

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CE : Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

DSA : Direction des Services Agricoles

DA : Déficit Agricole (mm)

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)

EX : Excédent en eau du sol (mm)

I : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)

I : Indice d'aridité

K: Perméabilité (m/s)

P : Précipitations (mm)

Q2 : Quotient pluviométrique

R : Ruissellement (mm)

RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm)

SAR : Sodium Absorption Ratio

T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : La situation géographique de la zone d'étude.....	03
Figure 02 : Carte hypsométrique du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifié).....	05
Figure 03: Carte des pentes du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifiée).....	06
Figure 04 : Carte des conditions aux limites de la nappe de Meskiana (Gouidia, 2008 modifiée).....	07
Figure 05 : Carte piézométrique de la nappe de Meskiana, juillet 2004 (Gouidia, 2008 modifiée).....	08
Figure 06 : Carte de répartition de la perméabilité de la nappe de Meskiana en (10^{-4}) m/s (Gouidia, 2008 modifiée).....	09
Figure 07 : Carte géologique de Nord-Est algérien (SONATRACH, 1990).....	14
Figure 08 : Carte géologique du bassin de Meskiana (Gouidia, 2008 modifié).....	15
Figure 09 : Coupe géologiques dans le bassin de Meskiana (Gouidia, 2008).....	16
Figure 10 : Schéma lithostratigraphique des formations géologiques de bassin de Meskiana (Gouidia, 2008).....	17
Figure 11 : Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980).....	18
Figure 12 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	21
Figure 13 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	22
Figure 14 : Variation des températures mensuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010)	22
Figure 15 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	23
Figure 16 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	24
Figure 17 : Diagramme ombrothermique de la station d'Oum-ElBouaghi.....	25
Figure 18 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.....	26
Figure 19 : Climagramme d'Emberger de la station Oum-ElBouaghi.....	27
Figure 20 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010)	29

Figure 21 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum-EIBouaghi, par la méthode de Thornthwaite.....	33
Figure 22 : Carte d'inventaire des points d'eau.....	37
Figure 23 : Carte de la distribution spatiale de la conductivité électrique en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	39
Figure 24 : Carte de répartition des faciès chimiques de la nappe de Meskiana.....	48
Figure 25 : La représentation des échantillons sur le diagramme de Piper.....	50
Figure 26 : Diagramme de Schoeler-Berkaloff (A l'amont de la nappe).....	51
Figure 27 : Diagramme de Schoeler-Berkaloff (A l'aval de la nappe).....	52
Figure 28 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en calcium dans les eaux souterraines (mg/l).....	53
Figure 29 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sodium dans les eaux souterraines (mg/l).....	54
Figure 30 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en chlorure dans les eaux souterraines (mg/l).....	55
Figure 31 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines (mg/l).....	56
Figure 32 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en Bicarbonates dans les eaux souterraines (mg/l).....	57
Figure 33 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines (mg/l).....	58
Figure 34 : L'origine du calcium.....	59
Figure 35 : L'origine du sodium.....	60
Figure 36 : L'origine de la salinité en fonction du rapport caractéristique ($\text{Cl}^- / \text{SO}_4$)	61
Figure 37: Graphe explique le phénomène des échanges de bases.....	62
Figure 38 : Représentation des échantillons sur le diagramme de Riverside (A l'amont de la nappe).....	66
Figure 39 : Représentation des échantillons sur le diagramme de Riverside (A l'aval de la nappe).....	67
Figure 40 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation de la nappe de Meskiana selon la classification de Riverside	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Les coordonnées géographiques de la zone d'étude	02
Tableau 02 : Caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de l'Oued Meskiana (Belloula, 2008).....	04
Tableau 03 : Les Coordonnées géographiques de la station de mesure.....	20
Tableau 04 : La valeur du quotient pluviométrique d'Emberger à la station d'Oum-ElBouaghi (période 1996-2010)	27
Tableau 05 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	28
Tableau 06 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.....	30
Tableau 07 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite	31
Tableau 08 Bilan hydrologique pour l'année la plus humide à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2004/2005).....	31
Tableau 09 : Bilan hydrologique pour l'année la plus sèche à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2000/2001).....	31
Tableau 10: Répartition des précipitations à la station de Meskiana.....	34
Tableau 11 : Variation des concentrations du pH.....	38
Tableau 12 : Variation des concentrations de la conductivité électrique.....	39
Tableau 13 : Variation des concentrations de la minéralisation.....	40
Tableau 14 : Variation des concentrations du résidu sec.....	41
Tableau 15: Variation des concentrations du calcium.....	42
Tableau 16 : Variation des concentrations du magnésium.....	43
Tableau 17 : Variation des concentrations du sodium.....	43
Tableau 18 : Variation des concentrations du potassium.....	44
Tableau 19 : Variation des concentrations du chlorure.....	45
Tableau 20 : Variation des concentrations du sulfate.....	45
Tableau 21 : Variation des concentrations du bicarbonate.....	46
Tableau 22 : Variation des concentrations en nitrates.....	47
Tableau 23 : Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère de Meskiana.....	47
Tableau 24 : Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique.....	63

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique
Université Abbes LAGHROUR
Khenchela
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département d'Ecologie et d'Environnement

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MAGISTER

Option: Gestion intégrée des ressources en eaux et développement
durable

THEME

**FONCTIONNEMENT GEOCHIMIQUE ET HYDROCHIMIQUE
DE LA VALLEE D'OUED MESKIANA**

Par : MEZHOU Amel

Devant le jury composé de :

Pr. DARBOUCHE. Abdelhak

Dr. HOUHA. Belghacem

Pr. HOUHAMEDI. Moussa

Président

Rapporteur

Examineur

Année : 2012/2013

III.1. Introduction

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données, des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement), qui conditionnent ce bilan.

L'étude des données climatiques permet d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous informera sur :

- 1- Le type du climat;
- 2- Les caractéristiques de bilan hydrique du bassin versant ;
- 3- La structure de variation temporelle des termes du bilan (Pluies, évaporation) ;
- 4- Le comportement hydro-climatologique du bassin versant.

Les paramètres climatologiques sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures) soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I).

III.2. La station de mesure

Pour caractériser la nature des variations climatiques mensuelles et interannuelles dans notre région d'étude nous avons choisi la station météorologique, d'Oum El Bouaghi. Nous disposons pour cette station des données, étalant sur une durée de 14 ans d'observation.

Tableau 03 : Les Coordonnées géographiques de la station de mesure.

Station	Type de la station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		X	Y	
Oum El Bouaghi	Météorologique	899	295	890

III.3. Etude des factures climatiques

III.3.1. La température

La température constitue un élément majeur qui conditionne le climat d'une région. Elle permet de déterminer l'évapotranspiration et le déficit de l'écoulement, elle intervient dans l'établissement de bilan hydrologique.

III.3.1.1. Variations des températures moyennes annuelles

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de 14 ans (96/97-2009/2010), montre que l'année la plus chaude est l'année 2000/2001 avec une moyenne de 18,11 °C, et l'année la plus froide est l'année 1996/97, avec une moyenne de 16,18 °C. Signalons que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 17,01 °C.

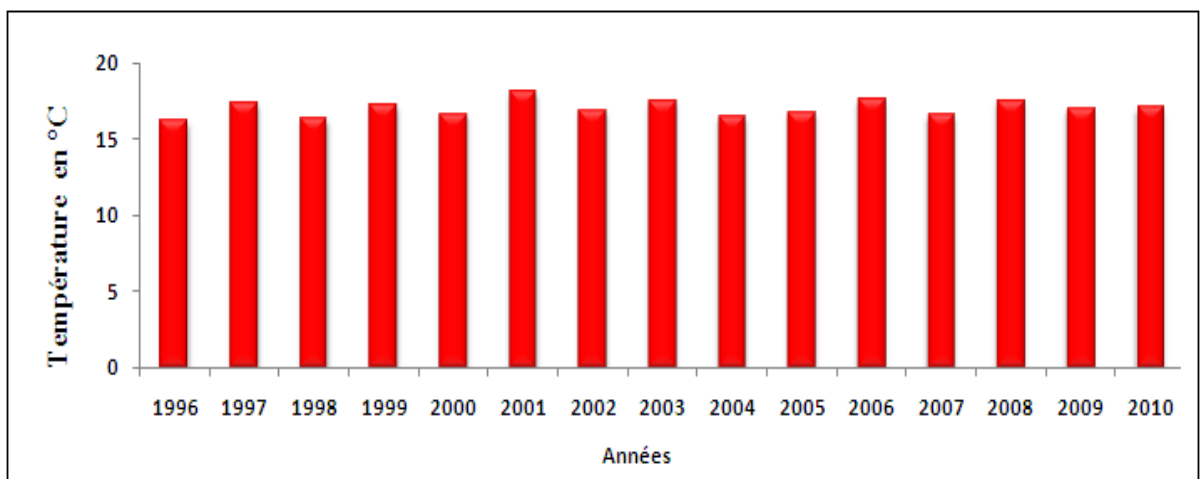


Figure 12 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.3.1.2. Variations de la température moyenne mensuelle

La température moyenne mensuelle présente de très variations saisonnières elle atteint leur minima au mois de janvier avec 6.93 °C qui est le mois le plus froid de l'année, par contre le mois de juillet est le plus chaud par une valeur maximale de la température moyenne mensuelle de 28.32 °C.

L'amplitude maximale des variations des températures mensuelles moyennes interannuelles s'observe entre ces deux mois avec 21,39 °C.

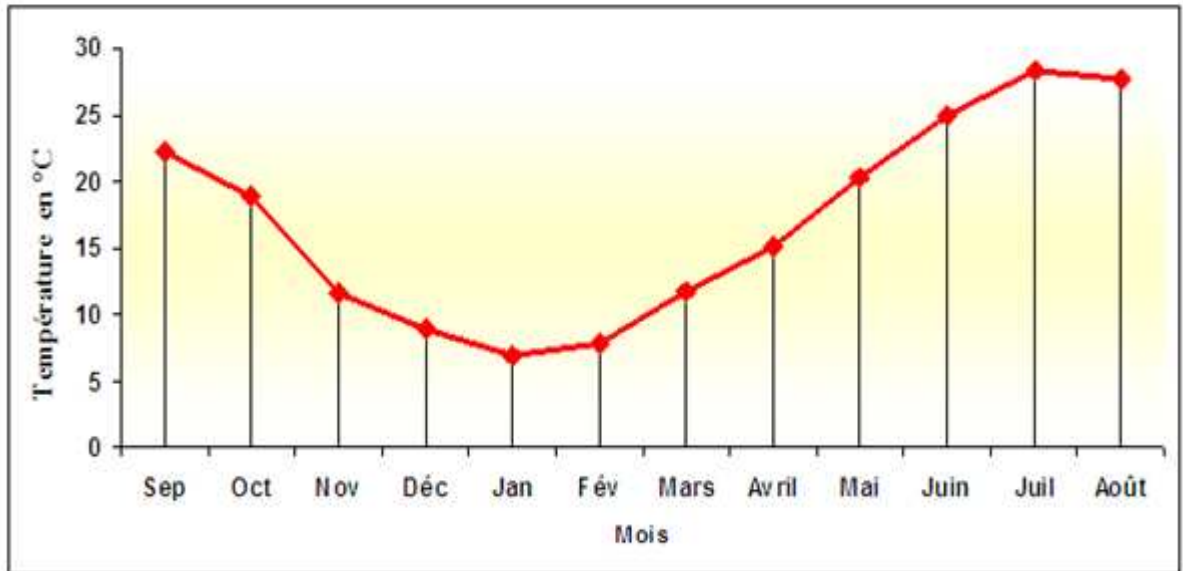


Figure 13 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d’Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

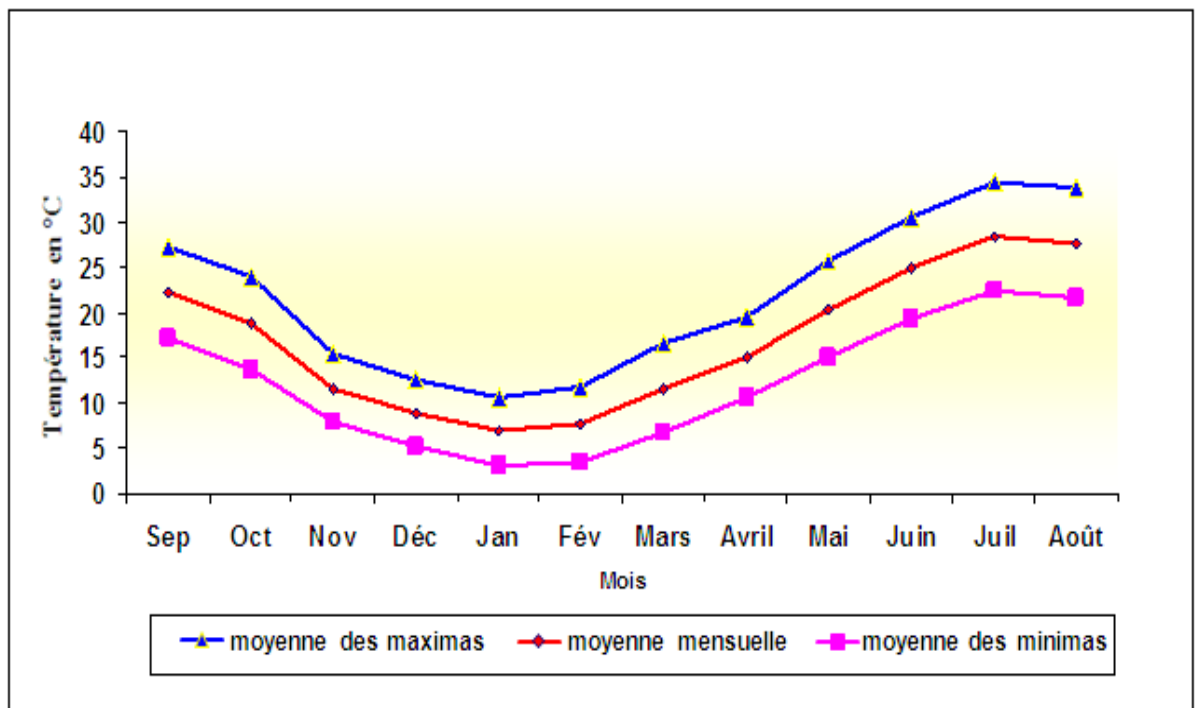


Figure 14 : Variation des températures mensuelles à la station d’Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.3.2. La pluviométrie

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable, car elle permet de déterminer la quantité d'eau écoulee qui est à l'origine du lessivage des formations géologiques.

III.3.2.1. Variations interannuelles des précipitations

Pour étudier ces données, nous nous sommes basés sur une série de mesures s'étalant sur la période allant de 1996 à 2010. Cette série permet de dire que: La répartition des précipitations interannuelles à la station d'Oum-ElBouaghi est extrêmement irrégulière d'une année à l'autre. Le maximum de la pluviométrie a été observé en 2004 avec 648 mm et alors que le minimum a été enregistré en 2000 avec 304 mm. Le module pluviométrique interannuel est égal à 426 mm.

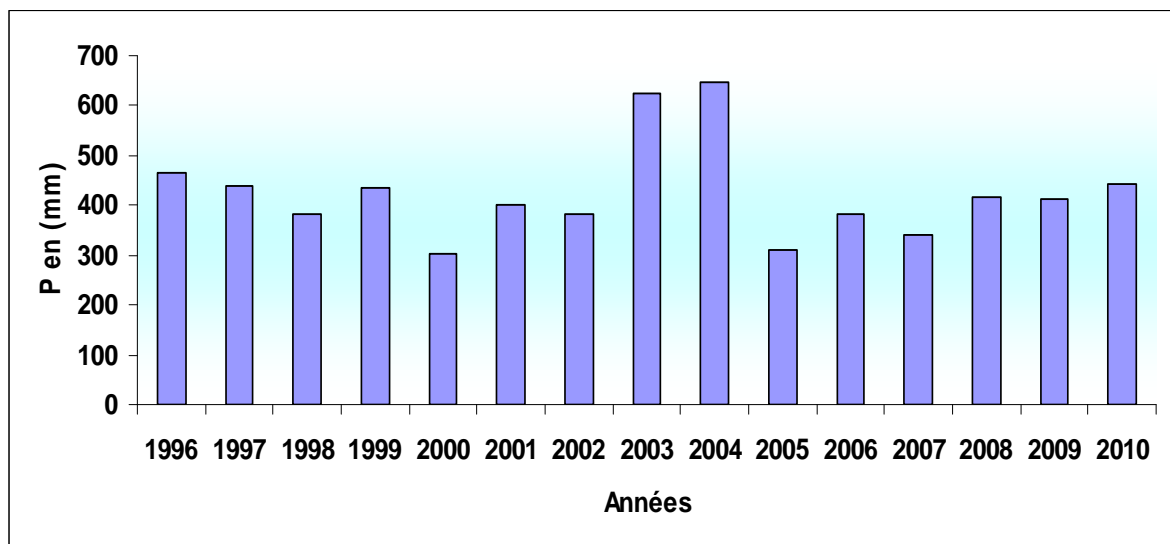


Figure 15 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.3.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 14 ans (96/97-2009/2010), montre que le mois de septembre est le plus pluvieux, avec 51 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 11 mm et la saison la plus pluvieuse c'est l'automne avec 126 mm. L'amplitude de précipitation est de 40 mm.

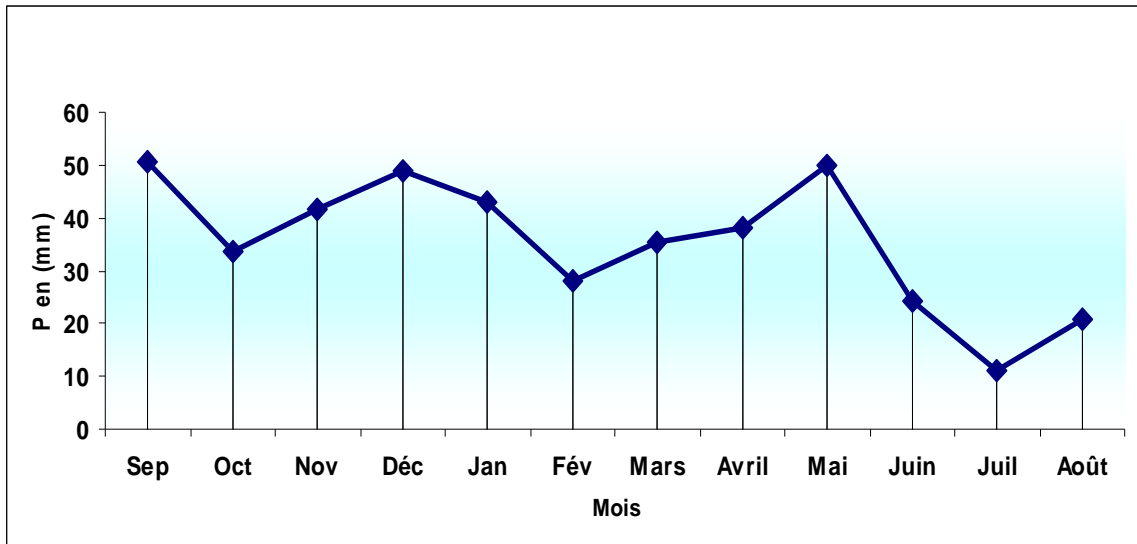


Figure 16 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.4. Caractérisation du climat

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques: la température et les précipitations permettent de déterminer les périodes sèches et humides ainsi que la localisation de l'étage bioclimatique bien définie d'une région donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes. Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants :

III.4.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Il permet de comparer mois par mois la température et la pluviosité. Les ordonnées sont choisies de telle sorte que 10 °C correspondent à 20 mm de pluie.

Une période de l'année est considérée comme sèche, lorsque la pluviosité, exprimée en mm, est inférieure ou égale au double de la température, exprimée en degrés Celsius.

L'analyse des températures et des précipitations permet de tracer le diagramme ombrothermique, suivant :

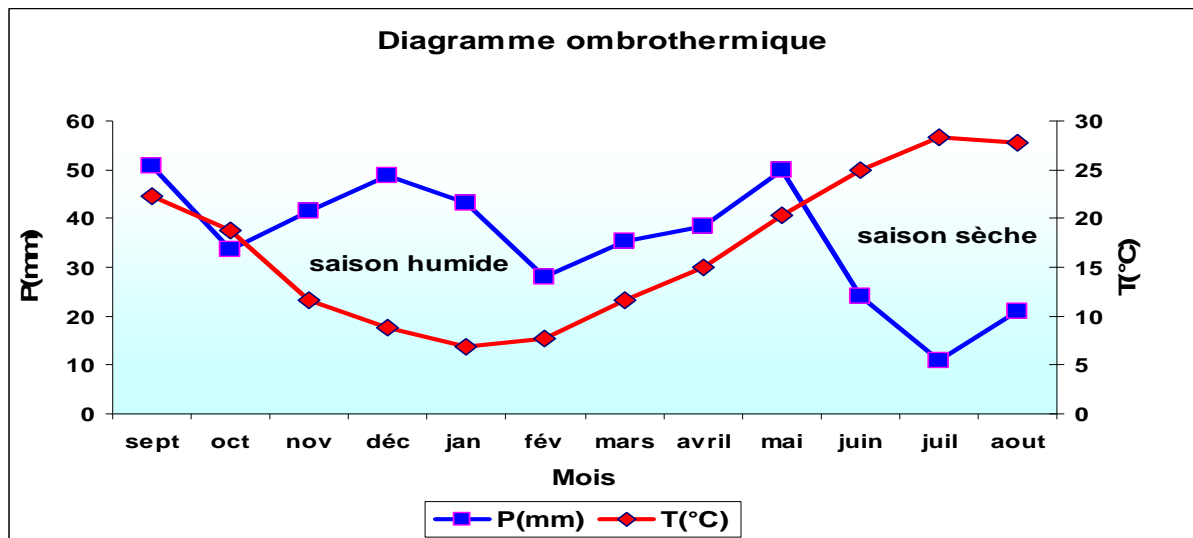


Figure 17 : Diagramme ombrothermique de la station d'Oum-ElBouaghi.

Nous constatons que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausson permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de novembre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'octobre.

III.4.2. Indice d'aridité

L'indice d'aridité est une valeur numérique sensée représenter le degré de sécheresse du climat à un endroit donné, plusieurs méthodes de calcul ont été proposées.

III.4.2.1. Indice de De Martonne

En 1926, Emmanuel de De Martonne élabore un système de classification des climats par une méthode statistique (Guasmi, 2009). Il utilise un indice qui se base sur le régime des précipitations et des températures pour caractériser le climat d'une région. Il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

I : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Suivant les valeurs de (I), de De Martonne a établi la classification suivante :

I < 5: climat hyperaride

- 5 < I < 7,5 : climat désertique
- 7,5 < I < 10 : climat steppique
- 10 < I < 20 : climat semi-aride
- 20 < I < 30 : climat tempéré.
- I > 30 : climat humide

Dans notre cas, la moyenne des précipitations interannuelles est : 425,96 mm. Alors que la température moyenne annuelle est de : 17,01 °C

Ce qui donne : **I = 15,77**

Nous avons trouvé que la valeur de (I) est comprise entre 10 et 20, ce qui permet de dire que la station d'Oum-ElBouaghi bénéficie d'un climat semi-aride.

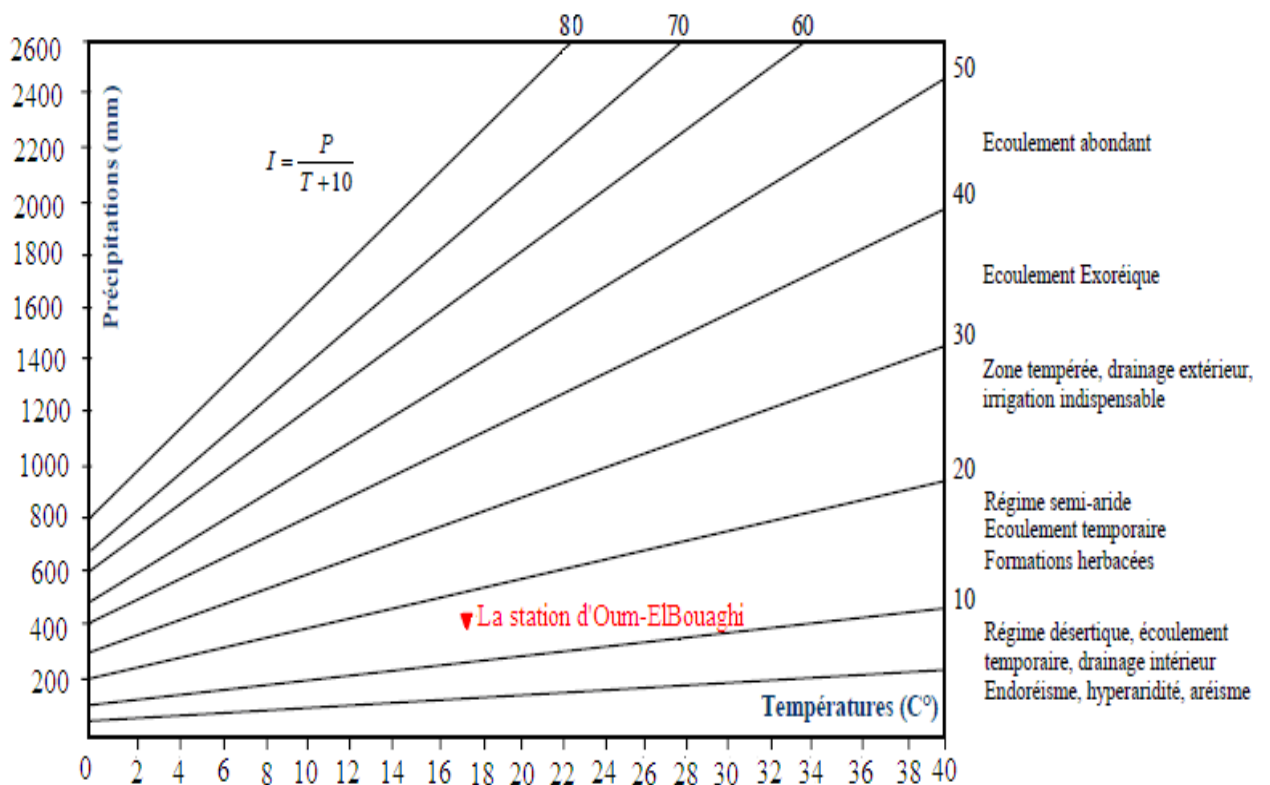


Figure 18 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

III.4.3. Le diagramme de L. Emberger

Pour caractériser le climat d'une région, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q2, qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minimas et maximas, respectivement des mois le plus froid et le plus chaud. Il propose donc la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré absolu (K°);

m: moyenne des minima du mois le plus froid en degré absolu (K°);

P: précipitation moyenne annuelle (mm)

Avec $T (^{\circ}K) = T (^{\circ}C) + 273,15$

Après le calcul, nous obtenons les résultats qui ont été reportés dans le tableau 04

Tableau 04 : La valeur du quotient pluviométrique d’Emberger à la station d’Oum-ElBouaghi (période 1996-2010).

Station	P (mm)	M		m		Q2
		°C	K	°C	K	
Oum-ElBouaghi	425,96	34,31	307,47	3,13	276,29	46,08

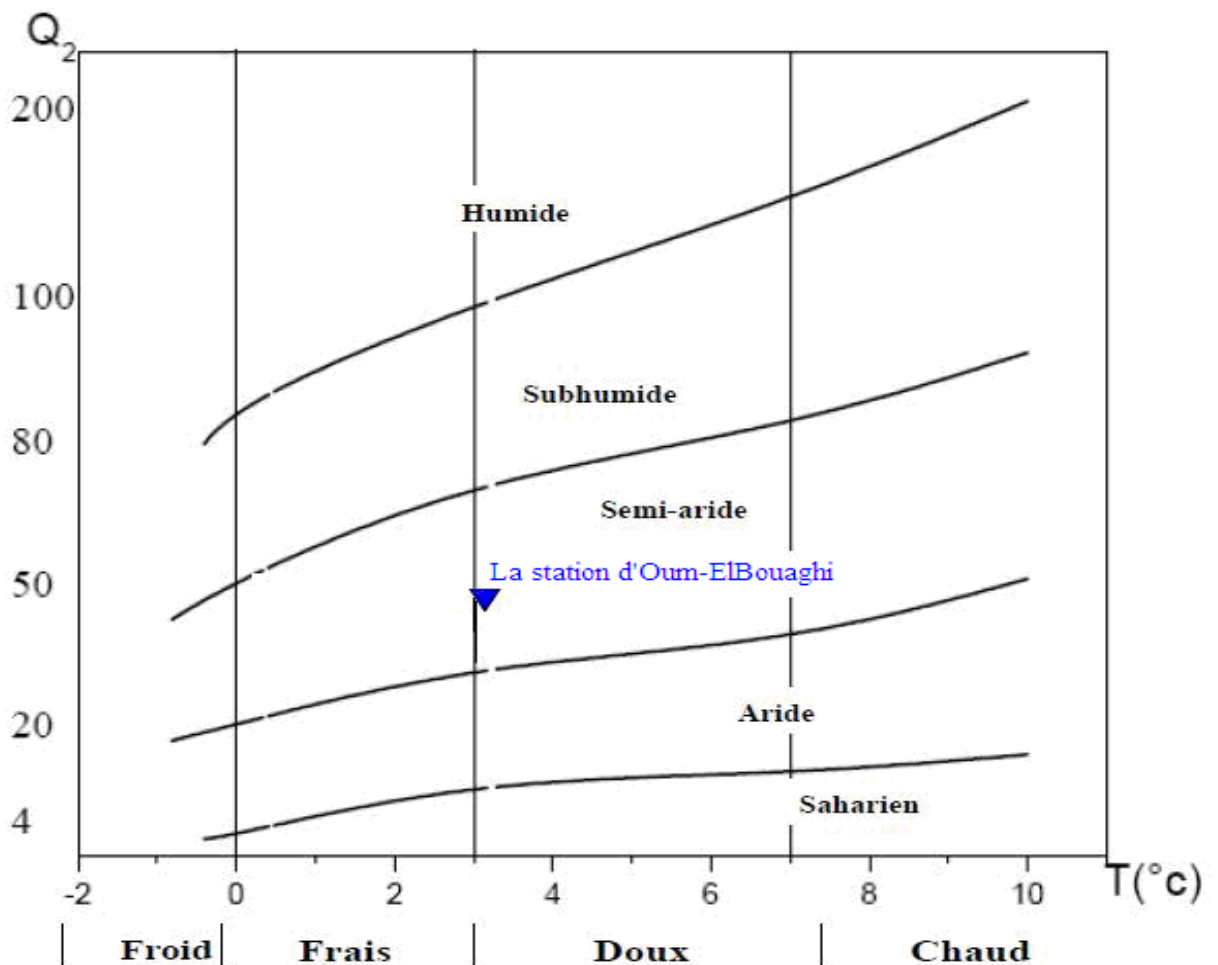


Figure 19 : Climagramme d’Emberger de la station d’Oum-ElBouaghi.

La représentation graphique sur le Climagramme d’Emberger montre que le climat à la station d’Oum-ElBouaghi est de type : semi-aride, cela est concordant avec l’indice de De Martone.

III.4.4. Le régime saisonnier

Murset en 1935 a défini la première notion du régime saisonnier, il a calculé la somme des précipitations par saison, prenant en considération que l’Automne est formé par les trois mois suivant : Septembre, Octobre, Novembre, et a effectué le classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante, signalant chaque saisons par son initial (P : Printemps, H : Hiver, E : Été, A : Automne).

Pour la station d’Oum-ElBouaghi on remarque que la saison la plus arrosée c’est l’automne avec 29,56 % (125,90 mm), puis le printemps avec 29,03% (123,65 mm), l’hiver avec 28,23 % (120,25 mm) et en fin l’été avec 13,19 % (56,17 mm) donc nous avons un régime saisonnier de type APHE.

Tableau 05 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d’Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

Station	Mois Précipitation	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Année	Type
		Sept	Oct.	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aoû		
Oum-ElBouaghi	P mensuelle (mm)	50,77	33,68	41,45	48,91	43,16	28,17	35,39	38,31	49,95	24,21	11,07	20,89	425,96 (mm)	APHE
	P saisonnière (mm)	125,9			120,25			123,65			56,17				
	P saisonnière (%)	29,56			28,23			29,03			13,19			100%	

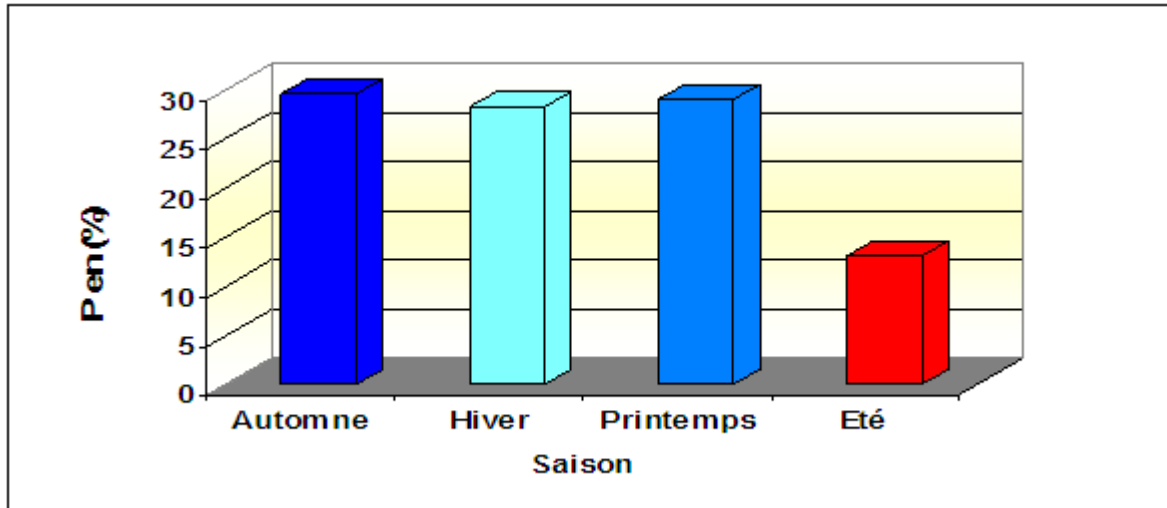


Figure 20 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.5. Estimation de l'évapotranspiration

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (Jacob & al, 2002).

III.5.1. ETP (Évapotranspiration potentielle)

Thornthwaite, en 1948 est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, dans un contexte de classification du climat : « Il y a une distinction entre le volume d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était disponible. Lorsque la disponibilité en eau augmente, l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat. C'est ce que nous pourrions appeler 'évapotranspiration potentielle', en distinction de l'évapotranspiration réelle » (Ludovic, 2004).

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle l'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948. Une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)

T : température moyenne du mois en (°C)

$$I = \sum i \quad \text{et} \quad i = (t/5)^{1,514}$$

$$a = (1,6 * I / 100) + 0,5$$

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction **k** qui dépend de la latitude du bassin.

Tableau 06 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
T (C°)	22,24	18,82	11,60	8,88	6,93	7,73	11,67	15,03	20,30	24,90	28,32	27,70	
ETP _{nc} (mm)	97,37	71,88	29,83	18,36	11,70	14,27	30,16	47,77	82,49	119,56	151,06	145,11	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP _C (mm)	100,29	69,73	25,36	15,24	10,06	11,99	31,07	52,55	99,81	145,86	187,32	168,32	917,58

ETP_{nc} : ETP non corrigée

ETP_C : ETP corrigée

III.5.2. ETR (Évapotranspiration réelle)

Est le flux combiné de vapeur provenant du sol et des plantes, pour une teneur en eau du sol spécifique à un moment et pour une région (François & al. 2005).

Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Elle peut se faire à l'aide de la formule de L. Turc (1954) qui s'écrit de la manière suivante :

$$ETR = P / (0,9 + p^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où :}$$

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

T : température moyenne annuelle de l'air en (°C),

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

Soit **ETR = 407,57 mm**

III.6. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

L'étude du bilan hydrologique permet de déterminer la répartition des eaux de précipitation entre les différents composants de ce bilan à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). Selon Gouidia, la RFU de Meskiana est estimé à 26 mm.

L'application de la méthode de Thornthwaite pour l'année moyenne, l'année la plus humide et l'année la plus sèche a donné les résultats qui sont consignés dans les tableaux 07 à 09.

Tableau 07 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum-ElBouaghui, par la méthode de Thornthwaite.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	50,77	33,68	41,45	48,91	43,16	28,17	35,39	38,31	49,95	24,21	11,07	20,89	425,96
T (C°)	22,24	18,82	11,60	8,88	6,93	7,73	11,67	15,03	20,30	24,90	28,32	27,70	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm)	100,29	69,73	25,36	15,24	10,06	11,99	31,07	52,55	99,81	145,86	187,32	168,32	917,58
P-ETP	-49,52	-36,05	16,09	33,67	33,10	16,18	4,32	-14,24	-49,86	-121,65	-176,25	-147,43	
RFU26 (mm)	0,00	0,00	16,09	26,00	26,00	26,00	26,00	11,76	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR (mm)	50,77	33,68	25,36	15,24	10,06	11,99	31,07	52,55	61,71	24,21	11,07	20,89	348,60
EX (mm)	0,00	0,00	0,00	23,76	33,10	16,18	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,37
DA (mm)	49,52	36,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,10	121,65	176,25	147,43	569,00

Tableau 08 : Bilan hydrologique pour l'année la plus humide à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2004/2005).

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P (mm)	10,4	8,4	136,5	136,7	30,6	5	44,4	25,8	145,2	56	10,9	37,7	647,6
T (C°)	22	21,25	9,6	7,4	7	10,25	12,25	13,35	16,5	23,1	26,8	28,35	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP (mm)	100,62	89,15	19,34	11,95	11,23	21,44	35,96	44,67	71,30	129,85	171,34	176,93	883,79
P-ETP	-90,22	-80,75	117,16	124,75	19,37	-16,44	8,44	-18,87	73,90	-73,85	-160,44	-139,23	
RFU26 (mm)	0	0	26	26	26	9,56	18,00	0,00	26	0	0	0	
ETR (mm)	10,4	8,4	19,34	11,95	11,23	21,44	35,96	43,80	71,30	82	10,9	37,7	364,42
EX (mm)	0	0	91,16	124,75	19,37	0,00	0,00	0,00	47,90	0	0	0	283,18
DA (mm)	90,22	80,75	0	0	0	0	0	0,87	0,00	47,85	160,44	139,23	519,36

Tableau 09 : Bilan hydrologique pour l'année la plus sèche à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2000/2001).

	Sept	Ooct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P (mm)	76,6	40,5	12,4	24,2	8,2	0	10,8	8	68,2	40,1	0	15,2	304,2
T (C°)	21,01	15,3	12,23	7,4	5,19	8,84	12,25	16,16	22,47	23,25	29,07	26,55	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP (mm)	91,92	49,22	28,95	11,56	6,37	16,06	35,19	61,53	121,69	130,38	197,23	157,01	907,10
P-ETP	-15,32	-8,72	-16,55	12,64	1,83	-16,06	-24,39	-53,53	-53,49	-90,28	-197,23	-141,81	/
RFU26(mm)	0	0	0	12,64	14,47	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	
ETR (mm)	76,6	40,5	12,40	11,56	6,37	14,47	10,80	8,00	68,20	40,1	0	15,2	304,20
EX (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
DA (mm)	15,32	8,72	16,55	0	0	1,59	24,39	53,53	53,49	90,28	197,23	141,81	602,91

Interprétation du bilan hydrologique

L'observation du graphe du bilan hydrologique nous permet de dire qu'il existe deux périodes la première est déficitaire où l'ETP est importante à partir de mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs atteignant les 197 mm au mois de juillet (2000/2001), dans cette période les sols sont secs et leur niveau de la réserve hydrique est nul, rendant la nécessité de l'irrigation. La deuxième période est humide qui commence à partir du mois de novembre où les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de décembre et mars. Toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s'infiltré et rejoint la zone saturée. Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu'à l'épuisement du stock.

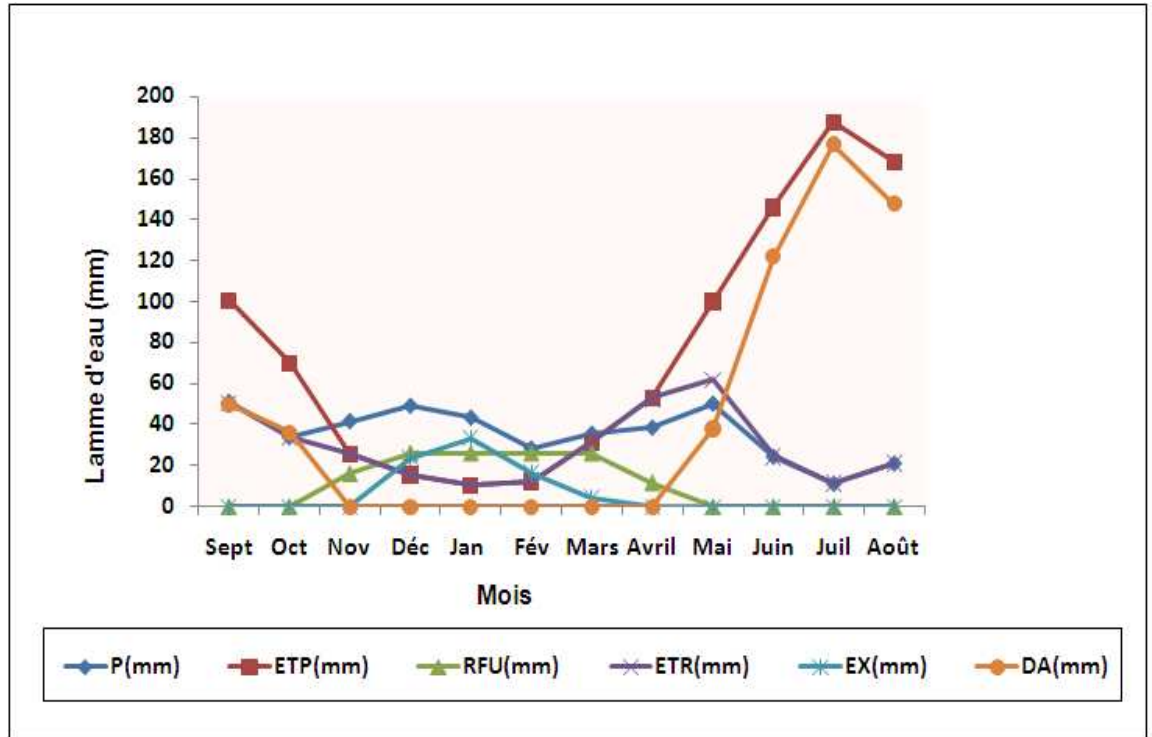


Figure 21 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum-El Bouaghi, par la méthode de Thornthwaite.

III.7. Ruissellement R (mm)

L'eau précipitée peut ruisseler directement, si l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse d'infiltration de sol. Il est calculé par la formule suivante :

$$R = \frac{P^3}{3(ET.P)^2}$$

Avec :

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

L'application numérique donne :

$$R = 30,6 \text{ mm}$$

III.8. L'infiltration I (mm)

C'est la migration de l'eau de précipitation à travers la porosité de sol vers les nappes souterraines, il est calculé par la formule suivante :

$$I = P - (ETR + R)$$

I : infiltration (mm).

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

ETR: Evapotranspiration (mm).

$$I = 46,76 \text{ mm}$$

Tableau 10: Répartition des précipitations à la station de Meskiana.

Précipitation (P)		Evapotranspiration réelle (ETR)		Ruissellement (R)		Infiltration (I)	
(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
425,96	100,00	348,60	81,84	30,6	7,18	46,76	10,98

III.9. Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de six mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 15 ans (96/97 – 2009/2010), sont estimées à 425,96 mm, leurs répartitions mensuelles montre deux grandes saisons bien distinctes, la première est humide, qui s'étend du mois de Novembre à Mai, soit de 67 % de la pluviométrie annuelle. La deuxième est sèche, qui s'étale sur les mois de Juin et Octobre, avec seulement 33 % de la pluviométrie annuelle. L'évapotranspiration réelle est estimée à 348,60 mm, mobilisant 81,84 % des précipitations.

Les températures moyennes mensuelles varient entre 6.93 °C et 28.32 °C, avec une moyenne annuelle de 17,01 °C. Le mois de juillet étant le plus chaud, et janvier le plus froid. Près de 55% de l'ETP est enregistrée durant les trois mois de l'été

Le ruissellement ne représente que 7,18 % des précipitations, ce qui représente 30,6 mm.

L'infiltration est estimée à 10,98 %. Ce qui permet de percoler 46,76 mm. Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.

Le déficit agricole estimé est de 569 mm étalé sur la période allant de mai jusqu'à octobre. Notons que le bilan hydrologique est déficitaire.

La chimie des eaux est influencée par la répartition des précipitations et des températures par dilution pendant la période pluvieuse et concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

Références bibliographiques

ABDOUKARIM A., (2004) : Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de portonovo (Sud du benin) : Identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle. Thèse de Doctorat d'université cheikh

Anta diop de Dakar.185 pages.

A.B.H, (2001) : Les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques « A.B.H » ; « Le bassin versant Medjerda Mellague », N° 6. 24p.

ATHAMENA M., (2006) : Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud stéfien. Mémoire de Magister d'université El Hadj Lakhdar Batna.150 pages.

BELLOLA M., (2008) : Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens). Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar Batna. 168 pages.

CHEDDAD S., (2009) : Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le traitement des glissements de terrains Cas du site de Bougaa. Algérie Nord orientale. Mémoire de Magister d'Université Mentouri de Constantine. 130 pages.

DJEMMEL S., (2009) : l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie sud-est de Sétif cas du guidjal. Mémoire de Magister d'université Mentouri Constantine.

254 pages.

DIB I., (2009) : Impacte de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux de la plaine de Gadaine-Ain-Yaghout (Est Algérien).

François A., Jean R & Nicolas L., (2005) : Hydrologie (cheminement de l'eau). Presses internationales polytechniques. Hydrologie, pp 103.

Gouaidia L., (2008) : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algérien. thèse de Doctorat d' Université Badji Mokhtar-Annaba. 199 pages.

Guasmi I., (2009) : Pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l'oued Medjerda (nord-est Algérien). Thèse de Doctorat d' Université Badji Mokhtar-Annaba. 205 pages.

ROUBHIA, (2010): L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine D'MA EL ABIOD.

Jacob F., Oliosio A., Gu X.F., Su Z. & Seguin B., (2002): Mapping surface fluxes using airborne visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data and a spatialized surface energy balance model. *Agronomies*, n°22, pp 669-680.

Jensen H. S. & Andersen F. Q., (1992): Importance of temperature, nitrate and ph for phosphate release from aerobic sediments of four shallow eutrophic lakes. *oceanogr*, volume 37, n°3, pp 557-589.

NOEMI, (2002) : Contribution a l'étude hydro-geochimique du bassin versant de kaluvelly, sud-est de l'inde. *Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie*, Université pierre et marie curie, Université paris-sud, Ecole des mines de paris & Ecole nationale du Génie rural des eaux et des forets, 52 p.

TABET S., (2008) : Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire de Magister Université Mentouri Constantine. 132 pages.

RESUME

La plaine de Meskiana se situe au Nord-Est d'Algérie, cette plaine possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, à savoir uniquement les eaux souterraines de la nappe Mio-Plio-Quaternaire. Le climat de la région est semi-aride. Ces dernières années l'activité agricole contribue d'une part à la dégradation de la qualité des eaux et son corollaire l'agression de l'environnement en réponse à l'exploitation intensive de la nappe d'eau et à l'activité anthropique par l'accroissement démographique.

L'objectif de ce thème de recherche est l'étude de l'influence de la lithologie et les paramètres climatologiques et l'activité anthropique sur la qualité physicochimique des eaux.

