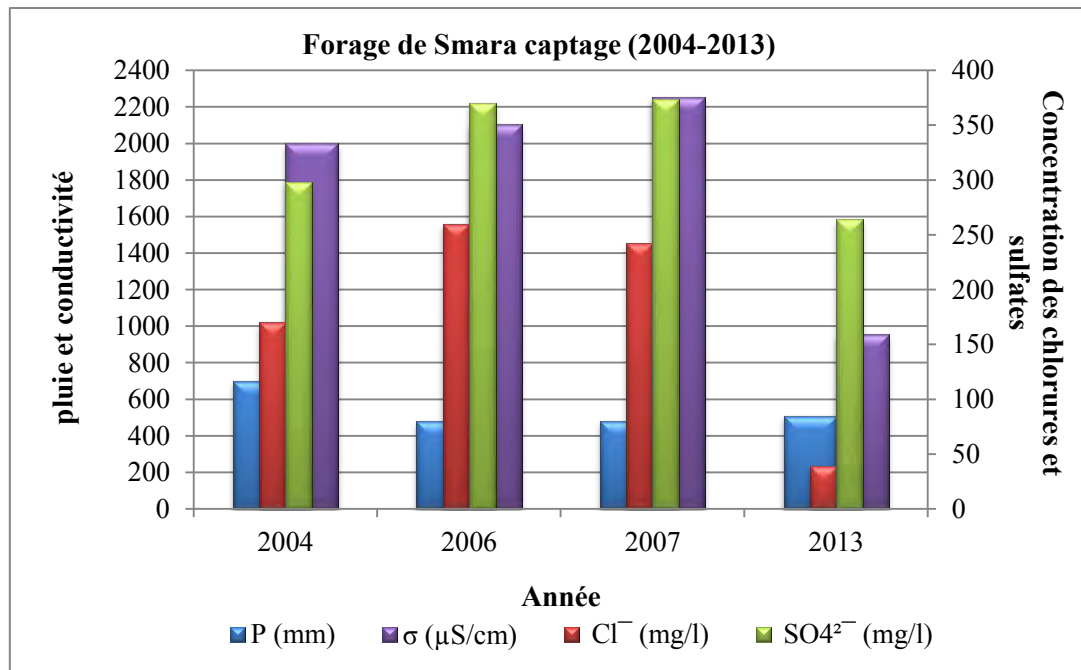


Figure 5.6 : Evolution chimique de l'eau du forage d'Ain Smara captage (2004-2013)

Discussion :

- La décroissance de la conductivité de l'année 2007 à l'année 2013 est presque la moitié, elle est de 202.95 mg/l pour les chlorures et 110 mg/l pour les sulfates.
- La concentration des chlorures est inférieure aux concentrations des sulfates pendant la période étudiée.
- Les sulfates et la conductivité présentent une évolution identique.

Même pour un enregistrement de quatre années on marque l'influence des précipitations sur la conductivité.

Ce forage présente une relation inverse entre la pluie et Cl entre ces deux paramètres,

La stabilité des précipitations entre l'année 2006-2007 suivie par une élévation des sulfates, et en 2013 (au contraire de 2004-2006) la pluie s'est élevée et suivie par une diminution des SO₄⁻.

Ce forage présente une relation inverse entre les précipitations et les sulfates.

5.5.5-Forage d'Ain Smara ENMTP (2004-2013) :

➤ Evolution de la conductivité :

La faible valeur est marquée en 2013 avec 1123 μS/cm après une diminution de valeur, alors que la forte valeur est marquée en 2006 avec 1315 μS/cm.

➤ Evolution des chlorures :

Une décroissance continue des chlorures pour ce forage de 185 mg/l en 2004 jusqu'à 113.6 mg/l en 2013 (Fig.5.7).

➤ Evolution des sulfates :

Les valeurs des sulfates augmentent d'une façon continue à partir de 96 mg/l en 2004 jusqu'à 160 mg/l en 2007 puis une chute en 2013 avec une valeur de 60 mg/l des sulfates (Fig.5.7).

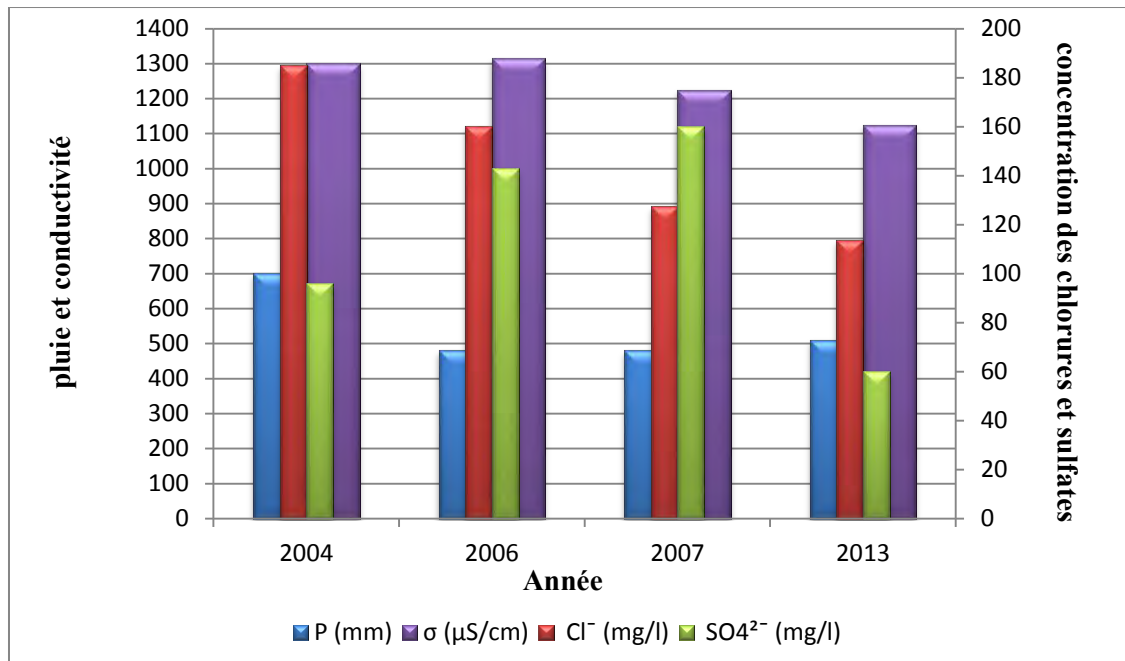


Figure 5.7: Evolution chimique du forage d'Ain Smara ENMTP (2004-2013)

Discussion :

Pendant la période 2004-2007 ; les chlorures et les sulfates présentent une évolution inverse.

- La diminution des concentrations est de l'ordre de 14 mg/l pour le Cl⁻, et 100 mg/l pour les SO₄²⁻ entre l'année 2007-2013.

L'influence des précipitations sur la conductivité est claire pour ce forage.

Les chlorures de l'eau de ce forage présentent une évolution inverse que les précipitations où entre 2007-2013 la quantité des pluies augmente alors que la concentration du Cl diminue, entre 2006-2007 la pluie garde la même quantité (P=480.7 mm) mais la concentration des chlorures marque une diminution de 32mg/l.

Ce forage enregistre la même évolution que le forage précédent entre précipitation et sulfates, donc la relation inverse entre les deux facteurs existe là aussi.

5.5.6-Forage d'El Khroub (2004-2013):

➤ Evolution de la conductivité :

Comme le forage précédent, la conductivité présente une augmentation des valeurs à partir de 2004 jusqu'à 2007 de 1200 jusqu'à 1390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ puis elle marque une diminution en 2013 jusqu'à 756.16 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.5.8).

➤ Evolution des chlorures :

Les valeurs des chlorures augmentent avec les temps de 80 mg/l en 2004 jusqu'à 150 mg/l en 2007 puis elles diminuent en 2013 jusqu'à 63.9 mg/l (Fig.5.8).

➤ Evolution des sulfates :

La période 2004-2007 présente une évolution continue des sulfates de 192 jusqu'à 198 mg/l puis l'année 2013 présente une valeur de 34 mg/l qui est la plus faible valeur(Fig.5.8).