La nappe alluviale de Meskiana est constituée par des alluvions sableuses, gréseuses et conglomératiques, avec des passages argileux. Ses limites Nord-orientales chevauchent des formations diapiriques. Elle est alimentée principalement à partir des formations carbonatées de bordures.

La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de l'aquifère et les facteurs climatiques (l'évaporation responsable des précipitations salines). On note la présence de quelques polluants, tirant leurs origines des activités agricoles et des rejets urbains.

En fin les résultats issus de cette étude concordent donc parfaitement avec les questions évoquées dans la problématique de départ.

Mots clés : la plaine de Meskiana, lithologie, climat semi-aride.

ABSTRACT

Meskiana plain, located in the North-east part of Algeria, this plain has hydrous resources are relatively limited consist of underground water of the Mio-Plio-Quaternary aquifer. In recent years a high level of water demand was felt due to remarkable increase water for agriculture use. On one hand, this has induced a shortage of water and a deterioration of its quality on the other.

The goal of this research is etude influence of the lithological parameters and the climatic factors, on to physicochemical parameters of water.

Meskiana alluvial aquifer is mainly composed of sandy, sandstone and conglomeratic materials with some passages of relatively thin clay layers. It is limited to the north east by diapiric formations, the most important part of its recharge comes from the carbonate formations of the borders.

Meskiana plain characterized by simple tectonated structure the general direction of folding is South-west North-east, as to the climatic predominant in the area is semi-arid

The chemical quality of water is poor resulting from the strong salinity influenced by the lithology of the aquifer and the climatic factors (precipitations and the temperatures). Pollutants originating from agricultural activities and urban wastes are also present.

The results obtained from this study agree perfectly with the questions raised in the proposal.

Keywords: Meskiana plain, litho logical, semi-arid.

ملخص

يقع سهل مسكيانة في الشمال الشرقي الجزائري هذا السهل مزود حاليا بمصادر مياه محدودة والتي تتمثل أساسا في المياه الجوفية في هذه السنوات الأخيرة حيث يؤثر النشاط الزراعي بقدر كبير في تدني نوعية هذه المياه غاية هذا البحث هو دراسة تأثير نوعية التربة والعوامل المناخية على نوعية الكيماوية والفيزيائية للمياه.

-يتكون سطح المياه الجوفية لسهل مسكيانة من الطمي الرملي الحصى مع بعض الطبقات الصلصالية حدودها الشمالية الشرقية تتوضع بجانب بعض الصخور الغنية بالملح مما يؤثر على نوعية المياه.

كما يتميز سهل مسكيانة بعناصر تكتونية بسيطة وإلا تجاه العام للطيات هو جنوب-غرب-شمال-شرق أما المناخ السائد في المنطقة هو المناخ شبه جاف .

نوعية المياه رديئة وذلك لكثرة ملوحتها من جهة نوعية الصخور وكذا لعوامل مناخية (التبخر والتساقط) كما نذكر بوجود صرف المياه المستعملة.

كما نذكر أن النتائج جاءت متوافقة مع إشكالية موضوع البحث.

الكلمات المفتاحية: سهل مسكيانة ، نوعية التربة ، المناخ شبه جاف

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	01
CHAPITRE I : Présentation général de la zone d'étude	
I.1. Présentation générale de la zone d'étude	02
I.1.1. Situation géographique de bassin de Meskiana	
I.1.2. Situation géographique de la zone d'étude.....	02
I.2. Réseau hydrographique	04
I.3. Les ensembles morphologiques.....	04
a) Relief.....	04
b) La pente.....	05
I.4. Aperçu hydrogéologique	06
I.4.1 Conditions aux limites	07
I.4.2. Piézomètre	08
I.4.3. Perméabilité.....	09
I.5. Conclusion	10
CHAPITRE II : Les caractéristiques géologiques	
II.1. Introduction	11
II.2. La série lithostratigraphique	12
II.2.1 Trais.....	12
II.2.2. Crétacé.....	12
II.2.2.1. Aptien	12
II.2.2.2. Albien	12
II.2.2.3. Cénomaniens (moyen et supérieur).....	12
II.2.2.4. Turonien	12
II.2.2.5. Maestrichtien	13
II.2.3. Paléogène	13
II.2.3.1. Eocène	13
II.2.4. Néogène.....	13
II.2.4.1. Miocène	13
II.2.5. Quaternaire.....	13
II.2.5.1. Glacis polygéniques nappant les reliefs.....	13
II.2.5.2. Alluvions actuelles et récentes.....	13
II.3. Aperçu tectonique.....	18
II.4. Conclusion.....	19

CHAPITRE III : Le cadre hydro-climatique

III.1. Introduction.....	20
III.2. La station de mesures.....	20
III.3. Etude des facteurs climatiques	21
III.3.1. La température	21
III.3.1.1. Variations des températures moyennes annuelles	21
III.3.1.2. Variations de la température moyenne mensuelle.....	21
III.3.2. La pluviométrie	23
III.3.2.1. Variations interannuelles des précipitations	23
III.3.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations	23
III.4. Caractérisation du climat	24
III.4.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	24
III.4.2. Indice d'aridité	25
III.4.2.1. Indice de Martonne	25
III.4.3. Le diagramme de L.Emberger	26
III.4.4. Le régime saisonnier.....	29
III.5. Estimation de l'évapotranspiration	29
III.5.1. ETP (Évapotranspiration potentielle).....	29
III.5.2. ETR (Évapotranspiration réelle).....	30
III.6. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de THORNTHWAITE	30
III.7. Ruissellement R (mm)	33
III.8. L'infiltration I (mm)	33
III.9. Conclusion	35

CHAPITRE IV : Etude hydro-chimique

IV.1. Introduction.....	36
IV.2. Carte d'inventaire des points d'eau.....	36
IV.3. Etude des paramètres physico-chimiques	37
IV.3.1. Les paramètres physiques	38
IV.3.1.1. Potentiel d'Hydrogène (pH)	38
IV.3.1.2. Conductivité (CE)	39
IV.3.1.3. Minéralisation (Ms)	40
IV.3.1.4. Le résidu sec (Rs)	40
IV.3.2. Etude des paramètres chimiques	41
IV.3.2.1. Les éléments majeurs	41

IV.3.2.1.1. Les cations	41
IV.3.2.1.1.1. Calcium (Ca^{2+})	42
IV.3.2.1.1.2. Magnésium (Mg^{2+})	42
IV.3.2.1.1.3. Sodium (Na^+)	43
IV.3.2.1.1.4. Potassium (K^+)	43
IV.3.2.1.2. Les Anions.....	44
IV.3.2.1.2.1. Chlorure (Cl^-).....	44
IV.3.2.1.2.2. Sulfates (SO_4^-)	45
IV.3.2.1.2.3. Bicarbonates (HCO_3^-)	45
IV.3.2.1.2.3. Nitrate (NO_3^-).....	46
IV.4. Détermination des principaux faciès hydro chimiques.....	47
IV.4.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques	49
IV.4.1.1. Diagramme de Piper.....	49
IV.4.1.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	50
IV.5. Cartographie et évolution spatiale des éléments chimiques.....	52
IV.5.1. Cartes des calciums	53
IV.5.2. Cartes des sodiums	54
IV.5.3. Cartes des chlorures	55
IV.5.4. Cartes des sulfates	56
IV.5.4. Cartes des Bicarbonates.....	57
IV.5.5. Carte des Nitrates.....	58
IV.6. Etude de l'origine des éléments dominants et les rapports caractéristiques.....	59
IV.6.1. Détermination de l'origine du calcium.....	59
IV.6.2. Détermination de l'origine du sodium	60
IV.6.3. Détermination de l'origine du SO_4^- et Cl^-	60
IV.7. Echanges de bases	61
IV.8. Aptitude des eaux à l'irrigation	62
IV.8.1. Salinité	63
IV.8.2. Infiltration.....	64
IV.8.2.1. Eaux peu salées.....	64
IV.8.2.2. Eaux à forte teneur en sodium (Risque de sodicité)	64
IV.8.2.2.1. Classification des eaux par la méthode de Riverside.....	65
IV.9. Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richard.....	68

IV .10.Conclusion	69
Conclusion générale.....	70
REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	72
ANNEXES.....	74

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
scientifique
Université Abbes LAGHROUR
Khenchela
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département d'Ecologie et d'Environnement

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MAGISTER

Option: Gestion intégrée des ressources en eaux et développement
durable

THEME

**FONCTIONNEMENT GEOCHIMIQUE ET HYDROCHIMIQUE
DE LA VALLEE D'OUED MESKIANA**

Par : MEZHOUH Amel

Devant le jury composé de :

Pr. DARBOUCHE. Abdelhak

Dr. HOUHA. Belghacem

Pr. HOUHAMEDI. Moussa

Président

Rapporteur

Examineur

Année : 2012/2013

DEDICACE

À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes.

Mon père.

À celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation.

Ma Mère.

À celui qui a été toujours à mes côtés.

Mon mari

À mon fils Kossai Modjib Arrahmen.

Mes frères, Walid , Fakhri.

Ma soeur, Khawla

À tous mes amis.

À toute ma promotion de poste-graduation.

À tous mes professeurs.

Mon entourage familial, n'ont ménagé aucun effort pour m'apporter tout le soutien moral et matériel.

Ce travail est pour vous,

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : La situation géographique de la zone d'étude.....	03
Figure 02 : Carte hypsométrique du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifié).....	05
Figure 03: Carte des pentes du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifiée).....	06
Figure 04 : Carte des conditions aux limites de la nappe de Meskiana (Gouidia, 2008 modifiée).....	07
Figure 05 : Carte piézométrique de la nappe de Meskiana, juillet 2004 (Gouidia, 2008 modifiée).....	08
Figure 06 : Carte de répartition de la perméabilité de la nappe de Meskiana en (10^{-4}) m/s (Gouidia, 2008 modifiée).....	09
Figure 07 : Carte géologique de Nord-Est algérien (SONATRACH, 1990).....	14
Figure 08 : Carte géologique du bassin de Meskiana (Gouidia, 2008 modifié).....	15
Figure 09 : Coupe géologiques dans le bassin de Meskiana (Gouidia, 2008).....	16
Figure 10 : Schéma lithostratigraphique des formations géologiques de bassin de Meskiana (Gouidia, 2008).....	17
Figure 11 : Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980).....	18
Figure 12 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	21
Figure 13 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	22
Figure 14 : Variation des températures mensuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010)	22
Figure 15 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	23
Figure 16 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	24
Figure 17 : Diagramme ombrothermique de la station d'Oum-ElBouaghi.....	25
Figure 18 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.....	26
Figure 19 : Climagramme d'Emberger de la station Oum-ElBouaghi.....	27
Figure 20 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010)	29

Figure 21 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum-EIBouaghi, par la méthode de Thornthwaite.....	33
Figure 22 : Carte d'inventaire des points d'eau.....	37
Figure 23 : Carte de la distribution spatiale de la conductivité électrique en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	39
Figure 24 : Carte de répartition des faciès chimiques de la nappe de Meskiana.....	48
Figure 25 : La représentation des échantillons sur le diagramme de Piper.....	50
Figure 26 : Diagramme de Schoeler-Berkaloff (A l'amont de la nappe).....	51
Figure 27 : Diagramme de Schoeler-Berkaloff (A l'aval de la nappe).....	52
Figure 28 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en calcium dans les eaux souterraines (mg/l).....	53
Figure 29 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sodium dans les eaux souterraines (mg/l).....	54
Figure 30 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en chlorure dans les eaux souterraines (mg/l).....	55
Figure 31 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines (mg/l).....	56
Figure 32 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en Bicarbonates dans les eaux souterraines (mg/l).....	57
Figure 33 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines (mg/l).....	58
Figure 34 : L'origine du calcium.....	59
Figure 35 : L'origine du sodium.....	60
Figure 36 : L'origine de la salinité en fonction du rapport caractéristique ($\text{Cl}^- / \text{SO}_4$)	61
Figure 37: Graphe explique le phénomène des échanges de bases.....	62
Figure 38 : Représentation des échantillons sur le diagramme de Riverside (A l'amont de la nappe).....	66
Figure 39 : Représentation des échantillons sur le diagramme de Riverside (A l'aval de la nappe).....	67
Figure 40 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation de la nappe de Meskiana selon la classification de Riverside	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01 : Les coordonnées géographiques de la zone d'étude	02
Tableau 02 : Caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de l'Oued Meskiana (Belloula, 2008).....	04
Tableau 03 : Les Coordonnées géographiques de la station de mesure.....	20
Tableau 04 : La valeur du quotient pluviométrique d'Emberger à la station d'Oum-ElBouaghi (période 1996-2010)	27
Tableau 05 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).....	28
Tableau 06 : Valeurs de l'ETP estimées par la formule de Thornthwaite.....	30
Tableau 07 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite	31
Tableau 08 Bilan hydrologique pour l'année la plus humide à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2004/2005).....	31
Tableau 09 : Bilan hydrologique pour l'année la plus sèche à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2000/2001).....	31
Tableau 10: Répartition des précipitations à la station de Meskiana.....	34
Tableau 11 : Variation des concentrations du pH.....	38
Tableau 12 : Variation des concentrations de la conductivité électrique.....	39
Tableau 13 : Variation des concentrations de la minéralisation.....	40
Tableau 14 : Variation des concentrations du résidu sec.....	41
Tableau 15: Variation des concentrations du calcium.....	42
Tableau 16 : Variation des concentrations du magnésium.....	43
Tableau 17 : Variation des concentrations du sodium.....	43
Tableau 18 : Variation des concentrations du potassium.....	44
Tableau 19 : Variation des concentrations du chlorure.....	45
Tableau 20 : Variation des concentrations du sulfate.....	45
Tableau 21 : Variation des concentrations du bicarbonate.....	46
Tableau 22 : Variation des concentrations en nitrates.....	47
Tableau 23 : Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère de Meskiana.....	47
Tableau 24 : Qualité de l'eau pour l'irrigation selon la conductivité électrique.....	63

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

CE : Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

DSA : Direction des Services Agricoles

DA : Déficit Agricole (mm)

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm)

ETR : Evapotranspiration Réelle (mm)

EX : Excédent en eau du sol (mm)

I : Infiltration de l'eau dans le sol (mm)

I : Indice d'aridité

K: Perméabilité (m/s)

P : Précipitations (mm)

Q2 : Quotient pluviométrique

R : Ruissellement (mm)

RFU : Réserve Facilement Utilisable (mm)

SAR : Sodium Absorption Ratio

T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	01
CHAPITRE I : Présentation général de la zone d'étude	
I.1. Présentation générale de la zone d'étude	02
I.1.1. Situation géographique de bassin de Meskiana	
I.1.2. Situation géographique de la zone d'étude.....	02
I.2. Réseau hydrographique	04
I.3. Les ensembles morphologiques.....	04
a) Relief.....	04
b) La pente.....	05
I.4. Aperçu hydrogéologique	06
I.4.1 Conditions aux limites	07
I.4.2. Piézomètre	08
I.4.3. Perméabilité.....	09
I.5. Conclusion	10
CHAPITRE II : Les caractéristiques géologiques	
II.1. Introduction	11
II.2. La série lithostratigraphique	12
II.2.1 Trais.....	12
II.2.2. Crétacé.....	12
II.2.2.1. Aptien	12
II.2.2.2. Albien	12
II.2.2.3. Cénomaniens (moyen et supérieur).....	12
II.2.2.4. Turonien	12
II.2.2.5. Maestrichtien	13
II.2.3. Paléogène	13
II.2.3.1. Eocène	13
II.2.4. Néogène.....	13
II.2.4.1. Miocène	13
II.2.5. Quaternaire.....	13
II.2.5.1. Glacis polygéniques nappant les reliefs.....	13
II.2.5.2. Alluvions actuelles et récentes.....	13
II.3. Aperçu tectonique.....	18
II.4. Conclusion.....	19

CHAPITRE III : Le cadre hydro-climatique

III.1. Introduction.....	20
III.2. La station de mesures.....	20
III.3. Etude des facteurs climatiques	21
III.3.1. La température	21
III.3.1.1. Variations des températures moyennes annuelles	21
III.3.1.2. Variations de la température moyenne mensuelle.....	21
III.3.2. La pluviométrie	23
III.3.2.1. Variations interannuelles des précipitations	23
III.3.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations	23
III.4. Caractérisation du climat	24
III.4.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	24
III.4.2. Indice d'aridité	25
III.4.2.1. Indice de Martonne	25
III.4.3. Le diagramme de L.Emberger	26
III.4.4. Le régime saisonnier.....	29
III.5. Estimation de l'évapotranspiration	29
III.5.1. ETP (Évapotranspiration potentielle).....	29
III.5.2. ETR (Évapotranspiration réelle).....	30
III.6. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de THORNTHWAITE	30
III.7. Ruissellement R (mm)	33
III.8. L'infiltration I (mm)	33
III.9. Conclusion	35

CHAPITRE IV : Etude hydro-chimique

IV.1. Introduction.....	36
IV.2. Carte d'inventaire des points d'eau.....	36
IV.3. Etude des paramètres physico-chimiques	37
IV.3.1. Les paramètres physiques	38
IV.3.1.1. Potentiel d'Hydrogène (pH)	38
IV.3.1.2. Conductivité (CE)	39
IV.3.1.3. Minéralisation (Ms)	40
IV.3.1.4. Le résidu sec (Rs)	40
IV.3.2. Etude des paramètres chimiques	41
IV.3.2.1. Les éléments majeurs	41

IV.3.2.1.1. Les cations	41
IV.3.2.1.1.1. Calcium (Ca^{2+})	42
IV.3.2.1.1.2. Magnésium (Mg^{2+})	42
IV.3.2.1.1.3. Sodium (Na^+)	43
IV.3.2.1.1.4. Potassium (K^+)	43
IV.3.2.1.2. Les Anions.....	44
IV.3.2.1.2.1. Chlorure (Cl^-).....	44
IV.3.2.1.2.2. Sulfates (SO_4^-)	45
IV.3.2.1.2.3. Bicarbonates (HCO_3^-)	45
IV.3.2.1.2.3. Nitrate (NO_3^-).....	46
IV.4. Détermination des principaux faciès hydro chimiques.....	47
IV.4.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques	49
IV.4.1.1. Diagramme de Piper.....	49
IV.4.1.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF	50
IV.5. Cartographie et évolution spatiale des éléments chimiques.....	52
IV.5.1. Cartes des calciums	53
IV.5.2. Cartes des sodiums	54
IV.5.3. Cartes des chlorures	55
IV.5.4. Cartes des sulfates	56
IV.5.4. Cartes des Bicarbonates.....	57
IV.5.5. Carte des Nitrates.....	58
IV.6. Etude de l'origine des éléments dominants et les rapports caractéristiques.....	59
IV.6.1. Détermination de l'origine du calcium.....	59
IV.6.2. Détermination de l'origine du sodium	60
IV.6.3. Détermination de l'origine du SO_4^- et Cl^-	60
IV.7. Echanges de bases	61
IV.8. Aptitude des eaux à l'irrigation	62
IV.8.1. Salinité	63
IV.8.2. Infiltration.....	64
IV.8.2.1. Eaux peu salées.....	64
IV.8.2.2. Eaux à forte teneur en sodium (Risque de sodicité)	64
IV.8.2.2.1. Classification des eaux par la méthode de Riverside.....	65
IV.9. Cartographie d'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Richard.....	68

IV .10.Conclusion	69
Conclusion générale.....	70
REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	72
ANNEXES.....	74

Introduction générale

Introduction générale

Dans les régions semi-arides, l'aridité du climat, associée à l'activité agricole et au changement de la lithologie sont autant de facteurs qui contribuent à la dégradation de la qualité des eaux ; la vallée de l'oued Meskiana, est une zone à vocation agricole, les eaux souterraines subissent quotidiennement des agressions, soit par utilisation et infiltration des engrais chimiques, soit par pompes intensives jusqu'à drainer les eaux de l'oued très polluées par lessivage des déchets solides.

Notre étude s'inscrit dans une dynamique de protection et de la valorisation des ressources en eau, rares en région semi-arides, afin de préserver sa qualité et de pouvoir répondre aux besoins des populations.

Cette étude s'articule autour d'un certain nombre de points auxquels nous essayons de leur apporter des réponses.

Ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quelles sont la variabilité et la répartition quantitative des éléments majeurs ?
- Quels sont les principaux faciès chimiques des eaux et leur relation avec l'environnement géologique ?
- Quel est le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques ?
- Quelle est la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe ?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques de la nappe ?
- Serait-il possible d'utiliser ces eaux à des usages de potabilité ou d'irrigation ?

Afin de répondre à ces préoccupations, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- Un aperçu géographique de la région de Meskiana ;
- Une étude du cadre géologique consistera à définir la lithologie des formations constituant la région;
- Une étude hydro-climatologique permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les réserves d'eau souterraine ;
- Une étude hydro-chimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre leur évolution dans l'espace. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines du point de vue potabilité et aptitude à l'irrigation.

I.1. Présentation générale de la zone d'étude**I.1.1. Situation géographique de bassin de Meskiana**

Situé au Sud-Ouest du bassin de la Medjerda, d'une superficie de 1854 km², le bassin d'Oued Meskiana est limité au :

- Nord : Djebel Mesloula, Argoub El Mnachir et Djebel Khannaga ;
- Nord-Ouest : Djebel Chettaya, Djebel Bou Thokhma, et Djebel Ahmar ; - Nord-Est : Djebel Belkif ;
- Sud-Est : Djebel Gouriguer, Djebel Es Stih, et Djebel Khemalal ;
- Sud-Ouest : Djebel Boutoukhma et Chott Esbikha (Gouidia, 2008).

Le site du bassin est localisé entre les coordonnées sphériques suivantes :

Latitude : 35,51° Nord et 35,13° Nord.

Longitude : 7,50° Est et 7,14° Est (Belloula, 2008).

I.1.2. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude occupe une petite partie du bassin de Meskiana. Elle est localisée au Nord du bassin, entre les coordonnées géographiques qui sont représentées dans le tableau 01

Tableau 01 : Les coordonnées géographiques de la zone d'étude

Coordonnées géographiques				
X min	X max	Y min	Y max	Z
933	963	260	276	921

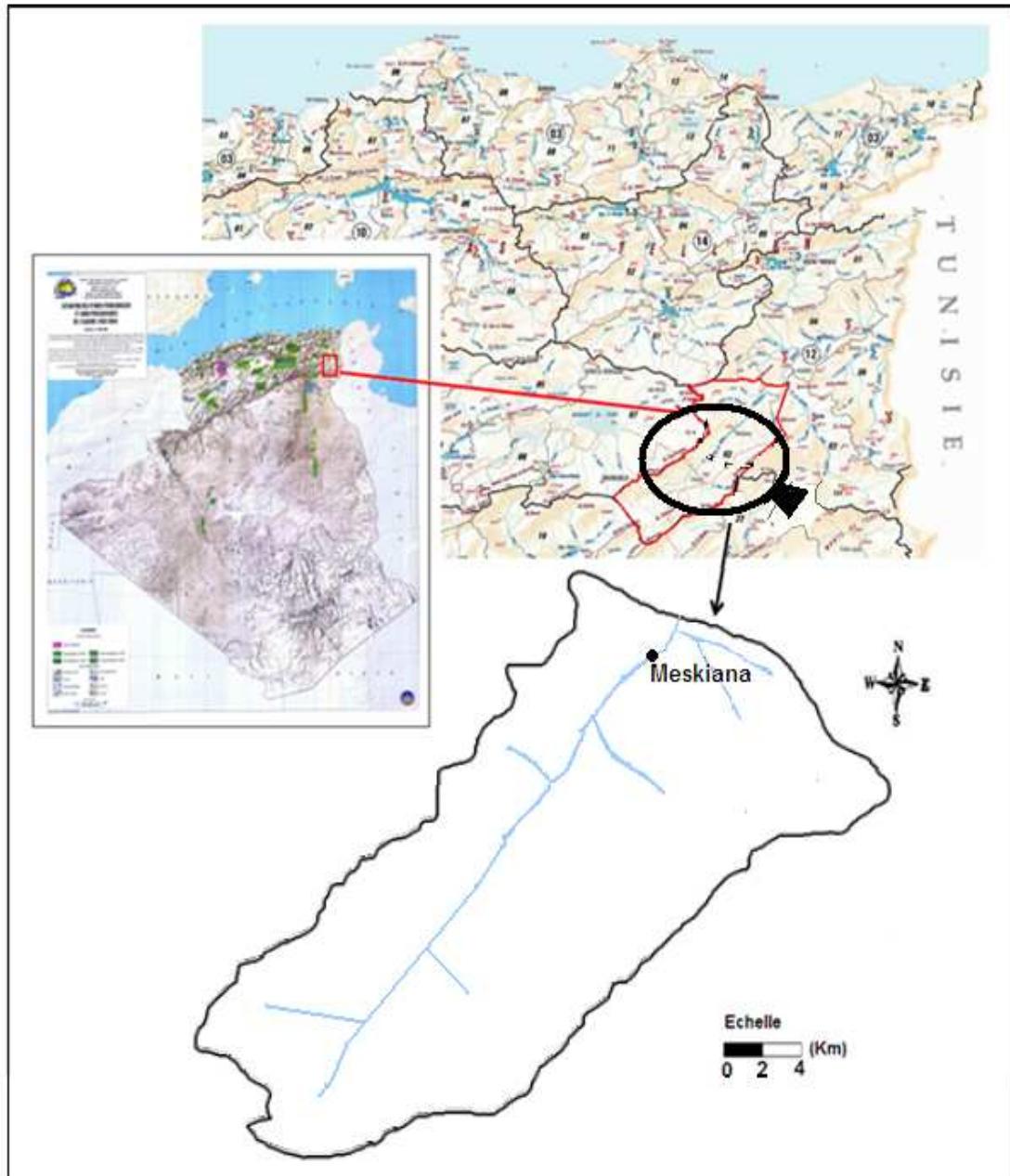


Figure 01 : La situation géographique de la zone d'étude

I.2. Réseau hydrographique

Le bassin versant de Meskiana est traversé par un seul cours d'eau principal, qui est l'Oued Meskiana, avec une longueur de 53,80 km (ABH, 2001). Il est considéré comme un collecteur des eaux de ruissellement qui affluent sur ses deux rives :

-Sur la rive droite, les principaux affluents (temporaires) prenant naissance à partir des montagnes et se déversant dans l'Oued Meskiana sont : l'Oued Rbâa, l'Oued Hmadjra, l'Oued Smar El Houd et l'Oued El Mallah.

-Sur la rive gauche, on compte : l'Oued Djdidia et l'Oued Ain Sedjra.

Les caractéristiques morpho-métriques de bassin versant de l'Oued Meskiana sont calculés par Belloula et se résument dans le tableau 02.

Tableau 02 : Caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de l'Oued Meskiana (Belloula, 2008)

Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de compacité	Longueur du rectangle équivalent (km)	largeur du rectangle équivalent (km)	Dénivelé spécifique (m)	Indice de pente de Roche
1854	248	1,61	106,36	17,64	276.62	4,47

D'après les résultats présentés dans le (Tableau 02), on peut dire que le bassin d'Oued Meskiana a une forme allongée, avec des reliefs modérés.

I.3. Les ensembles morphologiques

a) Relief

Le relief peut être caractérisé par la courbe hypsométrique. Il joue un rôle dans la détermination de l'aptitude au ruissellement, à l'infiltration et l'évaporation du bassin versant.

L'étude de la carte hypsométrique (figure 02) fait apparaître cinq secteurs qui caractérisent le bassin de Meskiana :

1- Le secteur de haute altitude (supérieur à 1400 m) qui correspond aux massifs montagneux de côté de Tazoguerte ce qui implique l'abondance des précipitations et de l'écoulement avec un pourcentage de 4,03 % de sa surface globale

2- Le secteur d'altitude (inférieur à 800 m) qui forme une petite partie située au Nord-Est du bassin, avec un pourcentage de 0,5 % de sa surface globale.

3- Le secteur le plus dominant est se situé entre 1000 m et 1200 m, il représente environ 69,92 % de la surface globale de bassin d'Oued Meskiana.

4- Le secteur qui se situé entre 1200 m et 1400 m, représente 19,42% de sa surface globale.

5- Le secteur qui se situé entre 800 m et 1000 m, représente 6,13% de sa surface globale.

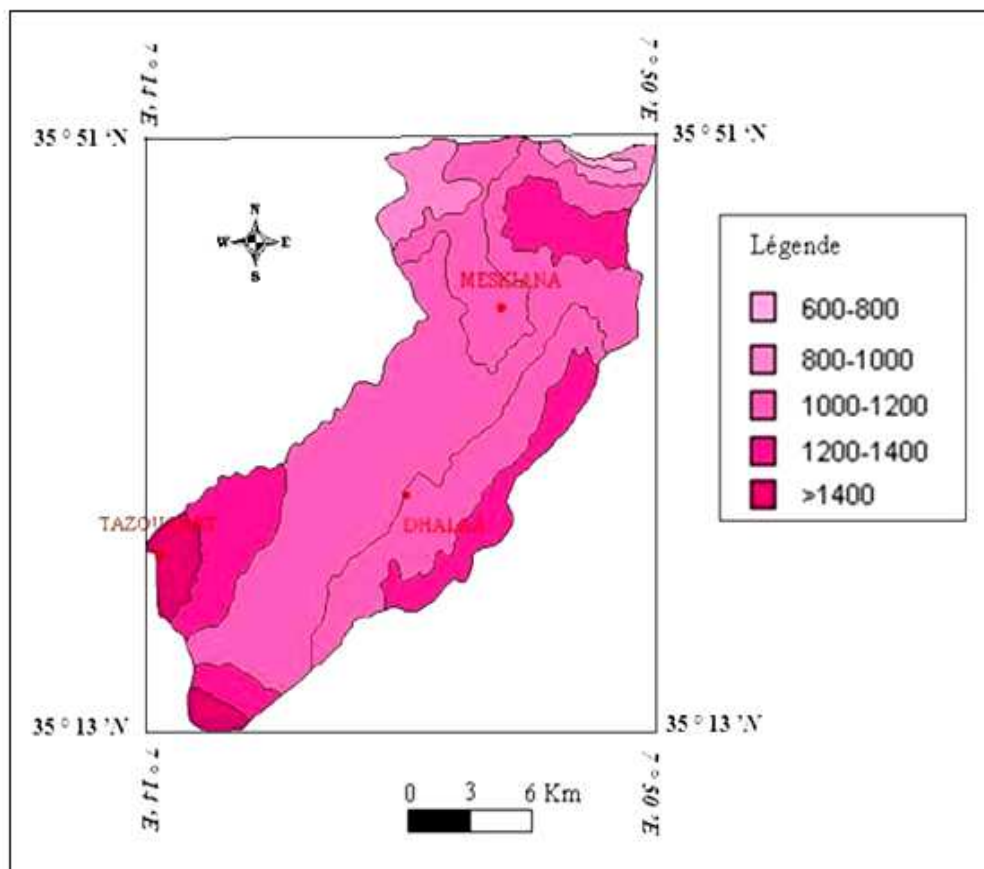


Figure 02 : Carte hypsométrique du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifié)

b) La pente

D'après la carte des pentes de bassin (figure 03), on distingue quatre classes :

Classe 1 : Les pentes comprises entre 0% et 3 %, elles occupent 41,47% de la surface globale et représente la plus grande partie de bassin.

Classe 2 : C'est la classe des pentes 3% et 12%, Elle occupe 40,87% de la surface du bassin de Meskiana.

Classe 3 : Les pentes comprises entre 12% et 25%, elles occupent 14,30% de la surface globale et concernent les zones où l'absence du couvert végétal favorise l'accélération de ruissellement.

Classe 4 : C'est la classe de fortes pentes supérieures à 25%, elles occupent 3,34% de la surface globale on les trouve surtout dans les sommets.

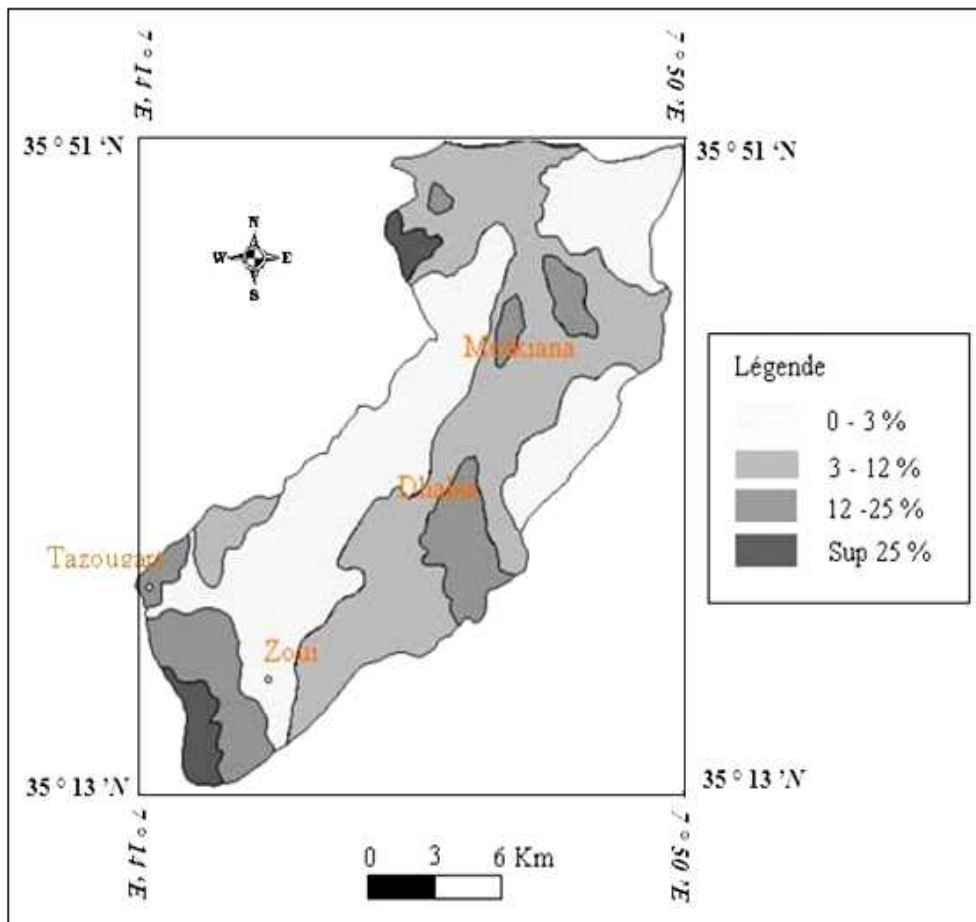


Figure 03 : Carte des pentes du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifiée)

I.4. Aperçu hydrogéologique

Dans le bassin de Meskiana l'alimentation de la nappe se fait grâce à la perméabilité de toit d'une part, qui est constitué de calcaire et de gypse, et d'autre part par les bordures calcaires qui occupent la partie Sud-Ouest de la plane, toutes ces formations géologiques favorisent la perméabilité des eaux, ces dernières vont s'accumuler dans un réservoir imperméable de nature argilo-marneuse.

1.4.1. Conditions aux limites

Dans le but de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique de la nappe, on a basé sur la carte des conditions aux limites de la nappe aquifère de Meskiana. Cette carte (figure 04) illustre que les limites perméables se localisent à l'Ouest de la plaine, à cause de la présence du calcaire fissuré, par contre, les limites imperméables se concentrent à l'Est de la plaine où les marnes se localisent.

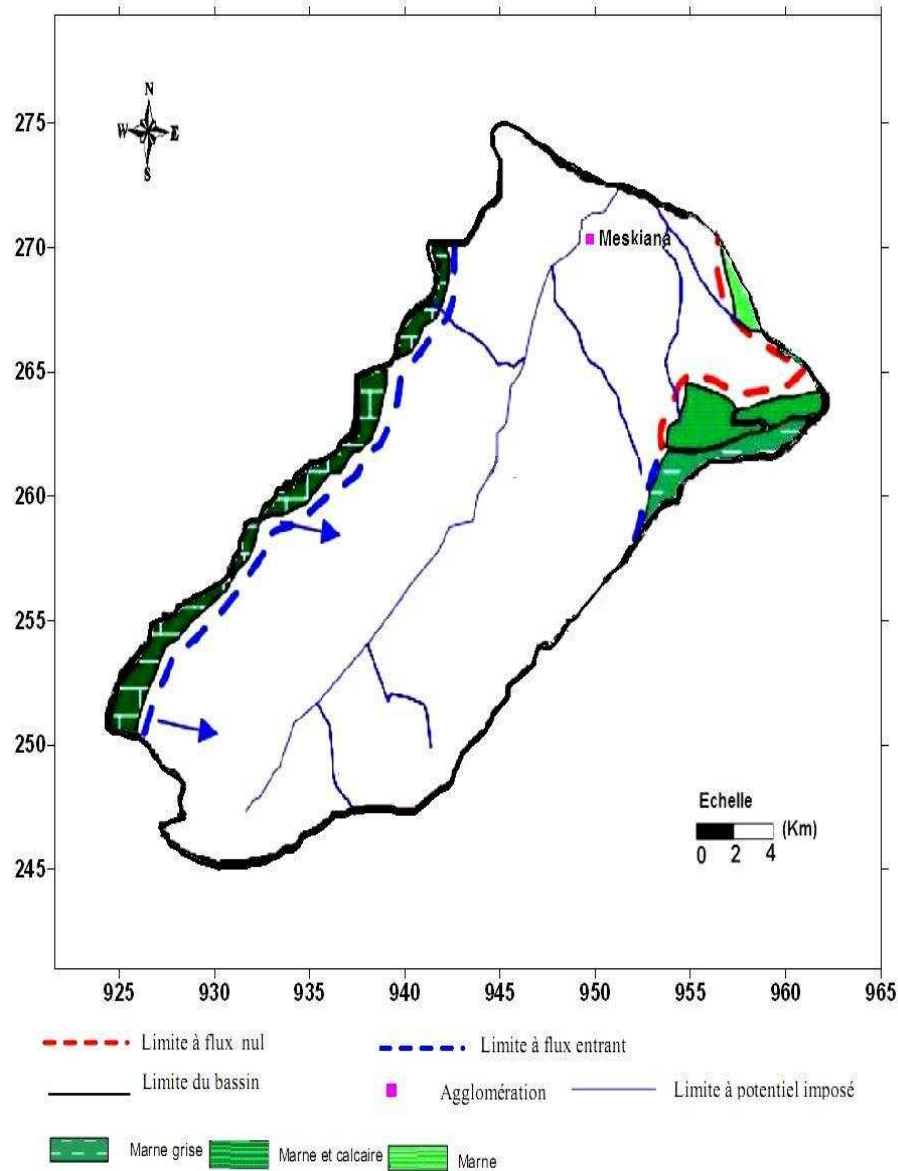


Figure 04 : Carte des conditions aux limites de la nappe de Meskiana (Gouidia, 2008 modifiée)

I.4.2. Piézométrie

La carte piézométrique (figure 05), montre que le sens d'écoulement des eaux se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

Le fait marquant c'est que toutes les eaux sont drainées par Oued Meskiana avec quelques écoulement épisodiques vers le NE de la plaine. On remarque que les courbes isopiézes sont resserrées à l'Ouest de la nappe indiquant que la vitesse de l'écoulement est importante grâce aux bordures perméables de calcaires.

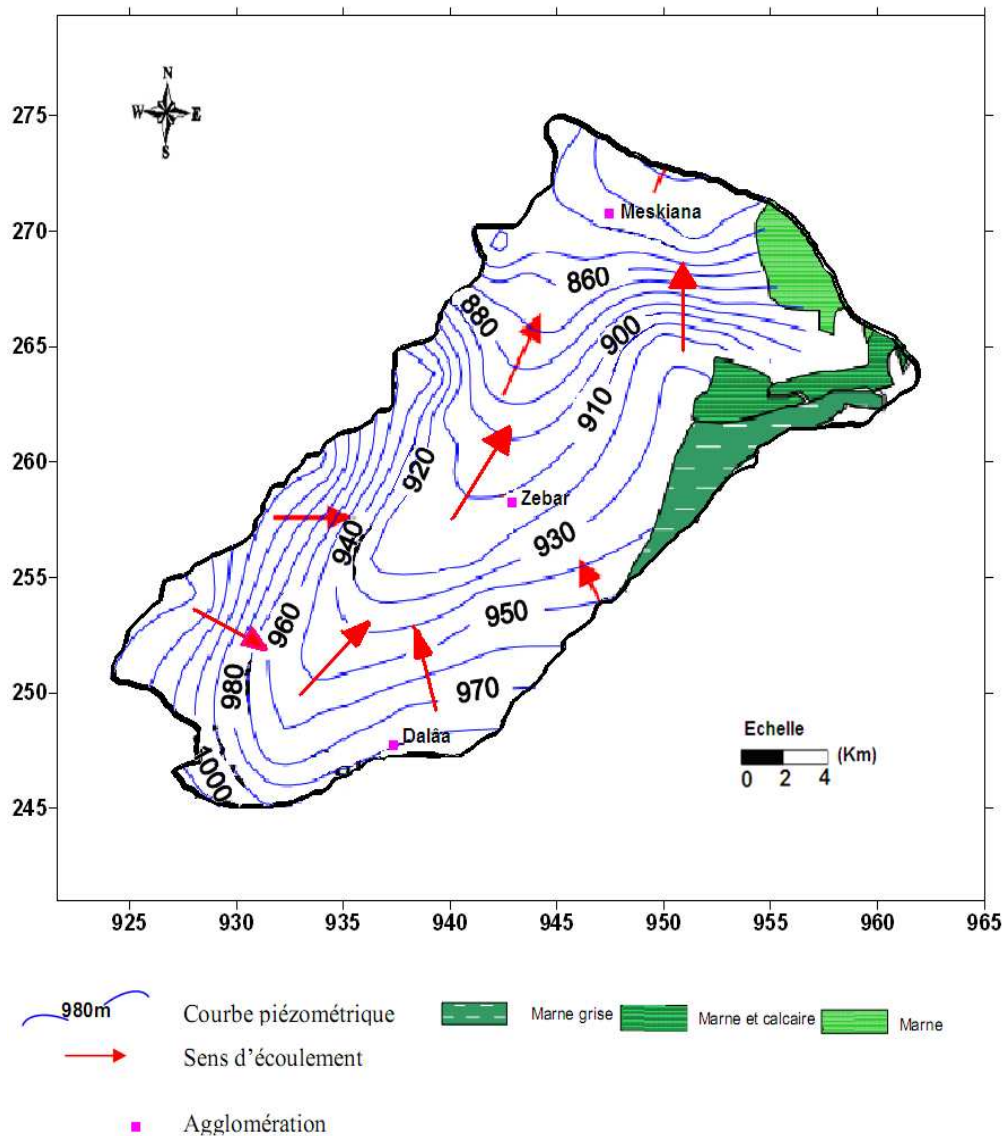


Figure 05 : Carte piézométrique de la nappe de Meskiana, juillet 2004

(Gouidia, 2008 modifiée)

I.4.3. Perméabilité

L'examen de la carte de perméabilité (figure 06) montre que les valeurs les plus importantes se localisent au centre de la plaine, car cette zone est caractérisée par la présence des matériaux très perméables comme les calcaires et les gypses, par contre les valeurs les plus faibles sont enregistrées au Sud de la plaine parce que les formations géologiques de cette zone sont des roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles.

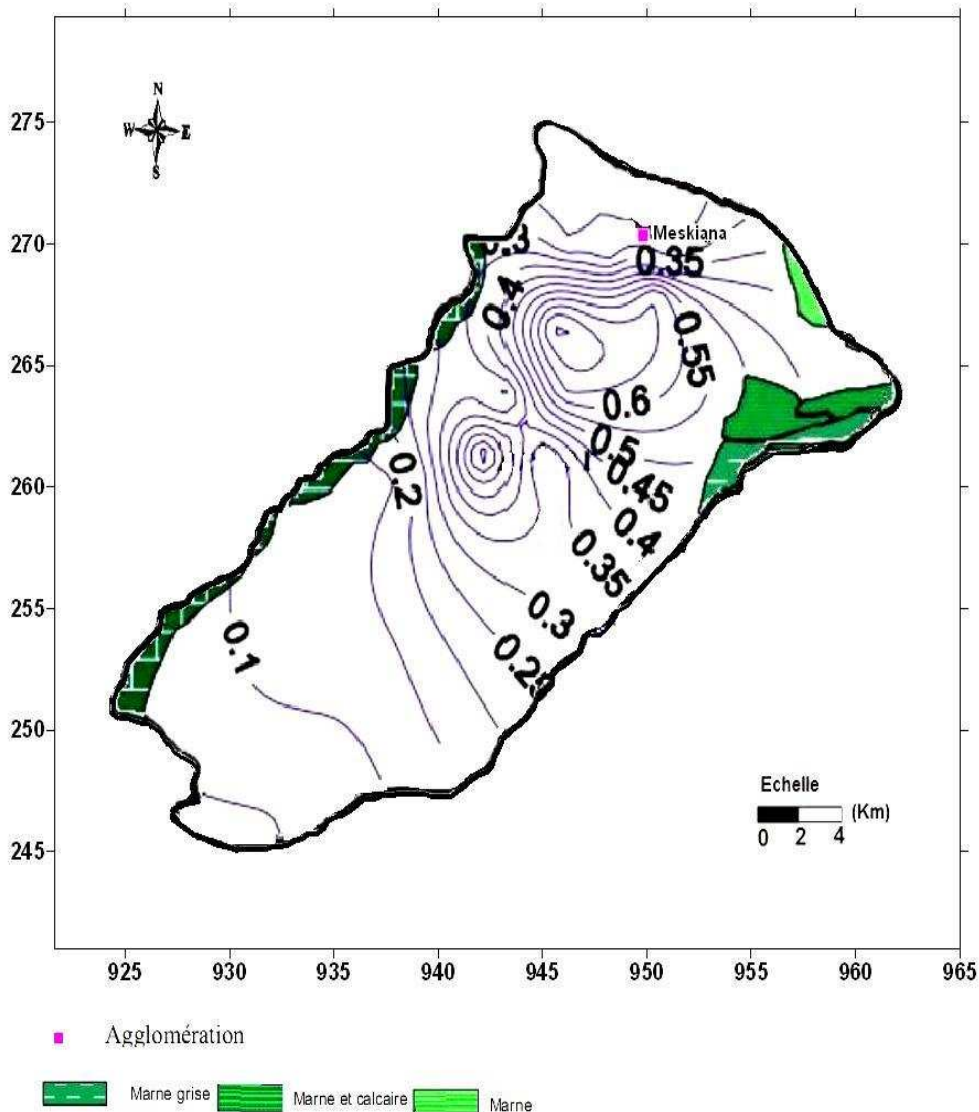


Figure 06 : Carte de répartition de la perméabilité de la nappe de Meskiana en (10^{-4}) m/s (Gouidia, 2008 modifiée)

I.5. Conclusion

La zone d'étude occupe une petite partie du bassin de Meskiana. Elle est localisée au Nord du bassin, entre les coordonnées géographiques suivants

-X max : 930

-Y max : 276

-X min : 933

-Y min : 260

-Z : 921

-Le bassin d'Oued Meskiana a une forme allongée, avec des reliefs modérés.

-Le relief peut être caractérisé par la courbe hypsométrique. Il joue un rôle dans la détermination de l'aptitude au ruissellement, à l'infiltration et l'évaporation du bassin versant.

-La carte des conditions aux limites, illustre que les limites perméables se localisent à l'Ouest de la plaine, à cause de la présence du calcaire fissuré, par contre, les limites imperméables se concentrent à l'Est de la plaine où les marnes se localisent.

-La carte piézométrique, montre que le sens d'écoulement des eaux se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

-Les valeurs les plus importantes de la perméabilité, se localisent au centre de la plaine, car cette zone est caractérisée par la présence des matériaux très perméables comme les calcaires et les gypses, par contre les valeurs les plus faibles sont enregistrées au Sud de la plaine parce que les formations géologiques de cette zone sont des roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles.

II.1. Introduction

L'étude géologique s'intéresse aux roches et aux matériaux dérivés qui composent les couches souterraines de bassin de Meskiana. La lithologie joue aussi un rôle très important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies).