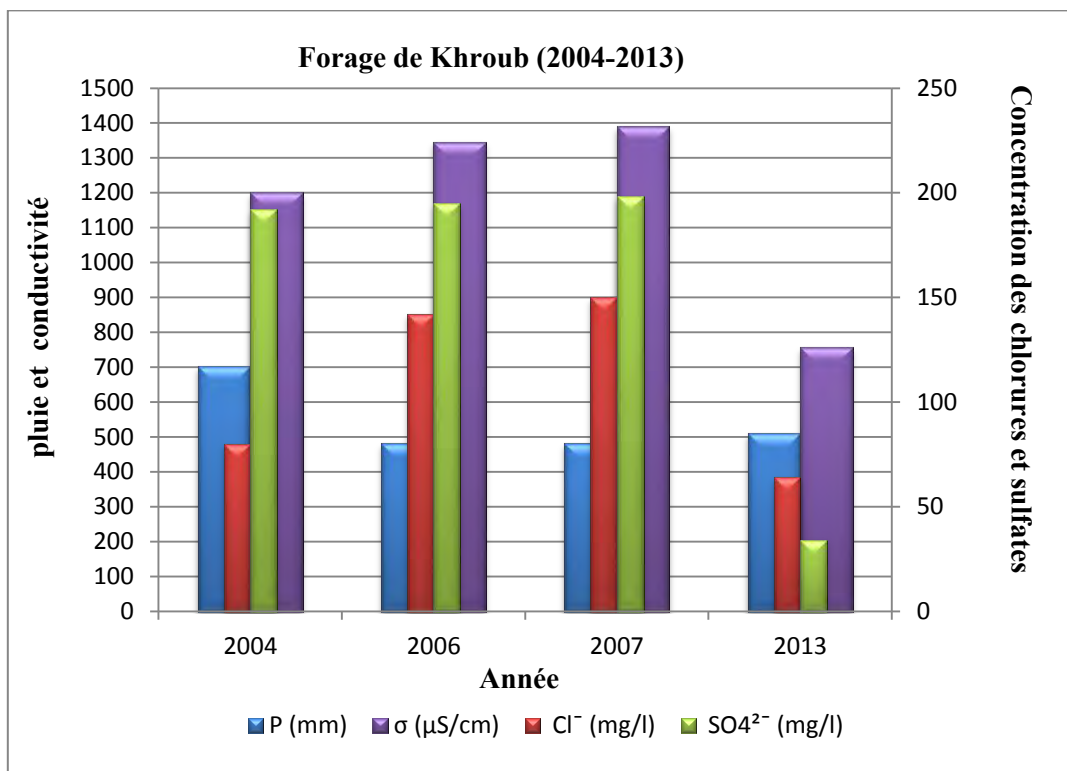


Figure 5.8 : Evolution chimique de l'eau du forage d'El Khroub (2004-2013)

Discussion :

- Les résultats précédents présentent une évolution identique pour les trois paramètres,

- Les chlorures marquent une diminution entre l'année 2007-2013 de l'ordre de 86.1 mg/l alors que les sulfates marquent une diminution de 164 mg/l pendant la même période.

L'évolution du Cl entre 2004 et 2006 se fait d'une façon opposée que l'évolution des pluies où cette dernière marque une diminution alors que le Cl marque une augmentation, et entre l'année 2007-2013 la pluie augmente et le Cl marque un abaissement,

Entre l'année 2004-2006 la diminution de la pluie est suivie par une augmentation des sulfates.

Deux années de stabilités marquées au niveau des précipitations avec une élévation des sulfates. en 2013, on enregistre que la pluie augmente et la concentration des sulfates diminue.

5.5.7- Discussion et conclusion :

Les résultats obtenus des différents forages montrent que :

- pour la conductivité les valeurs sont supérieures à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sauf au forage de Hamma Bouziane qui enregistre 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- tous les forages marquent une décroissance de valeur en 2013 ;
- selon les normes de l'OMS, tous les forages présentent une minéralisation moyenne car les valeurs sont comprises entre 750 et 1500, (sauf le forage de Smara captage), Et aussi pour les chlorures et les sulfates, les six forages suivis montrent des valeurs inférieures au seuil précisé par l'OMS ($< 250 \text{ mg/l}$) sauf le forage d'Ain Smara captage (F8) qui dépasse les normes pour les sulfates (264 mg/l).

L'évolution des précipitations et de la conductivité montre bien une corrélation entre les deux facteurs où chaque changement pour le premier facteur correspond par un changement du deuxième pour la même année, donc la relation précipitation-conductivité est claire pour tous les forages suivis.

Les variations des chlorures et des sulfates suivis par fois l'évolution des précipitations et parfois présente une évolution inverse ce qui conduit à penser à une influence des pluies sur la concentration du Cl et SO_4^- .

5.6- suivi de quelques forages dans la région de Constantine :

Un suivi de quelque forage (Tab.5.3) en certaines années présente une relation claire entre la pluie et la conductivité qui est une relation inverse pour tous les forages (qui marquent une élévation des pluies avec une diminution de la conductivité) sauf F1 qui présente une augmentation de la conductivité après une diminution de la pluie, suivi par une augmentation de la conductivité.

Pour les chlorures, tous les eaux des forages présentent une élévation opposée avec les précipitations (sauf F3), alors que les sulfates suivent l'élévation des précipitations ou la relation est positive sauf pour F1 et F7 où on note l'inverse.

Tableau 5.3 : suivi de certains forages dans la région de Constantine.

Forage	année	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	P (mm)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ - (mg/l)
F1	1984	1675	882	160.2	98.3	200.15	372.5	260
	1996	1742	628	198.42	123.14	175	365	256
F2	1989	871	372	85.4	16.92	102.13	20.44	210.15
	1998	799	576	113.25	22.05	88.75	35.25	198.35
F3	1994	7468	451	217.5	76.14	340.5	790.2	620
	2003	7157	767	211.85	89.85	385.15	875.15	612.4
F4	1994	4381	451	197.3	98.22	296	633	389
	2003	3879	767	198.75	157.25	289.77	638.5	405.25
F5	2002	2441	485	179.1	53.4	324.3	394.34	210.5
	2004	2315	701	179.55	20.1	317.4	402.54	208.11
F6	2000	731	397	182.4	36	300.15	790.12	530.01
	2013	625	510	185.26	34.5	299.29	791.2	532.17
F7	1997	2256	506.4	100.15	77.32	275.3	348.10	207.8
	2013	2264	510	70.52	55.36	248.01	345.1	212.04

5.7- Variation de la minéralisation de certaines sources en fonction des pluies :

Un suivi mensuel de la température et de la conductivité des sources Sidi Mcid, Salah Bey, ainsi qu'un suivi journalier de la source Ain Zouaoui, au cours du cycle hydrologique 1984-1985 a permis de constater une corrélation assez particulière entre les variations de la minéralisation et les événements pluviométriques sur l'ensemble des émergences, (Djebbar, 2005) (fig.5.9).

En effet, la comparaison entre les impulsions pluviométriques avec le chimisme global des principales émergences a permis d'obtenir une approche des modalités d'infiltration du système, des vitesses de circulation d'eau, et donc du temps de séjour de l'eau dans le système avant émergence, (Djebbar, 2005)

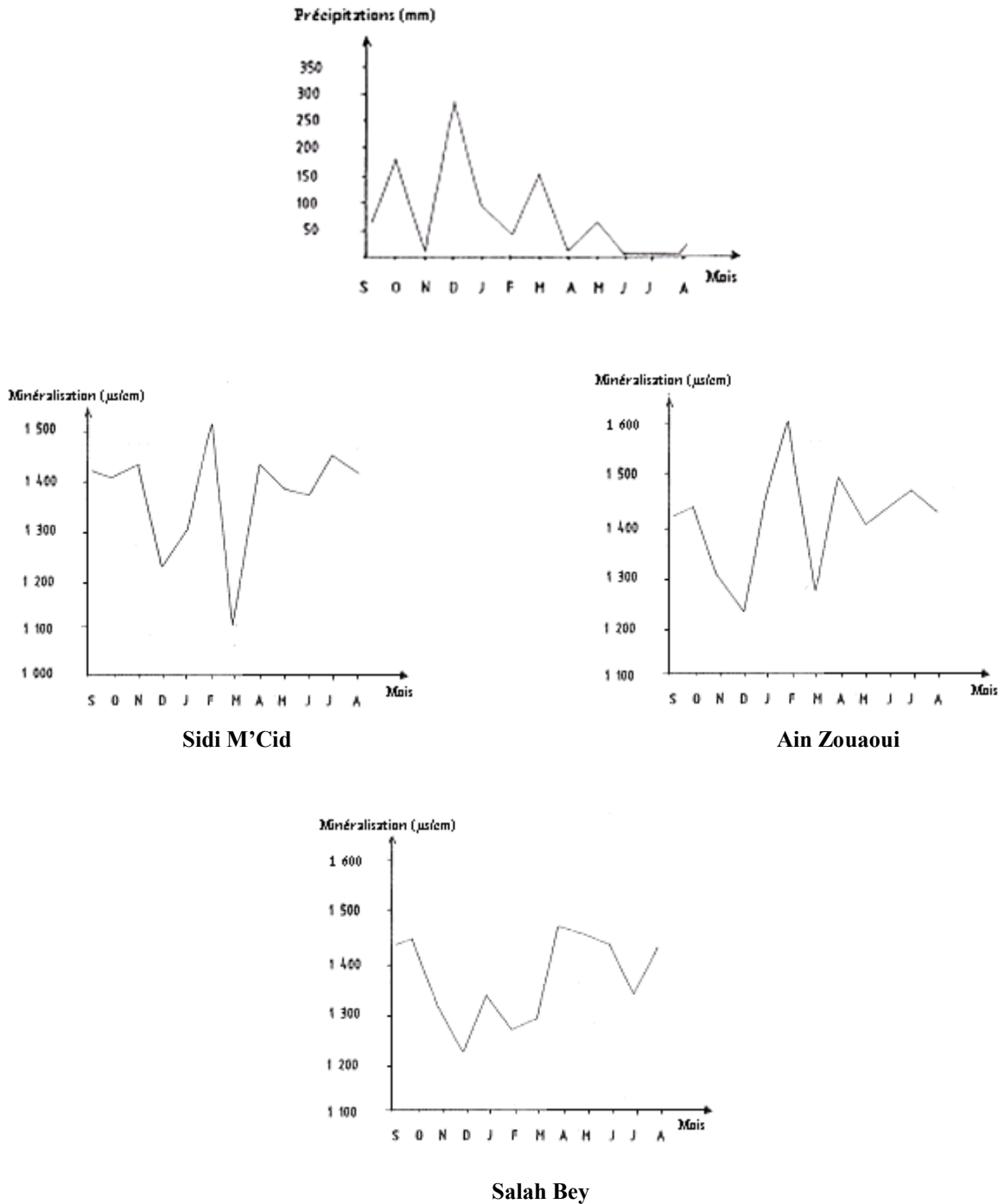


Figure 5.9: Variations mensuelles de la minéralisation des eaux des principales sources du système Ain Zouaoui, Sidi M'Cid et Ain Salah Bey au cours du cycle 1984-1985 (Djebbar, 2005)

Les eaux de sources Ain Zouaoui et Sidi M'Cid, montrent des variations du chimisme global se produisant 1 à 4 jours après les précipitations et traduisant une infiltration rapide des eaux. D'autres réponses chimiques apparaissaient 10 à 14 jours, après l'évènement pluviométrique, signifiant une infiltration assez lente ou différée des eaux, (Djebbar, 2005)

De ce fait, on peut parler bien sur une corrélation entre les précipitations et les variations annuelles et mensuelles du chimisme des eaux des sources et des forages dans le secteur d'étude,

Discussion et conclusion :

Naturellement, quand les précipitations augmentent la conductivité diminue à cause de la dilution des formations traversées par l'eau,

Dans notre cas, pour les données annuelles :

On a marqué que la faible minéralisation se produit lors des fortes précipitations et la minéralisation élevée enregistrée pendant les faibles précipitations, de ce fait on note une synchronisation entre les événements pluviométriques et la réponse chimique.

Mais on ne sait pas les dates des mesures de la minéralisation au niveau de la direction de l'ABH pour les eaux des différents forages, c'est pour quoi on ne peut pas assurer qu'il y a où qu'il n'y a pas un retard d'infiltration des eaux en périodes de haute ou basse eau,

Le suivi des différents forages localisés à Constantine montre une corrélation entre les précipitations et la conductivité d'une côté et la précipitation, les chlorure et les sulfates d'autre côté ; où la plupart des années montre une relation inverse entre la pluie et les éléments chimiques

Pour les données mensuelles:

A l'année 2013 la corrélation est fait entre le mois de mai et de septembre où on a enregistré que la minéralisation est élevée en mai c'est-à dire au période de haute eau (P=50mm) par contre elle est basse en septembre c'est-à dire au période de basse eau (P= 20mm), pour tous les forages (sauf le forage de Smara ENMTP),

En plus le suivi mensuel des sources de la source de Ain Zouaoui, Sidi M'cid et Salah Bey par l'étude de Mme Djebbar (2005) nous a donné la même réponse que nos forages c'est-à dire que la minéralisation est forte lors des faibles précipitations et elle est faibles pendant les fortes précipitations, ce qui signifie une infiltration assez lente ou différée des eaux, ou bien le temps de séjour de ces eaux est assez grand ce qui lié au circulation lente de l'eau.

De ce fait on a un retard de réponse entre la pluie et la conductivité donc les résultats précédents traduis : un retard d'infiltration ou la vitesse de circulation de l'eau est assez lente donc un temps de séjour assez long.

Dans le chapitre précédent, on a signé qu'il y a un retard de réponse pluie-débit pour la source de Hamma Bouziane entre 1995-2005, donc peut-être affirme ce qu'on a trouvé pour le retard des réponses chimiques des eaux des différents forages et sources et d'écrire qu'il y a un impact des précipitations sur le chimisme de l'eau comme il est claire pour les sulfates et la

minéralisation, ce qui nous permet de dire que chaque changement au niveau des précipitations se suivi par des variations du chimisme d'eau.

CONCLUSION GENERALE

Le secteur d'étude fait partie du bassin versant Kébir Rhumel. Il est caractérisé par un climat semi-aride et une pluviométrie annuelle moyenne de 529 mm pour la région de Constantine et 327 mm pour la région d'Ain M'lila. L'analyse des données pluviométriques annuelles anciennes (1913-1938) et récentes (1971-2011) montre une diminution des précipitations avec le temps pour la région étudiée. Les précipitations montrent une diminution remarquable pour les séries récentes par rapport aux séries anciennes.

Sur une série d'observation de 40 ans, la température moyenne annuelle marque une augmentation continue.

La décroissance des précipitations influe également sur le taux de ruissellement et d'infiltration où on observe une relative diminution durant les séries récentes (1979 – 2011).

Les ressources en eau souterraines de la région d'étude sont contenues essentiellement dans les aquifères karstiques avec, en plus quelques aquifères de faibles extensions dans les formations mio-plio-quadernaires. Des suivis des débits de la source de Hamma Bouziane et celle de Boumerzoug et les variations du niveau d'eau de la nappe de Boumerzoug et le suivi des eaux d'Oued Rhumel présentent d'une façon claire l'impact des variations des pluies sur le niveau piézométrique.

L'étude hydrochimique montre l'existence de trois groupes de faciès chimiques : le faciès bicarbonaté calcique (le plus dominant), le faciès Chloruré et le faciès sulfaté calcique,

L'évolution chimique des eaux de quelques forages présente une valeur de conductivité supérieure à 1000 μ S/cm et une décroissance des valeurs pour l'année 2013.

La conductivité et les sulfates suivent les variations des précipitations alors que les chlorures montrent une relation inverse avec les événements pluviométriques.

Cette étude montre que l'Est Algérien et particulièrement la région de Constantine est influencée par le changement climatique qui touche le monde et qui influe, avec le temps, sur les ressources d'eau (quantité et qualité) ce qui nous pousse à penser aux solutions pour conserver nos ressources contre la diminution des quantités ou bien la dégradation de la qualité.

BIBLIOGRAPHIE :

A.B.H (agence de Bassin hydrographique) (2009) : qualité des eaux souterraines dans les bassins du Kebir-Rhumel, de la seybouse et de la Medjarda-Mellegue, 2004-2007.

Achour-Bouakkaz Nawel, 2006 :La Relation entre l'ilot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bati : cas de la ville d'Alger.

ARRIS Y., (1994) : Etude tectonique et micro tectonique des séries jurassiques à plio-quadernaires du Constantinois central (Algérie nord orientale) caractérisation des différentes phases de déformations. Doctorat d'université, Nancy I.

Bakalowicz M., (1976) : Géochimie des eaux karstiques : une méthode d'étude de l'organisation des écoulements souterrains. Actes coll. Hydol. Pays Calcaires, Besançon-Neuchatel.

Bakalowicz, M., (1979) : Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P et M Curie paris.

Bakalowicz, M., Mangin, A., (1980) : L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. Mém. h. sér. Soc. géol. France.

Bakalowicz, M., (1992) : Géochimie des eaux et flux de matières dissoutes. L'approche objective du rôle du climat dans la karstogénèse, Karst et évolutions climatiques. Presses Universitaires de Bordeaux, Bordeaux.

Bakalowicz M., (2005) : Eau, sociétés, économie et politique. Quelle place pour le spécialiste de l'eau, Master M1 STEE Université Montpellier II.

Benabbas C., (2006) : Evolution Moi-Plio-Quaternaire des bassins continentaux de l'Algérie nord oriental : Apport de la photogéologie et analyse morphostructurale.

Bouedja. F., (2010) : Tectonique actuelle et récente et risque sismique de la région de Constantine. Thèse de Magister. Université de Constantine.

Bouhadi.2010 : contribution à l'étude hydrogéologique de la région de Constantine et le rapport des géothermomètres chimiques. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine

Boularak.M., (2003) : Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin du Boumezoug. Vulnérabilité des eaux souterrains et impact de la pollution sur la région d'El Khroub. Thèse de Magister. Université de Constantine.

Bouroubi. Y., (2009) : Etude hydrogéologique du synclinal de la Taoura : Fonctionnement et évolution des ressources en eaux souterraines. Thèse de Magister. Université de Constantine.

Coiffait P E., (1992) : Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale). Thèse Sciences. Nancy I.P.

COTE.M., (1974) : Les régions bioclimatiques de l'est algérien. C.U.R.E.R Université de Constantine.

Djebbar M., (2005) : Caractérisation du système karstique hydrothermal Constantine-Hamma Bouziane -Salah Bey dans le Constantinois central (Algérie nord orientale) Thèse de Doctorat.

Djebbar M., (2006) : Le système karstique hydrothermal constantinois (algérie nord orientale) : structure et fonctionnement. Acte 8^{ème} colloque d'hydrogéologie en pays calcaire, AISH, - UNESCO, Neuchâtel.

Drogue, C., (1971) : Coefficient d'infiltration ou infiltration efficace, sur les roches calcaires. Ann. Sc. Univ. Besancon, 3^{ème} série.