Il y a plusieurs géologues chercheurs qui travaillent sur le bassin de Meskiana tel que : M.G.BETIER et al. (1951), qui ont réalisé la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000, J.M. VILA (1977) qui a réalisé la carte de Dalâa, la carte de F'Kirina, la carte d'Ain Beida au 1/50000, D. KUSCER et al. (1985), qui ont réalisé la carte de Meskiana au 1/50000 et S.DOZET (1985), qui a réalisé la carte d'El Aouinet au 1/50000.

Ces travaux sur le bassin de Meskiana ont montré qu'il s'agit des terrains sédimentaires autochtones Nord-Aurésiens (J.M. VILA, 1980) qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines Constantinoises. Ces formations sont constituées de:

- Terrains anciens représentés par le Trias à faciès lagunaire, apparaissant en diapirs ;
- Très importantes assises d'âge Crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées de marnes et de calcaires ;
- Des grès et des calcaires gréseux marins formant la base du Miocène ;
- Divers recouvrements continentaux représentant le Mio-Plio-Quaternaire.

II.2. La série lithostratigraphique

En général, le bassin versant de Meskiana est caractérisé par une géologie complexe et qualifiée de grande tectonique. L'évolution des terrains rencontrés du Secondaire au Plio-Quaternaire. On a deux grandes ensembles représentés la lithostratigraphie du bassin de Meskiana :

-Le premier est constitué essentiellement par les formations Crétacées et Tertiaires qui affleurent dans les bordures ;

-Le second est formé, en général, par un recouvrement Mio-Plio-Quaternaire qui se dépose dans la plaine.

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique complète que nous allons décrire ci-après :

II.2.1. Trais

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (J.M. VILA, 1977), il est formé de pointement diapéritique jalonnants les accédants tectoniques c'est-à-dire qu'il est en position anormal.

- Au Nord, à proximité d'El Aouinet, au niveau de Mesloulou, Argoub Ez Zitoun et Argoub El Houra, le Trias se trouve en contact anormal avec les récifs Albo-Aptiens.

- Au Nord-Est (Djebel Belkefif), le Trias est en contact anormal avec les mêmes récifs et également avec le Cénomaniens et le Turonien (figure 09, coupe AA).

II.2.2. Crétacé**II.2.2.1. Aptien**

Il s'agit des formations de dimensions assez réduites affleurant au Nord, qui sont en contact anormal avec des pointements triasiques, au niveau de Mesloulou, Djebel Belkefif, Argoub Ez Zitoun et Kodiat El Hadjel. Ces formations sont représentées par des assises carbonatées qui sont recouvertes par le Miocène (figure 09, coupe AA'). Il présente un faciès lagunaire avec intercalation marine, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, et des dolomies.

II.2.2.2. Albien

Ces formations sont observées au Djebel Belkefif et à Mesloulou avec des épaisseurs très réduites, n'excédant pas 100m. Ces formations sont représentées par des calcaires noirs en plaquettes renfermant des intercalations des marnes argileuses gris foncées à noires (DOZET, 1985).

II.2.2.3. Cénomaniens (moyen et supérieur)

Sont des calcaires marneux avec intercalations marneuses et gypseuses (TABET S, 2008) Cet étage se présente à la limite Nord-Est de la plaine (région de Bellala), sous forme d'une série très puissante dont l'épaisseur varie de 600 m à 1000 m.

II.2.2.4. Turonien

Il est observé au Nord-Est à Douar El Machtab, et il est représenté par uniformément dans toute la zone montagneuse par un épais niveau de 200 à 300 m d'épaisseur. Composé de calcaire cristallin de calcaire marneux et de calcaire dolomitique.

II.2.2.5. Maestrichtien

Les calcaires maestrichtiens forment les monts du Djebel Gourigueur, Djebel Bou Tokhma et Djebel Garne Lahmar.

Il est formé par des Calcaires massifs à la base puis alternance de marnes et de calcaires dures.

II.2.3. Paléogène

Il est observé seulement à la limite orientale, entre Djebel Guerigueur et Djebel Serdies. Il est représenté par une série de 50 m de puissance, constituée de marnes gris foncées qui sont parfois argileuses.

II.2.3.1. Eocène

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de Meskiana, notamment à Djebel Gourigueur et au synclinal d'Ain Dalâa. Il est caractérisé par des calcaires et des marnes avec des intercalations de calcaires marneux et des marno-calcaire selon la teneur en carbonates (BALOULA, 2008).

II.2.4. Néogène**II.2.4.1. Miocène**

Les affleurements du Miocène sont de dimensions réduites et se répartissent dans la partie Nord de la plaine surtout à Mesloula, Argoub El Manchar, Argoub Ez Zitoun, Kodiat El Agab, Kodiat Rehia et Kodiat Naga.

Donc c'est une série composée par un ensemble marno-calcaire en haut, un ensemble de calcaires épais au centre de la série, et une série de stratification d'argile, calcaire, grés.

II.2.5. Quaternaire**II.2.5.1. Glacis polygéniques nappant les reliefs**

Ces glacis s'étendent sur de grandes surfaces de la plaine en pente douce, ils recouvrent le cycle antérieur de glacis, qui est facile à reconnaître car il est constitué de croûtes calcaires massives.

II.2.5.2. Alluvions actuelles et récentes

Ces alluvions ont une extension limitée à la vallée de Meskiana. Elles sont constituées de limons fins, de sables fins, de graviers et d'alluvions argileuses qui se déposent des deux cotés de l'Oued Meskiana.

Les différentes formations géologiques du bassin de Meskiana se résument dans la (figure 10).

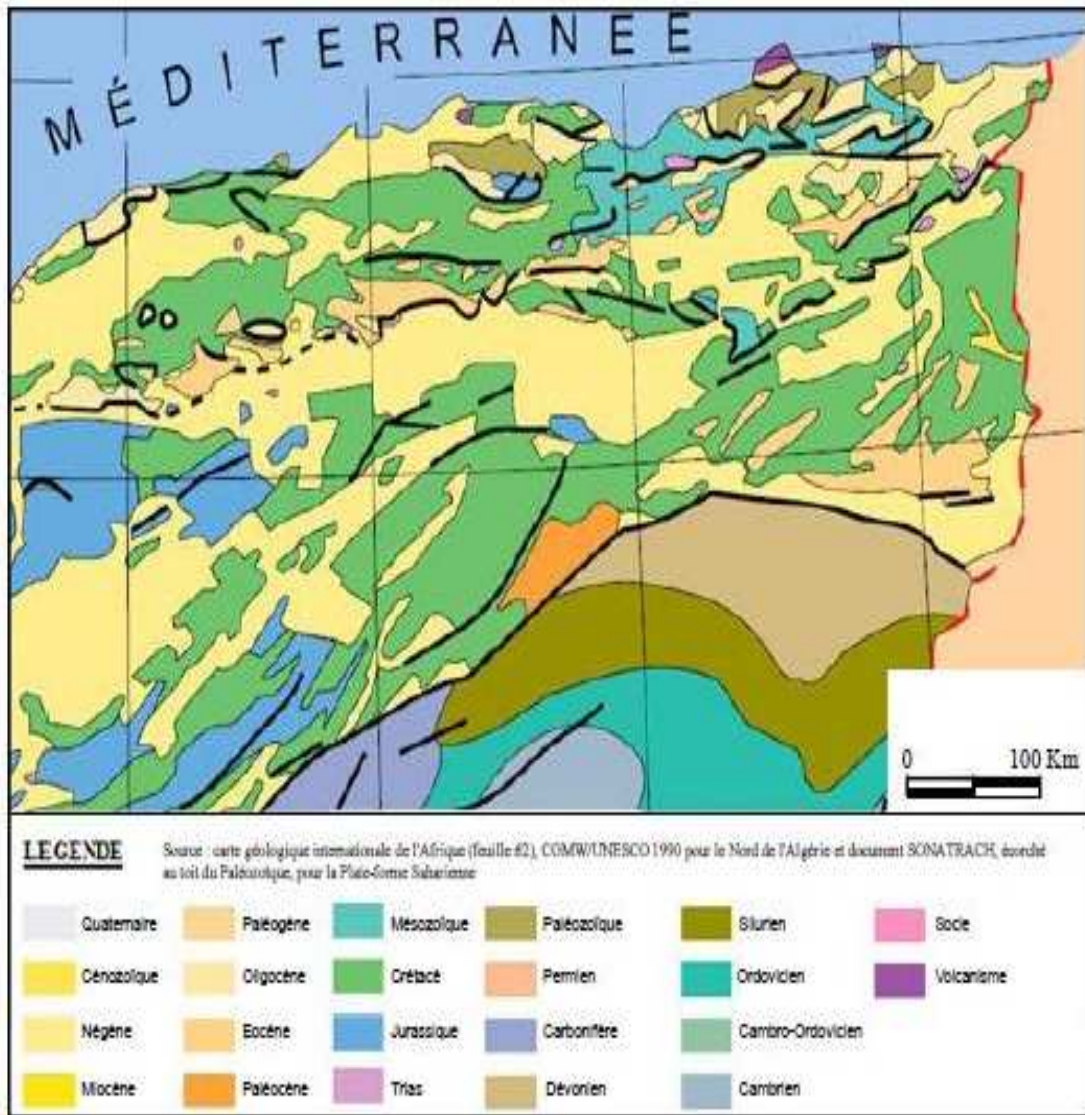


Figure 07 : Carte géologique de Nord-Est algérien (SONATRACH, 1990)

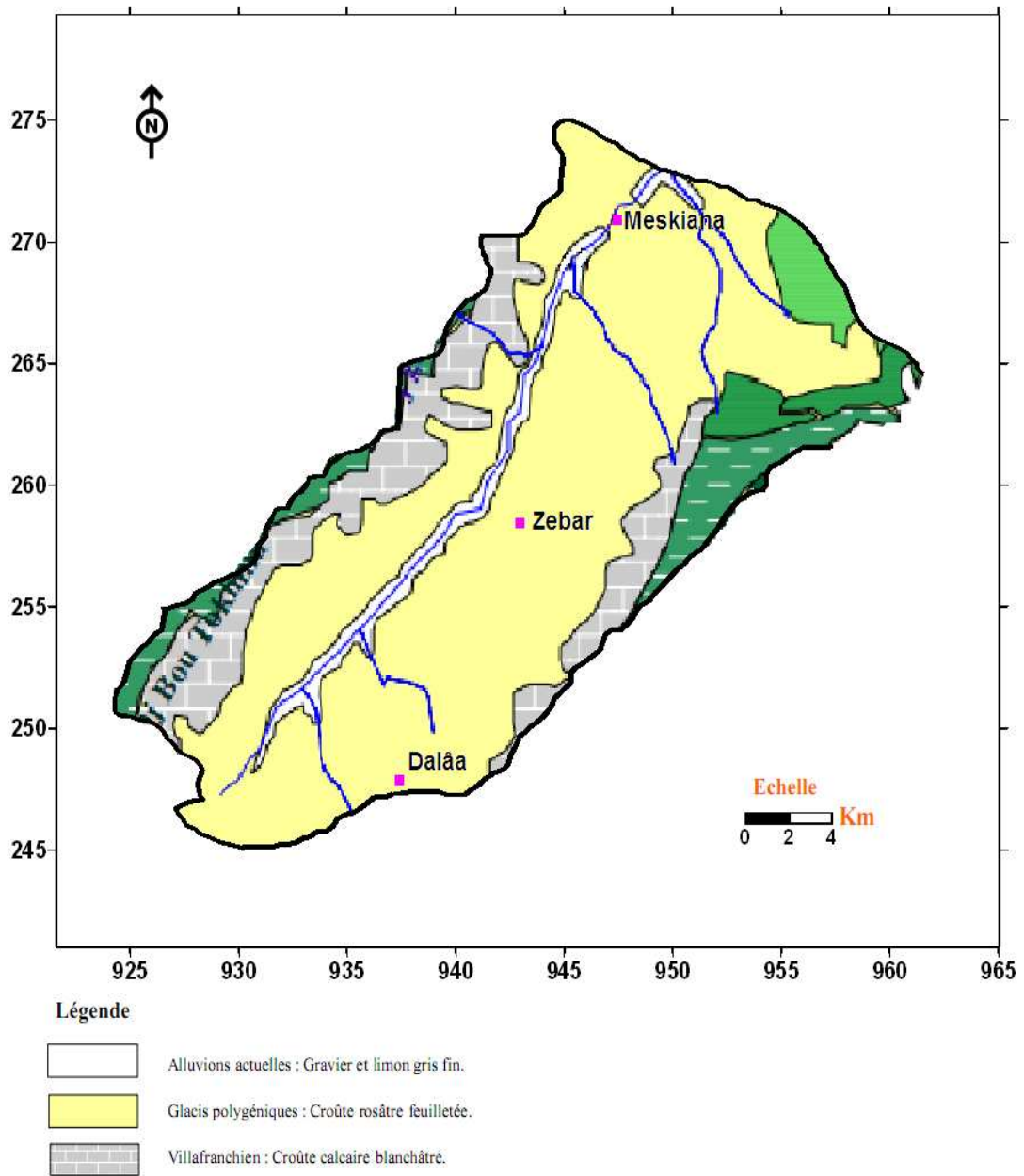


Figure 08 : Carte géologique de bassin du Meskiana (Goudia, 2008 modifié)

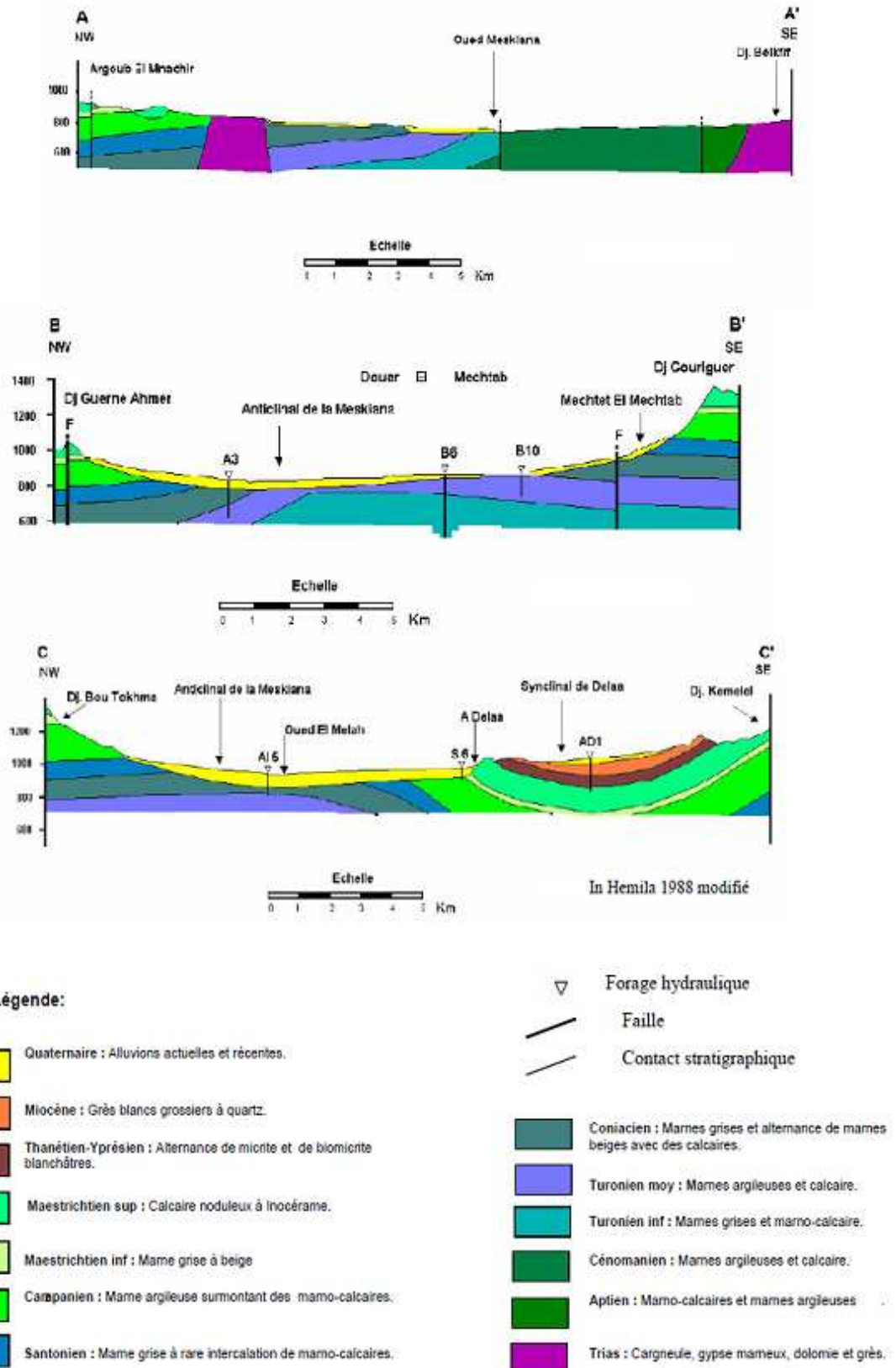


Figure 09 : Coupe géologiques dans le bassin de Meskiana (Goudia, 2008)

	Etage	Epaisseur (m)	Lithostratigraphie	Lithologie
QUATERNAIRE	Quaternaire	?		Limons gris et des graviers ;
				Croûtes rosâtres feuilletées ; Croûtes calcaires blanches .
NEOGENE	Tortonien- Langhien	60		Grès blancs grossiers à quartz
PALEOCENE	Thanétien-Yprésien	200		Alternance de micrite décimétrique gris-blanchâtre et biomicrite décimétriques ou métriques blanchâtre.
	Montien	70		Marnes grises verdâtres
CRETACE	Maestrichtien sup	150		Calcaires noduleux ocres avec quelques nodules de silex de couleur blanchâtre.
	Maestrichtien inf	50		Marnes gris-beiges.
	Campanien	230		Marnes noires Marnes et micrites
	Santonien	100		Marnes grises ou beiges à rares intercalations marno-calcaires.
	Coniacien	150		Marnes grises et alternance de marnes beige et calcaire gris.
	Turonien moy et sup	150		Alternance de marnes grises à beige et calcaire zoogène noduleux.
	Turonien inf	200		Marnes grises ou noires avec une intercalation de marno-calcaire blanchâtre.
	Cénomaniens sup et moy	800		Marnes argileuses à plaquette de calcite et rare intercalation de marnes, de marno-calcaire et de calcaire.
	Albien et Cénomaniens inf	55		Calcaires et marnes argileuses noires
	Aptien	10		Marnes grises, biomicrite et dolomie.
	TRIAS	Trias	?	

Figure 10 : Schéma lithostratigraphique des formations géologiques de bassin de Meskiana (Gouidia, 2008)

II.3. Aperçu tectonique

La plaine de Meskiana appartient à l'Atlas saharien (J.M. VILA, 1980). Elle est caractérisée par des éléments tectoniques simples, tels que les plis de direction NE-SW et les dislocations qui ont souvent un cours transversal à la direction de ces plis. On rencontre également des structures particulières, qui se sont survenues sous l'influence de la tectonique diapirique.

La période crétacée a été, du point de vue tectonique, assez calme (DOZET, 1985). Le fossé tectonique de Morsott est d'âge post-Miocène, il a un cours perpendiculaire à la direction des plis.

Les diapirs forment les noyaux des anticlinaux et peuvent également remplir les fractures les plus importantes. Ils ont été en action au Crétacé, au Miocène, au Pliocène et probablement au Quaternaire ancien.

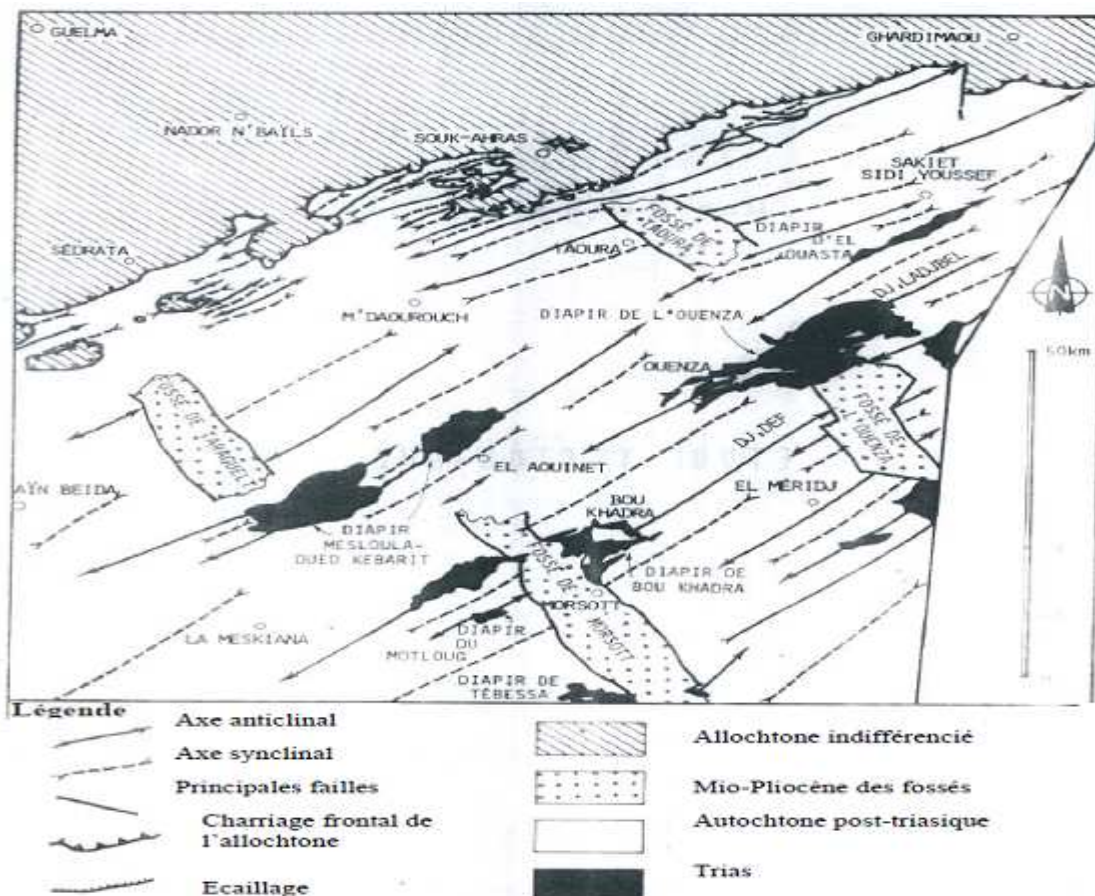


Figure 11 : Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980)

II.4. Conclusion

Le bassin d'oued Meskiana se caractérise géologiquement par :

- Sa localisation dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises avec des affleurements de bordure d'âge Crétacé.
- Les formations d'âge Plio-Quaternaire se répartissent en totalité dans la plaine.
- Les activités tectoniques ont produit des plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction perpendiculaire affectant les formations crétacées.
- Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable, que ce soit au niveau des bordures ou au centre de la plaine.
- A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.
- A partir de la lithologie des formations géologiques, on peut avoir une idée sur la minéralisation des eaux souterraines. Ainsi,
 - ✓ Les calcaires donnent un faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique ;
 - ✓ Les marnes sont à l'origine des faciès sulfatés ;
 - ✓ Les alluvions donnent plusieurs faciès non salés.

On note que la présence du Trias peut provoquer la salure des eaux souterraines.

III.1. Introduction

La climatologie constitue un facteur important pour la connaissance du devenir des précipitations. Elle repose sur l'interprétation des données, des paramètres climatiques mesurés durant une période bien définie permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique, ce dernier est nécessaire pour comprendre le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, impliquant la connaissance des paramètres suivants: (les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'infiltration et le ruissellement), qui conditionnent ce bilan.

L'étude des données climatiques permet d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui nous informera sur :

- 1- Le type du climat;
- 2- Les caractéristiques de bilan hydrique du bassin versant ;
- 3- La structure de variation temporelle des termes du bilan (Pluies, évaporation) ;
- 4- Le comportement hydro-climatologique du bassin versant.

Les paramètres climatologiques sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures) soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I).

III.2. La station de mesure

Pour caractériser la nature des variations climatiques mensuelles et interannuelles dans notre région d'étude nous avons choisi la station météorologique, d'Oum El Bouaghi. Nous disposons pour cette station des données, étalant sur une durée de 14 ans d'observation.

Tableau 03 : Les Coordonnées géographiques de la station de mesure.

Station	Type de la station	Coordonnées Lambert		Altitude (m)
		X	Y	
Oum El Bouaghi	Météorologique	899	295	890

III.3. Etude des factures climatiques

III.3.1. La température

La température constitue un élément majeur qui conditionne le climat d'une région. Elle permet de déterminer l'évapotranspiration et le déficit de l'écoulement, elle intervient dans l'établissement de bilan hydrologique.

III.3.1.1. Variations des températures moyennes annuelles

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de 14 ans (96/97-2009/2010), montre que l'année la plus chaude est l'année 2000/2001 avec une moyenne de 18,11 °C, et l'année la plus froide est l'année 1996/97, avec une moyenne de 16,18 °C. Signalons que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 17,01 °C.

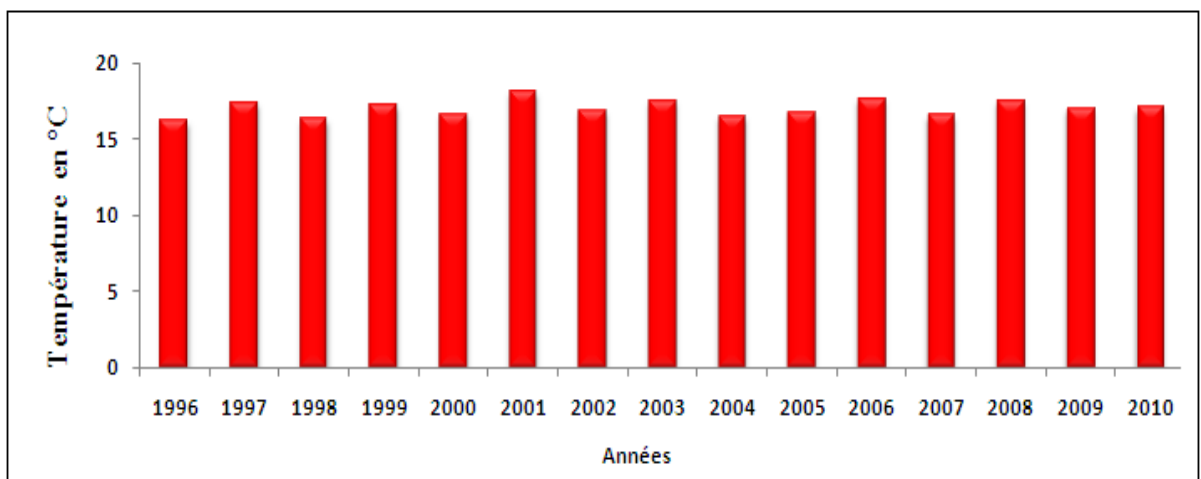


Figure 12 : Evolution de la température moyenne annuelle à la station de Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.3.1.2. Variations de la température moyenne mensuelle

La température moyenne mensuelle présente de très variations saisonnières elle atteint leur minima au mois de janvier avec 6.93 °C qui est le mois le plus froid de l'année, par contre le mois de juillet est le plus chaud par une valeur maximale de la température moyenne mensuelle de 28.32 °C.

L'amplitude maximale des variations des températures mensuelles moyennes interannuelles s'observe entre ces deux mois avec 21,39 °C.

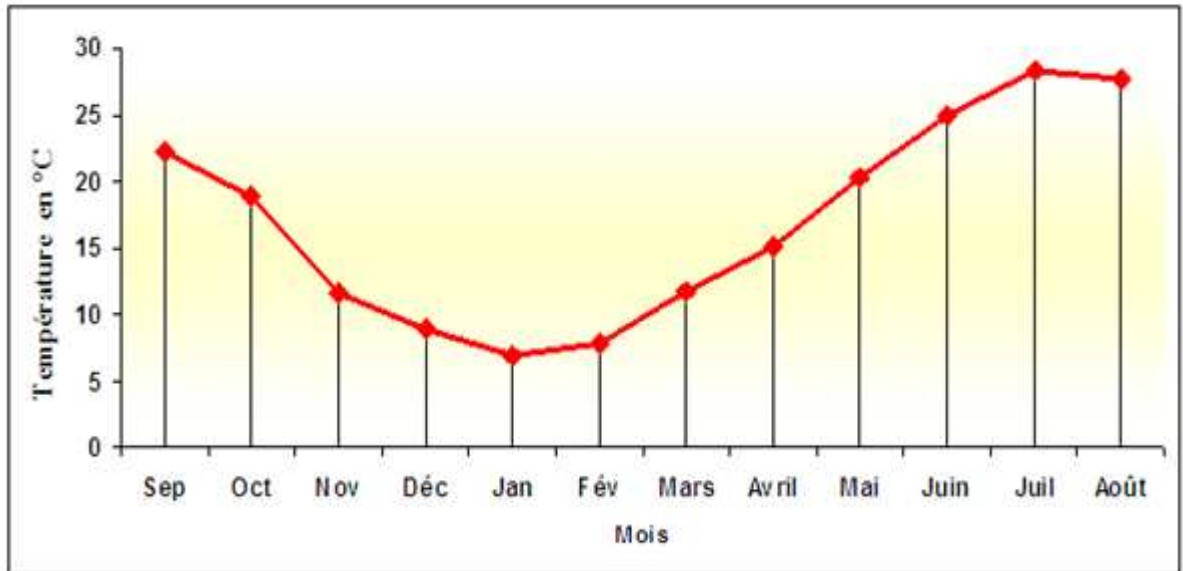


Figure 13 : Variation de la température moyenne mensuelle à la station d’Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

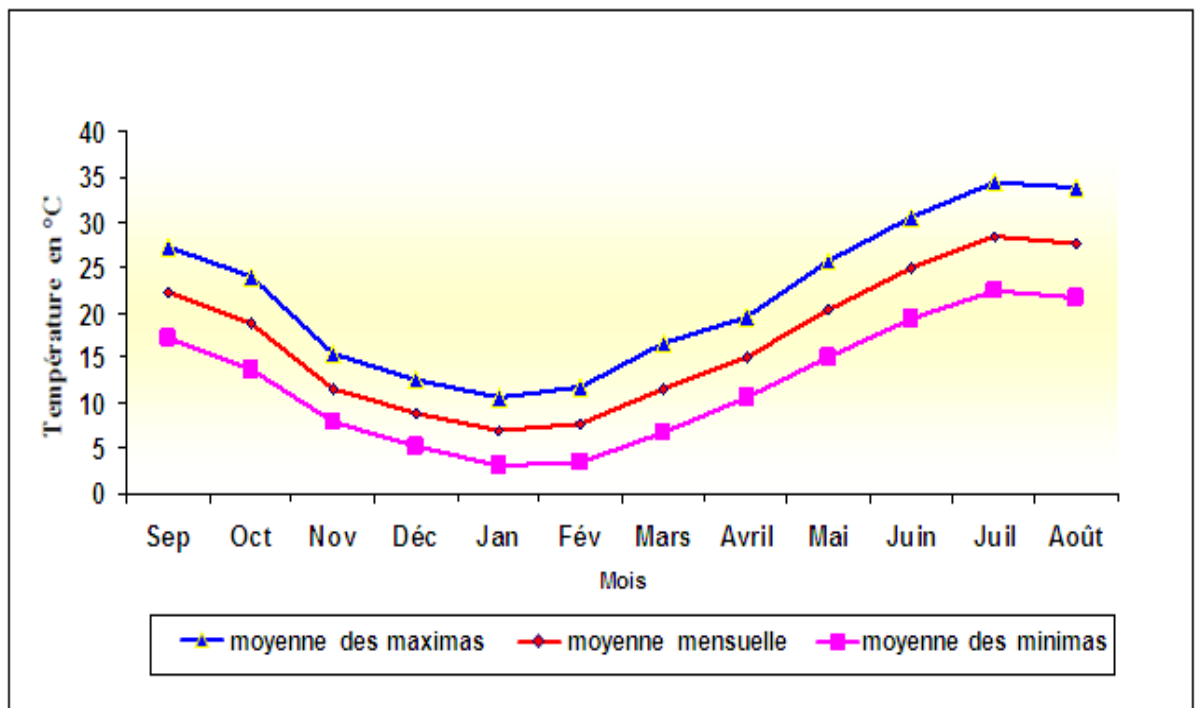


Figure 14 : Variation des températures mensuelles à la station d’Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.3.2. La pluviométrie

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable, car elle permet de déterminer la quantité d'eau écoulee qui est à l'origine du lessivage des formations géologiques.

III.3.2.1. Variations interannuelles des précipitations

Pour étudier ces données, nous nous sommes basés sur une série de mesures s'étalant sur la période allant de 1996 à 2010. Cette série permet de dire que: La répartition des précipitations interannuelles à la station d'Oum-ElBouaghi est extrêmement irrégulière d'une année à l'autre. Le maximum de la pluviométrie a été observé en 2004 avec 648 mm et alors que le minimum a été enregistré en 2000 avec 304 mm. Le module pluviométrique interannuel est égal à 426 mm.

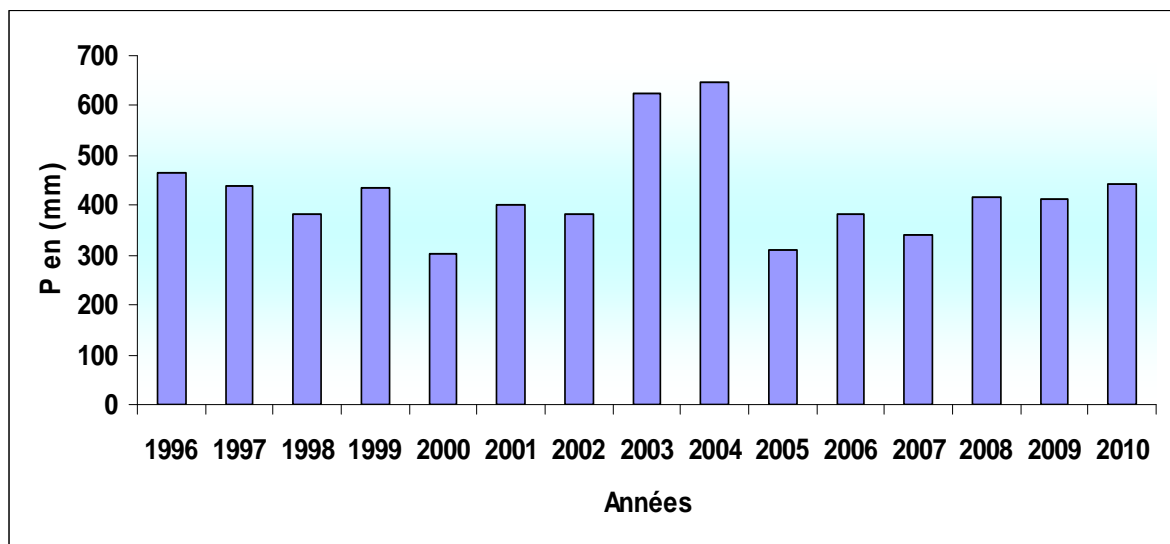


Figure 15 : Evolution des précipitations annuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.3.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 14 ans (96/97-2009/2010), montre que le mois de septembre est le plus pluvieux, avec 51 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 11 mm et la saison la plus pluvieuse c'est l'automne avec 126 mm. L'amplitude de précipitation est de 40 mm.

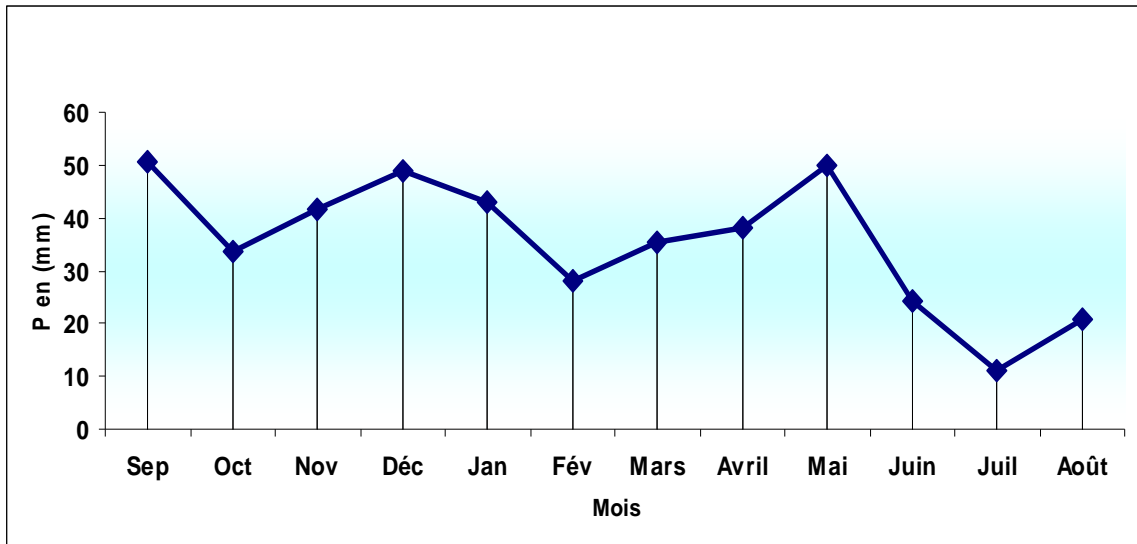


Figure 16 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.4. Caractérisation du climat

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques: la température et les précipitations permettent de déterminer les périodes sèches et humides ainsi que la localisation de l'étage bioclimatique bien définie d'une région donnée à l'aide d'indices ou de diagrammes. Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants :

III.4.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Il permet de comparer mois par mois la température et la pluviosité. Les ordonnées sont choisies de telle sorte que 10 °C correspondent à 20 mm de pluie.

Une période de l'année est considérée comme sèche, lorsque la pluviosité, exprimée en mm, est inférieure ou égale au double de la température, exprimée en degrés Celsius.

L'analyse des températures et des précipitations permet de tracer le diagramme ombrothermique, suivant :

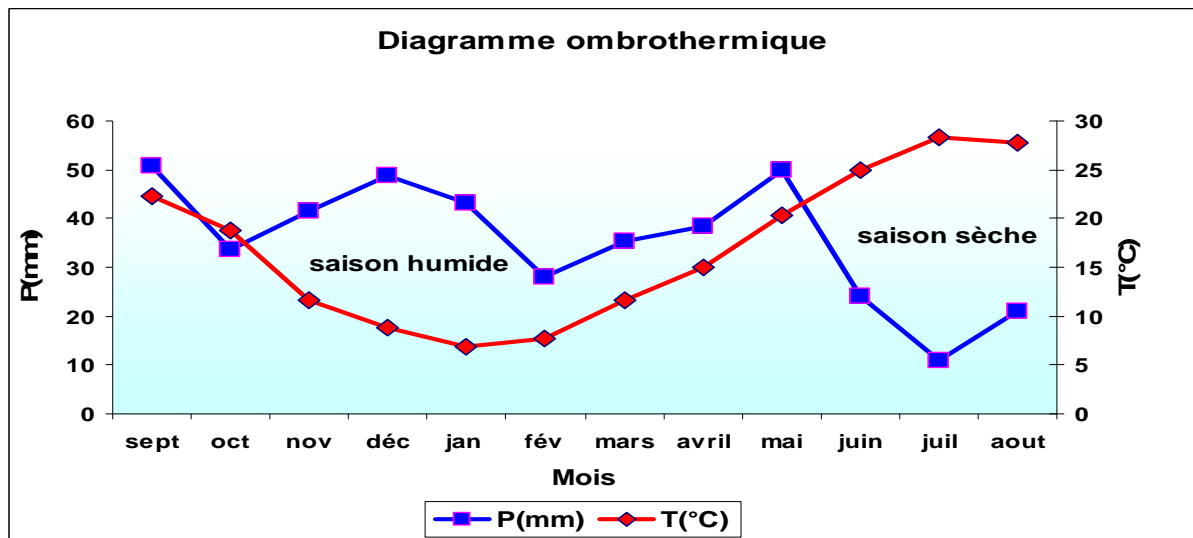


Figure 17 : Diagramme ombrothermique de la station d'Oum-ElBouaghi.

Nous constatons que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausson permet de mettre en évidence une saison humide débutant au mois de novembre qui se termine au mois de mai, et une saison sèche qui s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'octobre.

III.4.2. Indice d'aridité

L'indice d'aridité est une valeur numérique sensée représenter le degré de sécheresse du climat à un endroit donné, plusieurs méthodes de calcul ont été proposées.

III.4.2.1. Indice de De Martonne

En 1926, Emmanuel de De Martonne élabore un système de classification des climats par une méthode statistique (Guasmi, 2009). Il utilise un indice qui se base sur le régime des précipitations et des températures pour caractériser le climat d'une région. Il est calculé par la relation suivante :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

I : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Suivant les valeurs de (I), de De Martonne a établi la classification suivante :

I < 5: climat hyperaride

- 5 < I < 7,5 : climat désertique
- 7,5 < I < 10 : climat steppique
- 10 < I < 20 : climat semi-aride
- 20 < I < 30 : climat tempéré.
- I > 30 : climat humide

Dans notre cas, la moyenne des précipitations interannuelles est : 425,96 mm. Alors que la température moyenne annuelle est de : 17,01 °C

Ce qui donne : **I = 15,77**

Nous avons trouvé que la valeur de (I) est comprise entre 10 et 20, ce qui permet de dire que la station d'Oum-ElBouaghi bénéficie d'un climat semi-aride.

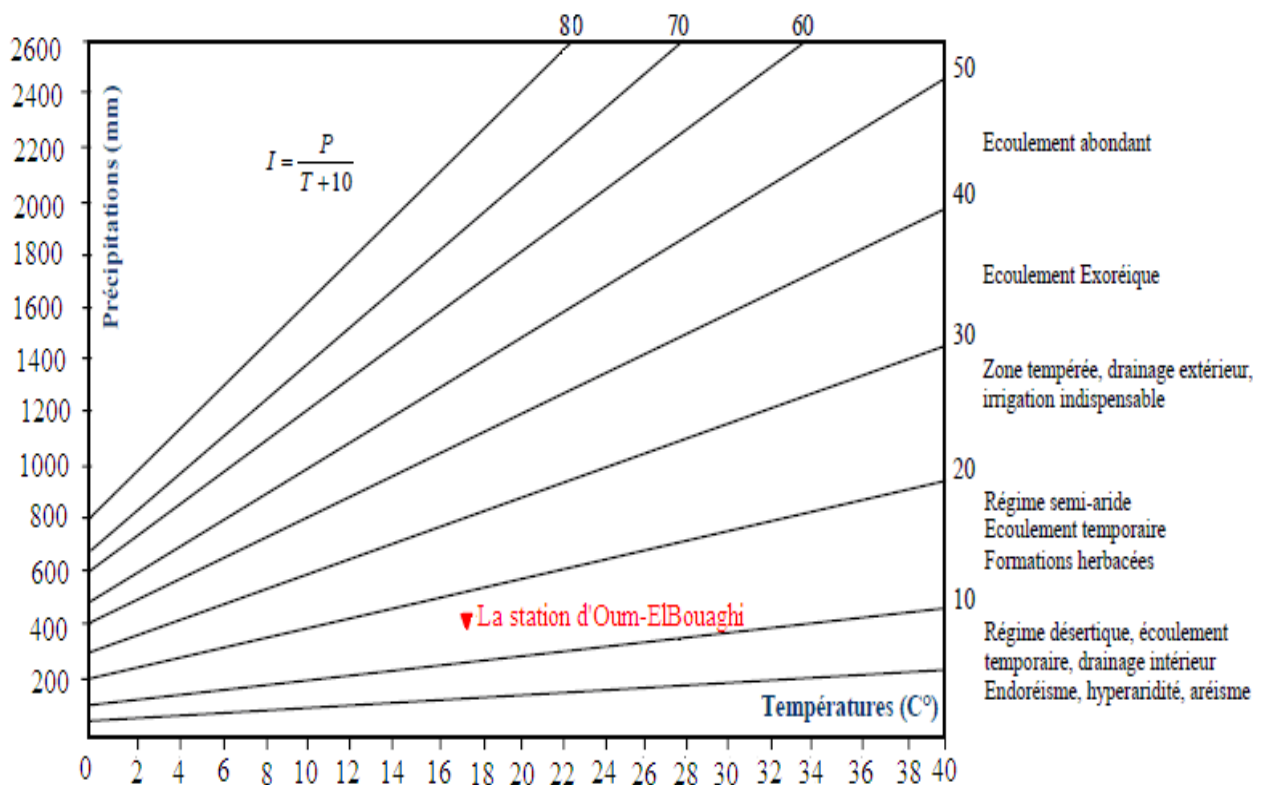


Figure 18 : Abaque de l'indice d'aridité annuel de De Martonne.

III.4.3. Le diagramme de L. Emberger

Pour caractériser le climat d'une région, L. Emberger a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q2, qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minimas et maximas, respectivement des mois le plus froid et le plus chaud. Il propose donc la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré absolu (K°);

m: moyenne des minima du mois le plus froid en degré absolu (K°);

P: précipitation moyenne annuelle (mm)

Avec $T (^{\circ}K) = T (^{\circ}C) + 273,15$

Après le calcul, nous obtenons les résultats qui ont été reportés dans le tableau 04

Tableau 04 : La valeur du quotient pluviométrique d’Emberger à la station d’Oum-ElBouaghi (période 1996-2010).

Station	P (mm)	M		m		Q2
		°C	K	°C	K	
Oum-ElBouaghi	425,96	34,31	307,47	3,13	276,29	46,08

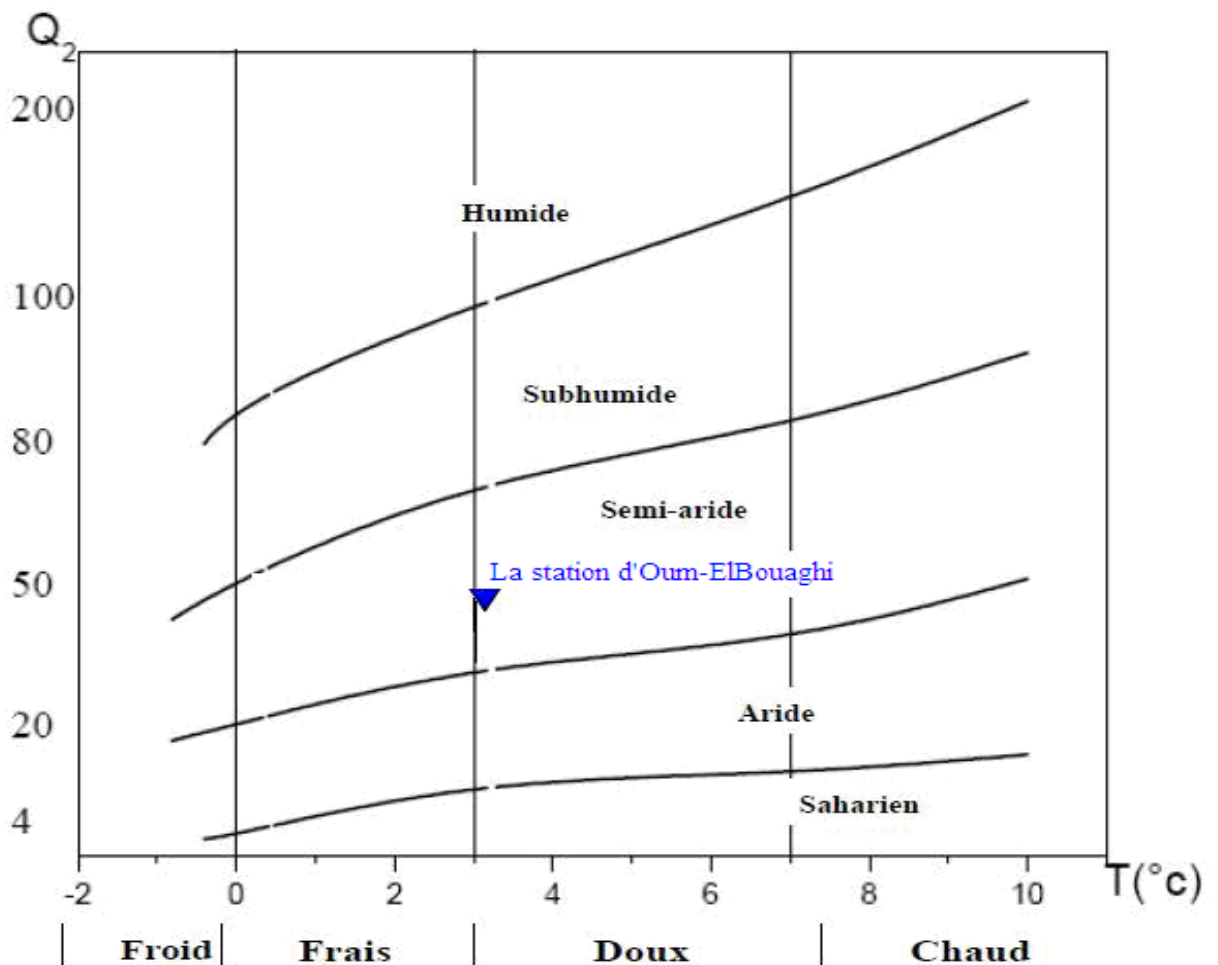


Figure 19 : Climagramme d’Emberger de la station d’Oum-ElBouaghi.

La représentation graphique sur le Climagramme d’Emberger montre que le climat à la station d’Oum-ElBouaghi est de type : semi-aride, cela est concordant avec l’indice de De Martone.

III.4.4. Le régime saisonnier

Murset en 1935 a défini la première notion du régime saisonnier, il a calculé la somme des précipitations par saison, prenant en considération que l’Automne est formé par les trois mois suivant : Septembre, Octobre, Novembre, et a effectué le classement des saisons par ordre de pluviosité décroissante, signalant chaque saisons par son initial (P : Printemps, H : Hiver, E : Été, A : Automne).

Pour la station d’Oum-ElBouaghi on remarque que la saison la plus arrosée c’est l’automne avec 29,56 % (125,90 mm), puis le printemps avec 29,03% (123,65 mm), l’hiver avec 28,23 % (120,25 mm) et en fin l’été avec 13,19 % (56,17 mm) donc nous avons un régime saisonnier de type APHE.

Tableau 05 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d’Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

Station	Mois Précipitation	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Année	Type
		Sept	Oct.	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aoû		
Oum-ElBouaghi	P mensuelle (mm)	50,77	33,68	41,45	48,91	43,16	28,17	35,39	38,31	49,95	24,21	11,07	20,89	425,96 (mm)	APHE
	P saisonnière (mm)	125,9			120,25			123,65			56,17				
	P saisonnière (%)	29,56			28,23			29,03			13,19			100%	

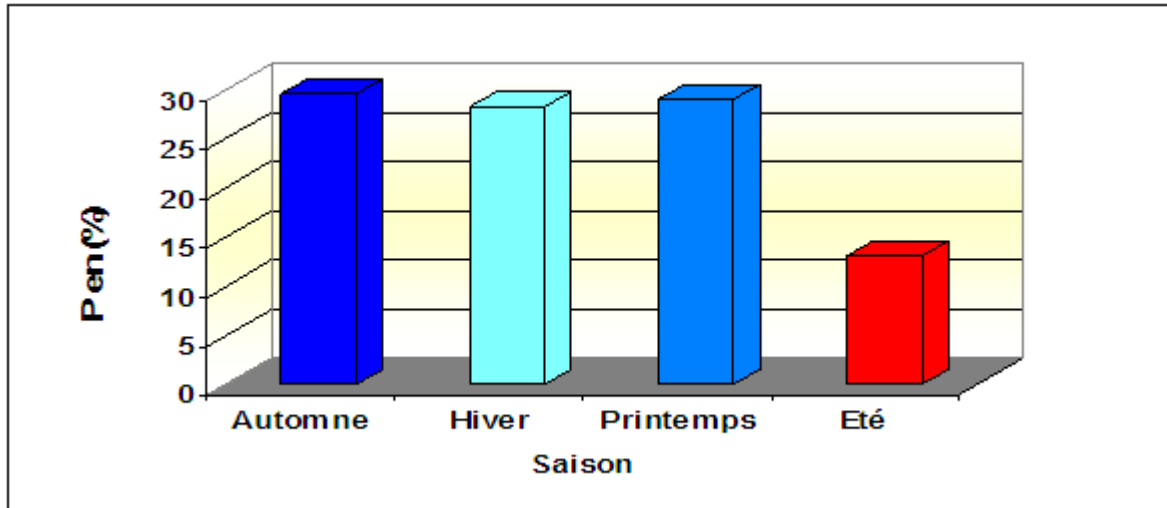


Figure 20 : Le régime pluviométrique saisonnier à la station d'Oum-ElBouaghi pour la période (1996/1997-2009/2010).

III.5. Estimation de l'évapotranspiration

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (Jacob & al, 2002).

III.5.1. ETP (Évapotranspiration potentielle)

Thornthwaite, en 1948 est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, dans un contexte de classification du climat : « Il y a une distinction entre le volume d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était disponible. Lorsque la disponibilité en eau augmente, l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat. C'est ce que nous pourrions appeler 'évapotranspiration potentielle', en distinction de l'évapotranspiration réelle » (Ludovic, 2004).

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle l'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948. Une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)

T : température moyenne du mois en (°C)

$$I = \sum i \quad \text{et} \quad i = (t/5)^{1,514}$$

$$a = (1,6 * I / 100) + 0,5$$

Les valeurs obtenues sont corrigées par un coefficient de correction **k** qui dépend de la latitude du bassin.

Tableau 06 : Valeurs de l’ETP estimées par la formule de Thornthwaite.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
T (C°)	22,24	18,82	11,60	8,88	6,93	7,73	11,67	15,03	20,30	24,90	28,32	27,70	
ETP _{nc} (mm)	97,37	71,88	29,83	18,36	11,70	14,27	30,16	47,77	82,49	119,56	151,06	145,11	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP _C (mm)	100,29	69,73	25,36	15,24	10,06	11,99	31,07	52,55	99,81	145,86	187,32	168,32	917,58

ETPnc : ETP non corrigée

ETPc : ETP corrigée

III.5.2. ETR (Évapotranspiration réelle)

Est le flux combiné de vapeur provenant du sol et des plantes, pour une teneur en eau du sol spécifique à un moment et pour une région (François & al. 2005).

Estimation de l'évapotranspiration réelle(ETR) :

Elle peut se faire à l’aide de la formule de L. Turc (1954) qui s’écrit de la manière suivante :

$$ETR = P / (0,9 + p^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où :}$$

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

T : température moyenne annuelle de l’air en (°C),

P : précipitation moyenne annuelle en (mm)

Soit **ETR = 407,57 mm**

III.6. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

L’étude du bilan hydrologique permet de déterminer la répartition des eaux de précipitation entre les différents composants de ce bilan à savoir l’écoulement, l’infiltration et l’évapotranspiration, Elle est basée sur la notion de réserve d’eau facilement utilisable (RFU). Selon Gouidia, la RFU de Meskiana est estimé à 26 mm.

L’application de la méthode de Thornthwaite pour l’année moyenne, l’année la plus humide et l’année la plus sèche a donné les résultats qui sont consignés dans les tableaux 07 à 09.

Tableau 07 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite.

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
P (mm)	50,77	33,68	41,45	48,91	43,16	28,17	35,39	38,31	49,95	24,21	11,07	20,89	425,96
T (C°)	22,24	18,82	11,60	8,88	6,93	7,73	11,67	15,03	20,30	24,90	28,32	27,70	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm)	100,29	69,73	25,36	15,24	10,06	11,99	31,07	52,55	99,81	145,86	187,32	168,32	917,58
P-ETP	-49,52	-36,05	16,09	33,67	33,10	16,18	4,32	-14,24	-49,86	-121,65	-176,25	-147,43	
RFU26 (mm)	0,00	0,00	16,09	26,00	26,00	26,00	26,00	11,76	0,00	0,00	0,00	0,00	
ETR (mm)	50,77	33,68	25,36	15,24	10,06	11,99	31,07	52,55	61,71	24,21	11,07	20,89	348,60
EX (mm)	0,00	0,00	0,00	23,76	33,10	16,18	4,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,37
DA (mm)	49,52	36,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	38,10	121,65	176,25	147,43	569,00

Tableau 08 : Bilan hydrologique pour l'année la plus humide à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2004/2005).

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P (mm)	10,4	8,4	136,5	136,7	30,6	5	44,4	25,8	145,2	56	10,9	37,7	647,6
T (C°)	22	21,25	9,6	7,4	7	10,25	12,25	13,35	16,5	23,1	26,8	28,35	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP (mm)	100,62	89,15	19,34	11,95	11,23	21,44	35,96	44,67	71,30	129,85	171,34	176,93	883,79
P-ETP	-90,22	-80,75	117,16	124,75	19,37	-16,44	8,44	-18,87	73,90	-73,85	-160,44	-139,23	
RFU26 (mm)	0	0	26	26	26	9,56	18,00	0,00	26	0	0	0	
ETR (mm)	10,4	8,4	19,34	11,95	11,23	21,44	35,96	43,80	71,30	82	10,9	37,7	364,42
EX (mm)	0	0	91,16	124,75	19,37	0,00	0,00	0,00	47,90	0	0	0	283,18
DA (mm)	90,22	80,75	0	0	0	0	0	0,87	0,00	47,85	160,44	139,23	519,36

Tableau 09 : Bilan hydrologique pour l'année la plus sèche à la station d'Oum-ElBouaghi, par la méthode de Thornthwaite (2000/2001).

	Sept	Ooct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P (mm)	76,6	40,5	12,4	24,2	8,2	0	10,8	8	68,2	40,1	0	15,2	304,2
T (C°)	21,01	15,3	12,23	7,4	5,19	8,84	12,25	16,16	22,47	23,25	29,07	26,55	
K	1,03	0,97	0,85	0,83	0,86	0,84	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	/
ETP (mm)	91,92	49,22	28,95	11,56	6,37	16,06	35,19	61,53	121,69	130,38	197,23	157,01	907,10
P-ETP	-15,32	-8,72	-16,55	12,64	1,83	-16,06	-24,39	-53,53	-53,49	-90,28	-197,23	-141,81	/
RFU26(mm)	0	0	0	12,64	14,47	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	
ETR (mm)	76,6	40,5	12,40	11,56	6,37	14,47	10,80	8,00	68,20	40,1	0	15,2	304,20
EX (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
DA (mm)	15,32	8,72	16,55	0	0	1,59	24,39	53,53	53,49	90,28	197,23	141,81	602,91

Interprétation du bilan hydrologique

L'observation du graphe du bilan hydrologique nous permet de dire qu'il existe deux périodes la première est déficitaire où l'ETP est importante à partir de mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs atteignant les 197 mm au mois de juillet (2000/2001), dans cette période les sols sont secs et leur niveau de la réserve hydrique est nul, rendant la nécessité de l'irrigation. La deuxième période est humide qui commence à partir du mois de novembre où les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de décembre et mars. Toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s'infiltré et rejoint la zone saturée. Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu'à l'épuisement du stock.

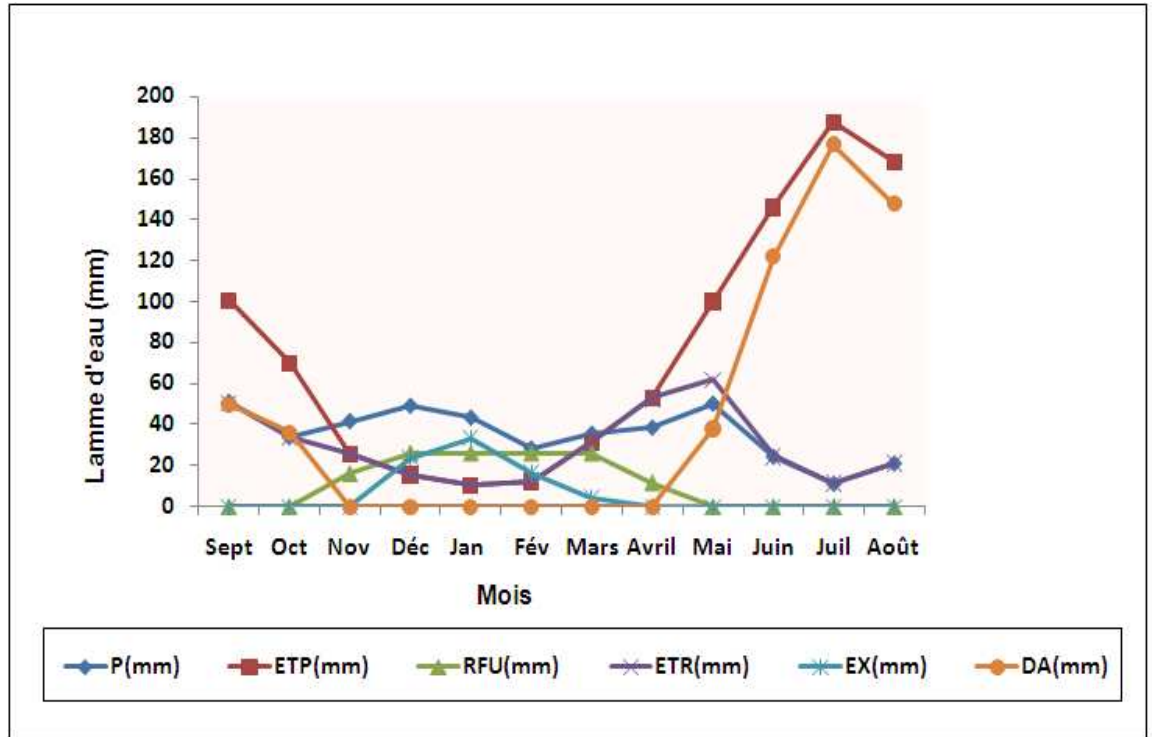


Figure 21 : Bilan hydrologique moyen (1996/1997-2009/2010) à la station Oum-El Bouaghi, par la méthode de Thornthwaite.

III.7. Ruissellement R (mm)

L'eau précipitée peut ruisseler directement, si l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse d'infiltration de sol. Il est calculé par la formule suivante :

$$R = \frac{P^3}{3(ET.P)^2}$$

Avec :

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

L'application numérique donne :

$$R = 30,6 \text{ mm}$$

III.8. L'infiltration I (mm)

C'est la migration de l'eau de précipitation à travers la porosité de sol vers les nappes souterraines, il est calculé par la formule suivante :

$$I = P - (ETR + R)$$

I : infiltration (mm).

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

ETR: Evapotranspiration (mm).

$$I = 46,76 \text{ mm}$$

Tableau 10: Répartition des précipitations à la station de Meskiana.

Précipitation (P)		Evapotranspiration réelle (ETR)		Ruissellement (R)		Infiltration (I)	
(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
425,96	100,00	348,60	81,84	30,6	7,18	46,76	10,98

III.9. Conclusion

La région d'étude est soumise à un climat semi-aride (environ de six mois secs), elle est caractérisée par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec

Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 15 ans (96/97 – 2009/2010), sont estimées à 425,96 mm, leurs répartitions mensuelles montre deux grandes saisons bien distinctes, la première est humide, qui s'étend du mois de Novembre à Mai, soit de 67 % de la pluviométrie annuelle. La deuxième est sèche, qui s'étale sur les mois de Juin et Octobre, avec seulement 33 % de la pluviométrie annuelle. L'évapotranspiration réelle est estimée à 348,60 mm, mobilisant 81,84 % des précipitations.

Les températures moyennes mensuelles varient entre 6.93 °C et 28.32 °C, avec une moyenne annuelle de 17,01 °C. Le mois de juillet étant le plus chaud, et janvier le plus froid. Près de 55% de l'ETP est enregistrée durant les trois mois de l'été

Le ruissellement ne représente que 7,18 % des précipitations, ce qui représente 30,6 mm.

L'infiltration est estimée à 10,98 %. Ce qui permet de percoler 46,76 mm. Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.

Le déficit agricole estimé est de 569 mm étalé sur la période allant de mai jusqu'à octobre. Notons que le bilan hydrologique est déficitaire.

La chimie des eaux est influencée par la répartition des précipitations et des températures par dilution pendant la période pluvieuse et concentration lors de l'évaporation durant la période sèche.

IV.1. Introduction

L'hydrochimie se définit comme la connaissance des caractéristiques chimiques des eaux, des processus de leur acquisition et des lois décrivant les échanges entre l'eau, le sol et le sous sol.

Elle est liée à la nature lithologique du terrain traversé, au climat et à l'activité anthropique. Elle permet de comparer les eaux entre elles, d'établir une cartographie hydrochimique de certains éléments chimiques, d'interpréter les données d'analyses par des diagrammes.

Dans cette étude on a sélectionné 55 puits répartis sur le terrain.

Il s'agit d'une étude et interprétation des données des analyses physicochimiques des différents échantillons qui nous permis:

- De déterminer la teneur relative des ions majeurs et leur distribution spatiale ;
- De mettre en évidence les principaux faciès chimiques des eaux et leur relation avec l'environnement géologique;
- D'avoir une idée générale sur la qualité chimique des eaux;
- Et enfin de remonter à l'origine des différents paramètres et leur influence sur l'évolution chimique des eaux.

Le but de ce chapitre est d'apprécier les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe de Meskiana. Définir le faciès chimique des eaux souterraines, suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps par la cartographie de leur composition chimique, comparer les eaux entre elles, définir leur degré de pollution et leur usage ultérieur constitue l'objectif que l'on doit atteindre pour apporter des réponses aux besoins exprimés par les pouvoirs publics afin d'asseoir les assises d'un développement durable.

IV.2. Carte d'inventaire des points d'eau

L'interprétation des résultats des analyses chimiques a été faite sur un ensemble d'échantillons, au nombre de 55 points d'eau, sélectionnés et bien représentatifs de l'aquifère de Meskiana. Ils sont répartis spatialement sur toute la vallée d'Oued Meskiana, couvre la plaine de l'amont vers l'aval et puisés dans toutes les nappes (superficielle et profonde).

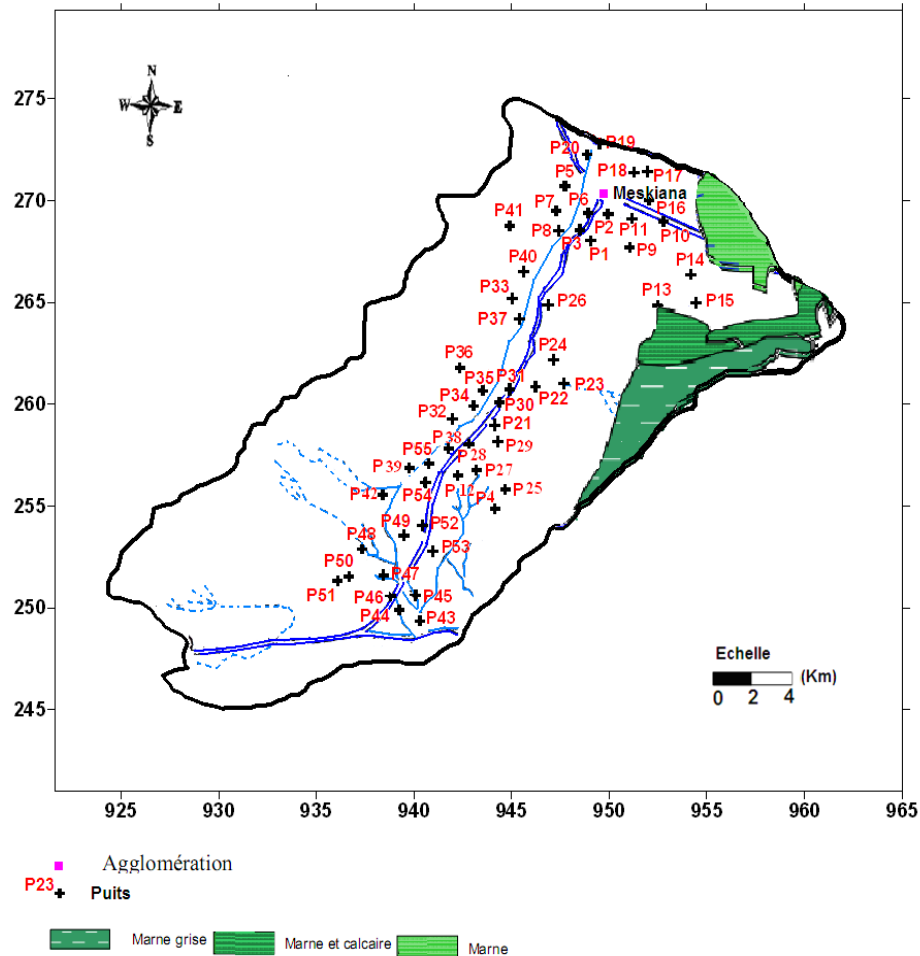


Figure 22 : Carte d'inventaire des points d'eau de la vallée d'oued Meskiana

IV.3. Etude des paramètres physico-chimiques

L'eau possède des propriétés physico-chimiques exceptionnelles qui lui permettent d'attaquer et de dissoudre le maximum de sels et de s'enrichir en anions et en cations.

La composition chimique des eaux est exprimée en milligramme par litre, il s'agit d'une moyenne des principaux composants : calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfate, chlorures, et nitrates.

L'origine de l'eau ainsi que sa solubilité est gérée par un certains paramètres physiques tels que :

- Le potentiel d'Hydrogène (pH) ;
- La conductivité électrique (CE) ;
- La minéralisation (Ms) ;

-Le résidu sec (Rs).

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés sur le terrain grâce à une sonde multi paramètres portatif (Consort, type C 933).

Afin d'interpréter les analyses physico-chimiques, une représentation statistique des données a été réalisée présentant les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types.

Les résultats de ces analyses sont récapitulés dans des tableaux, où les différentes concentrations sont reportées avec les normes de la potabilité de l'O.M.S.

IV.3 .1. Etude des paramètres physiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état qualitatif de l'eau (Jensen & Andersen, 1992).

IV.3.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)

L'eau renferme des ions H^+ libres (qui ne sont pas combinés pour donner des molécules de liquides), le taux de concentration en ions H^+ mesure le potentiel hydrogène (en abrégé pH) du milieu (Jean, 1974).

Il exprime l'activité des ions H^+ dans une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique.

-Pour un milieu neutre $(H^+) = (OH^-)$ ou $pH = 7$;

-Pour un milieu acide $(H^+) > (OH^-)$ ou $pH < 7$;

-Pour un milieu basique $(H^+) < (OH^-)$ ou $7 < pH < 14$.

Tableau 11 : Variation de potentiel d'hydrogène (pH)

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
pH	8,5	7,1	8,02	0,25	6,5 à 8,5

Le pH mesuré dans les eaux de la vallée d’oued Meskiana est en moyenne de 8,1. L’alcalinité des eaux est bien marquée sur toute la vallée.

IV.3.1.2. Conductivité (CE)

C’est la conductance électrique d’une colonne d’eau comprise entre deux électrodes métallique séparées l’une de l’autre de 1 cm et ayant pour surface 1cm². Elle dépend de la concentration totale et la nature des ions présents dans l’eau.

Elle donne une indication, sur la minéralisation des eaux (Djamel Samir ,2009).

Tableau 12 : Variation de la conductivité électrique

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
CE à 25°C	13200	500	2061	2039	400 à 1500 (µS/cm)

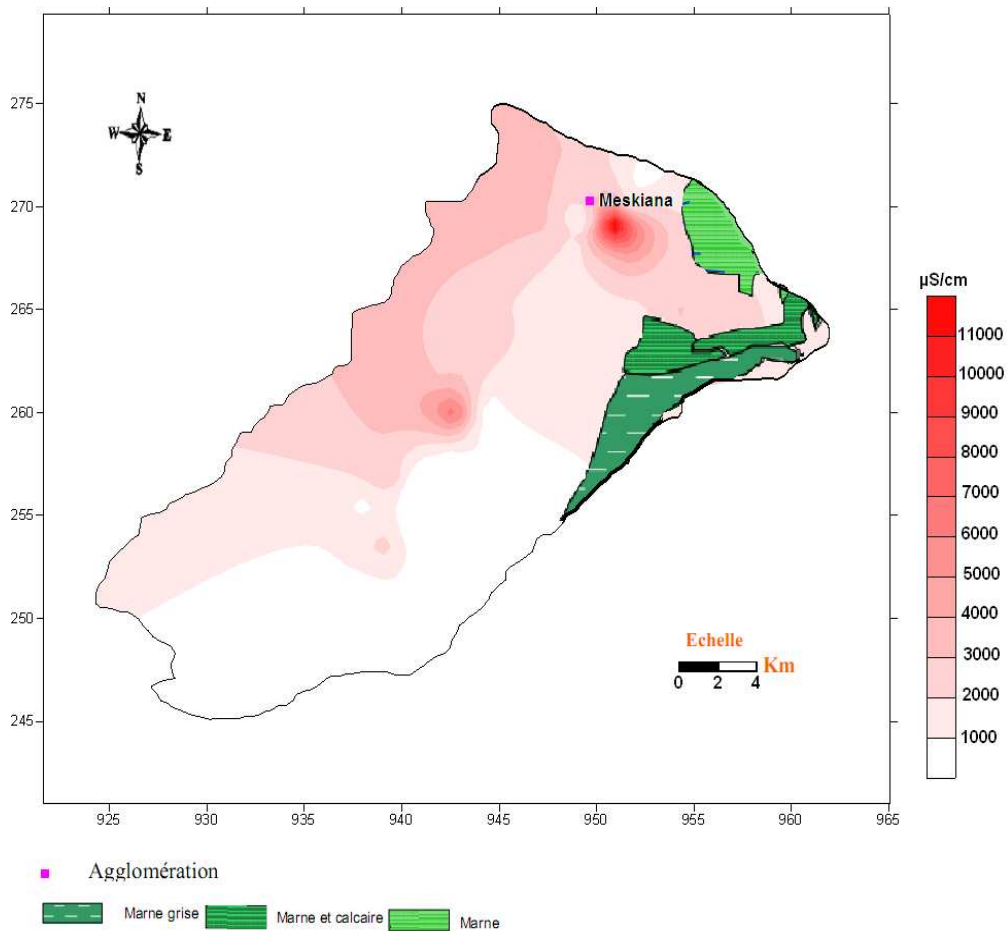


Figure 23 : Carte de la distribution spatiale de la conductivité électrique en (µS/cm)

Les faibles concentrations sont enregistrées à l'amont de la nappe (figure 23), au point d'eau P43 où les eaux sont diluées et faiblement minéralisées, lors de leur écoulement les eaux se chargent progressivement en sels et passent de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au Sud-ouest de la vallée à 13200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits P11 au Nord-Est. Cette augmentation de la conductivité s'explique par une salinité élevée dans le sens d'écoulement des eaux attribuée aux échanges chimiques entre l'encaissant et l'encaissé d'une part, et d'autre part elle serait attribuée à la dissolution des roches salines contenues dans les inclusions évaporitiques, gypsifères et des concrétions calcaires. Il est important de noter que l'activité agricole, par l'utilisation des intrants chimiques apporte son lot de sels et contribue à l'augmentation de la minéralisation des eaux.

Les échanges hydrauliques entre l'oued et la nappe en période d'étiage constituent une source de contamination de la nappe par augmentation de la conductivité des eaux.

IV.3.1.3. Minéralisation (Ms)

La minéralisation est une mesure de la salinité totale qui détermine la charge de l'eau en sels dissous. Elle est exprimée en (mg/l).

Les valeurs minimales varient entre 310 mg/l, tandis que les valeurs les plus élevées se localisent à l'aval de la nappe avec 8184 mg/l. Dans ce dernier périmètre, les échanges hydrauliques (oued-nappe), le lessivage des déchets solides et le rôle de l'évaporation des eaux par la coïncidence du niveau topographique avec le niveau piézométrique, très proches de la surface du sol, contribuent à l'augmentation de la minéralisation des eaux.

Tableau 13 : Variation de la minéralisation

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type
Ms (mg/l)	8184	310	1257,22	1259,00

IV.3.1.4. Le résidu sec (Rs)

C'est la quantité précipitée de la matière sèche, obtenue après ébullition de l'eau à 104 °C. Ce paramètre permet de classer les eaux et d'indiquer leur degré de minéralisation. Selon (Bernard, 2006) on peut classer les eaux comme suite :

-Une eau est très faiblement minéralisée si le résidu sec est inférieur à 50 mg/l.

-Une eau est dite oligominérale si le résidu sec se situe entre 50 et 1500 mg/l.

-Une eau est riche en sels minéraux si le résidu sec est supérieur à 1500mg/l.

Selon cette classification les eaux oligominérale représentent 65,45% tandis que les eaux qui sont riches en sels minéraux représentent 34,54%.

Toutes les eaux de la vallée d'Oued Meskiana sont minéralisées à très minéralisées car elles dépassent le seuil de 50 mg/l.

L'évolution du résidu sec dans la nappe est très semblable à celui de la minéralisation avec un coefficient de corrélation $R=0,9945$.

Tableau 14 : Variation des concentrations du résidu sec

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type
Rs (mg/l)	8212	372	1331,47	1298,92

IV.3.2. Etude des paramètres chimiques

Lors de son voyage souterrain, l'eau acquiert une composition chimique liée à la nature des terrains traversés, cette composition chimique dépend aussi, de la surface de contact, du temps de contact et de la vitesse de dissolution et de concentration des différents ions.

L'analyse des eaux montre les principaux éléments chimiques suivants :

IV.3.2.1. Les éléments majeurs

IV.3.2.1.1. Les cations

Il s'agit des ions de sodium, potassium, calcium et magnésium dont les trois premiers caractérisent fortement les faciès chimiques des eaux de la nappe.

IV.3.2.1.1.1. Calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

- Soit par la dissolution des formations carbonatées ;



- Soit par la dissolution des formations gypseuses.

Dans la région d'étude les teneurs en calcium varient de 60 mg/l au puits P4 comme une valeur minimale à 484 mg/l comme une valeur maximale au puits P34. Nous remarquons qu'il existe une certaine homogénéité dans la distribution du calcium notamment à l'entrée du bassin. Les valeurs les plus élevées sont localisées à l'exutoire du bassin où il y a une accumulation d'eau usée et aussi à la dissolution des roches évaporitiques.

La majorité des puits (56,36%) présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux (100mg/l), ce qui donne une grande dureté aux eaux de la nappe.

Tableau 15 : Variation des concentrations du calcium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme(OMS)
Ca^{2+}	484	60	146,15	86,74	100 (mg/l)

IV.3.2.1.1.2. Magnésium (Mg^{2+})

Ses origines sont semblables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneur en Mg^{2+} (magnésite et la dolomie), et des formations salifères riches en magnésium (MgSO_4).

- Magnésite : $\text{MgCO}_3 \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$;
- Dolomite: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$

Les teneurs les plus élevées sont observées à l'aval de la nappe, au niveau de puits P11 (342 mg/l) Par contre, les plus faibles teneurs sont observées à l'amont de la nappe au niveau de puits P54 (01 mg/l).

La comparaison des concentrations avec la norme approuvable de la potabilité montre que 45,45 % des points d'eau dépassent la norme (50mg/l).

Tableau 16: Variation des concentrations du magnésium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
Mg ²⁺	342	1	60,75	58,29	50 (mg/l)

IV.3.2.1.1.3. Sodium (Na⁺)

Le Sodium est beaucoup plus abondant que le potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables.

Les marnes emschériennes gypsifères, qui constituent le substratum, ainsi que les dépôts évaporitiques qui se localisent au Nord- Est de la nappe donnent des concentrations élevées en ions sodium et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base.

Il provient aussi du lessivage des formations riche en NaCl (argile et marne), et des eaux usées d'origine industrielle et domestique.

Les valeurs varient de 12mg/l pour le puits P50 et de 2000 mg/l pour le puits P11.

Près de 38 ,18 % des points d'eau ont des valeurs supérieures à la valeur guide de la potabilité.

Tableau 17 : Variation des concentrations du sodium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
Na ⁺	2000	12	200,11	302,45	50 (mg/l)

IV.3.2.1.1.4. Potassium (K⁺)

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de

cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la plaine.

La teneur minimale du potassium est enregistrée au puits P30 avec 4 mg/l et la teneur maximale est observée au puits P10 avec 112 mg/l.

La pluparts des puits (70,91%) présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux (12mg/l).

Tableau 18 : Variation des concentrations du potassium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
K ⁺	112	4	19,25	16,57	12 (mg/l)

IV.3.2.1.2. Les Anions :

Les anions les plus importants dans les eaux étudiées sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

IV.3.2.1.2.1. Chlorure (Cl⁻)

Le chlorure est un élément conservatif car la précipitation de NaCl se faisant en conditions extrêmes, donc il constitue un excellent traceur de la salinité et de la pollution anthropique.

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation qui est due à la dissolution des sels naturels, de l'industrie ou des rejets d'eau usée d'origine domestique en particulier l'urine qui est responsable d'un rapport d'environ 60 mg/l d'ion Cl⁻/personne/ jour. (Chedde, 2009).

Les teneurs enregistrées, montrent des valeurs importantes qui dépassent la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l.

On signale que 38,18% des puits dépassent cette norme. Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

-Les argiles sableuses gypsifères du Mio-Plio-Quaternaire qui couvrent la totalité du bassin ;

- Les dépôts évaporitiques provenant de Dj Belkefif ;
- Le déversement des eaux usées dans la plaine ;
- Les marnes emschériennes formant le substratum.

La valeur minimale est de 25 mg/l pour le puits P50 dans la partie amont de la nappe et la valeur maximale est de 4500 mg/l pour le puits P11

Tableau 19 : Variation des concentrations du chlorure

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
Cl ⁻	4500	25	396	646,57	250 (mg/l)

IV.3.2.1.2.2. Sulfates (SO₄⁻)

La concentration des eaux naturelles en sulfates est très variable. La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution du gypse contenu dans les marnes emschériennes et au lessivage des dépôts évaporitiques issus de Djebel Belkefif (Guaidia.2008).

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées au puits 47 mg/l dans l'amont, et à proximité des bordures, là où les marnes gypseuses sont absentes et la valeur maximale est de 1360 mg/l pour le puits P34.

En effet, 47,27% des puits dépassent la norme de la potabilité (250 mg/l).

Tableau 20 : Variation des concentrations du sulfate

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
SO ₄ ⁻	1360	47	298,13	239,73	250 (mg/l)

IV.3.2.1.2.3. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique

Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est en fonction de la nature des terrains traversés, la température de l'eau, la concentration du CO₂ dissout.

Les fortes teneurs sont enregistrées avec une moyenne de 231,93 mg/l, et un maximum de 519 mg/l au puits P10 suite à la dissolution des calcaires, par contre la teneur minimale est de 122 mg/l enregistrée au puits P35.

Tableau 21 : Variation des concentrations du bicarbonate

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
HCO ₃ ⁻	519	122	231,93	74,43	250 (mg/l)

Au Sud de la plaine les valeurs sont relativement faibles, varient entre 100 et 200 mg/l puisque les eaux souterraines sont au début de leur cheminement dans la nappe.

Au Nord-Est de la plaine, les teneurs de bicarbonates sont très élevée, par l'influence des cailloutis calcaires qui se répartissent sur le centre de la plaine, et avec l'association des calcaires d'âge Quaternaire qui dû à la dissolution des calcaires en bicarbonates.

IV.3.2.1.2.4. Nitrate (NO₃⁻)

Le NO₃⁻ est la principale forme chimique azotée susceptible de quitter le sol via les eaux de percolation, et d'être présente dans les milieux souterrains.

Il est beaucoup plus mobile dans les sols que d'autres éléments apportés par les engrais tels que le potassium et le phosphate ((Noemi, 2002).

Il représente la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. L'apport atmosphérique en nitrates est faible, la teneur naturelle des eaux souterraines en cet élément est également faible; elle dépend de types de sols, de la végétation qui les recouvrent ainsi que du taux d'oxygénation dans la zone noyée.

On peut dire aussi que l'origine des nitrates dans les eaux souterraines est essentiellement externe (apports anthropiques). Les nitrates sont des indicateurs de la pollution.

Selon notre étude les teneurs en nitrate varient entre 01 mg/l au niveau des puits P43, P48 ; et 105mg/l dans le puits P10.

Les teneurs les plus fortes sont localisées au Nord-Est de la plaine, par contre les faibles teneurs se localisent au Sud de la plaine.

Tableau 22 : Variation des concentrations en nitrates

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
NO ₃ ⁻	105	1	40,29	21,69	50 (mg/l)

IV.4. Détermination des principaux faciès hydro-chimiques

Les faciès hydro chimiques, d'après Jaekli (1970), sont fréquemment utilisés en chimie des eaux pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles, comparer les eaux entre elle, revient à établir la classification ionique par le calcul des quantités en réaction, exprimées en pourcentage, d'abord des anions ensuite des cations.

De nos jours, différents logiciels interviennent dans la représentation graphique des résultats des analyses chimiques. Le logiciel diagramme, établi par son concepteur Roland Simler du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon (LHA) en est un. Il est utilisé pour définir les faciès chimiques par représentation des données sur les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff.

Tableau 23 : Evolution des Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère de Meskiana en pour cent (%)

	Bicarbonaté-calciq	Chloruré-calciq	Chloruré-sodiq	Sulfaté-calciq	total
Nombres des faciès	20	9	20	6	55
% des faciès	36,36	16,36	36,36	10,91	100

Le faciès chimique évolue depuis des eaux bicarbonaté-calciques près des affleurements calcaires et dans les bordures carbonatés au Sud vers des eaux chlorurées sodiques au Nord

près de l'exutoire, en passant par des eaux chlorurées et sulfaté calcique au centre de la plaine. Cette évolution du faciès est due à l'hétérogénéité du milieu, aux échanges chimiques entre les alcalins et les alcalino-terreux, aux phénomènes modificateurs dans les nappes (Hydratation, hydrolyse et oxydo-réduction), à l'aridité du climat, aux échanges oued-nappes et à la pollution anthropique notamment au Nord de la plaine de Meskiana.

A l'entrée du bassin les eaux sont riches en bicarbonate, dans la matrice alluvionnaire, caractérisée par une lithologie fine et hétérogène, la circulation des eaux est lente, les échanges chimiques sont importants et la composition chimique des eaux commence par évoluer vers d'autres faciès accentuée par la sécheresse et la dissolution des évaporites.

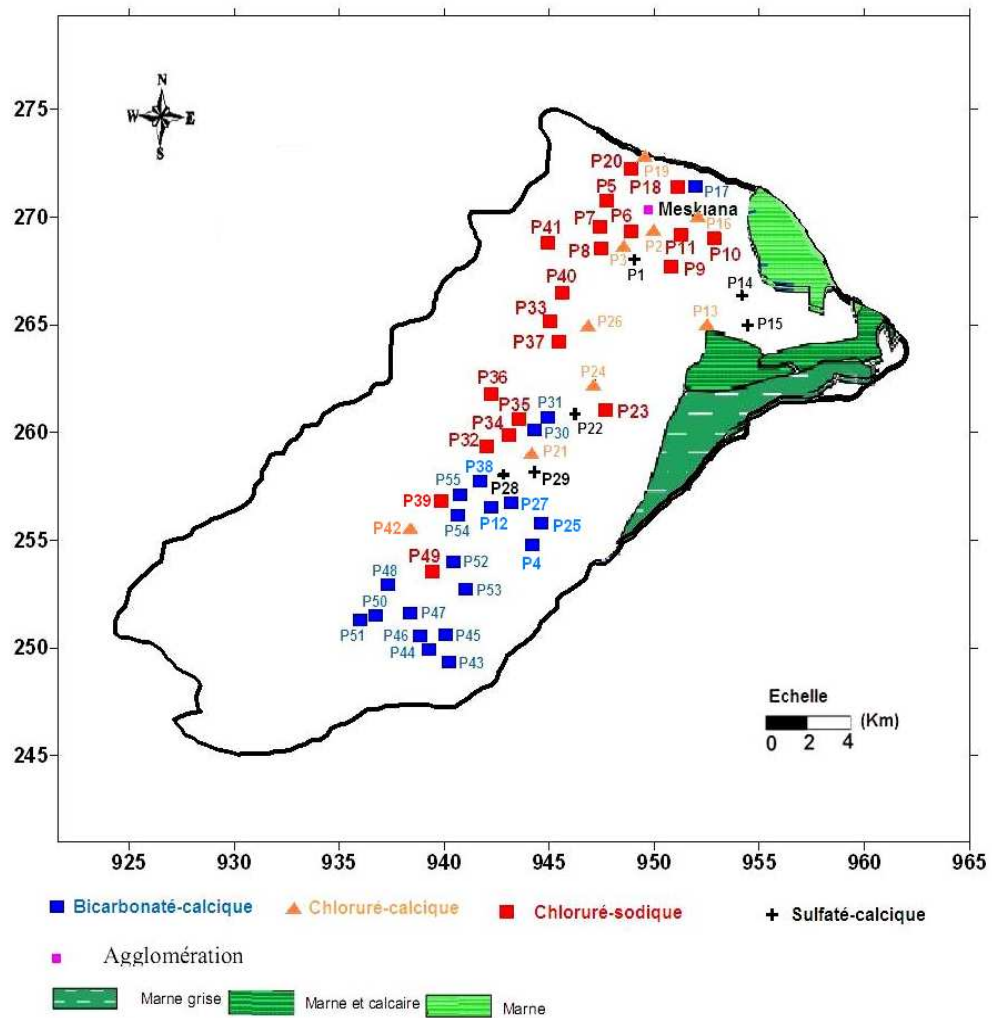


Figure 24 : Carte de répartition des faciès chimiques de la nappe de Meskiana.

IV.4.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques

Pour caractériser le faciès chimique des eaux, une représentation graphique des points d'eau sur des digrammes, tels que ceux de Piper et Schoeller-Berkaloff, permet de donner des informations sur la qualité chimique des eaux.

La représentation a été faite grâce au logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon, 2004).

IV.4.1.1. Diagramme de Piper

Ce type de diagramme permet de représenter, simultanément plusieurs échantillons d'eau. Il est composé d'un losange au centre encadré par deux triangles équilatéraux, permettant de représenter, séparément, les cations et les anions.

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès de l'eau. Il permet également de voir l'évolution chimique d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses, espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses.

La représentation graphique des points d'eau de l'Oued Meskiana sur le diagramme de Piper montre une évolution du faciès chimique dans le sens d'écoulement des eaux :

Ainsi, à l'amont et près des affleurements calcaires, les eaux sont bicarbonatées calciques, une fois dans le remplissage plio-quaternaire le faciès chimique devient chloruré calcique à sulfaté calcique, par distillation des inclusions évaporitiques salifères et gypsifères contenues dans le remplissage.

A la sortie du bassin, toutes les eaux sont drainées par Oued Meskiana, la nappe se rapproche de la surface du sol jusqu'à la coïncidence du nouveau topographique avec le niveau piézométrique (Houha, 1989), les eaux deviennent chlorurées sodiques suite à l'activité anthropique par les différents rejets solides et liquides depuis la ville de Meskiana.

A cela, s'ajoute l'aridité du climat, les périodes de sécheresse prolongées et l'irrigation des cultures intensives qui font qu'augmenter la concentration chimiques des éléments et une salinisation des eaux et des sols.

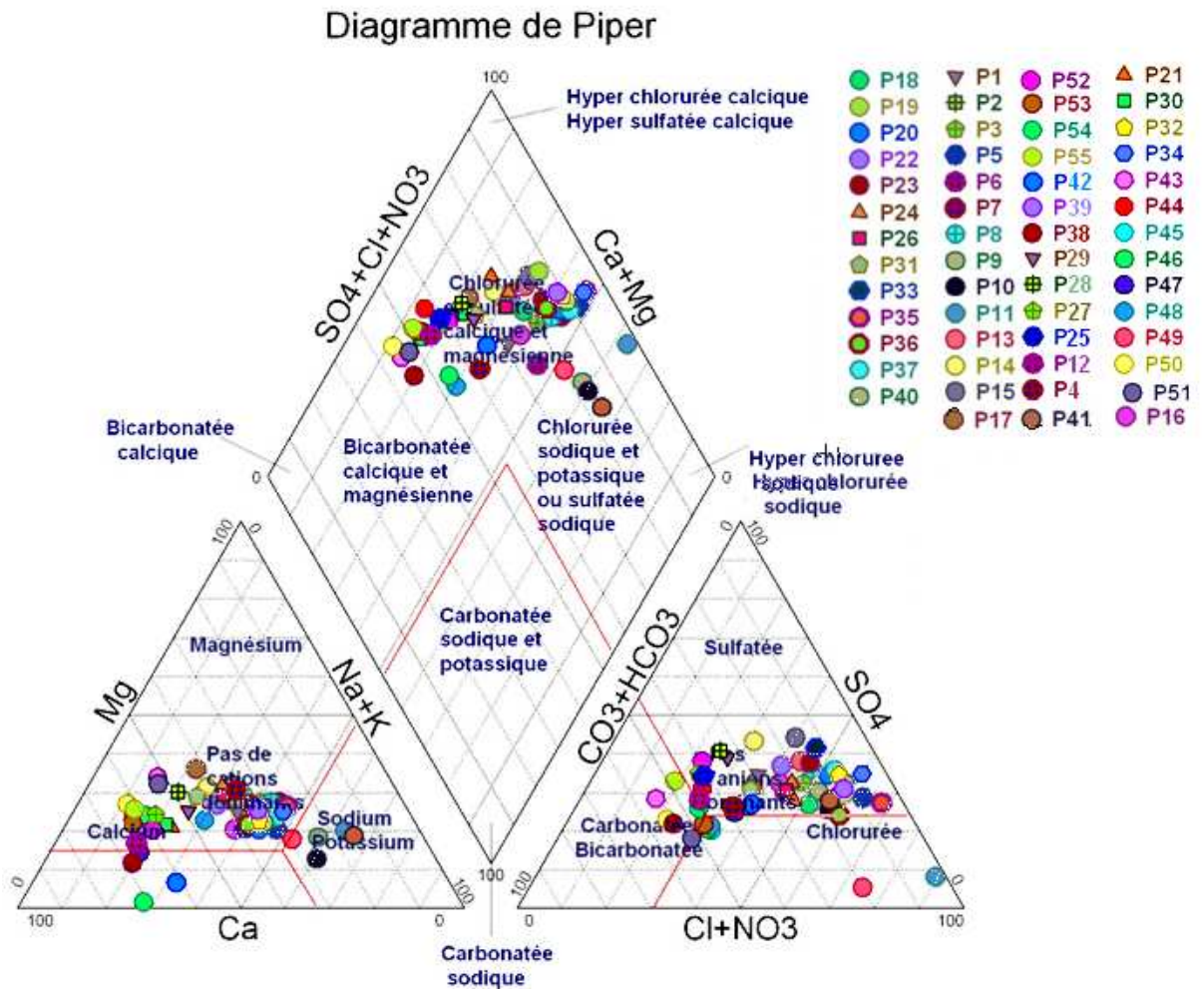


Figure 25 : La représentation des échantillons sur le diagramme de Piper.

IV.4.1.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

Le diagramme de Schoeller- Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence (Gouidia, 2008).

L'observation du diagramme de Schoeller-Berkaloff de quelques points d'eau situés à l'amont de la nappe (Figure 26), montre que quelques points ont la même origine comme les puits P34 avec P32 et P21. Et le reste des points d'eau ont des différentes origines.