Durozoy, G., (1952) Hydrogéologie du massif calcaire crétacé des monts de Constantine étude préliminaire. Ed Publ.Soc.Géol. Carte Géol. Algérie.

Durozoy. G., (1960) : Etude géologique de la région de chateaudun du Rhumel. Thèse en science Alger. 1958.

Durozoy G., (1960) : Les ressources en eau des masses calcaires crétacées de la région de Constantine (étude hydrogéologique appliquée). Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural- service des études scientifiques, Clairbois-Birmandreis, Alger.

Françoi Renard, Octobr 2002 : Master professionnel-DESS cours d'hydrogéologie.

GUELLALS S et AL. 1973a : Permis d'Ain Reggada, rapport interne. (BEICIP-SONATRACH).

Guirard R., (1973) : Evolution post Triasique de l'avant pays de la chaîne Alpine en Algérien d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Thèse doctorant. Univ.Nice.

Jeannin P.Y., (1993) : Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques. Thèse, Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchatel.

Kamel Mostafa-Kara, 2008 : Aperçu du changement climatique en Algérie, Alger, 2006.

KAZI-TANI N., (1986) : Evolution géodynamique de la bordure nord-africaine: le domaine inter-plaque nord-algérien. Approche mégaséquentielle. Thèse Doctorat en Sciences, Université de Pau et des Pays de l'Adoure, 2 tomes.

Khrief Naceraddine Saliha, 2006 : Etude de la variabilité des températures extrêmes et pérennité des arbres urbains dans la région de Constantine.

Laffite R., (1939) : Etude géologique de l'Aurès. Thèse, Paris, Bull. Serv. Carte géologique Algérie, Alger, 2^{ème} édition.

Marmi R., Chadi M., Ines M., (2001) : Synthèse stratigraphique du Constantinois. 1^{er} Séminaire sur la Géologie du Grand Constantinois 06-07 Novembre Constantine.

Mangin A., (1975) : Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques, constitution et fonctionnement des aquifères karstiques, Ann. Spéléol..

Mangin, A., (1978) : Le karst, entité physique abordé par l'étude du système karstique, Colloque de l'Association des Géologues du Sud-Ouest, Tarbes, pp.

Marsaud B., (1996) : Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts à partir des résultats expérimentaux. Thèse, Univ.Paris XI Orsay.

Marsily de G., (1980) : Cours d'hydrogéologie. Centre d'information géologique. E.N.S. des mines de Paris.

Mebarki A., 1982. Ressource en eau et aménagement en Algérie : le bassin du Kebir Rhumel. O.P. U. Alger.

Molinari J., (1976) : Perspectives offertes par l'utilisation rationnelle des traceurs naturels et artificiels en hydrologie karstique. Commentaires de nombreux exemples récents de multi traçages. Ann. Sc. Univ. Besancon, 2 ème Colloque Hydrologie en pays calcaire, fasc, 25, 3ème série, 1976.

Nour Eddine Rebbahi, 2008 : La série néritique du constantinois central : massif du chettabah, djebel Felten, lithostratigraphie, sédimentologie et caractérisation hydrogéologique <région de Constantine>.

Raoult J F., 1974 : Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord - Constantinois, Algérie).

Souag M., (1985) : Etude hydrogéologique hydrochimique et isotopique de la nappe néritique septentrionale de Constantine N-E Algérien. Thèse doctorat Univ de Paris Sud France.

Suiki Souheila, 2007 : les argiles du bassin de Mila-Constantine : composition minérale, chimique, caractéristiques géochimiques et répartition des gisements.

Vila J.M., (1980): La Chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doc. Sc. Nat. Univ. P et M Curie. Paris.

Wildi W., (1983) : La chaîne tello-rifaine (Algérie - Maroc - Tunisie) : Structure stratigraphique et évolution du Trias au Miocène. Revue géol. Dyn. Géogr. Phys ; vol 24.

Données :

-Document technique VI du GIEC, Le Changement climatique et L'eau

-Données climatiques (précipitation et température) par l'ANRH de Constantine.

-Les données des débits et le rabattement par SEACO.

-Rapport SEACO 2012.

-Rapport BRGM/RP-55799-FR, novembre 2007 : Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison de pluies 2006 : résultats et interprétation (rapport final).

-Rapport final BRGM/RP-54717-FR, Mai 2006 : Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2005 : résultats et comparaison avec la 1ère campagne de basses eaux (2004) et la 1ère campagne de saison des pluies (2004)

-rapport C501/JBH-Fevrier 1997.

-Rapport national de l'eau et adaptation septembre 2009.

-Rapport d'ONM Alger 2004.

Cartes consultées :

-Cartes géologique et topographique de Constantine à la 1/200000 et 1/50 000 avec notice explicative.

-Cartes géologique et topographique de El Khroub 1/50 000.

-Cartes géologique et topographique d'Ain M'lila 1/50 000.

-Carte structurale du Nord- Est Algérien, (W. Wildi, 1983).

-Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M., 1998).

-Carte pluviométrique régionale d'A.N.R.H 1993.

-Carte des ressources en eau souterrain du Nord de l'Algérie.

Références sur le web :

- <http://www.partagedeseaux.info/article49.html>
- <http://www.fao.org/news/story/fr/item/79964/icode/>
- http://www.cnrm.meteo.fr/gmgec/news/Annales.Mines-Impacts.Eaux.Climat_2007.pdf
- <http://www.gisclimat.fr/thematique/changement-climatique-ecosystemes-usage-des-sols-et-ressources-en-eau>
- http://www.mnr.gov.on.ca/fr/Business/ClimateChange/2ColumnSubPage/STEL02_168691.html
- <http://ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=3E75BC40-1>
- <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/produits-services/publications/changements-climatiques/changements-climatiques-impacts-adaptation/715>
- <http://www.actualites-news-environnement.com/20291-eau-fleuves.html>
- http://www.futura-sciences.com/fr/question-reponse/t/rechauffement/d/le-changement-climatique-modifie-t-il-le-cycle-de-leau_1096/

- source: <http://www.lorient-lejour.com.lb/page.aspx?page=article&id=337362>
- <http://vertigo.revues.org/index.html>
- www.huffingtonpost.fr/news/etude-rechauffement-climatique
- [fr.wikipedia.org/wiki/Réchauffement_climatique](http://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9chauffement_climatique)
- whc.unesco.org/document/102379
- <https://www.ec.gc.ca/sc-cs/Default.asp?lang=Fr&n=56010B41-1>
- www.notre-planete.info › Terre › Climatologie / météo
- www.algerie-focus.com/.../rechauffement-climatique-conclusions-du-gie
- www.elmouwatin.dz/IMG/article_PDF/article_a4269.pdf
- www.djazairss.com/fr/latribune/26779
- www.cntppdz.com › Activités › Changements Climatiques
- www.meteo.dz/index.php?option=com_content&view=article&id
- www.meteo.dz/Changements%20Climatiques.php
- www.algeriepatriotique.com/.../de-nouvelles-preuves-confirment-le-chan..
- www.vitaminedz.com/changement-climatique...algerie.../Articles_138_1
- www.algerie-dz.com/article9929.html
- www.umc.edu.dz/buc/theses/architecture/ACH4663.pdf
- enpi-seis.ew.eea.europa.eu/south/algeria/country...algeria.pdf
- www.undpcc.org/docs/.../Algerie_Rapport_national_eau_adaptation.pdf
- www.semide.net/.../changements%20climatiques%20_mediterranee.pdf
- www.arteliagroup.com/.../vulnerabilite-et-adaptation-aux-changements-climatique
- www.iisd.org/cckn/pdf/north_africa_fr.pdf
- www.cntppdz.com/.../changements%20climatiques/Vulnerabilite%20
- www.ensh.dz/files/public/30/fran.pdf
- www.universalis.fr/encyclopedie/chlorures-naturels

- www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1251805000014890
- www.lenntech.fr/sulfates.htm
- www.universalis.fr/encyclopedie/sulfates-naturels
- www.civil.usherbrooke.ca/cours/gci714/PDF/Chap2_4.pdf
- <https://www.pnst.cerist.dz/detail.php?id=48108>
- www.afriquescience.info/docannexe.php?id=2299
- <https://www.pnst.cerist.dz/detail.php?id=48108>
- www.univ-setif.dz/MMAGISTER/images/.../Bouedja%20foued.pdf
- www.univ-setif.dz/MMAGISTER/images/.../BELABBAS%20S.pdf