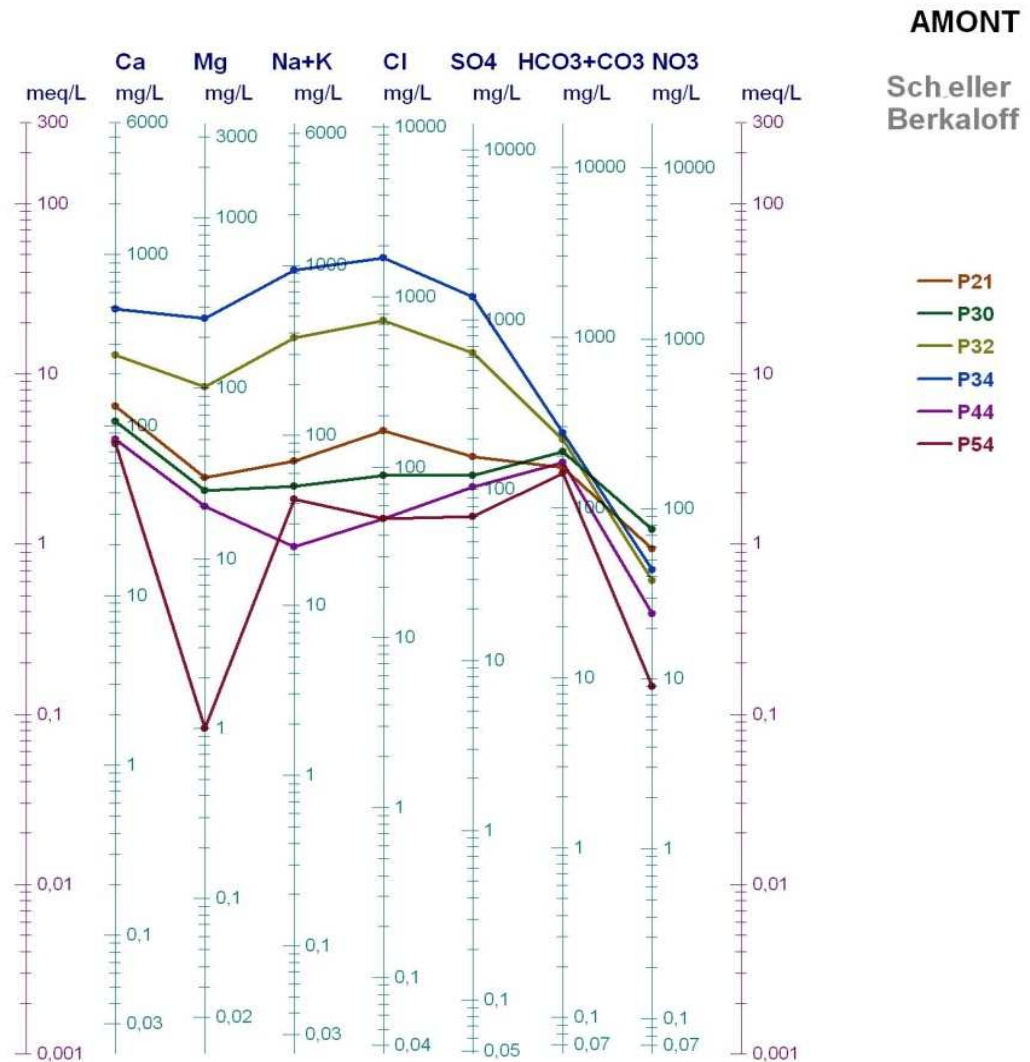


Figure 26 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (A l'amont de la nappe)

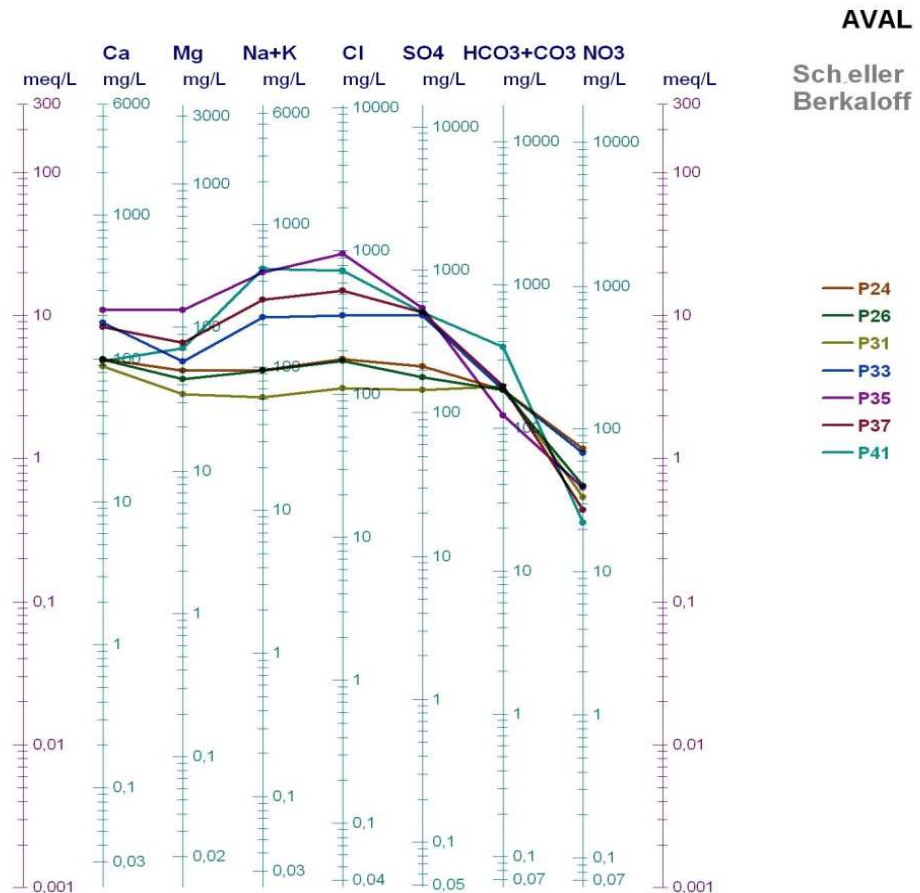


Figure 27 : Diagramme de Schoeler-Berkaloff (A l'aval de la nappe)

Par contre l'observation de diagramme qui représente quelques points d'eau situés à l'aval de la nappe (figure 27), montre que quelques points ont la même origine comme les puits P35 avec P37 et P33, P26. Et le reste des points d'eau ont des origines différentes.

IV.5. Cartographie et évolution spatiale des éléments chimiques

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu, parmi lesquels on note l'évaporation, la dissolution et la précipitation des sels.

Afin de suivre l'évolution spatiale des éléments chimiques, on a procédé à l'établissement des cartes d'iso-teneurs des éléments chimiques.

La cartographie hydro-chimique a été illustrée par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 8 (Golden software, 2002).

IV.5.1. Cartes du calcium (Ca^{2+})

L'observation de la carte de calcium montre que les concentrations les plus élevées sont observées au Nord-Est de la vallée avec une valeur de 484 mg/l, tandis que les concentrations les plus basses sont notées au Sud-Ouest, avec une teneur de 60 mg/l. Dans ce dernier périmètre, l'absence des formations carbonatées et des inclusions gypsifères et la précipitation de la calcite sont des éléments qui ont contribué à l'appauvrissement des eaux en calcium.

Pour les fortes teneurs en calcium, la matrice carbonatée et la dissolution des gypses contenus dans les formations géologiques en places ou qu'auraient traversées les eaux sont responsables de l'enrichissement des eaux en calcium.

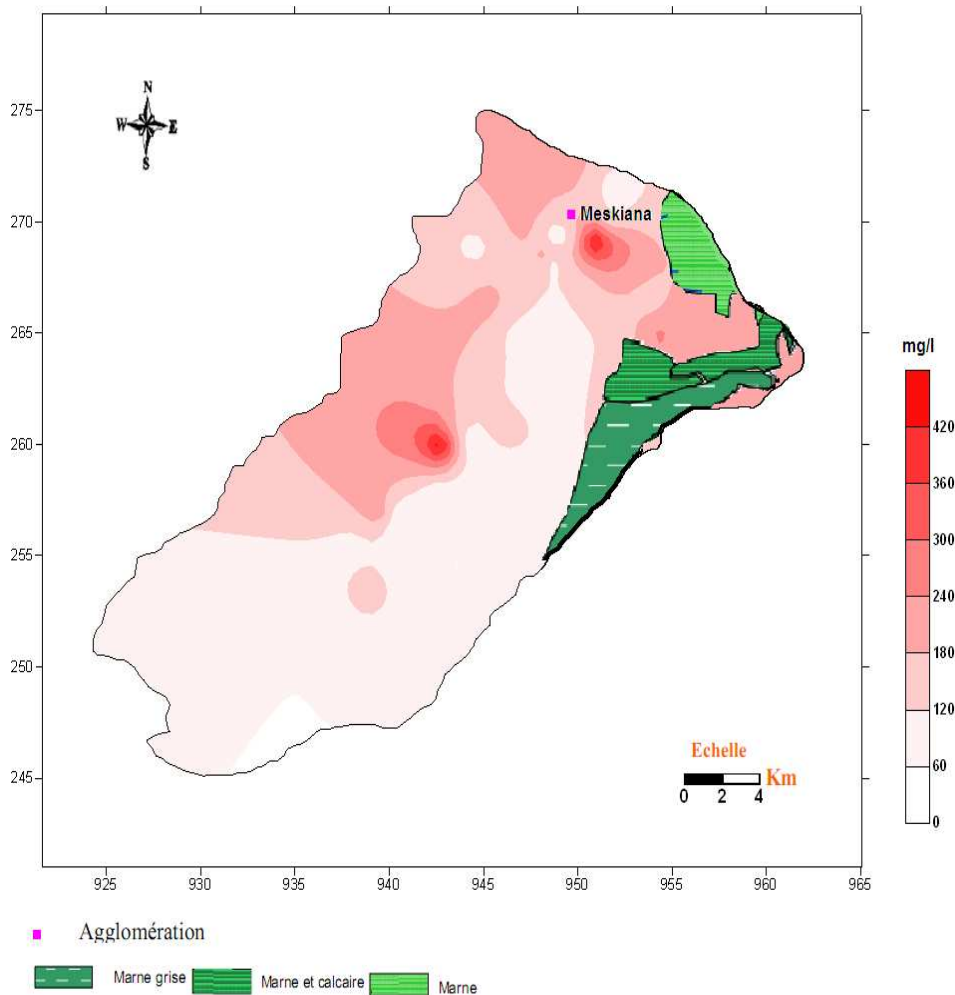


Figure 28 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en calcium dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.2. Carte du sodium (Na⁺)

Les marnes emschériennes gypsifères, qui constituent le substratum, ainsi que les dépôts évaporitiques qui se localisent au Nord-Est de la nappe donnent des concentrations élevées en ions sodium et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base. L'écoulement a favorisé l'acquisition de ces teneurs, car les eaux souterraines, qui s'écoulent suivant la direction SW-NE, se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation. Ceci explique les fortes concentrations (2000 mg/l), et qui sont signalées dans cette zone.

Les plus faibles valeurs, de l'ordre de 12 mg/l, sont enregistrées en amont de la nappe

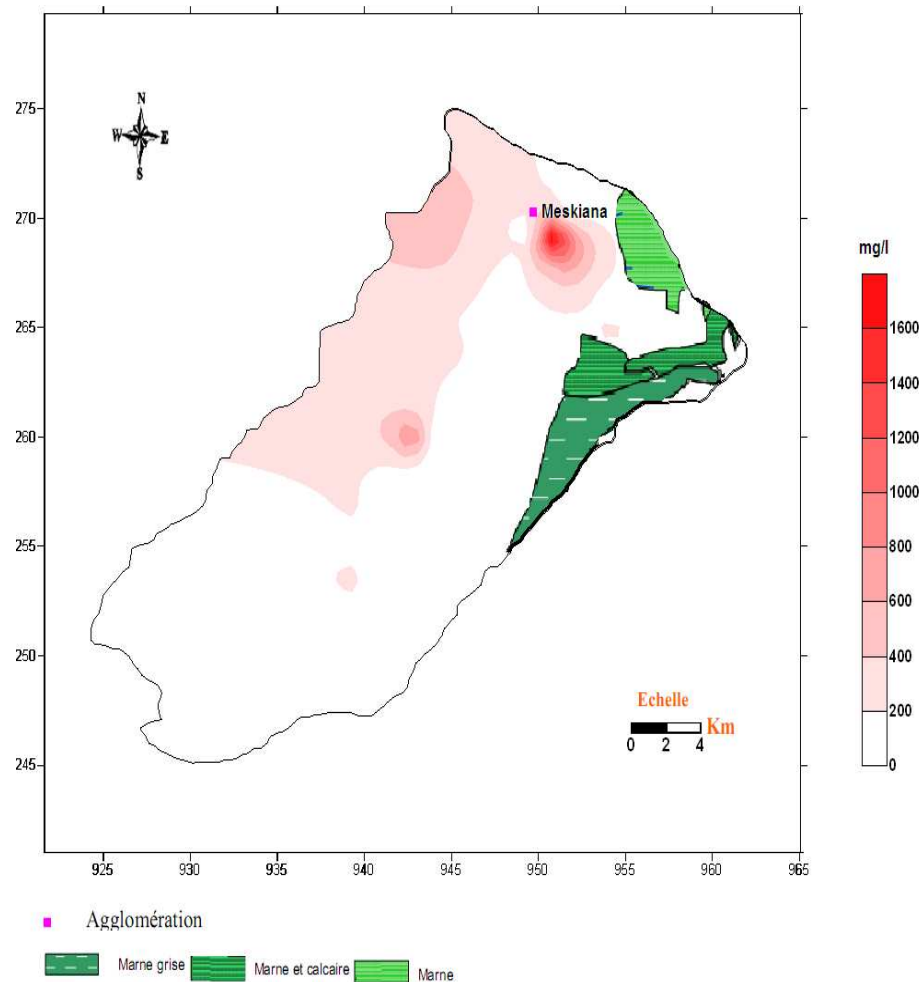


Figure 29 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sodium dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.3. Cartes des chlorures (Cl⁻)

Les concentrations, en générale, oscillent entre 4500mg/l et 25 mg/l, les plus fortes teneurs sont localisées au Nord-Est de la plaine, car les argiles et les alluvions du dépôt de remplissage Mio-Plio Quaternaire, et les dépôts salifères, provenant de l'érosion des formations gypsifères de Djebel Belkefif, constituent l'origine de ces chlorures, avec l'effet du lessivage et de l'évaporation. L'affleurement de la roche mère en surface favorise le premier phénomène et la faible profondeur de la surface piézométrique favorise le second

Au centre de la plaine on observe des concentrations importantes en chlorures, on pense qu'ils tirent leur origine d'un époinement triasique gypsifère.

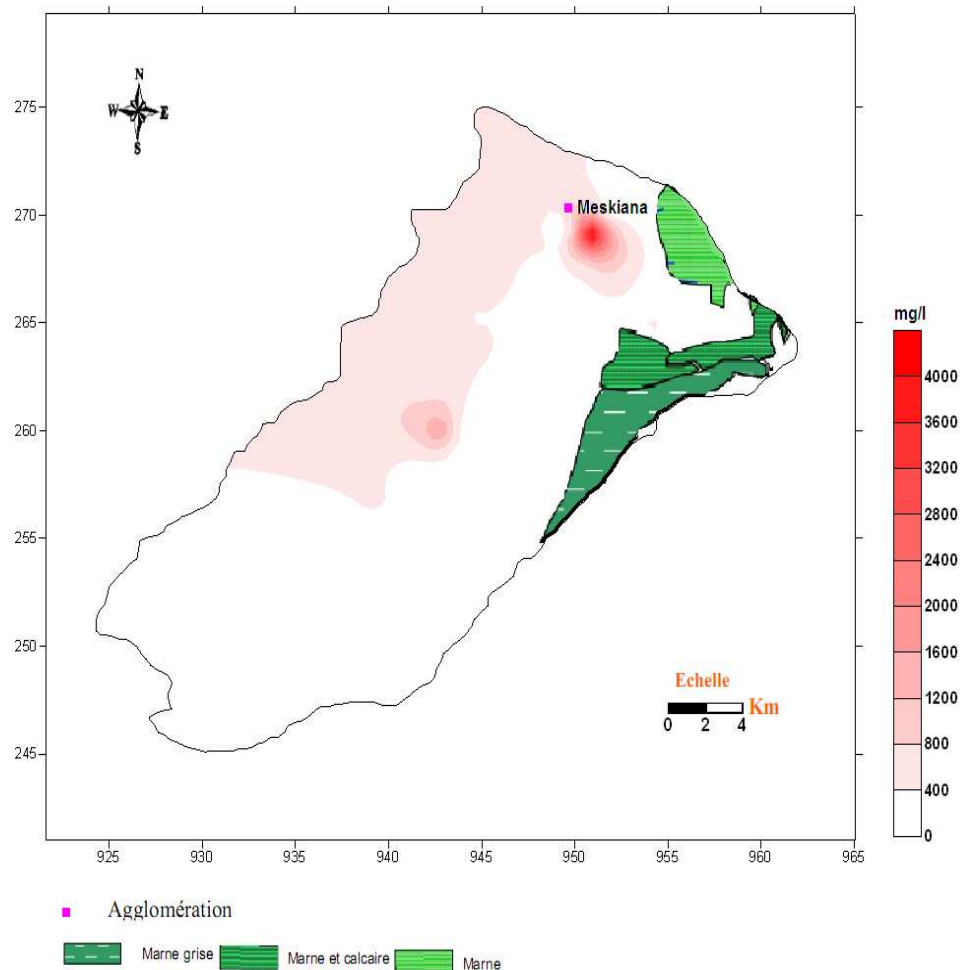


Figure 30 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en chlorure dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.4. Cartes des sulfates (SO_4^{2-})

Les concentrations oscillent entre 47 mg/l et 1360 mg/l. Les fortes concentrations sont enregistrées au Nord-Est de la nappe. Elles sont dues d'une part, à la dissolution des gypses qui sont contenus dans les marnes emschériennes, et d'autre part au lessivage des dépôts évaporitiques, provenant de Djebel Belkefif.

Les plus faibles concentrations sont constatées dans le Sud de la plaine, où on trouve les bordures calcaires car les eaux souterraines sont faiblement minéralisées.

En général la présence de fortes concentrations aliène à deux facteurs :

- Le lessivage des formations gypsifères et les dépôts évaporitiques provenant de Djebel Belkefif .
- L'évaporation, produit de fortes concentrations, car la surface piézométrique n'est pas profonde.

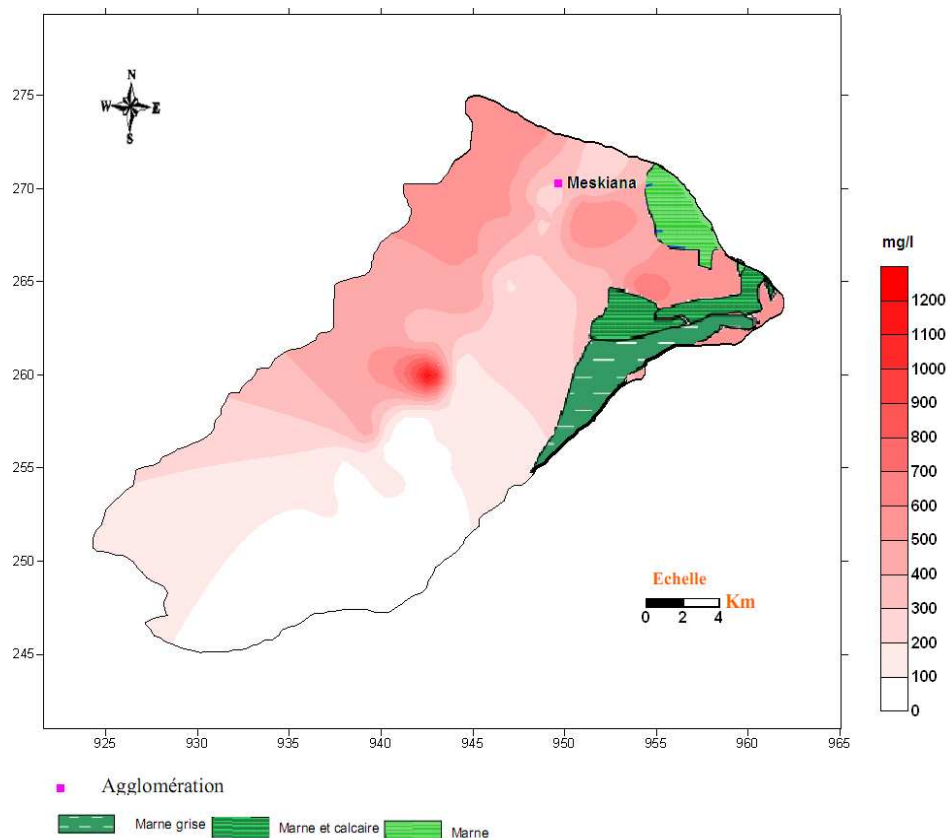


Figure 31 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.5. Cartes des Bicarbonates (HCO_3^-)

Les concentrations oscillent entre 519 mg/l et 112 mg/l. Dans la partie sud les eaux sont diluées, leurs concentrations sont relativement faibles, les eaux souterraines circulent dans des terrains fissurés, leur vitesse de circulation est rapide.

Les valeurs maximales sont rencontrées au niveau des bordures, dans les terrains carbonatés, surtout dans la zone orientale de Djebel Grigueur. Quelques puits possèdent des concentrations remarquables, malgré qu'ils se situent au centre de la plaine, ceci est attribué aux concrétions calcaires du quaternaire.

La présence des ions bicarbonates dans les puits qui se situent à proximité des bordures calcaires confirme l'alimentation de la nappe latéralement.

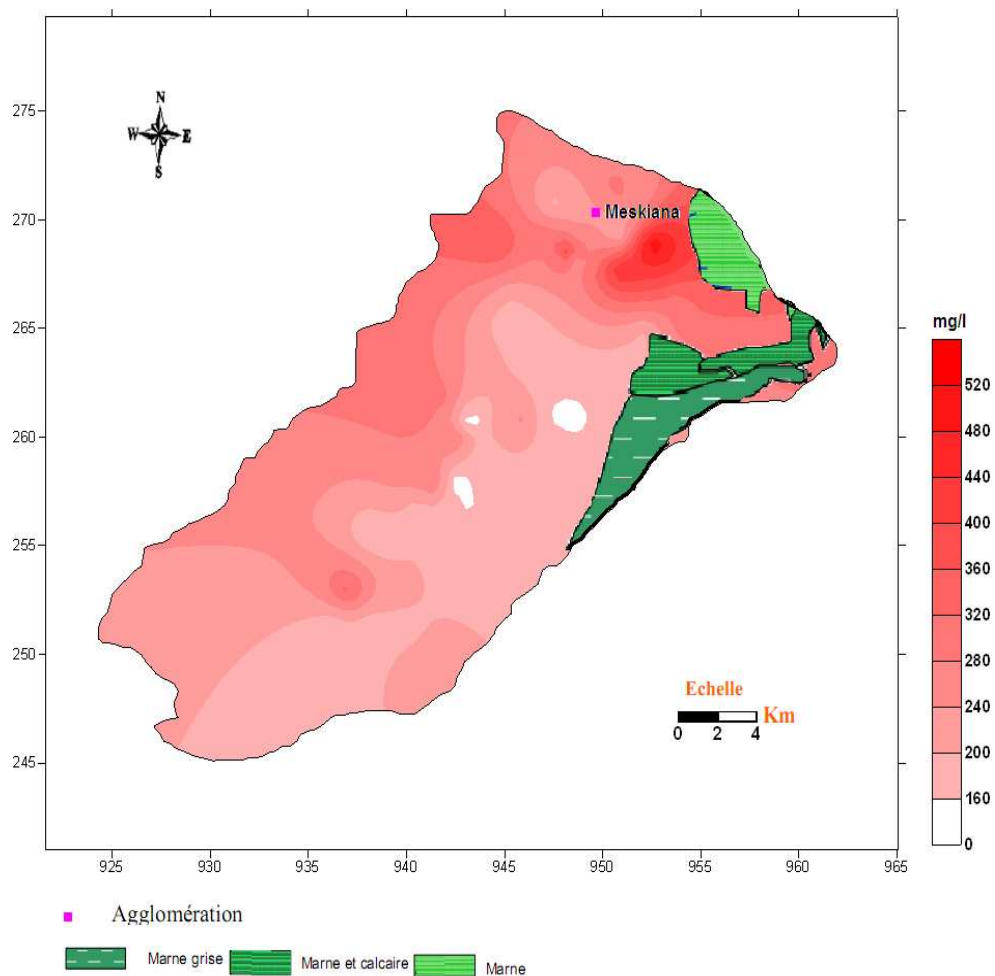


Figure 32 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en Bicarbonates dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.6. Cartes des nitrates (NO₃⁻)

La répartition des teneurs en nitrates dans la plaine de Meskiana est liée aux facteurs polluants, et en particulier à l'activité agricole et à la nature géologique de la couche superficielle de la plaine, la plupart des agriculteurs de la région utilisent les engrais azotés pour fournir les quantités suffisantes d'azote et d'autres éléments nutritifs aux plantes pour rentabiliser la récolte, les engrais azotés donnent naissance aux nitrates par le processus de nitrification qui correspondent à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique NO₃.

Les concentrations de nitrates varient entre 01 mg/l et 105 mg/, les faibles concentrations sont enregistrées au Sud de la plaine, car cette région est caractérisée par une faible perméabilité où les teneurs enregistrées ne dépassent pas 50 mg/l, puisque le toit argileux fixe les ions nitrates et ainsi protège la nappe.

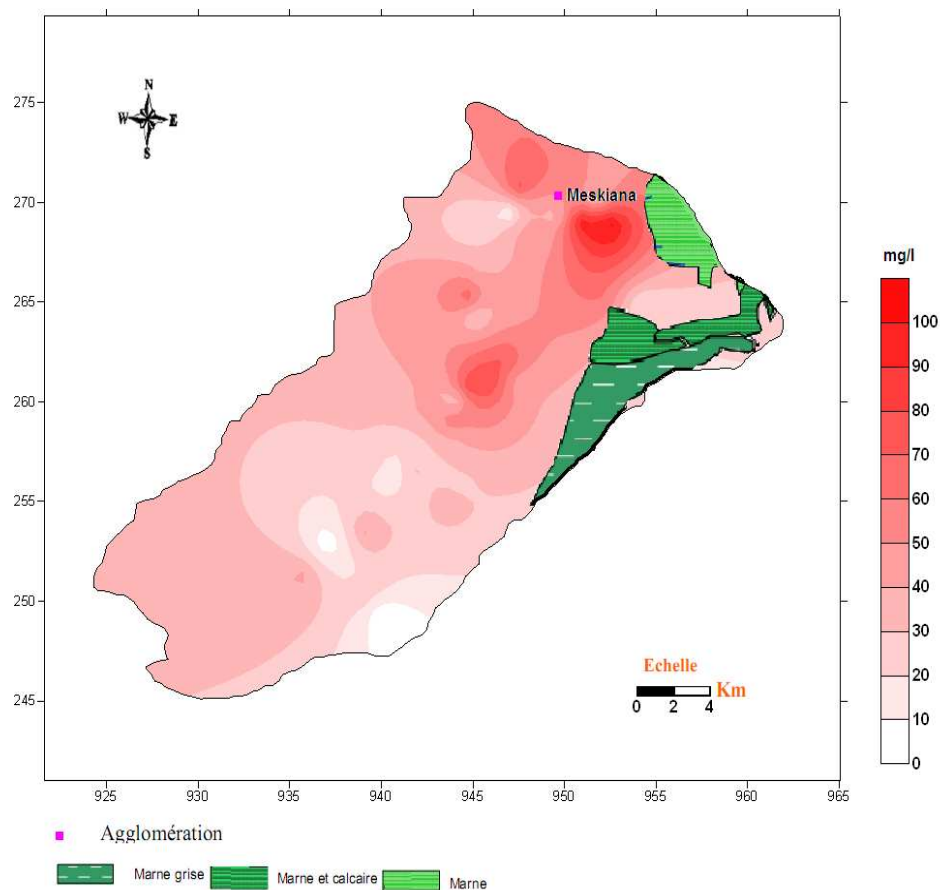


Figure 33 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines (mg/l)

Au Nord-Est de la plaine les concentrations enregistrées sont très fortes, parce que cette zone a une grande perméabilité et beaucoup plus exposée à la pollution, car les ions nitrates s'infiltrent rapidement.

Selon notre analyses hydro-chimiques, environ 25,45 % des puits ont présenté des teneurs dépassant les normes de l'OMS.

IV.6. Etude de l'origine des éléments dominants et les rapports caractéristiques

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale de Meskiana proviennent des formations carbonatées de l'Eocène et du Maestrichtien qui bordent la plaine. Ensuite, elles s'écoulent dans un matériel très hétérogène (des alluvions, des sables, des graviers, des dépôts évaporitiques... etc.). Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. En se basant sur les mesures et les analyses chimiques nous essayons de déterminer l'origine probable de quelques ions.

IV.6.1. Détermination de l'origine du calcium

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de la concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

L'observation de la (figure 34) permet de distinguer deux origines de calcium la première gypsifère et la deuxième est carbonaté.

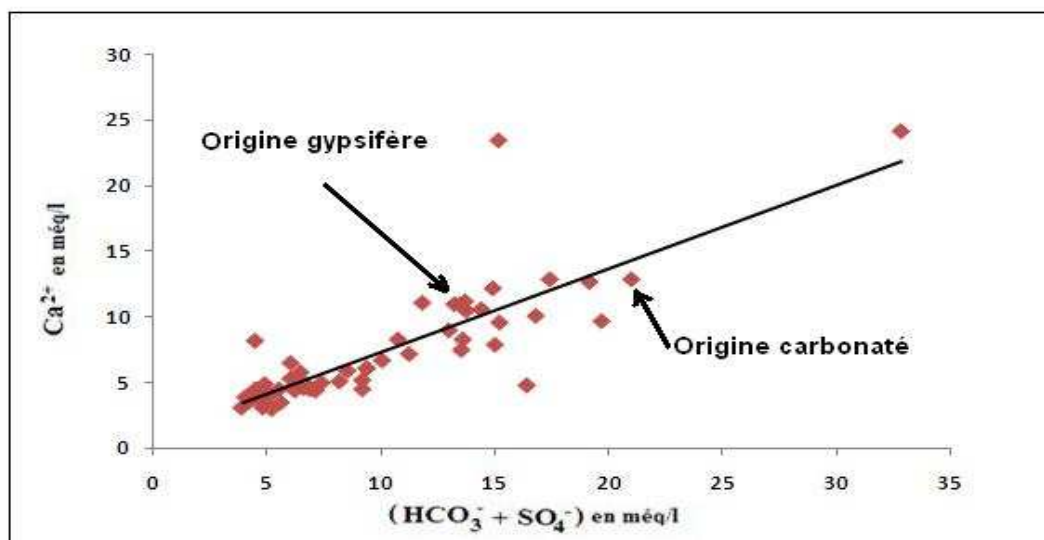


Figure 34 : L'origine de calcium

IV.6.2. Détermination de l'origine du sodium

La représentation graphique de l'évolution du Na^+ en fonction de Cl^- a montré que l'ensemble des points présentent un alignement, indiquant que les eaux auraient traversées les mêmes terrains avec dissolution de l'halite rencontrée dans les formations triasiques.

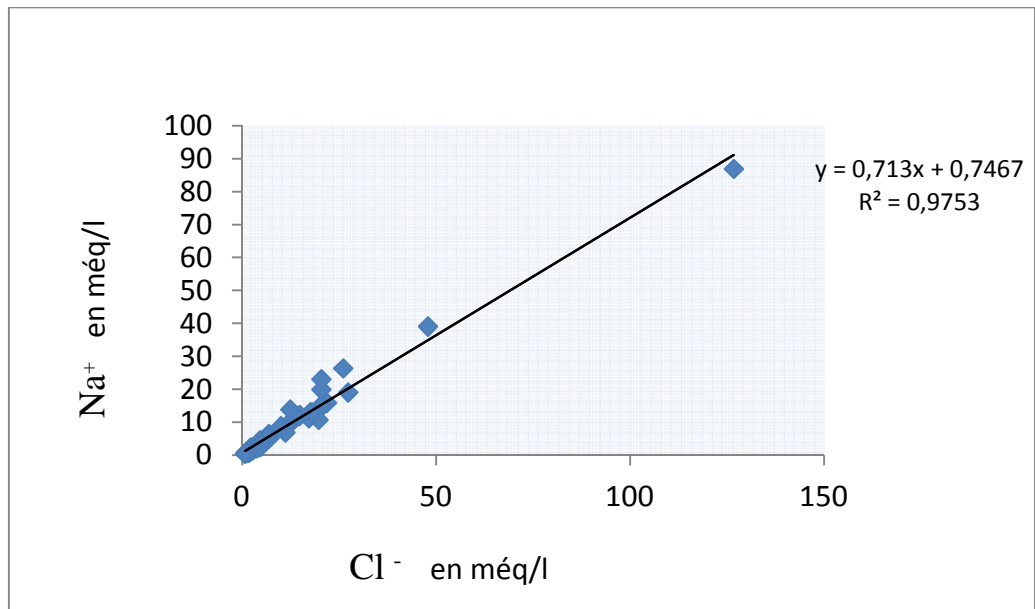


Figure 35 : L'origine du sodium

IV.6.3 Détermination de l'origine du SO_4^- et Cl^-

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le SO_4^- provient du gypse et le Cl^- provient de la dissolution de l'halite et probablement d'une pollution anthropique. Tous les points se trouvent sur la droite d'équilibre, avec un enrichissement en sulfate.

Cet aspect dénote de la dissolution du gypse et de l'anhydrite contenus dans les inclusions évaporitiques du remplissage plio-quaternaire.

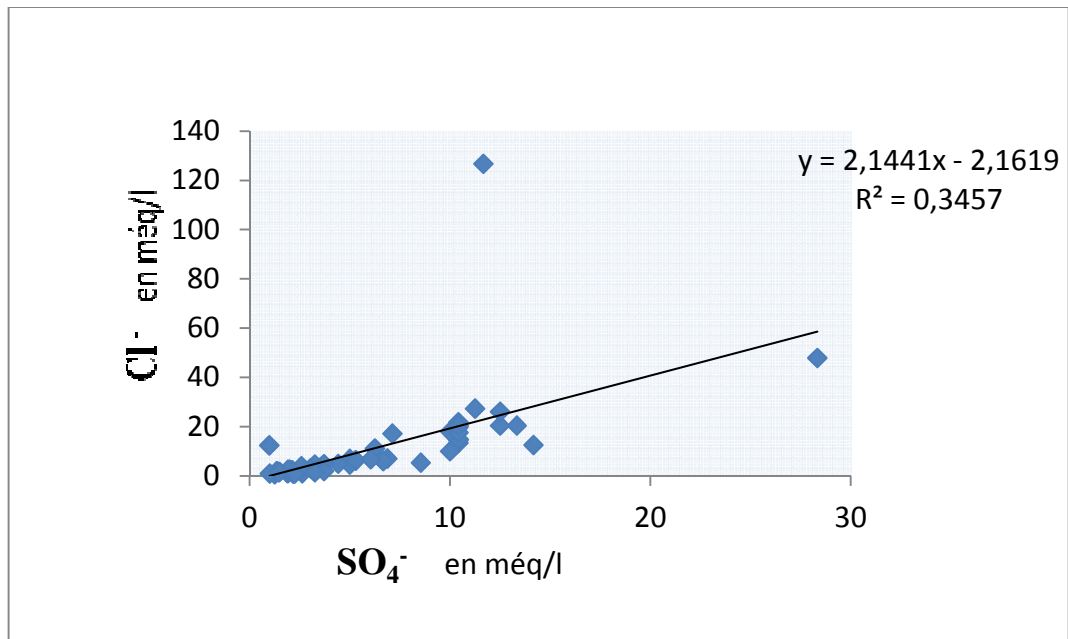


Figure 36 : L'origine de la salinité en fonction du rapport caractéristique : $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$

IV.7. Echanges de bases

Le processus d'échange de base est un mécanisme modificateur des nappes d'eau. Il se produit entre les alcalins (sodium-potassium) et les alcalino-terreux (calcium-magnésium) dans les terrains sédimentaires. Il est matérialisé par les ions adsorbés dans les argiles et les ions en solution dans l'eau. La sélectivité d'un ion correspond à son aptitude à être adsorbé sur les argiles. Si la sélectivité d'un ion en solution est plus forte que celle d'un ion présent dans l'argile (ou que sa concentration augmente), il va déloger cette ion déjà adsorbé qui va se retrouver en solution.

On voit ainsi que le sodium peut facilement débusquer le calcium. La concentration de l'eau sera alors diminuée en sodium et augmentée en calcium.

Pendant son écoulement l'eau au contact de la roche libère le calcium (cas de saturation en calcium) et fixe le sodium. Pour illustrer ce mécanisme on a choisi une méthode graphique.

L'observation de la (figure 37) met en évidence, trois familles d'eau :

- Une première caractérisée par un excès de calcium, le nombre d'échantillon est très faible.
- La deuxième appartenant à la zone d'équilibre (état naturel), ses échantillons sont saturés.

- La troisième famille, met en évidence la présence d'un échange de base.

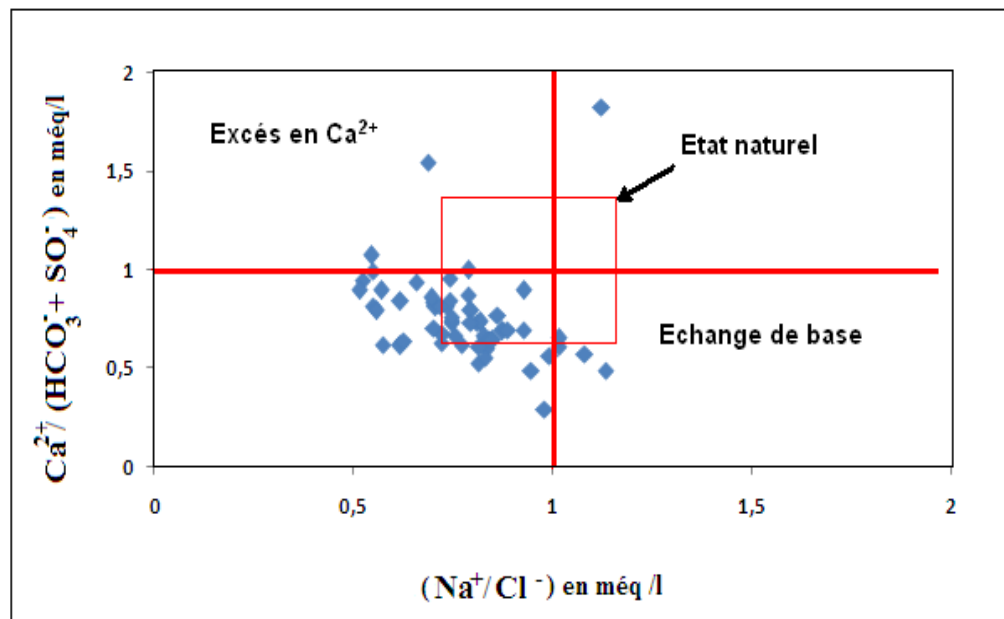


Figure 37 : Graphe explique le phénomène des échanges de bases

Le précédent graphe montre l'influence des formations carbonatées au niveau de la première famille (excès en calcium).

La deuxième famille correspond à la zone de transition (état naturel), en réalité, peut évoluer vers l'un des deux stades, sous l'effet de réaction chimique (thermodynamique).

Le troisième cas explique l'origine de sodium dans une zone où dominent particulièrement le calcium et le sodium.

IV.8. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol d'enracinement influe négativement sur la croissance des plantes, on a recensé deux séries d'effets de la salinité (M. De FORGES, 1972) : les uns portent sur les végétaux, les autres sur le sol. En effet, ces sels causent des changements de la perméabilité et de l'aération du sol d'une part, et d'autre part ils provoquent des perturbations du métabolisme des plantes et du processus osmotiques de ces dernières.

Comme la région de Meskiana est à vocation agricole et les risques de salinisation des sols se font sentir, une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire car cette région se caractérise par une faible pluviométrie, une forte évaporation et une eau souterraine trop chargée en chlorures et en sulfates. Les risques qu'encourt cette plaine imposent une bonne connaissance des régimes hydriques et salins afin de pouvoir assurer une durabilité d'utilisation des ressources en eau et des sols.

Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela, nous allons utiliser plusieurs méthodes afin de les classer (DIB, 2009).

IV.8.1 Salinité

Selon R. S. AYERS et D. W. WESTCOT (1988) ; quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Tableau 24) montrent que :

- ✓ Si la salinité exprimée par la conductivité est inférieure à 700 $\mu\text{S} / \text{cm}$, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation ;
- ✓ Si la conductivité varie entre 700 et 3000 $\mu\text{S} / \text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne ;
- ✓ Si elle est supérieure à 3000 $\mu\text{S} / \text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

Tableau 24 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Salinité).

Restriction pour l'irrigation	CE en $\mu\text{S} / \text{cm}$	Pourcentage des échantillons
Aucune	< 700	24%
Légère à modérée	700 - 3000	56%
Forte	> 3000	20%

L'examen du tableau montre que la majorité des points d'eau de la plaine de Meskiana représentent une restriction pour l'irrigation légère à modérée.

IV.8.2. Infiltration

Les problèmes d'infiltration liés à la qualité de l'eau apparaissent, lorsque la vitesse de pénétration de l'eau d'irrigation ou de la pluie est notablement réduite provoquant une stagnation de l'eau à la surface du sol et diminution de la qualité d'eau mise en réserve tandis que la salinité diminue la disponibilité de l'eau en réserve.

IV.8.2.1. Eaux peu salées

Les eaux peu salées dont la conductivité électrique est inférieure à 200 $\mu\text{S} / \text{cm}$ ont une forte tendance à mobiliser rapidement le calcium du sol, ce qui entraîne plus la dispersion des particules et l'obturation des espaces poreux (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988).

La valeur minimale de conductivité des eaux de la plaine de Meskiana est supérieure à 200 $\mu\text{S} / \text{cm}$, donc ce problème ne se pose pas.

IV.8.2.2. Eaux à forte teneur en sodium (Risque de sodicité)

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes.

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent fréquemment les cations Ca^{2+} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cet effet (Rouabhia, 2010).

Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio : SAR ».

Ce dernier est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Où :

Na : Concentration de l'eau en ions de sodium (méq/l).

Ca : Concentration de l'eau en ions de calcium (méq/l).

Mg : Concentration de l'eau en ions de magnésium (méq/l).

IV.8.2.2.1. Classification des eaux par la méthode de Riverside

Dans le but de mettre en relief l'effet de la lithologie sur l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous avons cartographié la qualité des eaux à l'irrigation.

On définit différentes classes d'eau en fonction de leur SAR (S1 à S4).

Le diagramme de Riverside est construit en croisant le SAR calculé et la conductivité mesurée.

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence des six classes suivantes :

- La classe C2S1 : Elle caractérise une eau de bonne qualité pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels. Cette classe représente les eaux de faible minéralisation que l'on rencontre en amont de la nappe à proximité des bordures.
- La classe C3S1: Généralement, cette classe renferme des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée. Elle représente les puits qui se situent au Nord de la ville de Meskiana.
- Les classes C4S1, C4S2, C4S3 : elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Les classes C4S2, C4S3, ont d'une sodicité plus importante que celle de la classe précédente. On la rencontre dans le Nord-Est de la plaine de Meskiana
- La classe C5S3 : Elle caractérise une eau de qualité très mauvaise pour l'irrigation des cultures.

Il apparaît donc que les eaux souterraines de la nappe de Meskiana sont d'une salinité souvent inutilisable pour l'irrigation. Il est à noter l'inexistence de première classe de la CE à savoir : C1 ($0 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} < 0,25 \mu\text{S}/\text{cm}$).

La classification classique de Riverside montre que la meilleure classe de ces eaux est C2S1 de bonne qualité avec treize (13) échantillons (23,63 %). La classe C3S1 avec vingt deux (22) échantillons (40%), Les classes (C4S1, C4S2, C4S3), avec dix-huit (18) échantillons (32,72 %).

La classe C5S3 qui est caractérisée par un danger de sodicité et de salinité très élevé mais avec un faible taux (03,63%).

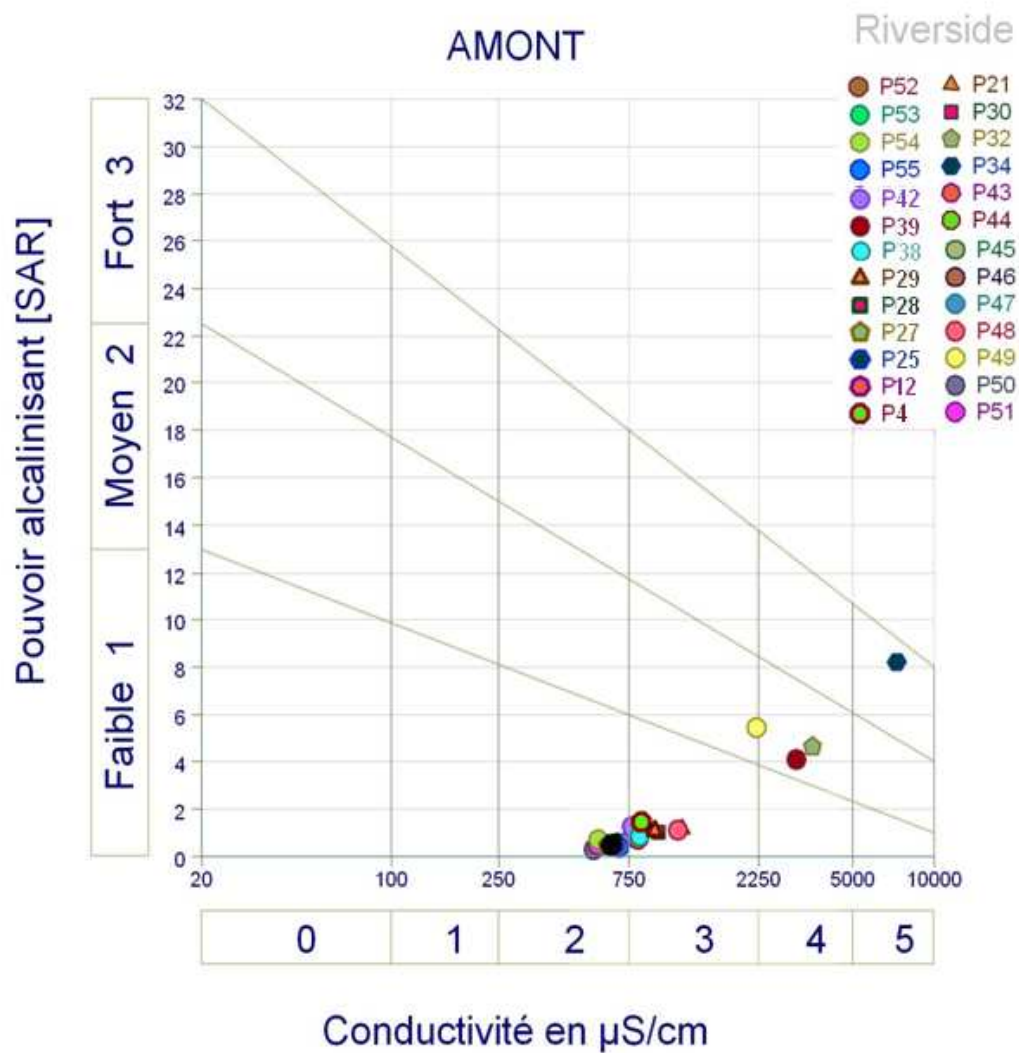


Figure 38 : Représentation des échantillons sur le diagramme de Riverside (A l'amont de la nappe)

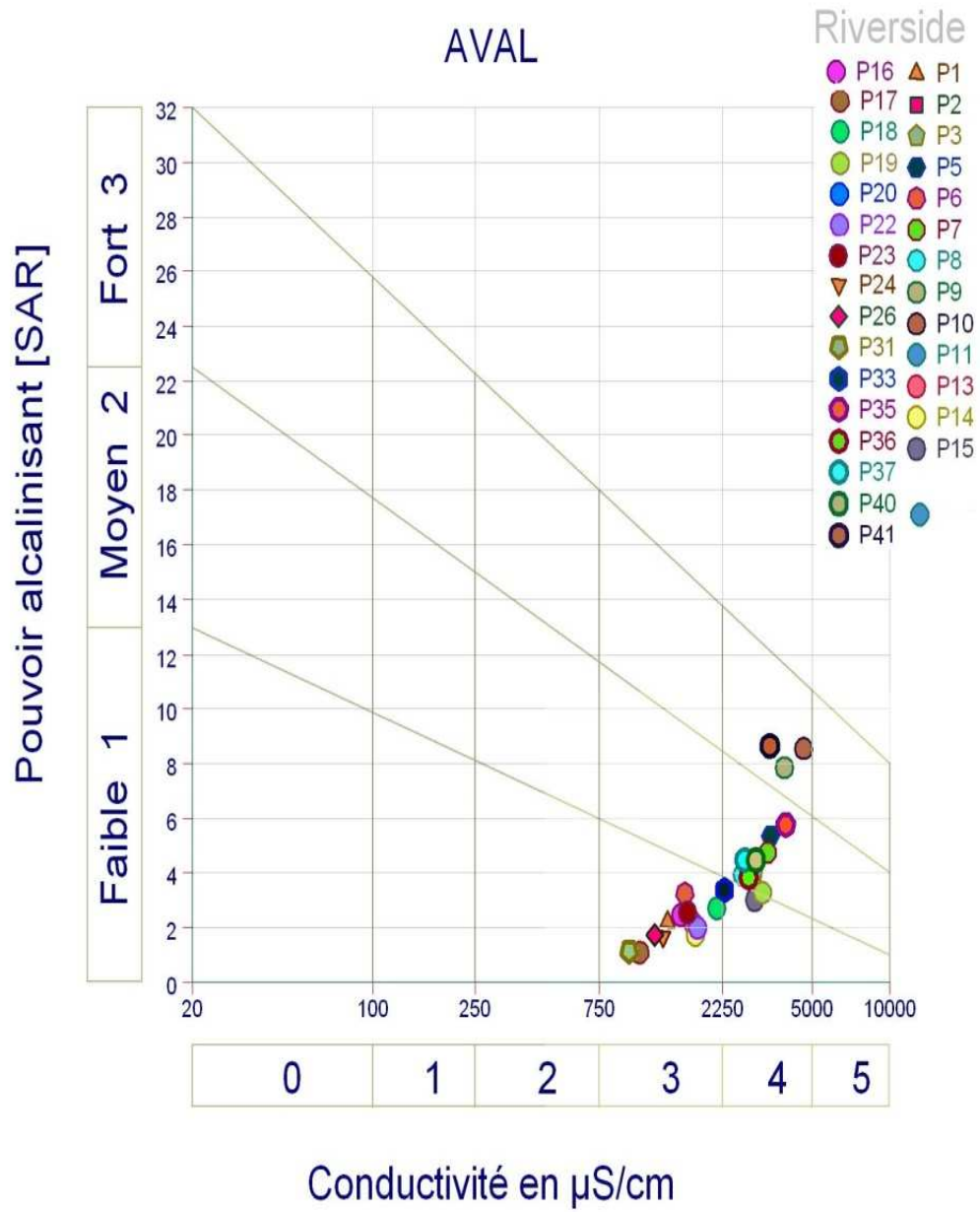


Figure 39 : Représentation des échenillons sur le diagramme de Riverside

(A l'aval de la nappe)

IV.9. Cartographie de l'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Riverside

L'observation de la carte (Figure 40) montre que la majorité des eaux souterraines ont une qualité dégradée, elle regroupe les eaux qui se situent au centre et au Nord de la plaine. Sous l'effet de l'aridité du climat, ces eaux sont soumises à l'évaporation, ce qui a pour effet d'augmenter leur salinité. Cette salinité affecte les cultures et les plantes s'il arrive de les utiliser en irrigation sans sélection d'espèces

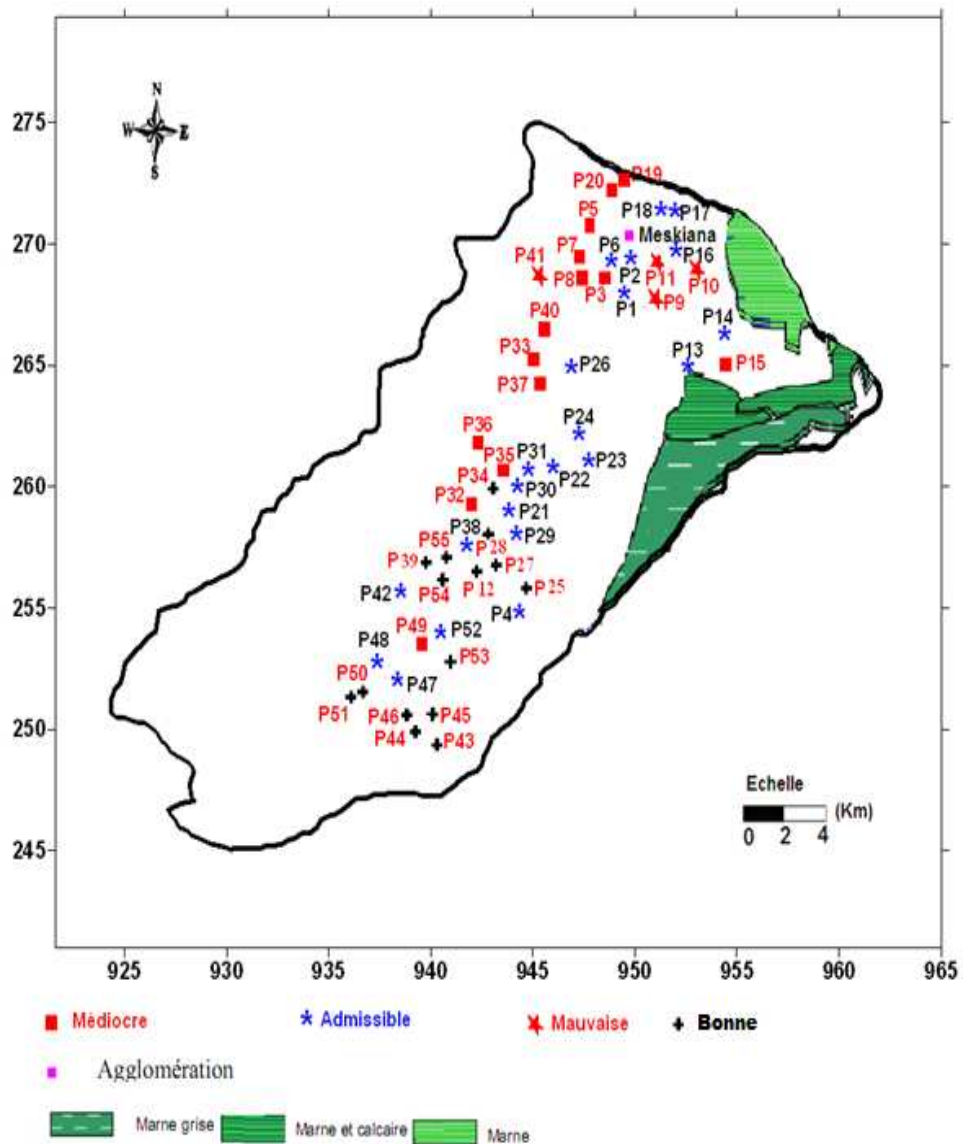


Figure 40 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation de la nappe du Meskiana selon la classification de Riverside

IV.10.Conclusion

La qualité des eaux souterraines de la nappe de Meskiana dépend de plusieurs paramètres physiques et chimiques. Leurs variations spatiales sont dues soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution et précipitation des sels), pollution anthropique et variabilité climatique.

Les fortes teneurs en sodium, calcium, chlorure et sulfate sont dues, soit à la dissolution des sels contenus dans les formations géologiques traversées par les eaux au cours de leur voyage souterrain (Roches carbonatées, évaporites et formations évaporitiques gypseuses et salifères), soit d'origine anthropique (la présence de la décharge sauvage, l'utilisation intensive des engrais chimiques et les échanges entre l'oued et la nappe) .Ce qui conduit à une augmentation de la salinité des eaux. Cette dernière est traduite par une forte conductivité dont les valeurs atteignent 13200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'amplification de cette salinisation avec le temps entraîne l'abandon des puits contaminés et la stérilisation des terrains irrigués (avec ces eaux minéralisées), la minéralisation varie de 310 mg/l à 8184 mg/L.

Dans notre région d'étude le faciès dominant est : Bicarbonaté-calcique, Chloruré-calcique, Chloruré-sodique et Sulfaté-calcique.

Les eaux de la nappe, en majorité, ne conviendraient pas à l'irrigation car elles présentent des conductivités très élevées.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude a abouti aux conclusions suivantes :

-L'étude géologique du bassin de Meskiana a montré que les formations carbonatées de bordure sont d'âge Crétacé. Les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaire occupent la totalité de la plaine.

-L'activité tectonique a provoqué la formation de plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction orthogonale affectant les formations crétacées.

-Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable.

-A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.

-Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations moyennes annuelles, sur une période de 14 ans (96/97 – 2009/2010), estimées à 425,96 mm, La température moyenne interannuelle est de 17,01 °C.

- Le ruissellement ne représente que 7,18 % des précipitations, ce qui représente 30 ,6 mm.

-L'infiltration est estimée à 10,98 %. Ce qui permet de percoler 46,76 mm Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.

-La cartographie piézométrique a montré que l'écoulement souterrain se fait, en général, selon une direction Sud-Ouest - Nord-Est.

-L'alimentation se fait à partir des bordures calcaires à l'Est de la plaine.

-Les valeurs les plus importantes de la perméabilité se localisent au centre de la plaine.

-L'étude hydro-chimique montre que : La présence de quatre faciès chimiques : (Bicarbonaté-calcique, Chloruré-calcique, Chloruré-sodique, Sulfaté-calcique), marquant l'hétérogénéité de la lithologie. La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe.

-Le suivi de la qualité des eaux a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux de la nappe.

-Les classifications de Richards montré que les eaux de la nappe ne conviennent pas à l'irrigation car elles présentent des conductivités dépassent la norme,

-Quant à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution de la plaine de Meskiana ont fait apparaître une forte contamination de celle-ci par des nutriments

Conclusion générale

d'origine agricole et par les rejets urbains, qui sont déversés sans aucun traitement préalable, ce qui contribue à la dégradation de la qualité des eaux.

Dans les perspectives, nous proposons de laisser les terrains en jachère pendant 10 ans pour réduire la contamination des eaux souterraines, réduire aussi la durée de pompage pour ne pas pomper les eaux de l'oued et enfin sélectionner les espèces culturales tolérantes aux sels.

Références bibliographiques

ABDOUKARIM A., (2004) : Etude hydrogéologique du continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de portonovo (Sud du benin) : Identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe superficielle. Thèse de Doctorat d'université cheikh

Anta diop de Dakar.185 pages.

A.B.H, (2001) : Les cahiers de l'agence des bassins hydrographiques « A.B.H » ; « Le bassin versant Medjerda Mellague », N° 6. 24p.

ATHAMENA M., (2006) : Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone sud stéfién. Mémoire de Magister d'université El Hadj Lakhdar Batna.150 pages.

BELLOLA M., (2008) : Modélisation des écoulements et perspectives de prévention contre les risques d'inondation dans quelques bassins de la Medjerda (Confins Algéro-Tunisiens). Mémoire de Magister Université El Hadj Lakhdar Batna. 168 pages.

CHEDDAD S., (2009) : Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le traitement des glissements de terrains Cas du site de Bougaa. Algérie Nord orientale. Mémoire de Magister d'Université Mentouri de Constantine. 130 pages.

DJEMMEL S., (2009) : l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux souterraines dans la partie sud-est de Sétif cas du guidjal. Mémoire de Magister d'université Mentouri Constantine.

254 pages.

DIB I., (2009) : Impacte de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux de la plaine de Gadaine-Ain-Yaghout (Est Algérien).

François A., Jean R & Nicolas L., (2005) : Hydrologie (cheminement de l'eau). Presses internationales polytechniques. Hydrologie, pp 103.

Gouaidia L., (2008) : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algérien. thèse de Doctorat d' Université Badji Mokhtar-Annaba. 199 pages.

Guasmi I., (2009) : Pollution des eaux et pouvoir auto-épurateur de l'oued Medjerda (nord-est Algérien). Thèse de Doctorat d' Université Badji Mokhtar-Annaba. 205 pages.

ROUBHIA, (2010): L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine D'MA EL ABIOD.

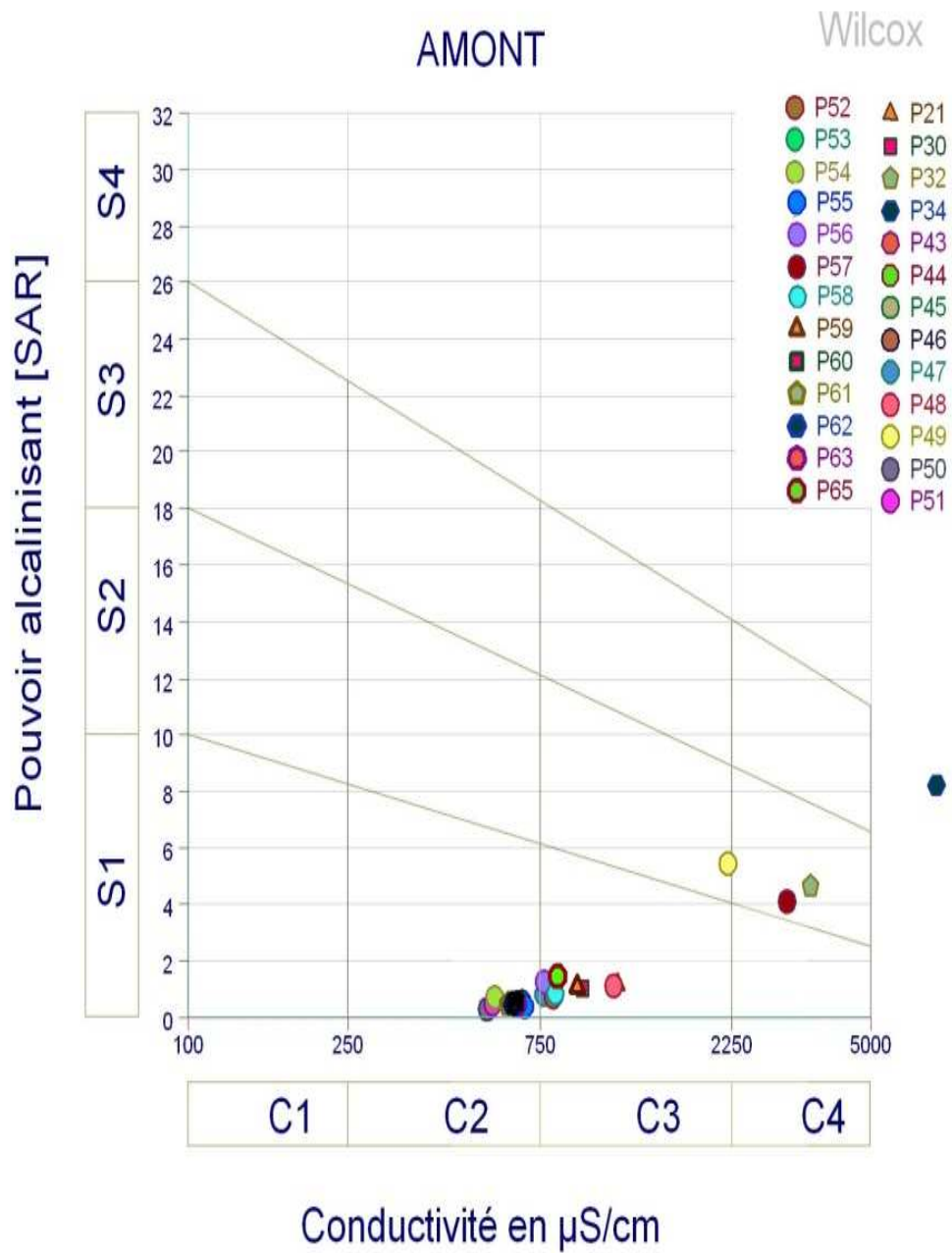
Jacob F., Oliosio A., Gu X.F., Su Z. & Seguin B., (2002): Mapping surface fluxes using airborne visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data and a spatialized surface energy balance model. *Agronomies*, n°22, pp 669-680.

Jensen H. S. & Andersen F. Q., (1992): Importance of temperature, nitrate and ph for phosphate release from aerobic sediments of four shallow eutrophic lakes. *oceanogr*, volume 37, n°3, pp 557-589.

NOEMI, (2002) : Contribution a l'étude hydro-geochimique du bassin versant de kaluvelly, sud-est de l'inde. *Hydrologie, Hydrogéologie, Géostatistique et Géochimie*, Université pierre et marie curie, Université paris-sud, Ecole des mines de paris & Ecole nationale du Génie rural des eaux et des forets, 52 p.

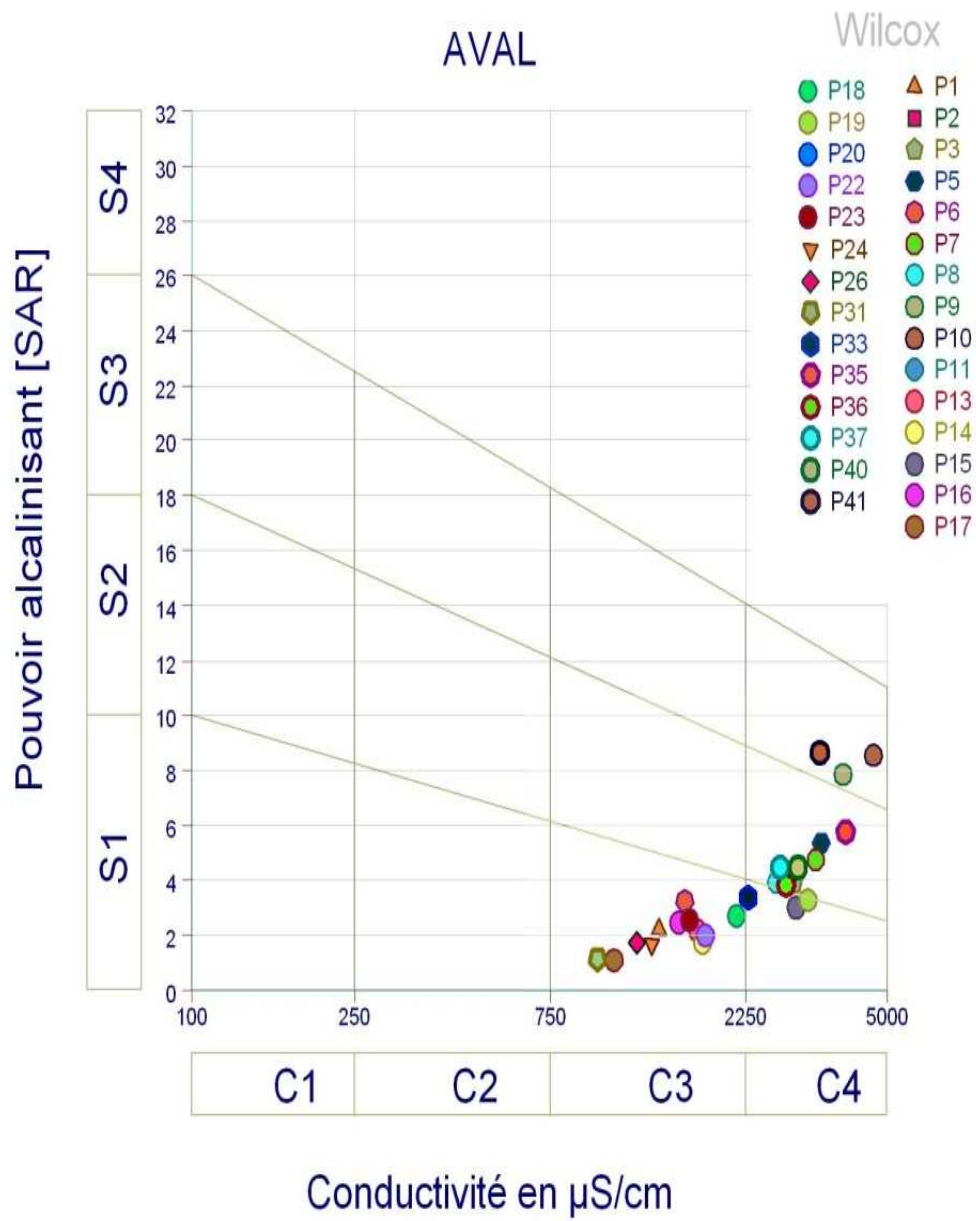
TABET S., (2008) : Le changement climatique en Algérie orientale et ses conséquences sur la végétation forestière. Mémoire de Magister Université Mentouri Constantine. 132 pages.

Annexe 01



Représentation des échantillons sur le diagramme de WILCOX (A l'amont de la nappe)

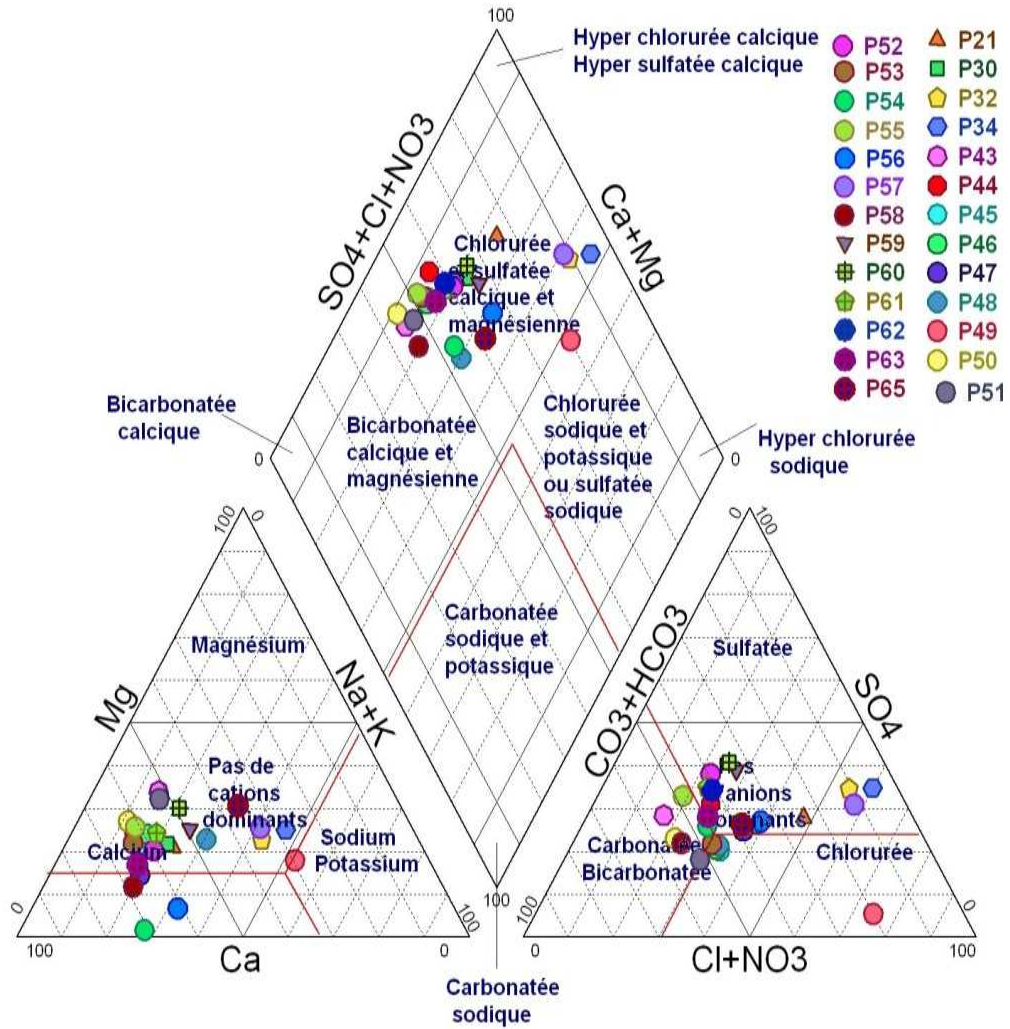
Annexe 02



Représentation des échantillons sur le diagramme de WILCOX (A l'aval de la nappe)

Annexe 03

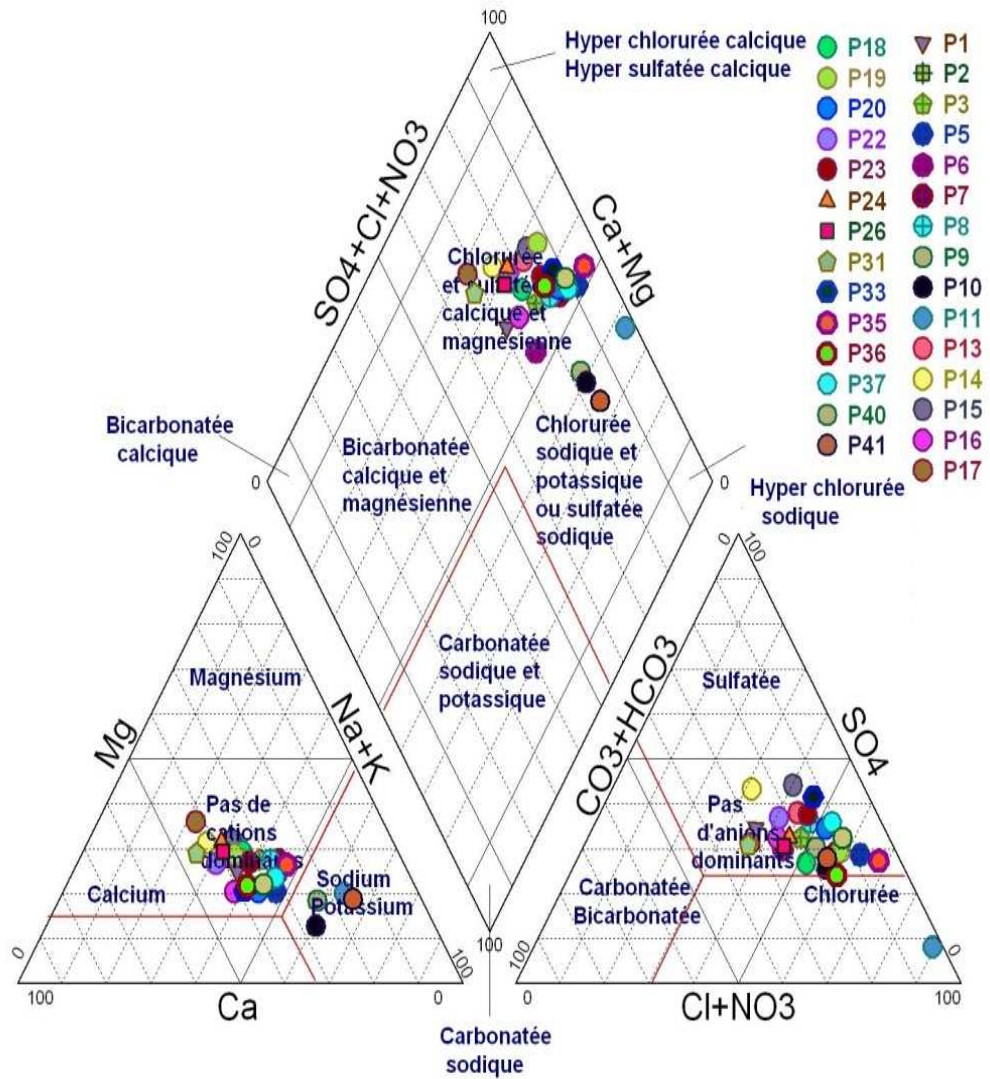
Diagramme de Piper



Représentation des échantillons sur le diagramme de Piper (A l'amont de la nappe)

Annexe 04

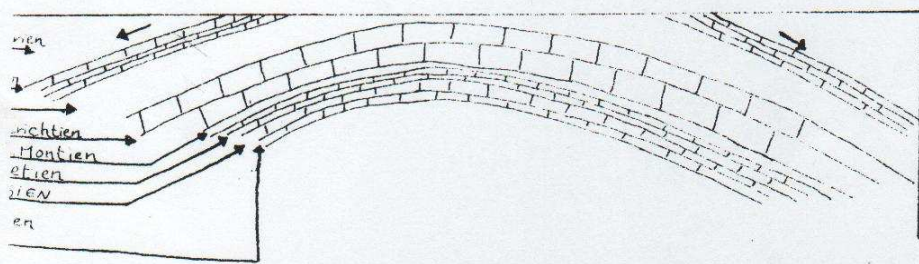
Diagramme de Piper





Représentation des échantillons sur le diagramme de Piper (A l'aval de la nappe)

Annexe 05

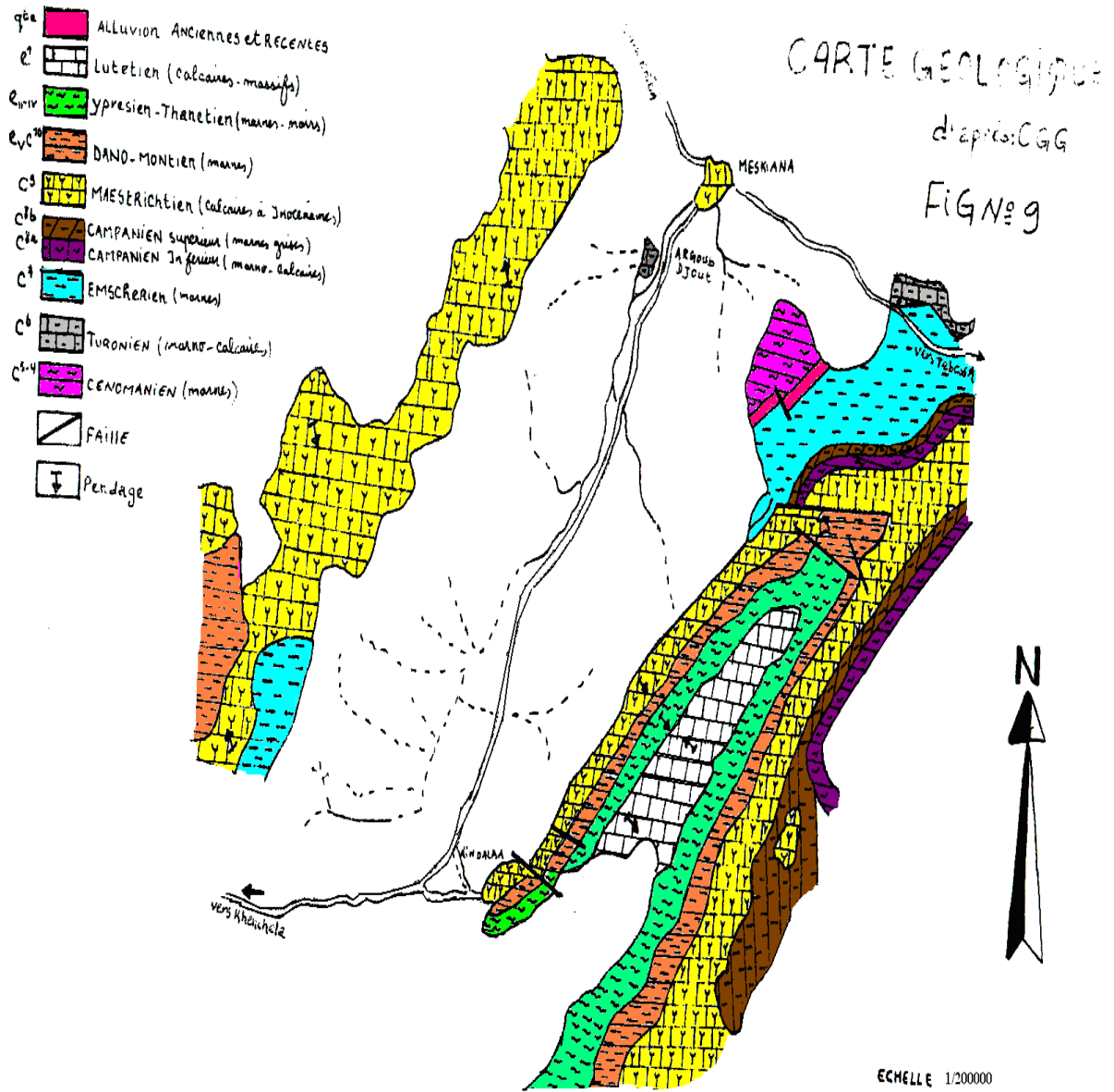
FIG N° 10 coupe Geologique
de l'anticlinal de la
meskiana



Source d'AIN Dalaa

-  marne
-  calcaire

Annexe 06



RESUME

La plaine de Meskiana se situe au Nord-Est d'Algérie, cette plaine possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées, à savoir uniquement les eaux souterraines de la nappe Mio-Plio-Quaternaire. Le climat de la région est semi-aride. Ces dernières années l'activité agricole contribue d'une part à la dégradation de la qualité des eaux et son corollaire l'agression de l'environnement en réponse à l'exploitation intensive de la nappe d'eau et à l'activité anthropique par l'accroissement démographique.

L'objectif de ce thème de recherche est l'étude de l'influence de la lithologie et les paramètres climatologiques et l'activité anthropique sur la qualité physicochimique des eaux.

La nappe alluviale de Meskiana est constituée par des alluvions sableuses, gréseuses et conglomératiques, avec des passages argileux. Ses limites Nord-orientales chevauchent des formations diapiriques. Elle est alimentée principalement à partir des formations carbonatées de bordures.

La qualité chimique de l'eau est médiocre, résultant d'une forte salinité influencée par la lithologie de l'aquifère et les facteurs climatiques (l'évaporation responsable des précipitations salines). On note la présence de quelques polluants, tirant leurs origines des activités agricoles et des rejets urbains.

En fin les résultats issus de cette étude concordent donc parfaitement avec les questions évoquées dans la problématique de départ.

Mots clés : la plaine de Meskiana, lithologie, climat semi-aride.

ABSTRACT

Meskiana plain, located in the North-east part of Algeria, this plain has hydrous resources are relatively limited consist of underground water of the Mio-Plio-Quaternary aquifer. In recent years a high level of water demand was felt due to remarkable increase water for agriculture use. On one hand, this has induced a shortage of water and a deterioration of its quality on the other.

The goal of this research is etude influence of the lithological parameters and the climatic factors, on to physicochemical parameters of water.

Meskiana alluvial aquifer is mainly composed of sandy, sandstone and conglomeratic materials with some passages of relatively thin clay layers. It is limited to the north east by diapiric formations, the most important part of its recharge comes from the carbonate formations of the borders.

Meskiana plain characterized by simple tectonated structure the general direction of folding is South-west North-east, as to the climatic predominant in the area is semi-arid

The chemical quality of water is poor resulting from the strong salinity influenced by the lithology of the aquifer and the climatic factors (precipitations and the temperatures). Pollutants originating from agricultural activities and urban wastes are also present.

The results obtained from this study agree perfectly with the questions raised in the proposal.

Keywords: Meskiana plain, litho logical, semi-arid.

ملخص

يقع سهل مسكيانة في الشمال الشرقي الجزائري هذا السهل مزود حاليا بمصادر مياه محدودة والتي تتمثل أساسا في المياه الجوفية في هذه السنوات الأخيرة حيث يؤثر النشاط الزراعي بقدر كبير في تدني نوعية هذه المياه غاية هذا البحث هو دراسة تأثير نوعية التربة والعوامل المناخية على نوعية الكيماوية والفيزيائية للمياه.

-يتكون سطح المياه الجوفية لسهل مسكيانة من الطمي الرملي الحصى مع بعض الطبقات الصلصالية حدودها الشمالية الشرقية تتوضع بجانب بعض الصخور الغنية بالملح مما يؤثر على نوعية المياه.

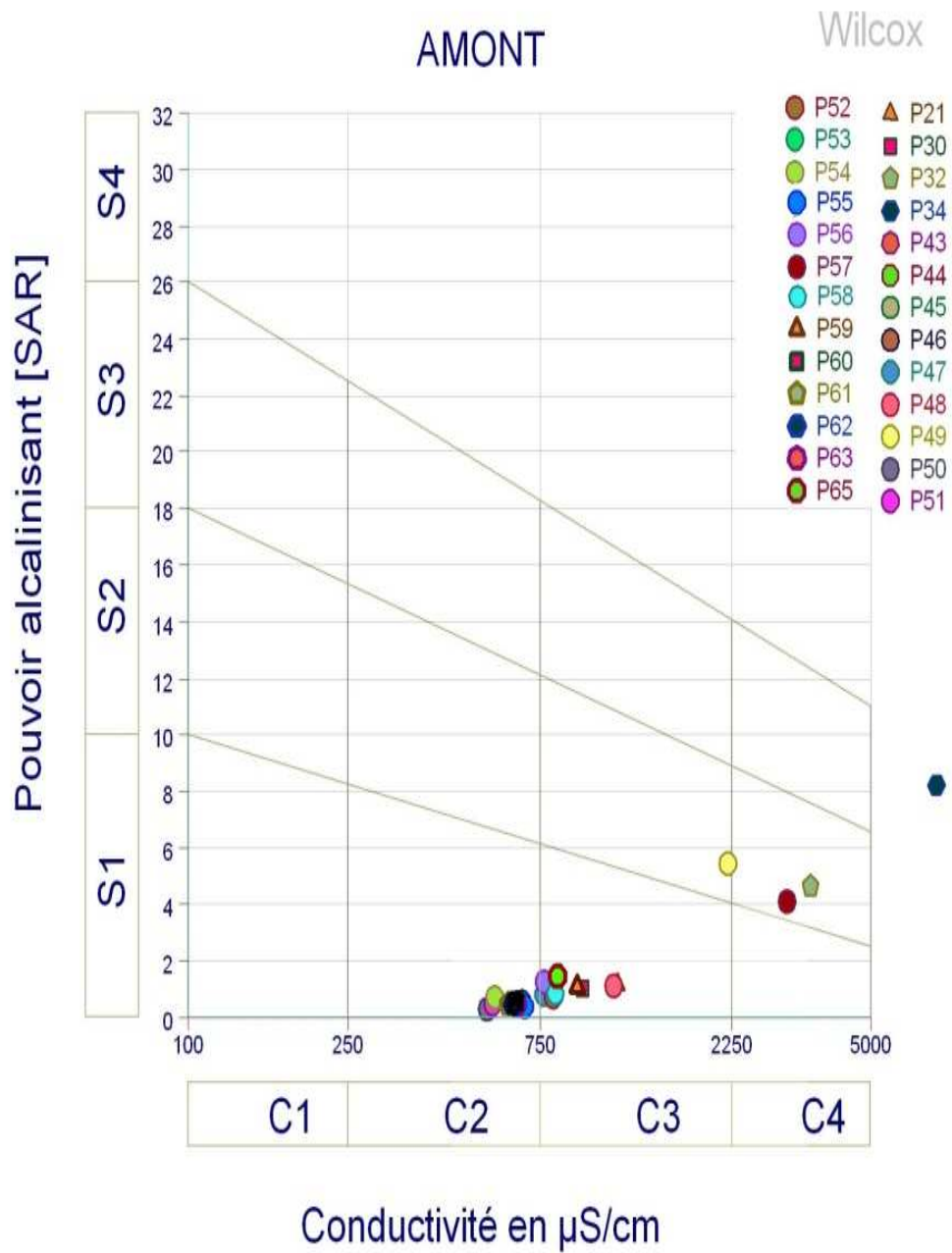
كما يتميز سهل مسكيانة بعناصر تكتونية بسيطة وإلا تجاه العام للطيات هو جنوب-غرب-شمال-شرق أما المناخ السائد في المنطقة هو المناخ شبه جاف .

نوعية المياه رديئة وذلك لكثرة ملوحتها من جهة نوعية الصخور وكذا لعوامل مناخية (التبخر والتساقط) كما نذكر بوجود صرف المياه المستعملة.

كما نذكر أن النتائج جاءت متوافقة مع إشكالية موضوع البحث.

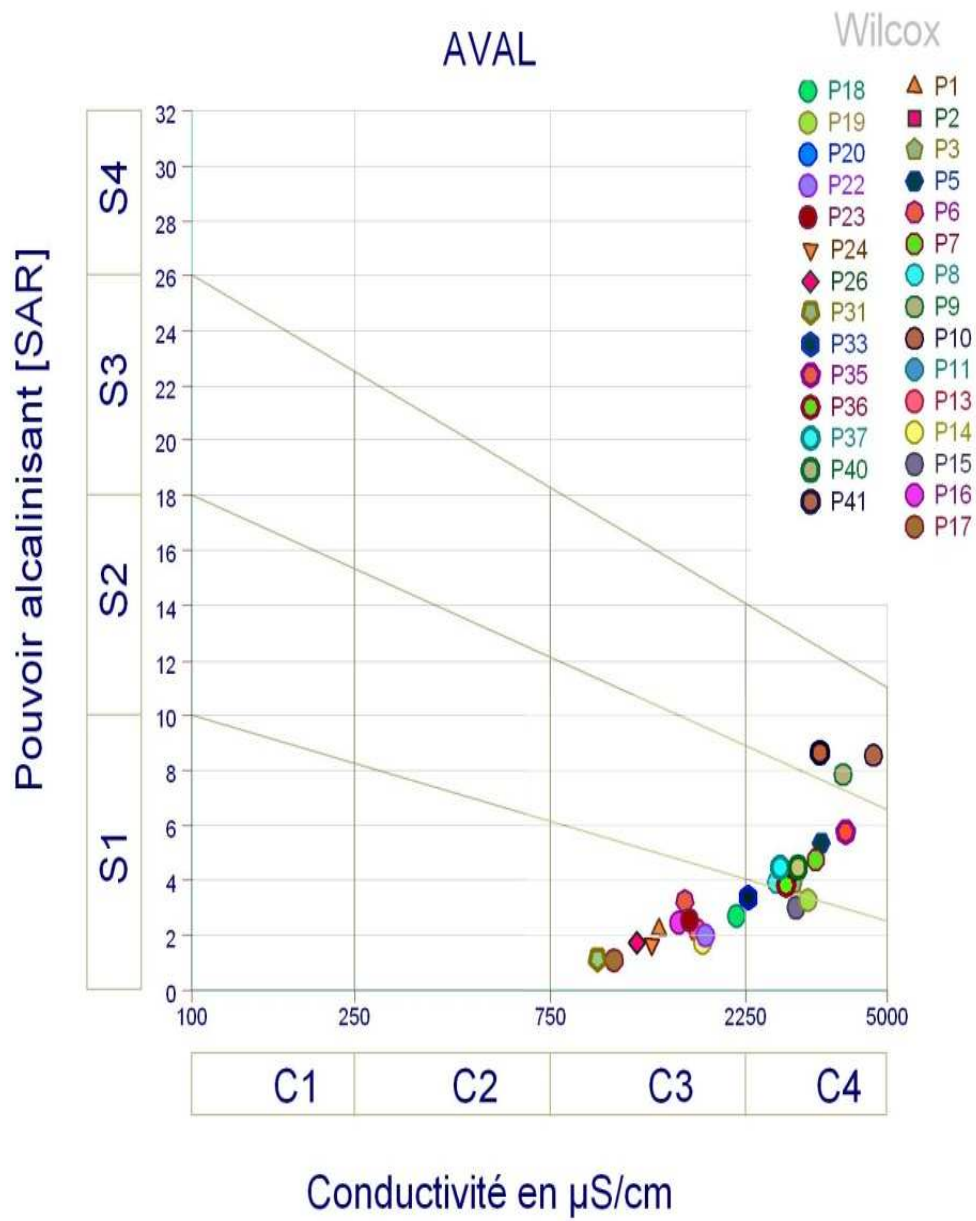
الكلمات المفتاحية: سهل مسكيانة ، نوعية التربة ، المناخ شبه جاف

Annexe 01



Représentation des échantillons sur le diagramme de WILCOX (A l'amont de la nappe)

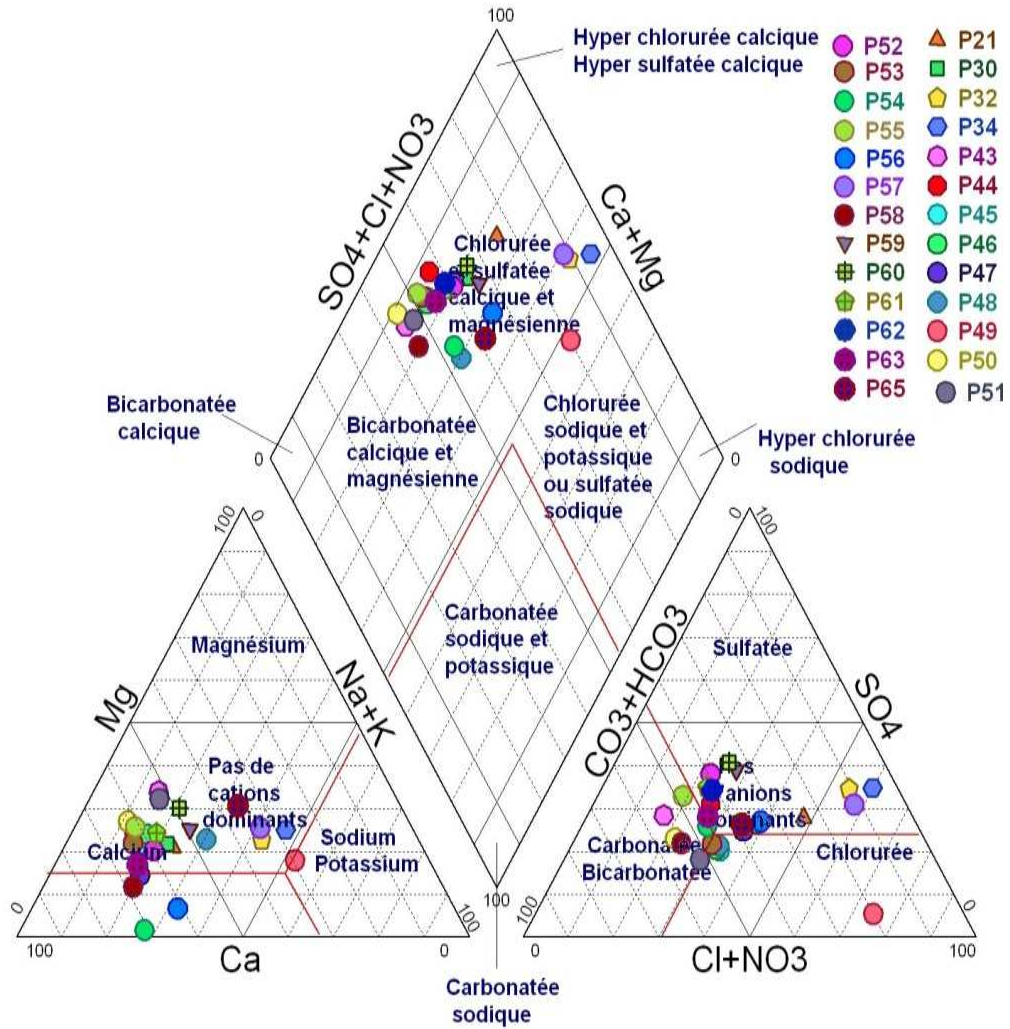
Annexe 02



Représentation des échantillons sur le diagramme de WILCOX (A l'aval de la nappe)