ANNEXE

Tableau 01 : précipitation mensuelle de la station d'Ain El Bey

	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
1979	109,4	28,6	56,4	36,4	46,6	95,2	66,8	191,8	16,8	35,5	14,4	4,5
1980	57,3	17,5	49,3	115	46,7	46,7	65,1	44,2	84,5	10,5	0,2	4,3
1981	47,7	31,3	26,6	62,4	86,3	70,4	41,2	94,9	17,9	20,8	0,8	20,4
1982	17,8	62,6	82,7	103,6	86,9	73,6	99,9	64,6	47,2	14,9	3,6	6,1
1983	7,1	35,4	46,4	21,6	11,7	15,3	59,9	6,8	25,7	3,9	8,1	10,8
1984	24,2	115	6,1	335,1	132,6	164,3	31,2	43,6	9,8	10,8	6,5	3,4
1985	39,2	30,9	26,8	26	67,8	27,3	157,4	20,6	63,2	1,1	0,6	1,4
1986	37,7	43,1	78,6	108,3	99,9	31,9	90,5	29,2	9,5	23,8	3,3	5,6
1987	3,1	53,7	36,5	15,3	48,5	129,8	86,1	22	43,3	27	25	8,4
1988	31,9	4,1	17,7	130	66,8	47	62,5	37,3	41,2	56,6	14,3	2,6
1989	21,6	45,5	15,3	7,8	31	44,3	48,9	51,9	31,2	22,4	25,8	27
1990	21,3	9,5	115,4	99,9	56	57,9	23,3	33,6	26,7	12,4	1,8	26,3
1991	43,7	88,3	21,8	21	20,9	67,1	92,8	59,3	81	8,5	3,1	1,5
1992	20,6	22,9	116,1	192,8	52,8	33,2	49,5	134,5	97,3	10,7	17,3	10,3
1993	22,1	11,9	22	126,6	49,5	58	25,5	12,3	52,8	3	2,9	4,8
1994	28,8	90,6	24	49,4	66,1	87,5	18,1	78,8	6	0	0,3	2
1995	47,5	8,3	42,5	28,4	216,1	17,5	84,7	30,1	5,9	52,4	0	1,2
1996	15	10	26	47	88	181	54	67	62	42	21	15
1997	38,9	50,2	110	65,5	33,1	22,4	59	57,7	18	33,2	1,2	17,2
1998	75,2	32,6	135,3	53,1	36,4	52,7	37,4	70,8	49,6	18,3	6,5	8,9
1999	58,7	35,7	79,2	93,6	73,7	42,1	57,6	31,7	10,5	20,4	3,3	7,7
2000	18,4	38,3	31,7	57,7	17,4	36	14,4	32,9	84,4	43,6	6,5	15,7
2001	79,2	48,3	28,5	20	123,4	44,7	17,6	38,3	52,9	18,9	0,2	10,4
2002	22,3	26,8	134,7	109,7	23,5	53,3	18,2	31,8	17	4,5	19,4	24
2003	61,5	46	19,8	148	231,2	50,2	31,7	120,1	44,4	1,2	2,4	11,1
2004	24,5	30,4	142,9	181,2	87,2	11,5	66,4	47,5	66,2	29,7	0,6	12,9
2005	14,4	2,1	18,6	63,1	46	55,8	28,7	61,4	6,8	13,9	7,9	6,8
2006	26,2	10	19,1	118,8	78,9	50,3	33,4	14,7	83,8	3,6	0,9	18,6
2007	59,9	39,1	23,8	84,4	14,2	28,9	117,8	66,2	26,1	13,6	4,3	2,4
2008	38,8	21	37,6	27	9,9	8,7	72,6	23,1	58,2	5,8	11,3	33,9
2009	103,9	49,4	24,9	47,1	76,4	48,6	81,1	113,3	43,4	0	2	37,5
2010	37,3	48,1	76,4	33,7	74	30,5	46,9	67,2	50	16,5	2	8
2011	8	174,5	65,4	66,4	40,6	24,2	7	5,2	13,4	87	26,8	53,3

Tableau 02 : température mensuelle de la station d'Ain El Bey

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
1971	6,7	5,8	7	14	15,8	20,2	24,6	27,7	19,4	15,1	8,6	7
1972	6	8,3	11	9,9	13,9	20,2	23,5	23	19,9	14,8	12,1	6,9
1973	6,3	5,2	6,4	11	19,1	22,1	25,9	24,2	22,7	15,9	10,2	7,1
1974	7,4	7,1	10	10	18,1	22,4	23,7	24,2	20,9	13,2	9,9	6,6
1975	6,7	6,9	8,2	12	15,2	19,9	25,9	24	22,1	14,6	9,6	7,3
1976	5,2	6,7	7,4	11	14,9	18,8	22,5	23,6	19,3	14	8	8,5
1977	8,2	9,9	12	13	16,3	20	24,9	23,2	18,8	17,5	11,5	8,8
1978	5,3	9,6	9,3	11	14,9	20,6	24,3	24,2	19,6	13,1	8,6	9,9
1979	9,6	8,8	9,6	9,2	15,8	21,4	24,7	24,6	18,7	17,1	8,7	7,5
1980	6,4	7,9	9	10	13,6	20,6	24,1	25,3	21,1	14,3	11,2	5,1
1981	4,5	6,9	12	14	17,4	21,4	22,9	23,7	21	17,6	10,2	9,4
1982	7,8	7,5	8,7	11	16,1	24,4	27,7	24,7	21	16	10,8	6,2
1983	5,2	6,7	9,1	14	17,6	22	27,3	24,6	21,4	15,8	12,5	7,7
1984	6,8	5,9	7,9	13	15,2	21,6	16	23,5	20,3	14,2	11,9	7
1985	5,3	10	7,7	13	15,4	23	27	24,7	20,1	15,7	12,5	7,8
1986	6,2	7,6	9	12	19,1	20,9	24,2	26,2	20,9	16,7	10,5	6,5
1987	6,1	7,1	8,6	14	14,8	21,7	25,7	27,2	23,9	19,2	10,7	9,6
1988	8,4	7	9,2	14	18,4	21,5	26,7	26	20,3	18,5	12	6
1989	5,8	7,8	11	12	16,6	20,5	25,5	26,2	21,4	16,1	13	10,9
1990	6,8	10,4	11	12	17,1	24,1	24,5	23,5	24,3	18,5	11,4	5,7
1991	5,9	6,1	11	9,9	12,9	20,7	25,5	25,4	22	16,1	10,4	5,8
1992	5,1	6,8	8,9	11	16	19,2	22,7	24,9	21,8	16,7	11,9	7,1
1993	5	5,8	8,6	12	17,3	22,6	25,4	26,2	21,7	17,8	10,9	7,8
1994	7,5	8,3	11	10	19,7	22,5	26,7	28,7	22,9	16,8	12,7	7,9
1995	5,9	9,7	9	11	18,2	21,9	25,9	24,5	20,7	16,7	11,5	10,1
1996	9,1	6,5	10	12	16,4	19,7	24,9	25,6	19,3	14,5	12,2	9,6
1997	8,3	9,1	9,1	12	19,9	24,9	25,5	25,3	21	16,7	11,7	8,3
1998	7,1	8,1	9,4	13	16,2	23,6	26,5	25,4	22,2	14,5	10	6,4
1999	7,1	5,5	10	13	21	24,2	25,4	28,8	23,1	19,3	10,4	7,5
2000	4,6	8,2	11	15	20,1	22,3	26,9	26,4	21,9	15,9	12,3	9,1
2001	8	7,4	14	12	17,2	23,8	27,1	26,3	21,6	20,2	10,9	6,6
2002	6,4	8,6	11	14	18,7	24,8	25,6	25	21,3	17,9	12,3	9,2
2003	7	6,3	11	14	17,7	25,3	28,4	27,4	20,9	18,6	12	6,8
2004	7,2	8,8	11	12	15,1	21,4	25,7	26,9	21	19,4	9,9	7,9
2005	4,6	4,7	11	13	19,2	23,9	26,8	24,7	21,1	17,8	11,8	7
2006	5,5	6,9	11	16	20,1	24,9	26,8	24,4	21	19,1	12,5	8,4
2007	8,3	9,4	9	13	17	23,2	26,2	25,9	21,2	16,9	9,9	6,8
2008	7,4	8,2	9,7	14	18,3	21,8	27,1	26,2	21,7	16,9	10,3	6,8
2009	7,1	6,5	9,4	11	17,7	23	28,3	25,6	19,9	15,3	11	9,8
2010	7,8	9,1	11	14	15,3	21,2	26	25,5	20,6	16,4	11,6	8,2
2011	7,2	6,5	9,9	15	16,9	21,3	26,2	26,5	22,1	15,8	12,1	7,7

Tableau 03 : Inventaire d'échantillon d'eau

Echantillon	N° forage	X	Y	formation captée
Khroub 01	F1	856,887	335,403	nappe d'El khroub
Khroub 02	F2	860,240	335,000	mio-pliocène
Boumerzoug	F3	855,800	323,000	calcaire du crétacé
El Borj	F4	859,250	332,550	mio-pliocène
Hamma Bouziane 01	F5	850,595	354,200	calcaire du crétacé
Salah Bey	F6	847,600	349,400	calcaire du crétacé
Khroub 03	F7	858,200	35,680	mio-pliocène
A, Smara (captage)	F8	840,957	335,777	calcaire du crétacé
Ain M'lila	F9	853,300	312,800	Aptien
Khroub 04	F10	850,650	335,400	mio-pliocène
Source de Sidi M'cid	See	851,200	349,000	calcaire du crétacé
Constantine 01	F11	852,800	345,270	/
Constantine 02	F12	848,500	342,800	/
A, Smara (ENMTP)	F13	842,804	338,164	calcaire du crétacé
Ain N'has	F14	862,000	340,080	mio-pliocène
Khroub 05	F15	857,000	337,000	mio-pliocène
Hamma Bouziane 02	F16	850,500	354,200	calcaire du crétacé
Hamma Bouziane 03	F17	850,700	354,080	calcaire du crétacé
Khroub 06	F18	859,200	334,400	mio-pliocène
Constantine 03	F19	851,240	339,080	miocène-continentale