Annexe 03

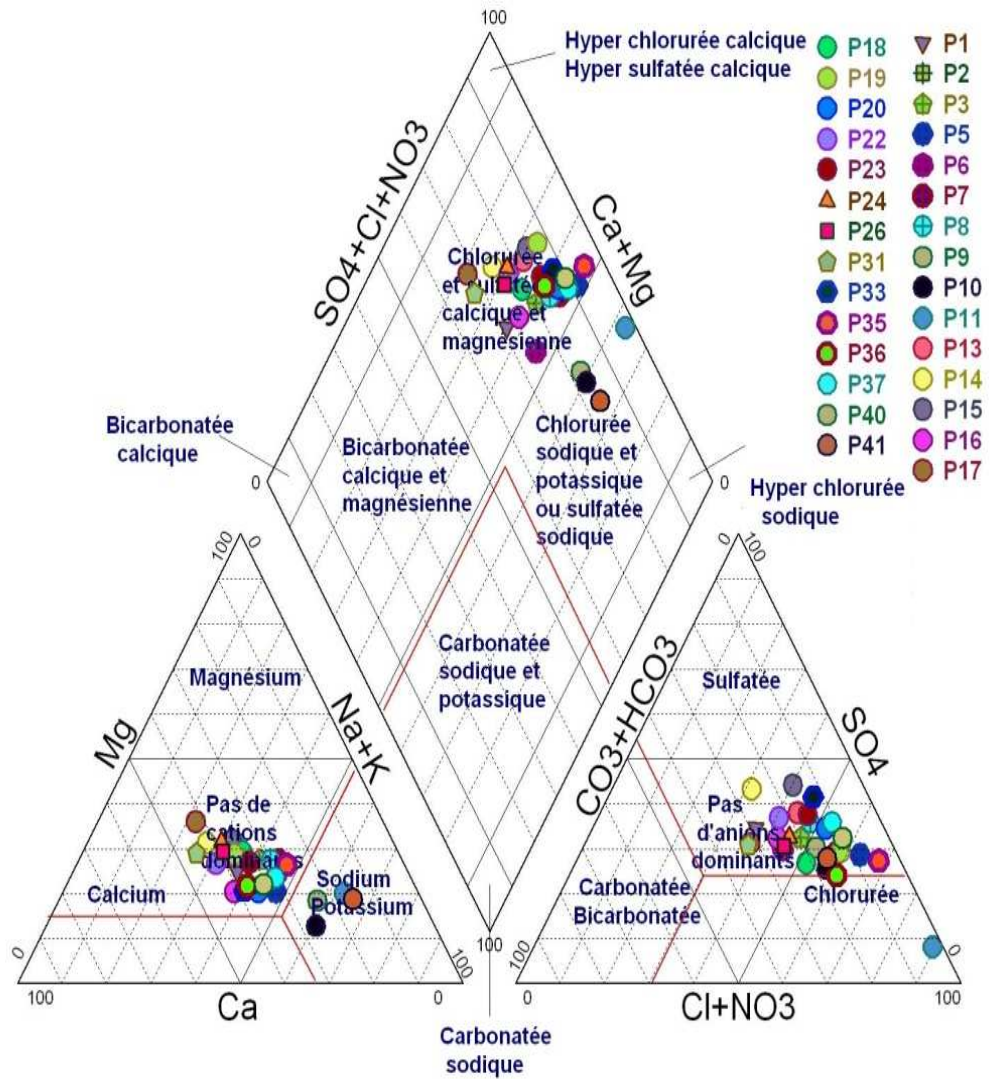
Diagramme de Piper



Représentation des échantillons sur le diagramme de Piper (A l'amont de la nappe)

Annexe 04

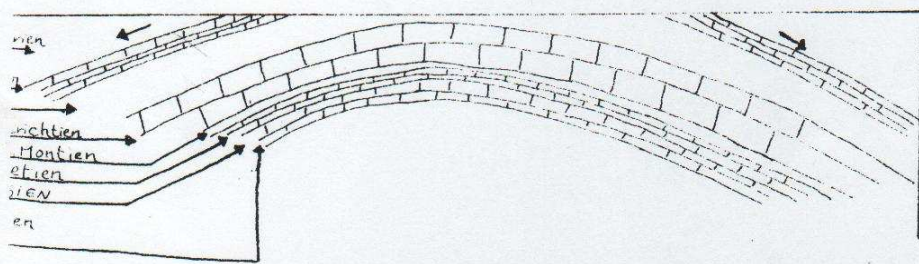
Diagramme de Piper





Représentation des échantillons sur le diagramme de Piper (A l'aval de la nappe)

Annexe 05

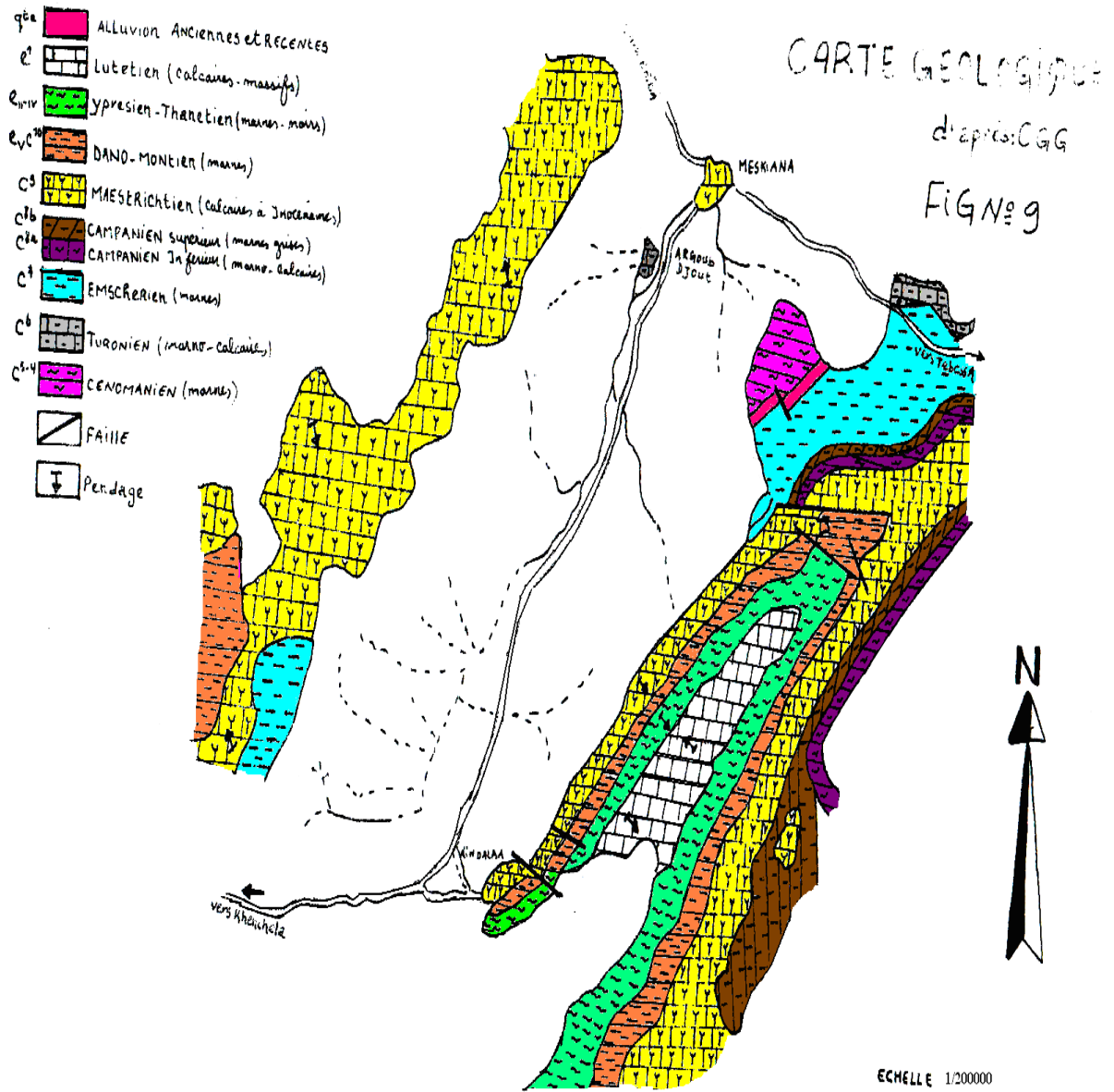
FIG N° 10 coupe Geologique
de l'anticlinal de la
meskiana



Source d'AIN Dalaa

-  marne
-  calcaire

Annexe 06



I.1. Présentation générale de la zone d'étude**I.1.1. Situation géographique de bassin de Meskiana**

Situé au Sud-Ouest du bassin de la Medjerda, d'une superficie de 1854 km², le bassin d'Oued Meskiana est limité au :

- Nord : Djebel Mesloula, Argoub El Mnachir et Djebel Khannaga ;
- Nord-Ouest : Djebel Chettaya, Djebel Bou Thokhma, et Djebel Ahmar ; - Nord-Est : Djebel Belkif ;
- Sud-Est : Djebel Gouriguer, Djebel Es Stih, et Djebel Khemalal ;
- Sud-Ouest : Djebel Boutoukhma et Chott Esbikha (Gouidia, 2008).

Le site du bassin est localisé entre les coordonnées sphériques suivantes :

Latitude : 35,51° Nord et 35,13° Nord.

Longitude : 7,50° Est et 7,14° Est (Belloula, 2008).

I.1.2. Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude occupe une petite partie du bassin de Meskiana. Elle est localisée au Nord du bassin, entre les coordonnées géographiques qui sont représentées dans le tableau 01

Tableau 01 : Les coordonnées géographiques de la zone d'étude

Coordonnées géographiques				
X min	X max	Y min	Y max	Z
933	963	260	276	921

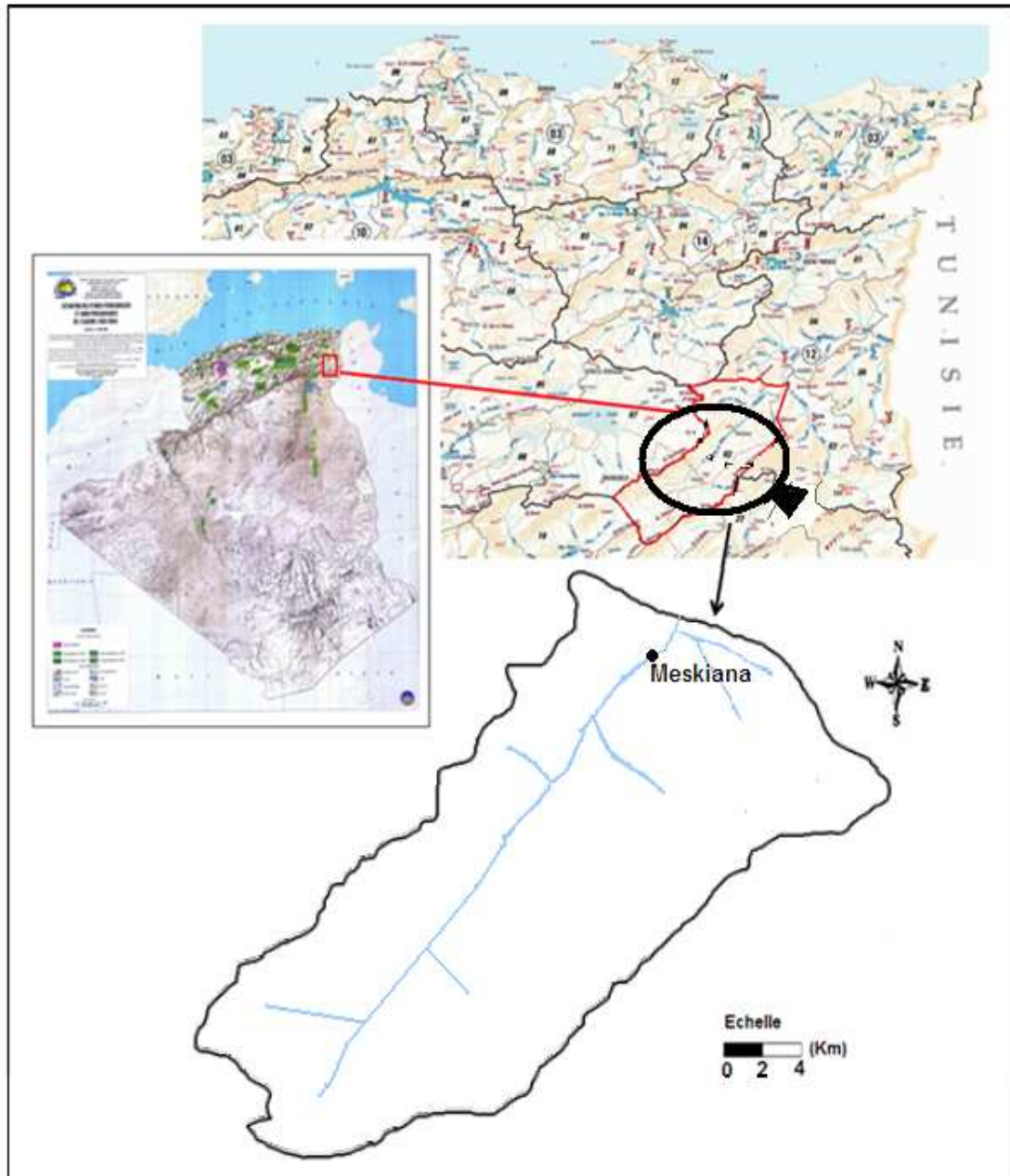


Figure 01 : La situation géographique de la zone d'étude

I.2. Réseau hydrographique

Le bassin versant de Meskiana est traversé par un seul cours d'eau principal, qui est l'Oued Meskiana, avec une longueur de 53,80 km (ABH, 2001). Il est considéré comme un collecteur des eaux de ruissellement qui affluent sur ses deux rives :

-Sur la rive droite, les principaux affluents (temporaires) prenant naissance à partir des montagnes et se déversant dans l'Oued Meskiana sont : l'Oued Rbâa, l'Oued Hmadjra, l'Oued Smar El Houd et l'Oued El Mallah.

-Sur la rive gauche, on compte : l'Oued Djdidia et l'Oued Ain Sedjra.

Les caractéristiques morpho-métriques de bassin versant de l'Oued Meskiana sont calculés par Belloula et se résument dans le tableau 02.

Tableau 02 : Caractéristiques morpho-métriques du bassin versant de l'Oued Meskiana (Belloula, 2008)

Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de compacité	Longueur du rectangle équivalent (km)	largeur du rectangle équivalent (km)	Dénivelé spécifique (m)	Indice de pente de Roche
1854	248	1,61	106,36	17,64	276.62	4,47

D'après les résultats présentés dans le (Tableau 02), on peut dire que le bassin d'Oued Meskiana a une forme allongée, avec des reliefs modérés.

I.3. Les ensembles morphologiques

a) Relief

Le relief peut être caractérisé par la courbe hypsométrique. Il joue un rôle dans la détermination de l'aptitude au ruissellement, à l'infiltration et l'évaporation du bassin versant.

L'étude de la carte hypsométrique (figure 02) fait apparaître cinq secteurs qui caractérisent le bassin de Meskiana :

1- Le secteur de haute altitude (supérieur à 1400 m) qui correspond aux massifs montagneux de côté de Tazoguerte ce qui implique l'abondance des précipitations et de l'écoulement avec un pourcentage de 4,03 % de sa surface globale

2- Le secteur d'altitude (inférieur à 800 m) qui forme une petite partie située au Nord-Est du bassin, avec un pourcentage de 0,5 % de sa surface globale.

3- Le secteur le plus dominant est se situé entre 1000 m et 1200 m, il représente environ 69,92 % de la surface globale de bassin d'Oued Meskiana.

4- Le secteur qui se situé entre 1200 m et 1400 m, représente 19,42% de sa surface globale.

5- Le secteur qui se situé entre 800 m et 1000 m, représente 6,13% de sa surface globale.

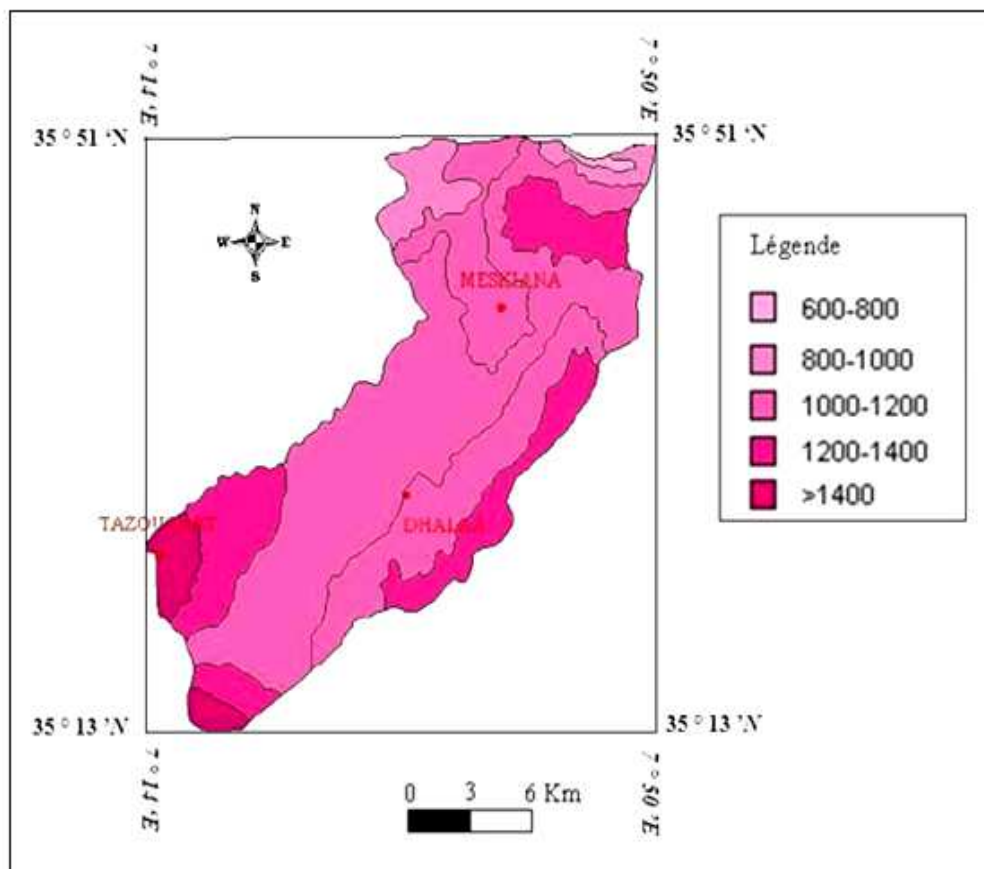


Figure 02 : Carte hypsométrique du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifié)

b) La pente

D'après la carte des pentes de bassin (figure 03), on distingue quatre classes :

Classe 1 : Les pentes comprises entre 0% et 3 %, elles occupent 41,47% de la surface globale et représente la plus grande partie de bassin.

Classe 2 : C'est la classe des pentes 3% et 12%, Elle occupe 40,87% de la surface du bassin de Meskiana.

Classe 3 : Les pentes comprises entre 12% et 25%, elles occupent 14,30% de la surface globale et concernent les zones où l'absence du couvert végétal favorise l'accélération de ruissellement.

Classe 4 : C'est la classe de fortes pentes supérieures à 25%, elles occupent 3,34% de la surface globale on les trouve surtout dans les sommets.

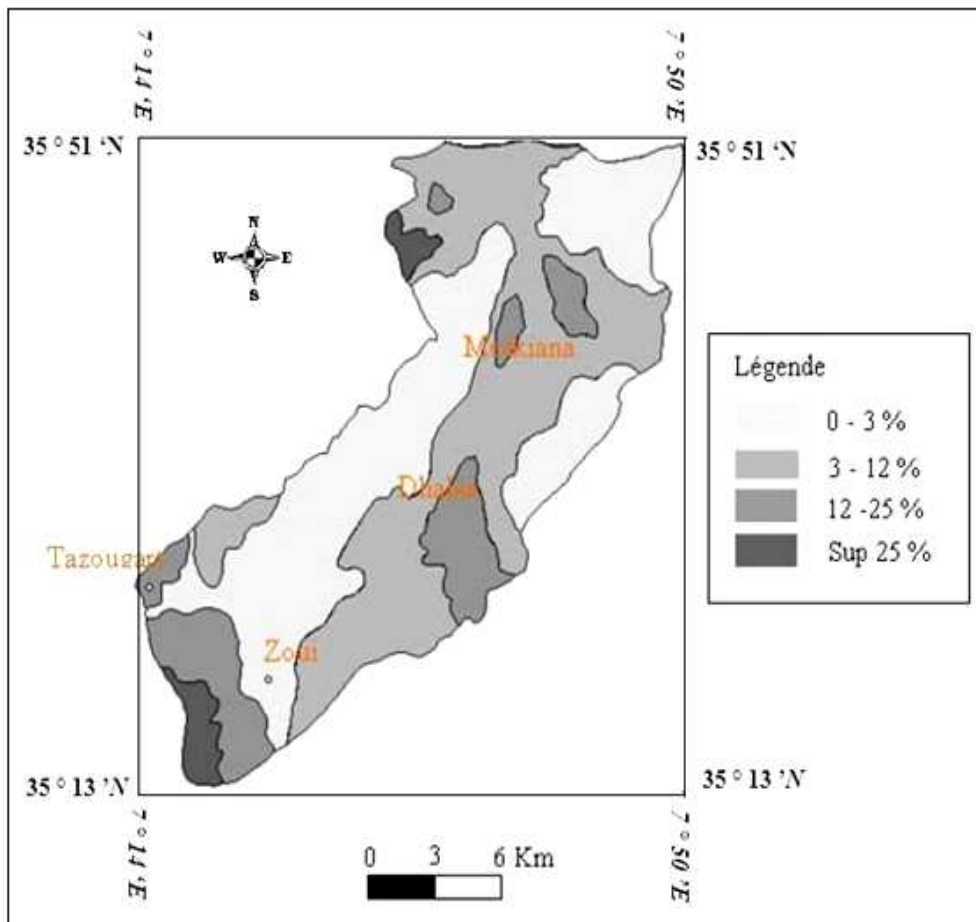


Figure 03 : Carte des pentes du bassin versant de Meskiana (Belloula, 2008 modifiée)

I.4. Aperçu hydrogéologique

Dans le bassin de Meskiana l'alimentation de la nappe se fait grâce à la perméabilité de toit d'une part, qui est constitué de calcaire et de gypse, et d'autre part par les bordures calcaires qui occupent la partie Sud-Ouest de la plane, toutes ces formations géologiques favorisent la perméabilité des eaux, ces dernières vont s'accumuler dans un réservoir imperméable de nature argilo-marneuse.

1.4.1. Conditions aux limites

Dans le but de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique de la nappe, on a basé sur la carte des conditions aux limites de la nappe aquifère de Meskiana. Cette carte (figure 04) illustre que les limites perméables se localisent à l'Ouest de la plaine, à cause de la présence du calcaire fissuré, par contre, les limites imperméables se concentrent à l'Est de la plaine où les marnes se localisent.

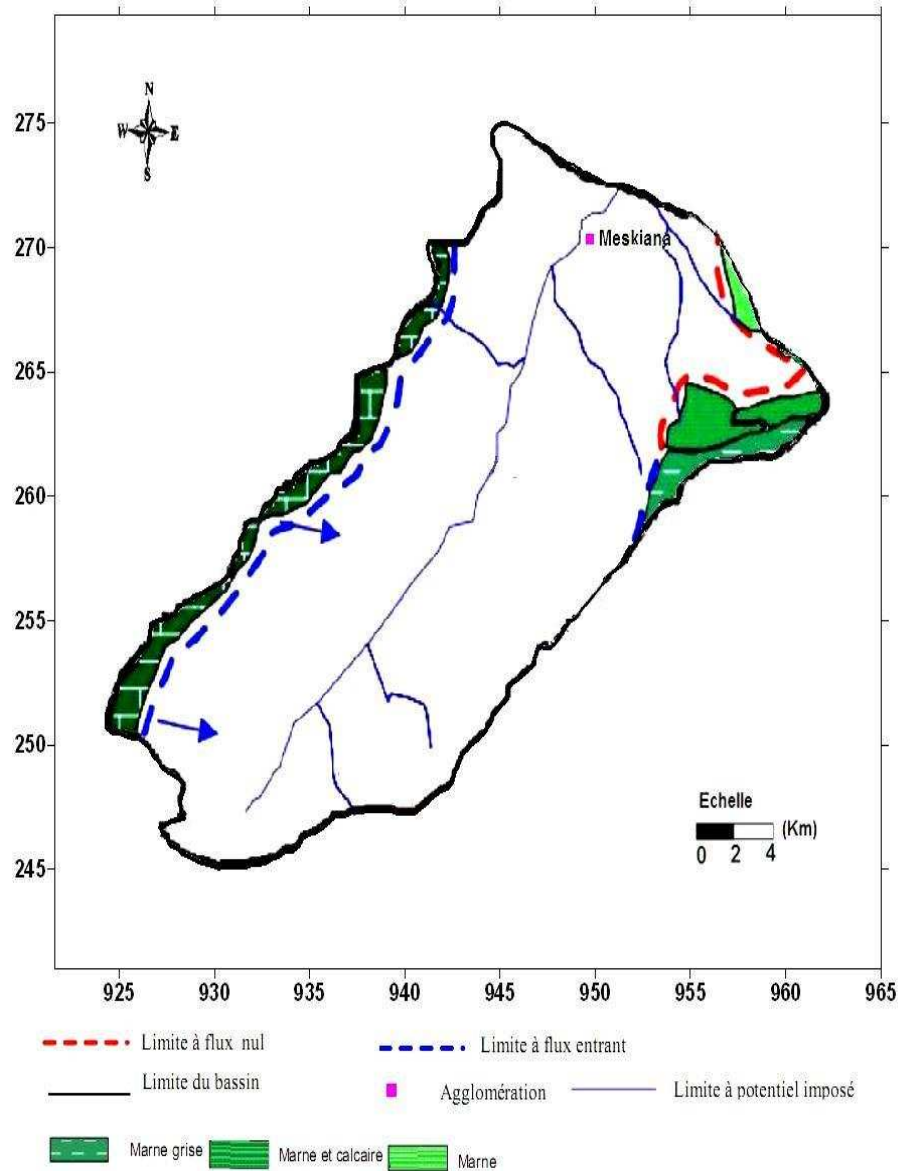


Figure 04 : Carte des conditions aux limites de la nappe de Meskiana (Gouidia, 2008 modifiée)

I.4.2. Piézométrie

La carte piézométrique (figure 05), montre que le sens d'écoulement des eaux se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

Le fait marquant c'est que toutes les eaux sont drainées par Oued Meskiana avec quelques écoulement épisodiques vers le NE de la plaine. On remarque que les courbes isopiézes sont resserrées à l'Ouest de la nappe indiquant que la vitesse de l'écoulement est importante grâce aux bordures perméables de calcaires.

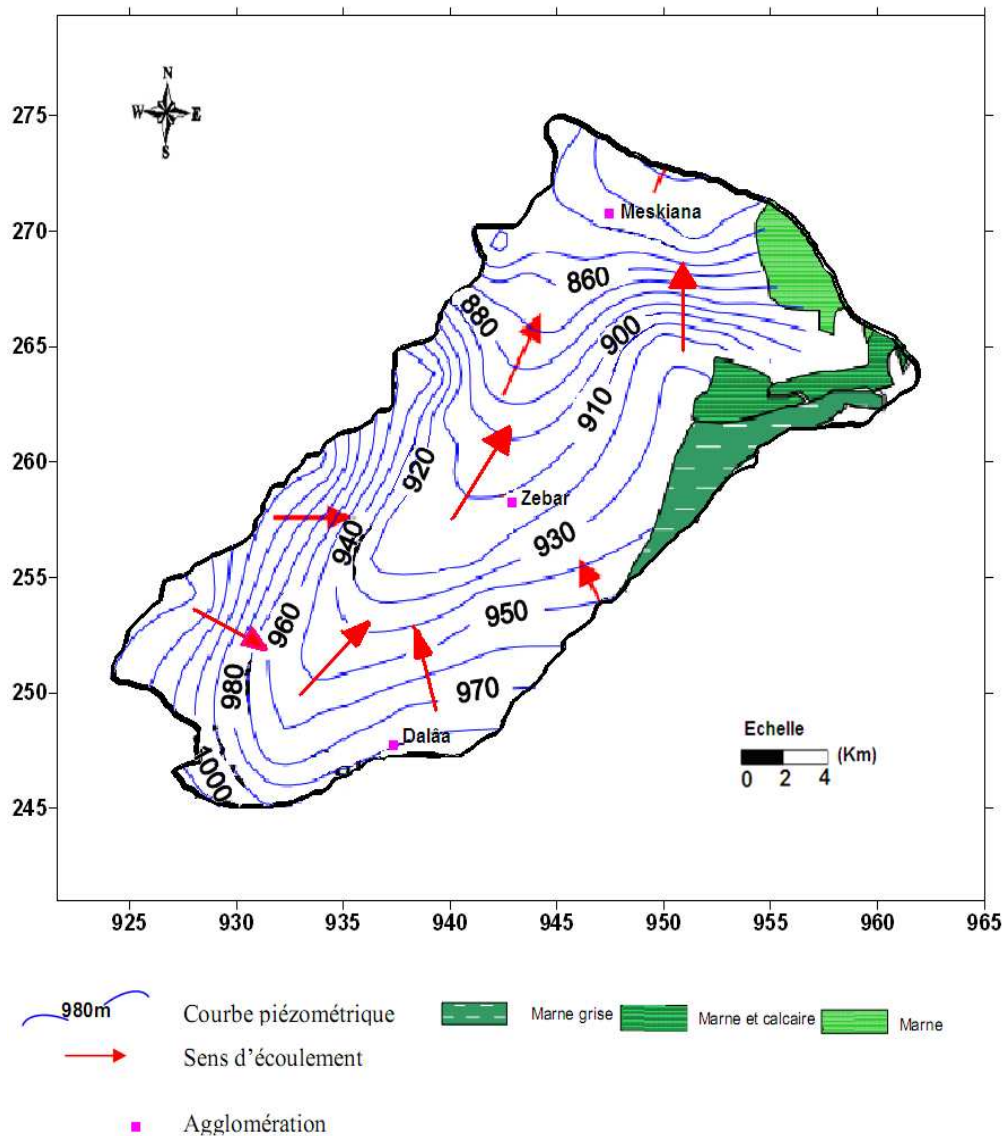


Figure 05 : Carte piézométrique de la nappe de Meskiana, juillet 2004

(Gouidia, 2008 modifiée)

I.4.3. Perméabilité

L'examen de la carte de perméabilité (figure 06) montre que les valeurs les plus importantes se localisent au centre de la plaine, car cette zone est caractérisée par la présence des matériaux très perméables comme les calcaires et les gypses, par contre les valeurs les plus faibles sont enregistrées au Sud de la plaine parce que les formations géologiques de cette zone sont des roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles.

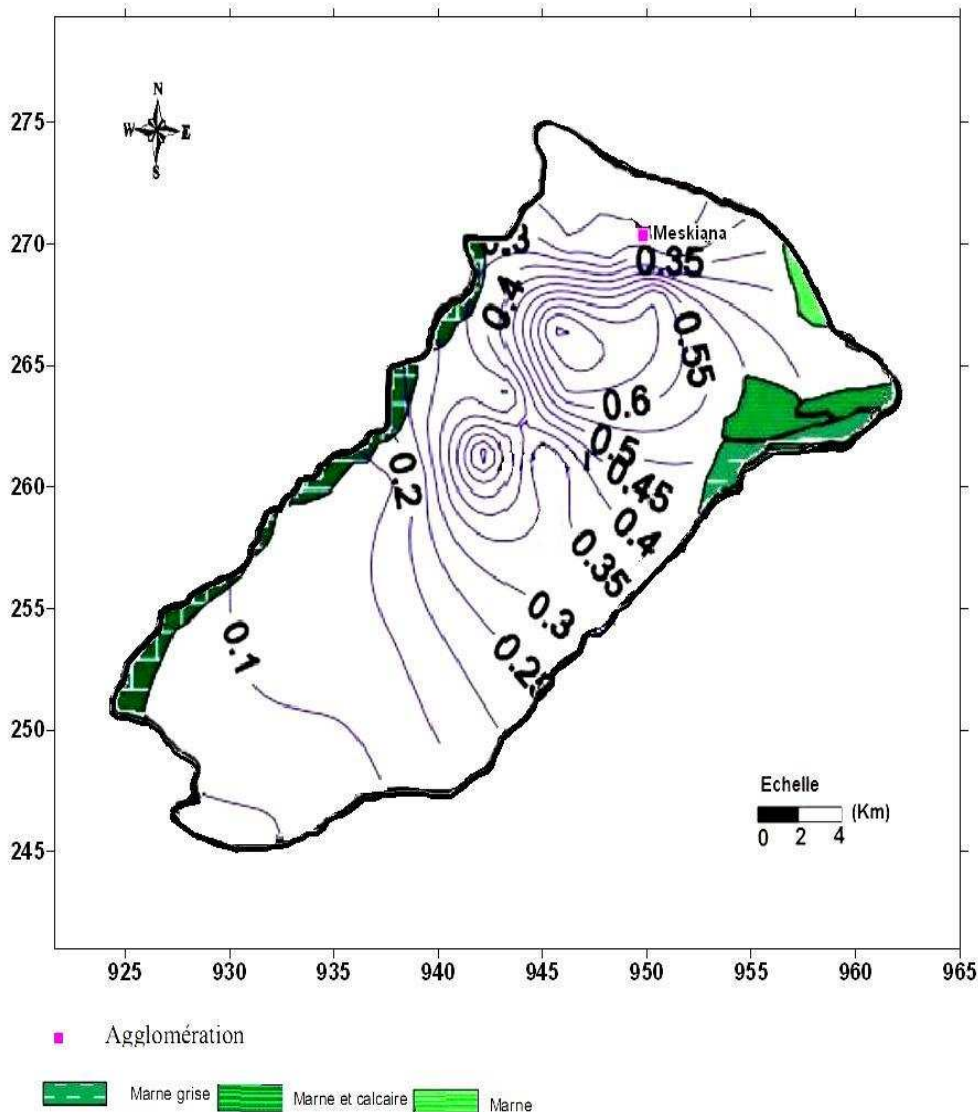


Figure 06 : Carte de répartition de la perméabilité de la nappe de Meskiana en (10^{-4}) m/s (Gouidia, 2008 modifiée)

I.5. Conclusion

La zone d'étude occupe une petite partie du bassin de Meskiana. Elle est localisée au Nord du bassin, entre les coordonnées géographiques suivants

-X max : 930

-Y max : 276

-X min : 933

-Y min : 260

-Z : 921

-Le bassin d'Oued Meskiana a une forme allongée, avec des reliefs modérés.

-Le relief peut être caractérisé par la courbe hypsométrique. Il joue un rôle dans la détermination de l'aptitude au ruissellement, à l'infiltration et l'évaporation du bassin versant.

-La carte des conditions aux limites, illustre que les limites perméables se localisent à l'Ouest de la plaine, à cause de la présence du calcaire fissuré, par contre, les limites imperméables se concentrent à l'Est de la plaine où les marnes se localisent.

-La carte piézométrique, montre que le sens d'écoulement des eaux se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

-Les valeurs les plus importantes de la perméabilité, se localisent au centre de la plaine, car cette zone est caractérisée par la présence des matériaux très perméables comme les calcaires et les gypses, par contre les valeurs les plus faibles sont enregistrées au Sud de la plaine parce que les formations géologiques de cette zone sont des roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles.

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude a abouti aux conclusions suivantes :

-L'étude géologique du bassin de Meskiana a montré que les formations carbonatées de bordure sont d'âge Crétacé. Les formations d'âge Mio-Plio-Quaternaire occupent la totalité de la plaine.

-L'activité tectonique a provoqué la formation de plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction orthogonale affectant les formations crétacées.

-Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable.

-A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.

-Le climat qui règne dans notre région d'étude est semi-aride, il est caractérisé par un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec, avec des précipitations moyennes annuelles, sur une période de 14 ans (96/97 – 2009/2010), estimées à 425,96 mm, La température moyenne interannuelle est de 17,01 °C.

- Le ruissellement ne représente que 7,18 % des précipitations, ce qui représente 30 ,6 mm.

-L'infiltration est estimée à 10,98 %. Ce qui permet de percoler 46,76 mm Cette dernière contribue à l'alimentation des nappes souterraines à partir de la surface.

-La cartographie piézométrique a montré que l'écoulement souterrain se fait, en général, selon une direction Sud-Ouest - Nord-Est.

-L'alimentation se fait à partir des bordures calcaires à l'Est de la plaine.

-Les valeurs les plus importantes de la perméabilité se localisent au centre de la plaine.

-L'étude hydro-chimique montre que : La présence de quatre faciès chimiques : (Bicarbonaté-calcique, Chloruré-calcique, Chloruré-sodique, Sulfaté-calcique), marquant l'hétérogénéité de la lithologie. La répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ces faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe.

-Le suivi de la qualité des eaux a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux de la nappe.

-Les classifications de Richards montré que les eaux de la nappe ne conviennent pas à l'irrigation car elles présentent des conductivités dépassent la norme,

-Quant à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution de la plaine de Meskiana ont fait apparaître une forte contamination de celle-ci par des nutriments

Conclusion générale

d'origine agricole et par les rejets urbains, qui sont déversés sans aucun traitement préalable, ce qui contribue à la dégradation de la qualité des eaux.

Dans les perspectives, nous proposons de laisser les terrains en jachère pendant 10 ans pour réduire la contamination des eaux souterraines, réduire aussi la durée de pompage pour ne pas pomper les eaux de l'oued et enfin sélectionner les espèces culturales tolérantes aux sels.

DEDICACE

À celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait toujours les grands hommes.

Mon père.

À celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation.

Ma Mère.

À celui qui a été toujours à mes côtés.

Mon mari

À mon fils Kossai Modjib Arrahmen.

Mes frères, Walid , Fakhri.

Ma soeur, Khawla

À tous mes amis.

À toute ma promotion de poste-graduation.

À tous mes professeurs.

Mon entourage familial, n'ont ménagé aucun effort pour m'apporter tout le soutien moral et matériel.

Ce travail est pour vous,

IV.1. Introduction

L'hydrochimie se définit comme la connaissance des caractéristiques chimiques des eaux, des processus de leur acquisition et des lois décrivant les échanges entre l'eau, le sol et le sous sol.

Elle est liée à la nature lithologique du terrain traversé, au climat et à l'activité anthropique. Elle permet de comparer les eaux entre elles, d'établir une cartographie hydrochimique de certains éléments chimiques, d'interpréter les données d'analyses par des diagrammes.

Dans cette étude on a sélectionné 55 puits répartis sur le terrain.

Il s'agit d'une étude et interprétation des données des analyses physicochimiques des différents échantillons qui nous permis:

- De déterminer la teneur relative des ions majeurs et leur distribution spatiale ;
- De mettre en évidence les principaux faciès chimiques des eaux et leur relation avec l'environnement géologique;
- D'avoir une idée générale sur la qualité chimique des eaux;
- Et enfin de remonter à l'origine des différents paramètres et leur influence sur l'évolution chimique des eaux.

Le but de ce chapitre est d'apprécier les caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe de Meskiana. Définir le faciès chimique des eaux souterraines, suivre leur évolution dans l'espace et dans le temps par la cartographie de leur composition chimique, comparer les eaux entre elles, définir leur degré de pollution et leur usage ultérieur constitue l'objectif que l'on doit atteindre pour apporter des réponses aux besoins exprimés par les pouvoirs publics afin d'asseoir les assises d'un développement durable.

IV.2. Carte d'inventaire des points d'eau

L'interprétation des résultats des analyses chimiques a été faite sur un ensemble d'échantillons, au nombre de 55 points d'eau, sélectionnés et bien représentatifs de l'aquifère de Meskiana. Ils sont répartis spatialement sur toute la vallée d'Oued Meskiana, couvre la plaine de l'amont vers l'aval et puisés dans toutes les nappes (superficielle et profonde).

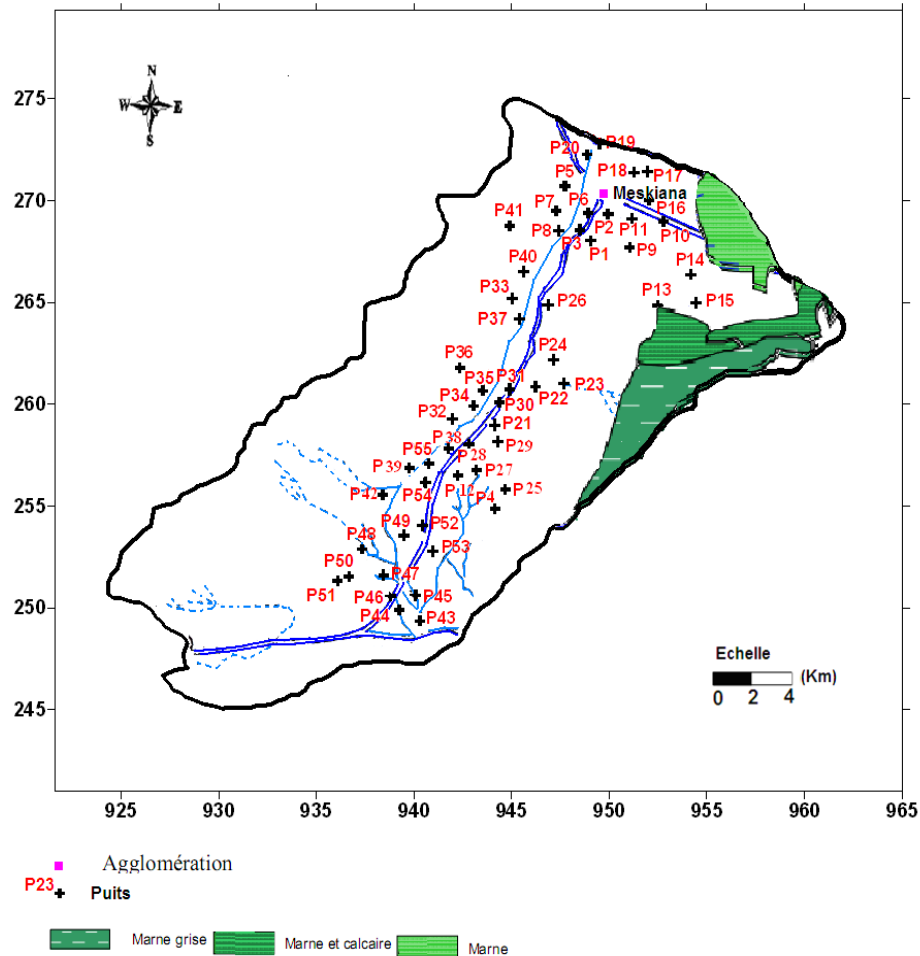


Figure 22 : Carte d'inventaire des points d'eau de la vallée d'oued Meskiana

IV.3. Etude des paramètres physico-chimiques

L'eau possède des propriétés physico-chimiques exceptionnelles qui lui permettent d'attaquer et de dissoudre le maximum de sels et de s'enrichir en anions et en cations.

La composition chimique des eaux est exprimée en milligramme par litre, il s'agit d'une moyenne des principaux composants : calcium, magnésium, sodium, potassium, bicarbonates, sulfate, chlorures, et nitrates.

L'origine de l'eau ainsi que sa solubilité est gérée par un certains paramètres physiques tels que :

- Le potentiel d'Hydrogène (pH) ;
- La conductivité électrique (CE) ;
- La minéralisation (Ms) ;

-Le résidu sec (Rs).

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés sur le terrain grâce à une sonde multi paramètres portatif (Consort, type C 933).

Afin d'interpréter les analyses physico-chimiques, une représentation statistique des données a été réalisée présentant les valeurs maximales, moyennes, minimales et les écarts types.

Les résultats de ces analyses sont récapitulés dans des tableaux, où les différentes concentrations sont reportées avec les normes de la potabilité de l'O.M.S.

IV.3 .1. Etude des paramètres physiques

Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état qualitatif de l'eau (Jensen & Andersen, 1992).

IV.3.1.1. Potentiel Hydrogène (pH)

L'eau renferme des ions H^+ libres (qui ne sont pas combinés pour donner des molécules de liquides), le taux de concentration en ions H^+ mesure le potentiel hydrogène (en abrégé pH) du milieu (Jean, 1974).

Il exprime l'activité des ions H^+ dans une solution, c'est-à-dire l'alcalinité ou l'acidité d'une eau.

L'échelle du pH varie de 0 à 14 en fonction de la force ionique.

-Pour un milieu neutre $(H^+) = (OH^-)$ ou $pH = 7$;

-Pour un milieu acide $(H^+) > (OH^-)$ ou $pH < 7$;

-Pour un milieu basique $(H^+) < (OH^-)$ ou $7 < pH < 14$.

Tableau 11 : Variation de potentiel d'hydrogène (pH)

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
pH	8,5	7,1	8,02	0,25	6,5 à 8,5

Le pH mesuré dans les eaux de la vallée d’oued Meskiana est en moyenne de 8,1. L’alcalinité des eaux est bien marquée sur toute la vallée.

IV.3.1.2. Conductivité (CE)

C’est la conductance électrique d’une colonne d’eau comprise entre deux électrodes métallique séparées l’une de l’autre de 1 cm et ayant pour surface 1cm². Elle dépend de la concentration totale et la nature des ions présents dans l’eau.

Elle donne une indication, sur la minéralisation des eaux (Djamel Samir ,2009).

Tableau 12 : Variation de la conductivité électrique

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
CE à 25°C	13200	500	2061	2039	400 à 1500 (µS/cm)

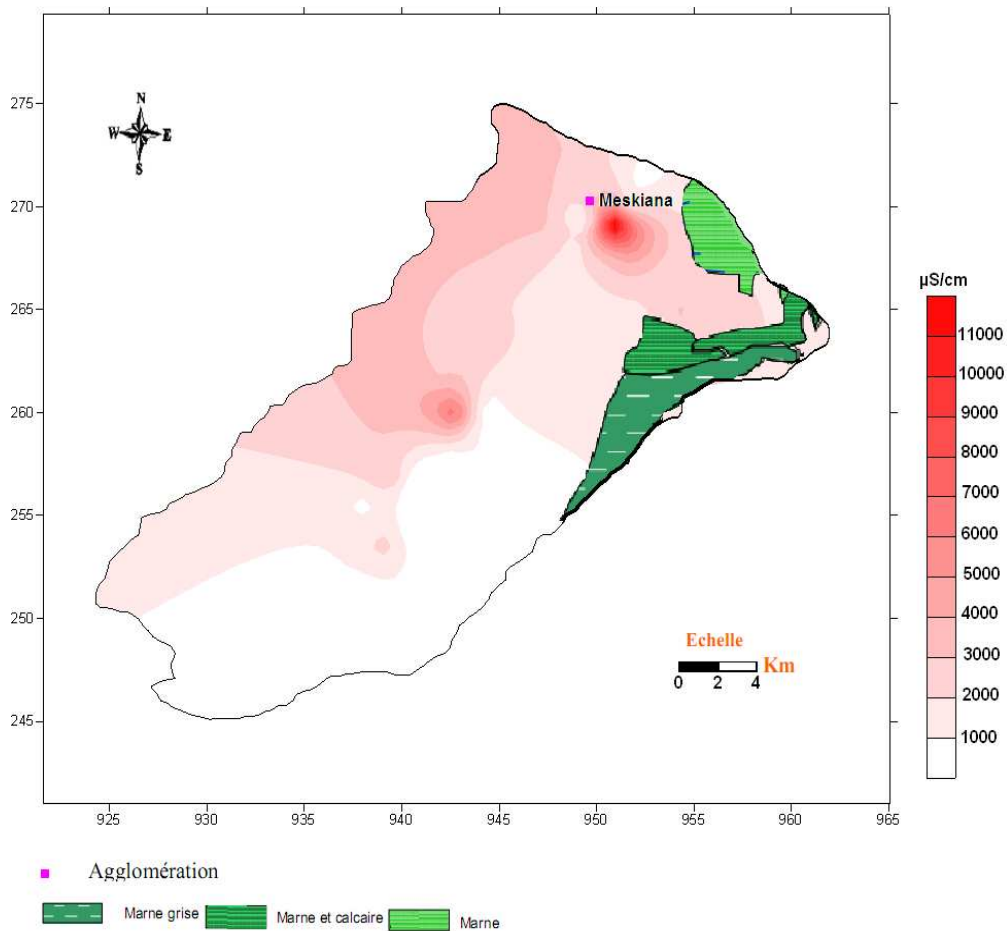


Figure 23 : Carte de la distribution spatiale de la conductivité électrique en (µS/cm)

Les faibles concentrations sont enregistrées à l'amont de la nappe (figure 23), au point d'eau P43 où les eaux sont diluées et faiblement minéralisées, lors de leur écoulement les eaux se chargent progressivement en sels et passent de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au Sud-ouest de la vallée à 13200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits P11 au Nord-Est. Cette augmentation de la conductivité s'explique par une salinité élevée dans le sens d'écoulement des eaux attribuée aux échanges chimiques entre l'encaissant et l'encaissé d'une part, et d'autre part elle serait attribuée à la dissolution des roches salines contenues dans les inclusions évaporitiques, gypsifères et des concrétions calcaires. Il est important de noter que l'activité agricole, par l'utilisation des intrants chimiques apporte son lot de sels et contribue à l'augmentation de la minéralisation des eaux.