Tableau 04 : Valeurs de la conductivité des différents points d'eau.

forage	période haute eau		période basse eau	
	σ lue $\mu\text{S/cm}$	σ réelle $\mu\text{S/cm}$	σ lue $\mu\text{S/cm}$	σ réelle $\mu\text{S/cm}$
F1	680	756,16	683.63	760.2
F2	1510	1685,16	1453.78	1622.42
F3	1020	1140,36	957.71	1070.72
F4	2350	2627,3	2425.89	2712.14
F5	970	1087,37	972.20	1089.84
F6	1070	1196,26	1066.64	1192.5
F7	1390	1558,19	1382.96	1550.3
F8	860	956,32	868.31	965.56
F9	500	554,5	501.71	556.4
F10	2280	2549,04	2175.53	2432.24
Scce	1350	1509,3	1363.70	1524.62
F11	1420	1591,82	1409.95	1580.55
F12	1040	1162,72	975.62	1090.74
F13	1000	1123	1098.17	1233.24
F14	590	662,57	632.64	710.45
F15	1000	1127	1000.89	1128
F16	1010	1134,23	1046.48	1175.2
F17	880	991,76	877.04	988.42
F18	1450	1625,45	1450.274	1625.75
F19	940	1059,38	949.78	1070.4

Tableau 05 : présente les résultats de la région étudiée ;

Echantillon	Σ cations mg/l	Σ anions mg/l	minéralisation mg/l
El Khroub 01	107,88	299,20	407,08
El Khroub 02	289,62	727,82	1017,44
Boumerzoug	196,17	541,26	737,43
El Borj	326,38	922,86	1249,24
Hamma Bouziane 01	204,62	577,22	781,84
Salah Bey	223,02	608,50	831,52
El Khroub 03	288,56	712,28	1000,84
A, Smara (captage)	185,08	505,57	690,65
Ain M'lila	118,78	348,19	466,97
El Khroub 04	374,15	1093,65	1467,80
Source de Sidi M'cid	281,16	739,50	1020,66
Constantine 01	293,77	728,93	1022,70
Constantine 02	163,31	442,56	605,87
A, Smara (ENMTP)	157,33	439,56	596,89
Ain N'has	112,73	337,88	450,61
El Khroub 05	161,99	429,85	591,84
Hamma Bouziane 02	196,83	562,21	759,04
Hamma Bouziane 03	198,13	566,00	764,13
El Khroub 06	278,61	697,30	975,91
Constantine 03	190,33	479,95	670,28

Tableau 06 : Basicité et classification des eaux en fonction de la dureté totale.

N° forage	T.A.C °F	T. A	DHT °F	Classification en fonction du DHT
F1	16,5	0	28,3	eau dure
F2	26,1	0	63,4	eau très dure
F3	28,3	0	40,2	eau très dure
F4	35	0	94	eau très dure
F5	32,1	0	45,4	eau très dure
F6	32,5	0	45,8	eau très dure
F7	25,9	0	62,4	eau très dure
F8	16,6	0	37,8	eau très dure
F9	23,7	0	29,2	eau dure
F10	40	0	110	eau très dure
Scce	26,5	0	65,8	eau très dure
F11	25,9	0	63,6	eau très dure
F12	21,3	0	41,8	eau très dure
F13	21,8	0	42,6	eau très dure
F14	23,4	0	27,6	eau dure
F15	18	0	39	eau très dure
F16	32,8	0	45	eau très dure
F17	32	0	46,4	eau très dure
F18	27	0	59,4	eau très dure
F19	24	0	34,4	eau très dure

Tableau 07 : Concentrations des cations

Forage	Ca mg/l		Mg mg/l		(Na+K) mg/l	
	mai	sep	mai	sep	mai	sep
F1	91,38	92.3	13,09	9.63	3,41	1.99
F2	180,36	186.15	43,94	35.26	65,32	57.15
F3	91,38	107.41	41,65	29.16	63,14	45.08
F4	226,85	220.25	89,49	85.27	10,04	8.24
F5	121,84	124.25	35,85	35.40	46,92	32.20
F6	121,84	121.84	36,81	31.08	64,36	54.05
F7	193,19	190.25	33,85	26.25	61,53	57.16
F8	100,2	96.20	30,6	28.26	54,28	27.14
F9	97,8	98.8	11,4	09.12	9,58	7.22
F10	260,52	260.52	107,69	18.75	5,94	3.14
Scce	195,59	194.6	40,57	37.26	45	42.65
F11	188,38	191.63	39,61	38.5	65,78	58.75
F12	123,45	124.3	26,25	24.15	13,61	11.5
F13	121,04	130.66	29,62	28.68	6,67	3.99
F14	89,78	101.85	12,37	10.25	10,58	9.17
F15	108,22	112.75	28,67	26.85	25,11	20.13
F16	121,84	121.85	34,89	33.19	40,1	24.6
F17	124,25	135	36,81	34.15	37,07	34.18
F18	185,17	195.32	31,46	28.97	61,99	55.4
F19	115,43	114.98	13,3	12.10	61,6	54.9

Tableau 08 : Concentration des anions.

Forage	Cl mg/l		SO4 mg/l		HCO3 mg/l	
	mai	sep	mai	sep	mai	sep
F1	63,9	60.15	34	34	201,3	250.5
F2	241,4	238.2	168	166	318,42	321
F3	142	134.90	54	48	345,26	342.15
F4	259,86	254.8	236	236	427	436.24
F5	113,6	106.50	72	72	391,62	378.48
F6	142	127.80	70	60	396,5	391.58
F7	234,3	222.6	162	152	315,98	314.16
F8	39,05	31.95	264	264	202,52	207.23
F9	39,05	31.5	20	17	289,14	288
F10	223,65	219.8	382	380	488	483
Scce	156,2	140.25	260	257	323,3	317.22
F11	244,95	235.68	168	171	315,98	318.74
F12	120,7	112.35	62	60	259,86	255.12
F13	113,6	113.6	60	64	265,96	265.66
F14	28,4	25.5	24	23	285,48	283.49
F15	124,25	121.3	86	84	219,6	222.13
F16	110,05	107.55	52	53	400,16	415.48
F17	113,6	114.26	62	61	390,4	379.49
F18	205,9	203.54	162	166	329,4	329
F19	117,15	105.32	70	64	292,8	291.5

Tableau 09 : Rapports caractéristiques et prédominance des éléments chimiques.

Forage	rMg mé/l	rCa mé/l	rMg/rCa	rSO4 mé/l	rCl mé/l	rSO4/rCl	rNa mé/l	rNa/rCl
F1	1,09	4,57	0,24	0,71	1,80	0,39	0,15	0,08
F2	3,66	9,02	0,41	3,50	6,80	0,51	2,84	0,42
F3	3,47	4,57	0,76	1,13	4,00	0,28	2,75	0,69
F4	7,46	11,34	0,66	4,92	7,32	0,67	0,44	0,06
F5	2,99	6,09	0,49	1,50	3,20	0,47	2,04	0,64
F6	3,07	6,09	0,50	1,46	4,00	0,36	2,80	0,70
F7	2,82	9,66	0,29	3,38	6,60	0,51	2,68	0,41
F8	2,55	5,01	0,51	5,50	1,10	5,00	2,36	2,15
F9	0,95	4,89	0,19	0,42	1,10	0,38	0,42	0,38
F10	8,97	13,03	0,69	7,96	6,30	1,26	0,26	0,04
Scé	3,38	9,78	0,35	5,42	4,40	1,23	1,96	0,44
F11	3,30	9,42	0,35	3,50	6,90	0,51	2,86	0,41
F12	2,19	6,17	0,35	1,29	3,40	0,38	0,59	0,17
F13	2,47	6,05	0,41	1,25	3,20	0,39	0,29	0,09
F14	1,03	4,49	0,23	0,50	0,80	0,63	0,46	0,57
F15	2,39	5,41	0,44	1,79	3,50	0,51	1,09	0,31
F16	2,91	6,09	0,48	1,08	3,10	0,35	1,74	0,56
F17	3,07	6,21	0,49	1,29	3,20	0,40	1,61	0,50
F18	2,62	9,26	0,28	3,38	5,80	0,58	2,70	0,46
F19	1,11	5,77	0,19	1,46	3,30	0,44	2,68	0,81

Tableau 10 : Classification des eaux selon Stabler.

Forage	Anions r %	Cations r %	Faciès chimique
F1	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F2	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Chloruré calcique
F3	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F4	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Chloruré calcique
F5	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F6	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F7	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Chloruré calcique
F8	r SO4 % > r HCO3 % > r CL %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Sulfaté calcique
F9	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F10	r SO4 % > r HCO3 % > r CL %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Sulfaté calcique
See	r SO4 % > r HCO3 % > r CL %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Sulfaté calcique
F11	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Chloruré calcique
F12	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Chloruré calcique
F13	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Chloruré calcique
F14	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F15	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Chloruré calcique
F16	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F17	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Mg % > r Na %	Bicarbonaté calcique
F18	r CL % > r HCO3 % > r SO4 %	r Ca % > r Na % > r Mg %	Chloruré calcique
F19	r HCO3 % > r CL % > r SO4 %	r Ca % > r Na % > r Mg %	Bicarbonaté calcique

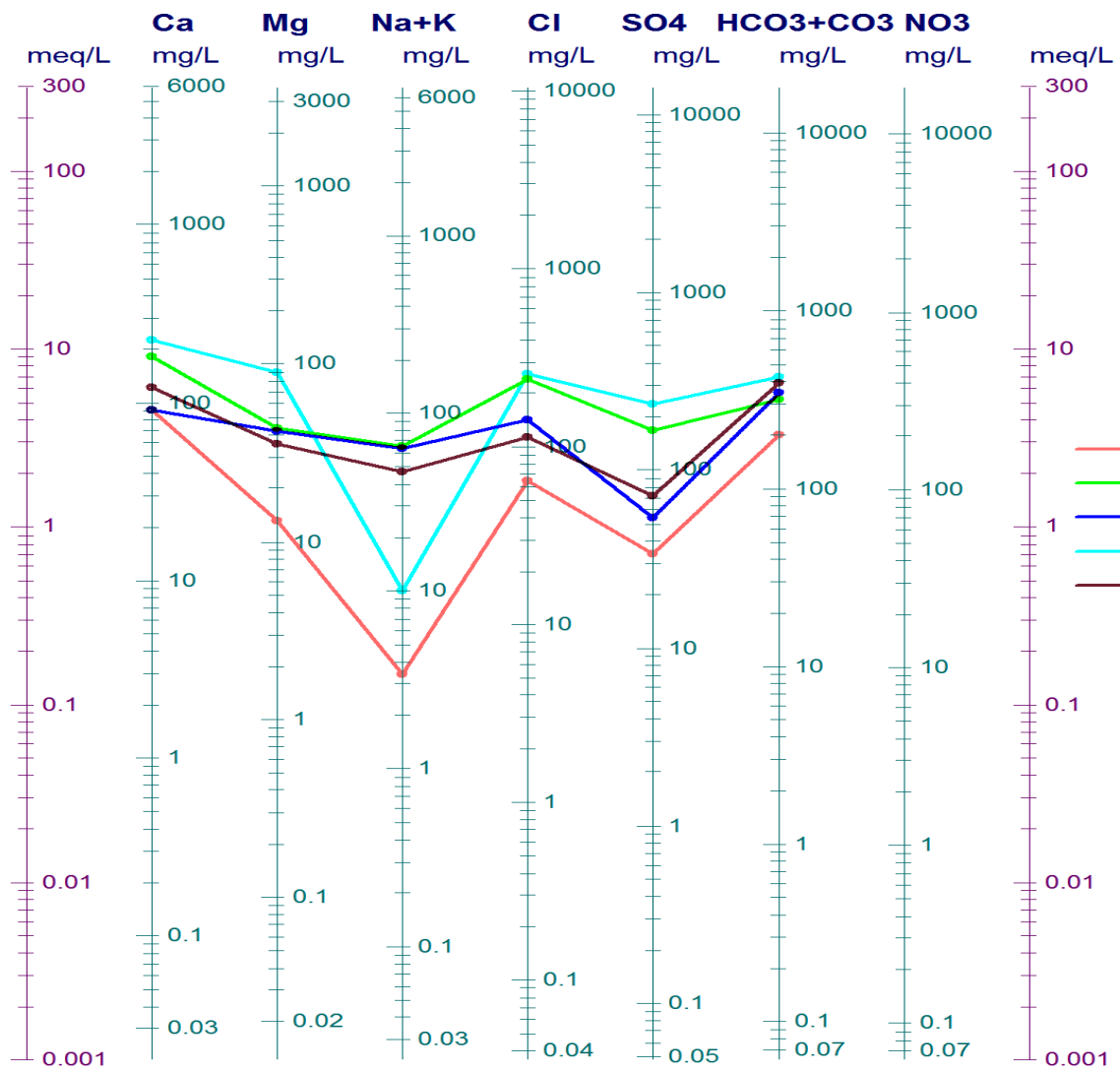


Figure 01 : Classification de Schoeler et Berkallof pour le F1, F2, F3, F4 , F5

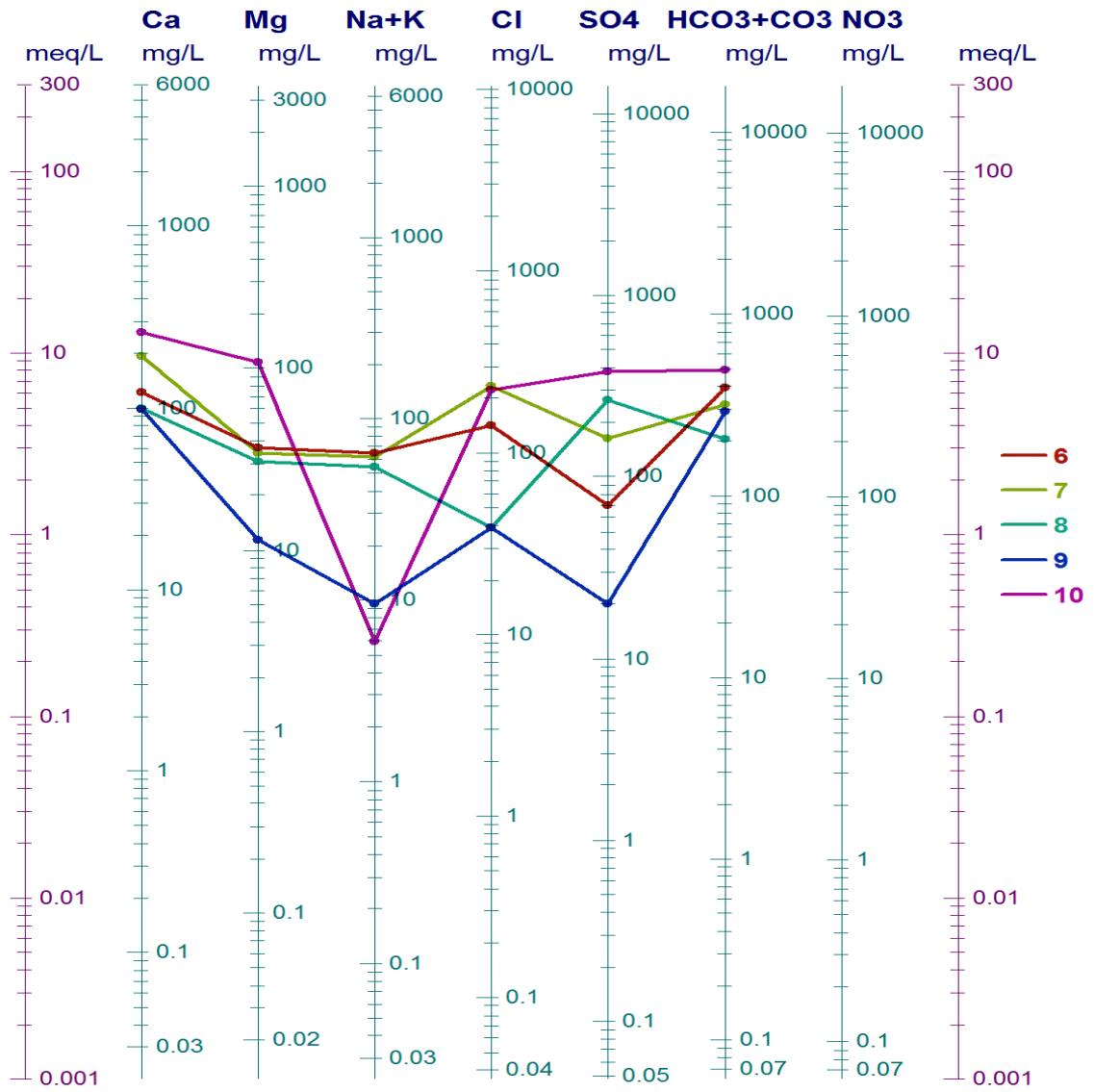


Figure 02 : Classification de Schoeler et Berkallof F6, F7, F8, F9 , F10

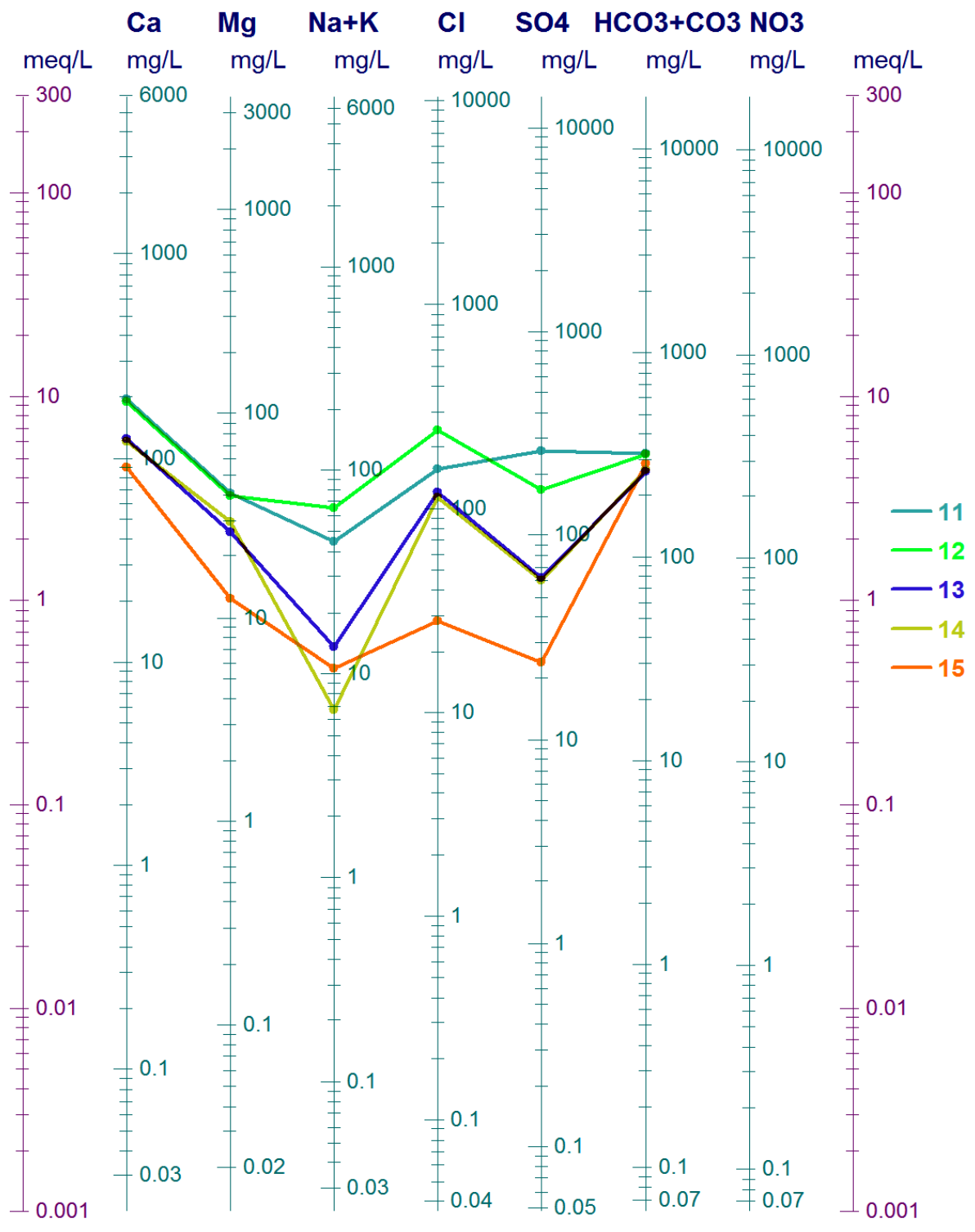


Figure 03 : Classification de Schoeler et Berkallof F11, F12, F13, F14 , F15

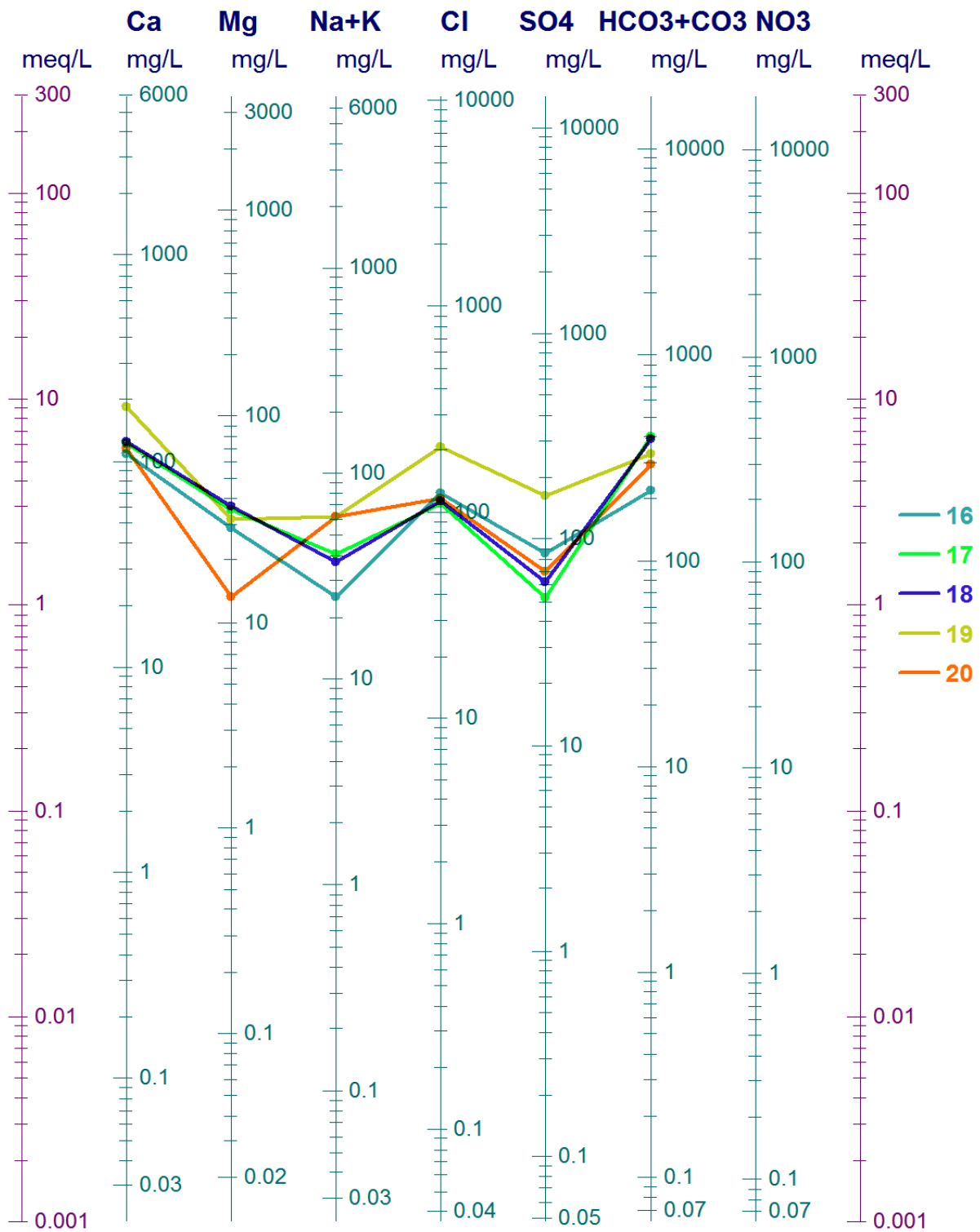


Figure 04 : Classification de Schoeler et Berkallof F16, F17, F18, F19 , F20

Tableau 11 : Normes et potabilité des eaux selon les normes de l’OMS.

	Ca²⁺ mg/l	Mg²⁺ mg/l	SO₄²⁻ mg/l	Cl⁻ mg/l	DHT °F	
Normes	140	150	250	250	50	Qualité
F1	91,38	13,09	34,00	63,90	28,30	Très bonne qualité
F2	<u>180,36</u>	43,94	168,00	241,40	<u>63,40</u>	Qualité moyenne
F3	91,38	41,65	54,00	142,00	40,20	Très bonne qualité
F4	<u>226,85</u>	89,49	236,00	<u>259,86</u>	<u>94,00</u>	Qualité moyenne
F5	121,84	35,85	72,00	113,60	45,40	Très bonne qualité
F6	121,84	36,81	70,00	142,00	45,80	Très bonne qualité
F7	<u>193,19</u>	33,85	162,00	234,30	<u>62,40</u>	Qualité moyenne
F8	100,20	30,60	<u>264,00</u>	39,05	37,80	Qualité moyenne
F9	97,80	11,40	20,00	39,05	29,20	Très bonne qualité
F10	<u>260,52</u>	107,69	<u>382,00</u>	223,65	<u>110,00</u>	Qualité moyenne
Scce	<u>195,59</u>	40,57	<u>260,00</u>	156,20	<u>65,80</u>	Qualité moyenne
F11	<u>188,38</u>	39,61	168,00	244,95	<u>63,60</u>	Qualité moyenne
F12	123,45	26,25	62,00	120,70	41,80	Très bonne qualité
F13	121,04	29,62	60,00	113,60	42,60	Très bonne qualité
F14	89,78	12,37	24,00	28,40	27,60	Très bonne qualité
F15	108,22	28,67	86,00	124,25	39,00	Très bonne qualité
F16	121,84	34,89	52,00	110,05	45,00	Très bonne qualité
F17	124,25	36,81	62,00	113,60	46,40	Très bonne qualité
F18	<u>185,17</u>	31,46	162,00	205,90	<u>59,40</u>	Qualité moyenne
F19	115,43	13,30	70,00	117,15	34,40	Très bonne qualité