Les échanges hydrauliques entre l'oued et la nappe en période d'étiage constituent une source de contamination de la nappe par augmentation de la conductivité des eaux.

IV.3.1.3. Minéralisation (Ms)

La minéralisation est une mesure de la salinité totale qui détermine la charge de l'eau en sels dissous. Elle est exprimée en (mg/l).

Les valeurs minimales varient entre 310 mg/l, tandis que les valeurs les plus élevées se localisent à l'aval de la nappe avec 8184 mg/l. Dans ce dernier périmètre, les échanges hydrauliques (oued-nappe), le lessivage des déchets solides et le rôle de l'évaporation des eaux par la coïncidence du niveau topographique avec le niveau piézométrique, très proches de la surface du sol, contribuent à l'augmentation de la minéralisation des eaux.

Tableau 13 : Variation de la minéralisation

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type
Ms (mg/l)	8184	310	1257,22	1259,00

IV.3.1.4. Le résidu sec (Rs)

C'est la quantité précipitée de la matière sèche, obtenue après ébullition de l'eau à 104 °C. Ce paramètre permet de classer les eaux et d'indiquer leur degré de minéralisation. Selon (Bernard, 2006) on peut classer les eaux comme suite :

-Une eau est très faiblement minéralisée si le résidu sec est inférieur à 50 mg/l.

-Une eau est dite oligominérale si le résidu sec se situe entre 50 et 1500 mg/l.

-Une eau est riche en sels minéraux si le résidu sec est supérieur à 1500mg/l.

Selon cette classification les eaux oligominérale représentent 65,45% tandis que les eaux qui sont riches en sels minéraux représentent 34,54%.

Toutes les eaux de la vallée d'Oued Meskiana sont minéralisées à très minéralisées car elles dépassent le seuil de 50 mg/l.

L'évolution du résidu sec dans la nappe est très semblable à celui de la minéralisation avec un coefficient de corrélation $R=0,9945$.

Tableau 14 : Variation des concentrations du résidu sec

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type
Rs (mg/l)	8212	372	1331,47	1298,92

IV.3.2. Etude des paramètres chimiques

Lors de son voyage souterrain, l'eau acquiert une composition chimique liée à la nature des terrains traversés, cette composition chimique dépend aussi, de la surface de contact, du temps de contact et de la vitesse de dissolution et de concentration des différents ions.

L'analyse des eaux montre les principaux éléments chimiques suivants :

IV.3.2.1. Les éléments majeurs

IV.3.2.1.1. Les cations

Il s'agit des ions de sodium, potassium, calcium et magnésium dont les trois premiers caractérisent fortement les faciès chimiques des eaux de la nappe.

IV.3.2.1.1.1. Calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

- Soit par la dissolution des formations carbonatées ;



- Soit par la dissolution des formations gypseuses.

Dans la région d'étude les teneurs en calcium varient de 60 mg/l au puits P4 comme une valeur minimale à 484 mg/l comme une valeur maximale au puits P34. Nous remarquons qu'il existe une certaine homogénéité dans la distribution du calcium notamment à l'entrée du bassin. Les valeurs les plus élevées sont localisées à l'exutoire du bassin où il y a une accumulation d'eau usée et aussi à la dissolution des roches évaporitiques.

La majorité des puits (56,36%) présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux (100mg/l), ce qui donne une grande dureté aux eaux de la nappe.

Tableau 15 : Variation des concentrations du calcium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme(OMS)
Ca^{2+}	484	60	146,15	86,74	100 (mg/l)

IV.3.2.1.1.2. Magnésium (Mg^{2+})

Ses origines sont semblables à celles du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à forte teneur en Mg^{2+} (magnésite et la dolomie), et des formations salifères riches en magnésium (MgSO_4).

- Magnésite : $\text{MgCO}_3 \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$;
- Dolomite: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$

Les teneurs les plus élevées sont observées à l'aval de la nappe, au niveau de puits P11 (342 mg/l) Par contre, les plus faibles teneurs sont observées à l'amont de la nappe au niveau de puits P54 (01 mg/l).

La comparaison des concentrations avec la norme approuvable de la potabilité montre que 45,45 % des points d'eau dépassent la norme (50mg/l).

Tableau 16: Variation des concentrations du magnésium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
Mg ²⁺	342	1	60,75	58,29	50 (mg/l)

IV.3.2.1.1.3. Sodium (Na⁺)

Le Sodium est beaucoup plus abondant que le potassium. Il est toujours présent dans les eaux naturelles avec des teneurs variables.

Les marnes emschériennes gypsifères, qui constituent le substratum, ainsi que les dépôts évaporitiques qui se localisent au Nord- Est de la nappe donnent des concentrations élevées en ions sodium et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base.

Il provient aussi du lessivage des formations riche en NaCl (argile et marne), et des eaux usées d'origine industrielle et domestique.

Les valeurs varient de 12mg/l pour le puits P50 et de 2000 mg/l pour le puits P11.

Près de 38 ,18 % des points d'eau ont des valeurs supérieures à la valeur guide de la potabilité.

Tableau 17 : Variation des concentrations du sodium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
Na ⁺	2000	12	200,11	302,45	50 (mg/l)

IV.3.2.1.1.4. Potassium (K⁺)

Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de

cet élément peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans la plaine.

La teneur minimale du potassium est enregistrée au puits P30 avec 4 mg/l et la teneur maximale est observée au puits P10 avec 112 mg/l.

La pluparts des puits (70,91%) présentent des teneurs supérieures à la norme de potabilité des eaux (12mg/l).

Tableau 18 : Variation des concentrations du potassium

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
K ⁺	112	4	19,25	16,57	12 (mg/l)

IV.3.2.1.2. Les Anions :

Les anions les plus importants dans les eaux étudiées sont les chlorures, les sulfates et les bicarbonates.

IV.3.2.1.2.1. Chlorure (Cl⁻)

Le chlorure est un élément conservatif car la précipitation de NaCl se faisant en conditions extrêmes, donc il constitue un excellent traceur de la salinité et de la pollution anthropique.

La teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation qui est due à la dissolution des sels naturels, de l'industrie ou des rejets d'eau usée d'origine domestique en particulier l'urine qui est responsable d'un rapport d'environ 60 mg/l d'ion Cl⁻/personne/ jour. (Chedde, 2009).

Les teneurs enregistrées, montrent des valeurs importantes qui dépassent la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l.

On signale que 38,18% des puits dépassent cette norme. Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

-Les argiles sableuses gypsifères du Mio-Plio-Quaternaire qui couvrent la totalité du bassin ;

- Les dépôts évaporitiques provenant de Dj Belkefif ;
- Le déversement des eaux usées dans la plaine ;
- Les marnes emschériennes formant le substratum.

La valeur minimale est de 25 mg/l pour le puits P50 dans la partie amont de la nappe et la valeur maximale est de 4500 mg/l pour le puits P11

Tableau 19 : Variation des concentrations du chlorure

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
Cl ⁻	4500	25	396	646,57	250 (mg/l)

IV.3.2.1.2.2. Sulfates (SO₄⁻)

La concentration des eaux naturelles en sulfates est très variable. La présence des sulfates dans l'eau est liée à la dissolution du gypse contenu dans les marnes emschériennes et au lessivage des dépôts évaporitiques issus de Djebel Belkefif (Guaidia.2008).

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées au puits 47 mg/l dans l'amont, et à proximité des bordures, là où les marnes gypseuses sont absentes et la valeur maximale est de 1360 mg/l pour le puits P34.

En effet, 47,27% des puits dépassent la norme de la potabilité (250 mg/l).

Tableau 20 : Variation des concentrations du sulfate

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
SO ₄ ⁻	1360	47	298,13	239,73	250 (mg/l)

IV.3.2.1.2.3. Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico-chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique

Leur origine principale est la dissolution des roches carbonatées, ainsi leur concentration dans l'eau est en fonction de la nature des terrains traversés, la température de l'eau, la concentration du CO₂ dissout.

Les fortes teneurs sont enregistrées avec une moyenne de 231,93 mg/l, et un maximum de 519 mg/l au puits P10 suite à la dissolution des calcaires, par contre la teneur minimale est de 122 mg/l enregistrée au puits P35.

Tableau 21 : Variation des concentrations du bicarbonate

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
HCO ₃ ⁻	519	122	231,93	74,43	250 (mg/l)

Au Sud de la plaine les valeurs sont relativement faibles, varient entre 100 et 200 mg/l puisque les eaux souterraines sont au début de leur cheminement dans la nappe.

Au Nord-Est de la plaine, les teneurs de bicarbonates sont très élevée, par l'influence des cailloutis calcaires qui se répartissent sur le centre de la plaine, et avec l'association des calcaires d'âge Quaternaire qui dû à la dissolution des calcaires en bicarbonates.

IV.3.2.1.2.4. Nitrate (NO₃⁻)

Le NO₃⁻ est la principale forme chimique azotée susceptible de quitter le sol via les eaux de percolation, et d'être présente dans les milieux souterrains.

Il est beaucoup plus mobile dans les sols que d'autres éléments apportés par les engrais tels que le potassium et le phosphate ((Noemi, 2002).

Il représente la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble. L'apport atmosphérique en nitrates est faible, la teneur naturelle des eaux souterraines en cet élément est également faible; elle dépend de types de sols, de la végétation qui les recouvrent ainsi que du taux d'oxygénation dans la zone noyée.

On peut dire aussi que l'origine des nitrates dans les eaux souterraines est essentiellement externe (apports anthropiques). Les nitrates sont des indicateurs de la pollution.

Selon notre étude les teneurs en nitrate varient entre 01 mg/l au niveau des puits P43, P48 ; et 105mg/l dans le puits P10.

Les teneurs les plus fortes sont localisées au Nord-Est de la plaine, par contre les faibles teneurs se localisent au Sud de la plaine.

Tableau 22 : Variation des concentrations en nitrates

Le paramètre	Max (mg/l)	Min (mg/l)	Moy (mg/l)	Ecart-type	La norme (OMS)
NO ₃ ⁻	105	1	40,29	21,69	50 (mg/l)

IV.4. Détermination des principaux faciès hydro-chimiques

Les faciès hydro chimiques, d'après Jaekli (1970), sont fréquemment utilisés en chimie des eaux pour décrire grossièrement la composition des eaux naturelles, comparer les eaux entre elle, revient à établir la classification ionique par le calcul des quantités en réaction, exprimées en pourcentage, d'abord des anions ensuite des cations.

De nos jours, différents logiciels intervient dans la représentation graphique des résultats des analyses chimiques. Le logiciel diagramme, établi par son concepteur Roland Simler du laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon (LHA) en est un. Il est utiliser pour définir les faciès chimiques par représentation des données sur les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff.

Tableau 23 : Evolution des Faciès chimiques des eaux souterraines de l'aquifère de Meskiana en pour cent (%)

	Bicarbonaté-calciq	Chloruré-calciq	Chloruré-sodiq	Sulfaté-calciq	total
Nombres des faciès	20	9	20	6	55
% des faciès	36,36	16,36	36,36	10,91	100

Le faciès chimique évolue depuis des eaux bicarbonaté-calciques près des affleurements calcaires et dans les bordures carbonatés au Sud vers des eaux chlorurées sodiques au Nord

près de l'exutoire, en passant par des eaux chlorurées et sulfaté calcique au centre de la plaine. Cette évolution du faciès est due à l'hétérogénéité du milieu, aux échanges chimiques entre les alcalins et les alcalino-terreux, aux phénomènes modificateurs dans les nappes (Hydratation, hydrolyse et oxydo-réduction), à l'aridité du climat, aux échanges oued-nappes et à la pollution anthropique notamment au Nord de la plaine de Meskiana.

A l'entrée du bassin les eaux sont riches en bicarbonate, dans la matrice alluvionnaire, caractérisée par une lithologie fine et hétérogène, la circulation des eaux est lente, les échanges chimiques sont importants et la composition chimique des eaux commence par évoluer vers d'autres faciès accentuée par la sécheresse et la dissolution des évaporites.

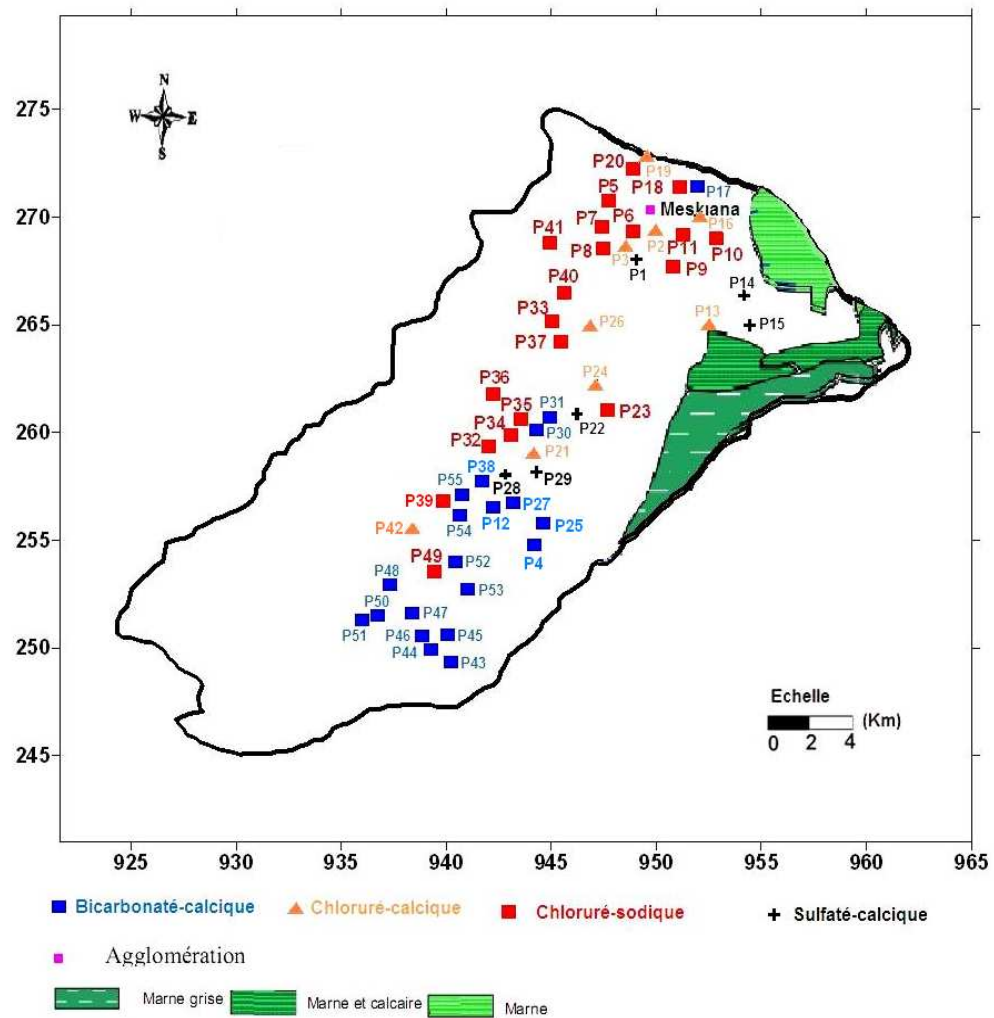


Figure 24 : Carte de répartition des faciès chimiques de la nappe de Meskiana.

IV.4.1. Représentation graphique des faciès hydro-chimiques

Pour caractériser le faciès chimique des eaux, une représentation graphique des points d'eau sur des digrammes, tels que ceux de Piper et Schoeller-Berkaloff, permet de donner des informations sur la qualité chimique des eaux.

La représentation a été faite grâce au logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie d'Avignon, 2004).

IV.4.1.1. Diagramme de Piper

Ce type de diagramme permet de représenter, simultanément plusieurs échantillons d'eau. Il est composé d'un losange au centre encadré par deux triangles équilatéraux, permettant de représenter, séparément, les cations et les anions.

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès de l'eau. Il permet également de voir l'évolution chimique d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses, espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses.

La représentation graphique des points d'eau de l'Oued Meskiana sur le diagramme de Piper montre une évolution du faciès chimique dans le sens d'écoulement des eaux :

Ainsi, à l'amont et près des affleurements calcaires, les eaux sont bicarbonatées calciques, une fois dans le remplissage plio-quaternaire le faciès chimique devient chloruré calcique à sulfaté calcique, par distillation des inclusions évaporitiques salifères et gypsifères contenues dans le remplissage.

A la sortie du bassin, toutes les eaux sont drainées par Oued Meskiana, la nappe se rapproche de la surface du sol jusqu'à la coïncidence du nouveau topographique avec le niveau piézométrique (Houha, 1989), les eaux deviennent chlorurées sodiques suite à l'activité anthropique par les différents rejets solides et liquides depuis la ville de Meskiana.

A cela, s'ajoute l'aridité du climat, les périodes de sécheresse prolongées et l'irrigation des cultures intensives qui font qu'augmenter la concentration chimiques des éléments et une salinisation des eaux et des sols.

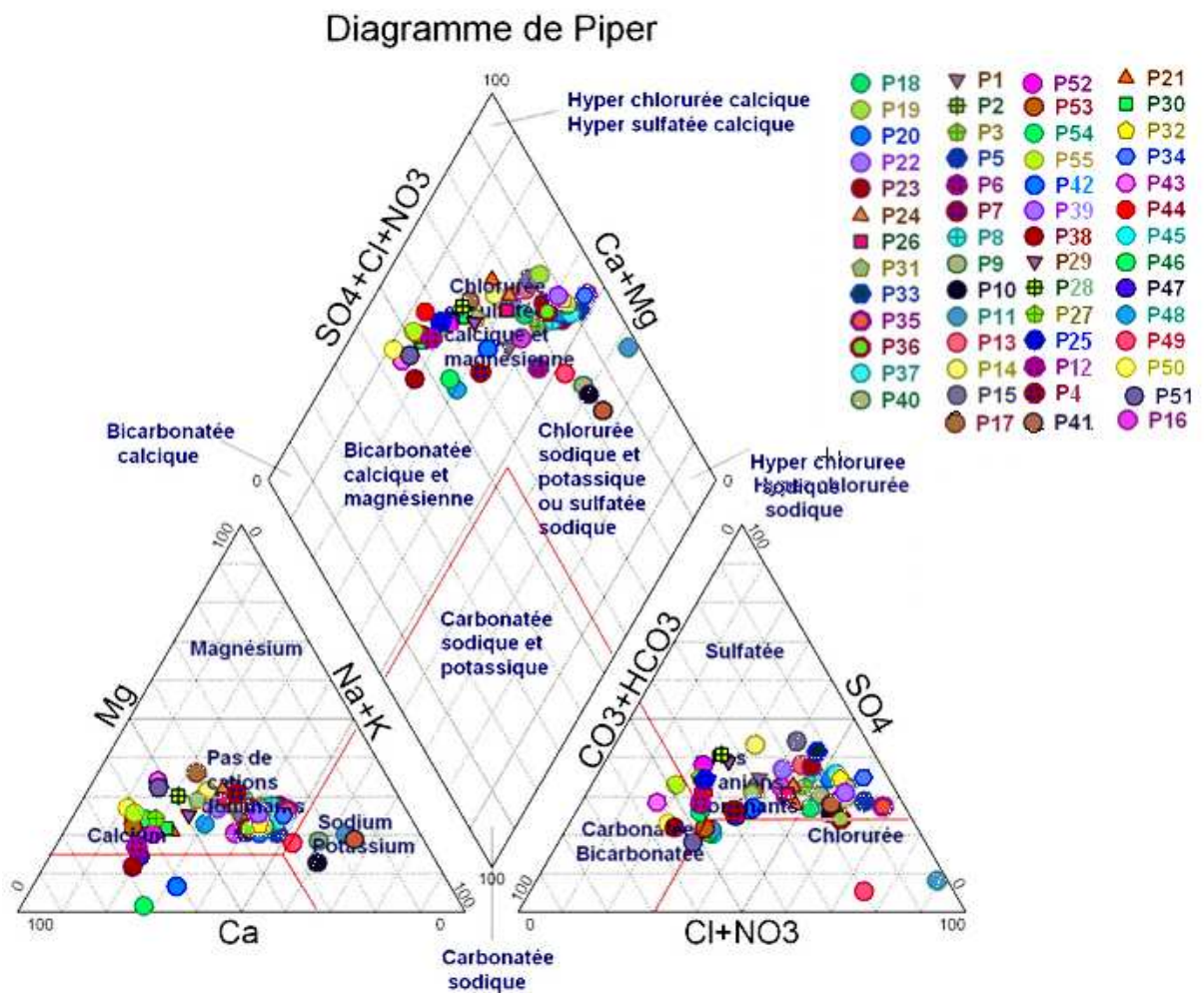


Figure 25 : La représentation des échantillons sur le diagramme de Piper.

IV.4.1.2. Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

Le diagramme de Schoeller- Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence (Gouidia, 2008).

L'observation du diagramme de Schoeller-Berkaloff de quelques points d'eau situés à l'amont de la nappe (Figure 26), montre que quelques points ont la même origine comme les puits P34 avec P32 et P21. Et le reste des points d'eau ont des différentes origines.

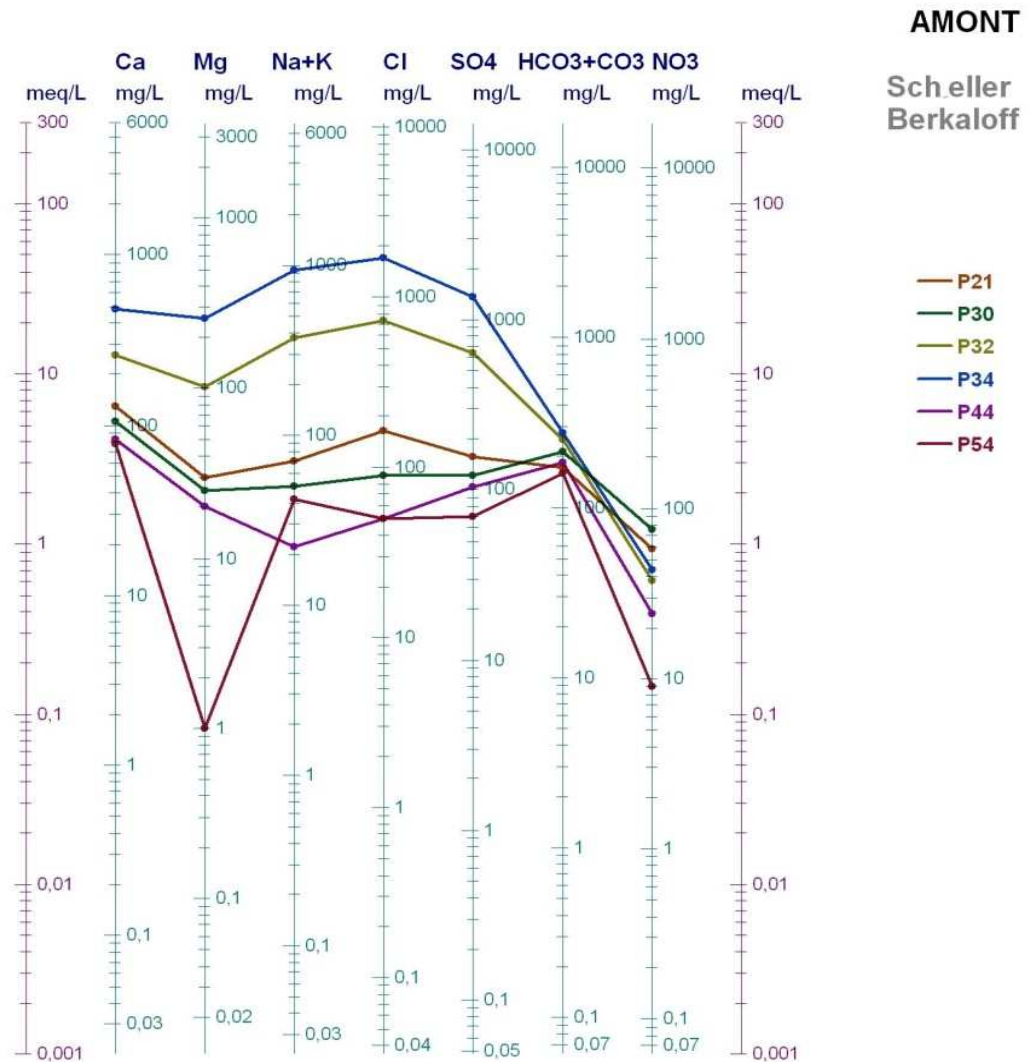


Figure 26 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (A l'amont de la nappe)

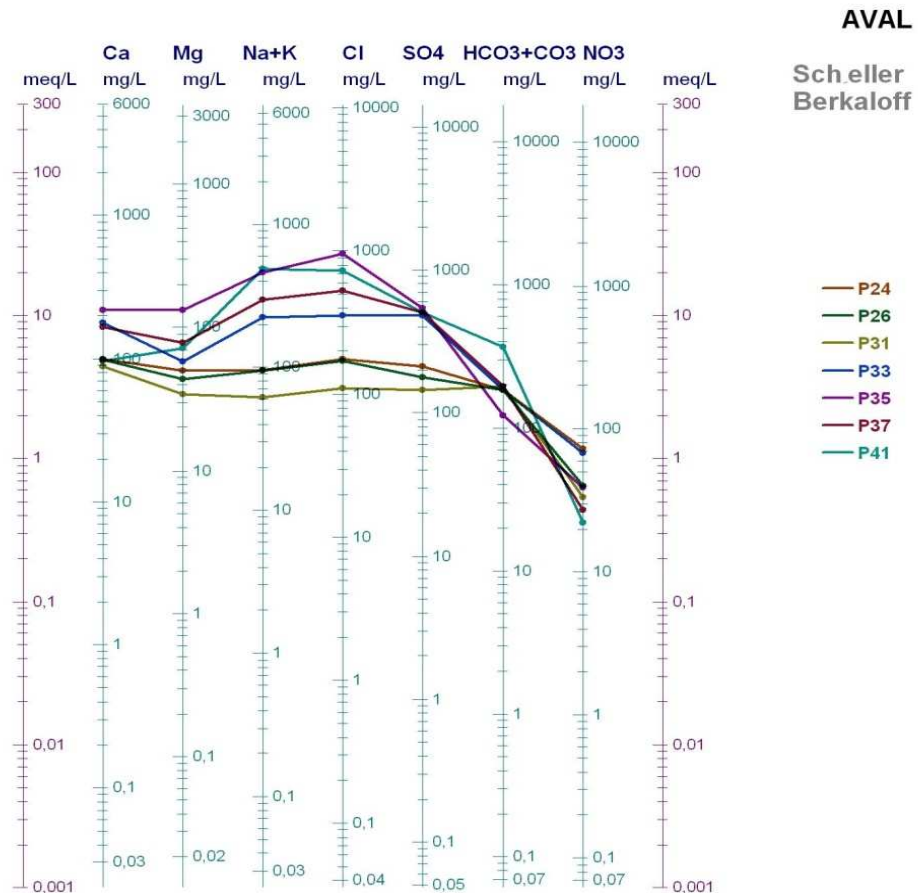


Figure 27 : Diagramme de Schoeler-Berkaloff (A l'aval de la nappe)

Par contre l'observation de diagramme qui représente quelques points d'eau situés à l'aval de la nappe (figure 27), montre que quelques points ont la même origine comme les puits P35 avec P37 et P33, P26. Et le reste des points d'eau ont des origines différentes.

IV.5. Cartographie et évolution spatiale des éléments chimiques

Les eaux souterraines contiennent toujours des sels dissous qui leur confèrent les caractéristiques du milieu dont elles sont issues. Ces sels peuvent également provenir de phénomènes exogènes qui ont contribué à des modifications de la chimie du milieu, parmi lesquels on note l'évaporation, la dissolution et la précipitation des sels.

Afin de suivre l'évolution spatiale des éléments chimiques, on a procédé à l'établissement des cartes d'iso-teneurs des éléments chimiques.

La cartographie hydro-chimique a été illustrée par interpolation triangulaire, en utilisant le logiciel Surfer 8 (Golden software, 2002).

IV.5.1. Cartes du calcium (Ca^{2+})

L'observation de la carte de calcium montre que les concentrations les plus élevées sont observées au Nord-Est de la vallée avec une valeur de 484 mg/l, tandis que les concentrations les plus basses sont notées au Sud-Ouest, avec une teneur de 60 mg/l. Dans ce dernier périmètre, l'absence des formations carbonatées et des inclusions gypsifères et la précipitation de la calcite sont des éléments qui ont contribué à l'appauvrissement des eaux en calcium.

Pour les fortes teneurs en calcium, la matrice carbonatée et la dissolution des gypses contenus dans les formations géologiques en places ou qu'auraient traversées les eaux sont responsables de l'enrichissement des eaux en calcium.

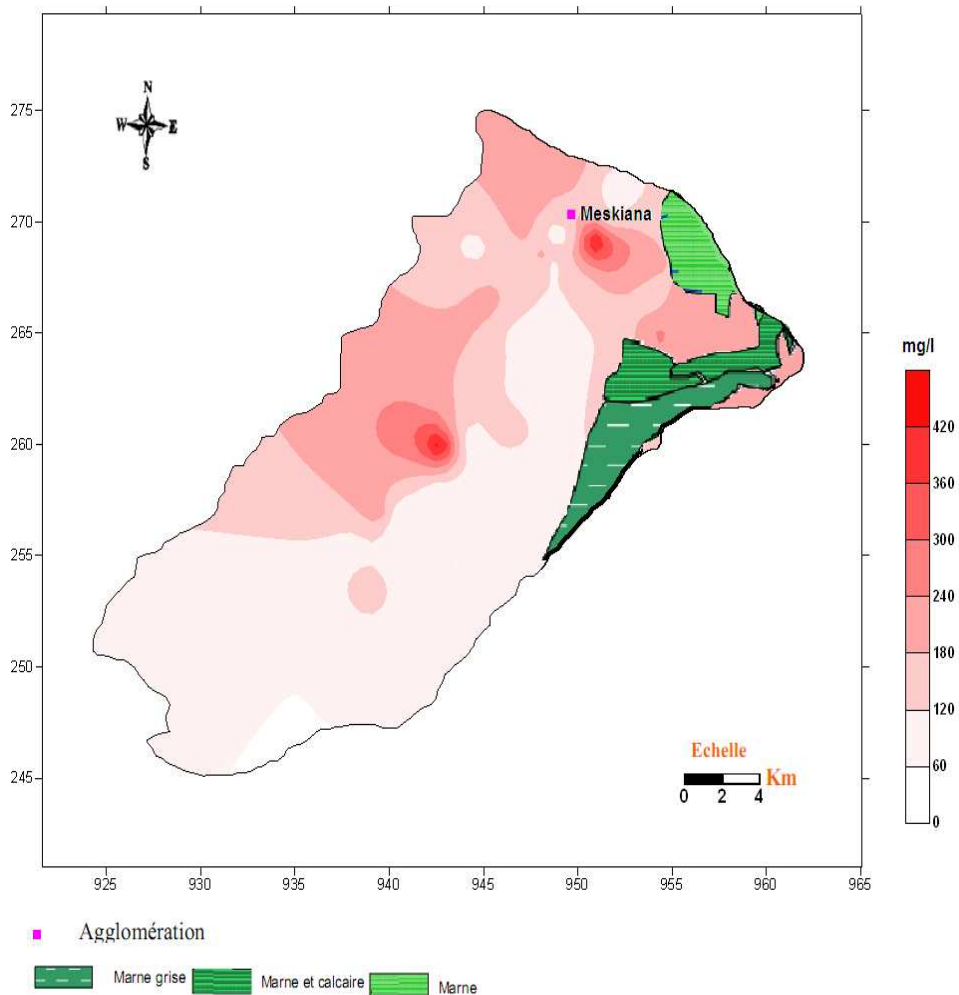


Figure 28 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en calcium dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.2. Carte du sodium (Na⁺)

Les marnes emschériennes gypsifères, qui constituent le substratum, ainsi que les dépôts évaporitiques qui se localisent au Nord-Est de la nappe donnent des concentrations élevées en ions sodium et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base. L'écoulement a favorisé l'acquisition de ces teneurs, car les eaux souterraines, qui s'écoulent suivant la direction SW-NE, se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation. Ceci explique les fortes concentrations (2000 mg/l), et qui sont signalées dans cette zone.

Les plus faibles valeurs, de l'ordre de 12 mg/l, sont enregistrées en amont de la nappe

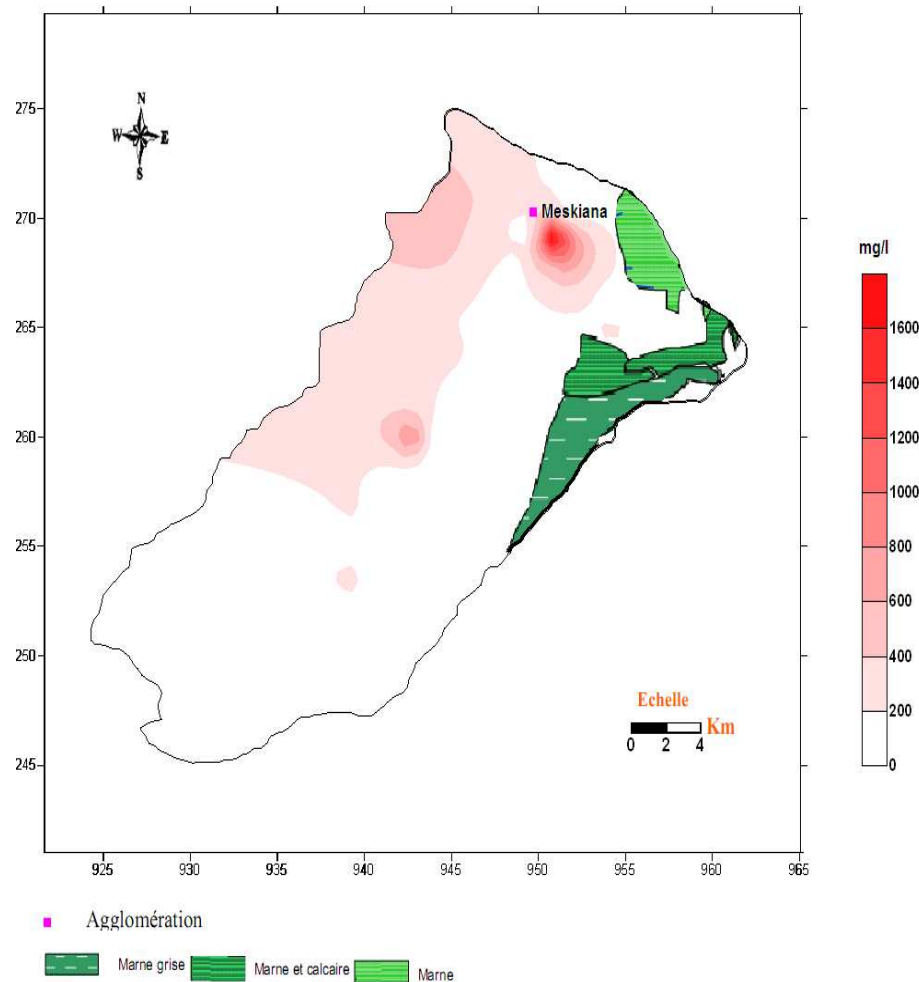


Figure 29 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sodium dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.3. Cartes des chlorures (Cl⁻)

Les concentrations, en générale, oscillent entre 4500mg/l et 25 mg/l, les plus fortes teneurs sont localisées au Nord-Est de la plaine, car les argiles et les alluvions du dépôt de remplissage Mio-Plio Quaternaire, et les dépôts salifères, provenant de l'érosion des formations gypsifères de Djebel Belkefif, constituent l'origine de ces chlorures, avec l'effet du lessivage et de l'évaporation. L'affleurement de la roche mère en surface favorise le premier phénomène et la faible profondeur de la surface piézométrique favorise le second

Au centre de la plaine on observe des concentrations importantes en chlorures, on pense qu'ils tirent leur origine d'un époinement triasique gypsifère.

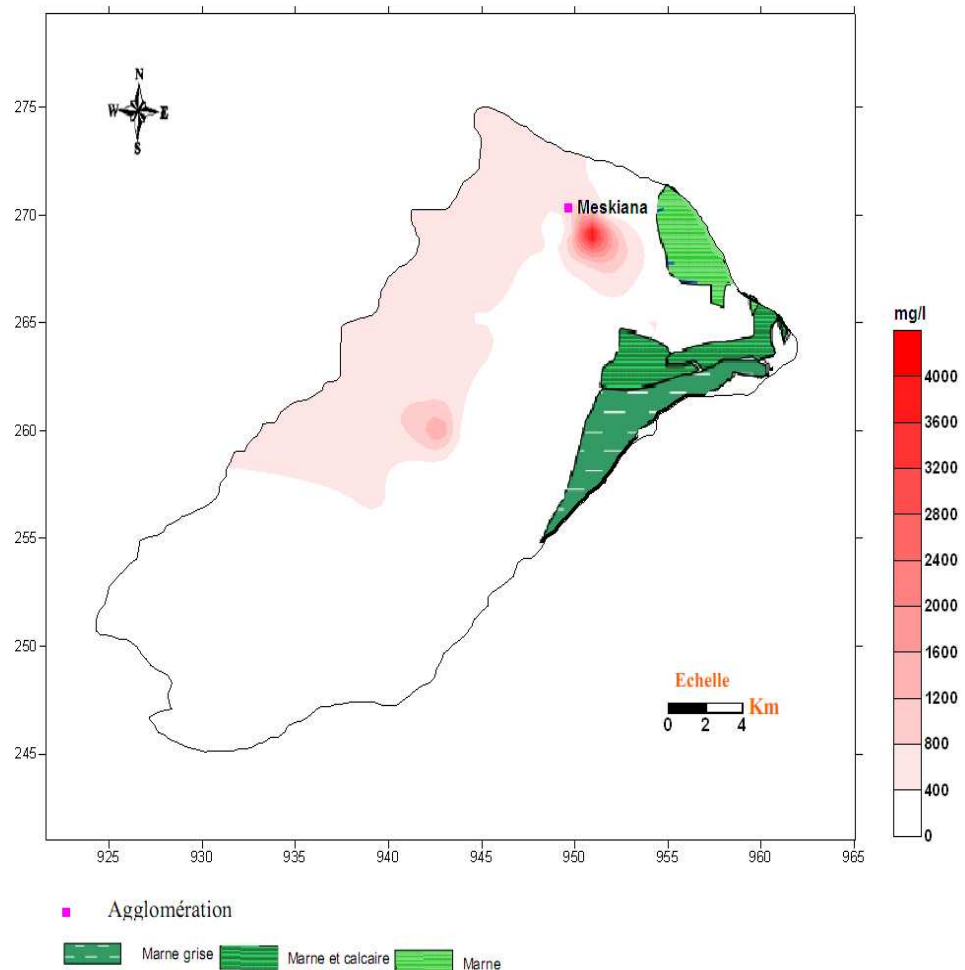


Figure 30 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en chlorure dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.4. Cartes des sulfates (SO_4^{2-})

Les concentrations oscillent entre 47 mg/l et 1360 mg/l. Les fortes concentrations sont enregistrées au Nord-Est de la nappe. Elles sont dues d’une part, à la dissolution des gypses qui sont contenus dans les marnes emschériennes, et d’autre part au lessivage des dépôts évaporitiques, provenant de Djebel Belkefif.

Les plus faibles concentrations sont constatées dans le Sud de la plaine, où on trouve les bordures calcaires car les eaux souterraines sont faiblement minéralisées.

En général la présence de fortes concentrations aliène à deux facteurs :

- Le lessivage des formations gypsifères et les dépôts évaporitiques provenant de Djebel Belkefif .
- L’évaporation, produit de fortes concentrations, car la surface piézométrique n’est pas profonde.

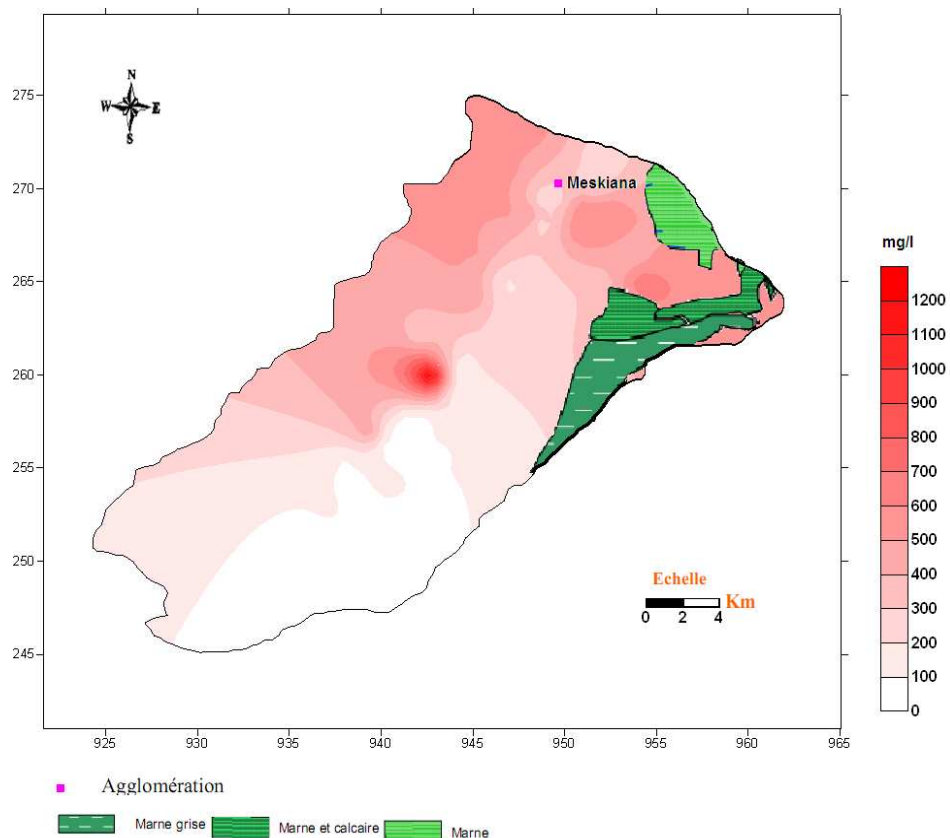


Figure 31 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en sulfate dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.5. Cartes des Bicarbonates (HCO_3^-)

Les concentrations oscillent entre 519 mg/l et 112 mg/l. Dans la partie sud les eaux sont diluées, leurs concentrations sont relativement faibles, les eaux souterraines circulent dans des terrains fissurés, leur vitesse de circulation est rapide.

Les valeurs maximales sont rencontrées au niveau des bordures, dans les terrains carbonatés, surtout dans la zone orientale de Djebel Grigueur. Quelques puits possèdent des concentrations remarquables, malgré qu'ils se situent au centre de la plaine, ceci est attribué aux concrétions calcaires du quaternaire.

La présence des ions bicarbonates dans les puits qui se situent à proximité des bordures calcaires confirme l'alimentation de la nappe latéralement.

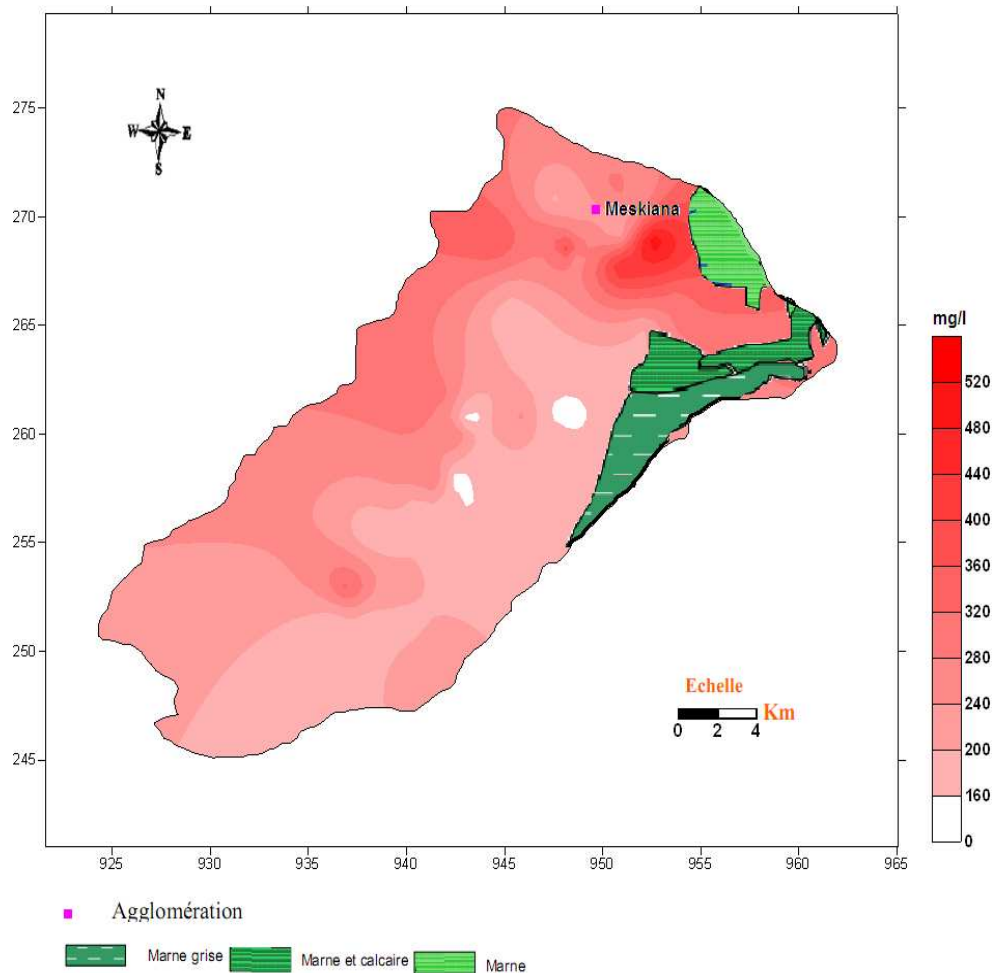


Figure 32 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en Bicarbonates dans les eaux souterraines (mg/l)

IV.5.6. Cartes des nitrates (NO₃⁻)

La répartition des teneurs en nitrates dans la plaine de Meskiana est liée aux facteurs polluants, et en particulier à l'activité agricole et à la nature géologique de la couche superficielle de la plaine, la plupart des agriculteurs de la région utilisent les engrais azotés pour fournir les quantités suffisantes d'azote et d'autres éléments nutritifs aux plantes pour rentabiliser la récolte, les engrais azotés donnent naissance aux nitrates par le processus de nitrification qui correspondent à l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique NO₃.

Les concentrations de nitrates varient entre 01 mg/l et 105 mg/, les faibles concentrations sont enregistrées au Sud de la plaine, car cette région est caractérisée par une faible perméabilité où les teneurs enregistrées ne dépassent pas 50 mg/l, puisque le toit argileux fixe les ions nitrates et ainsi protège la nappe.

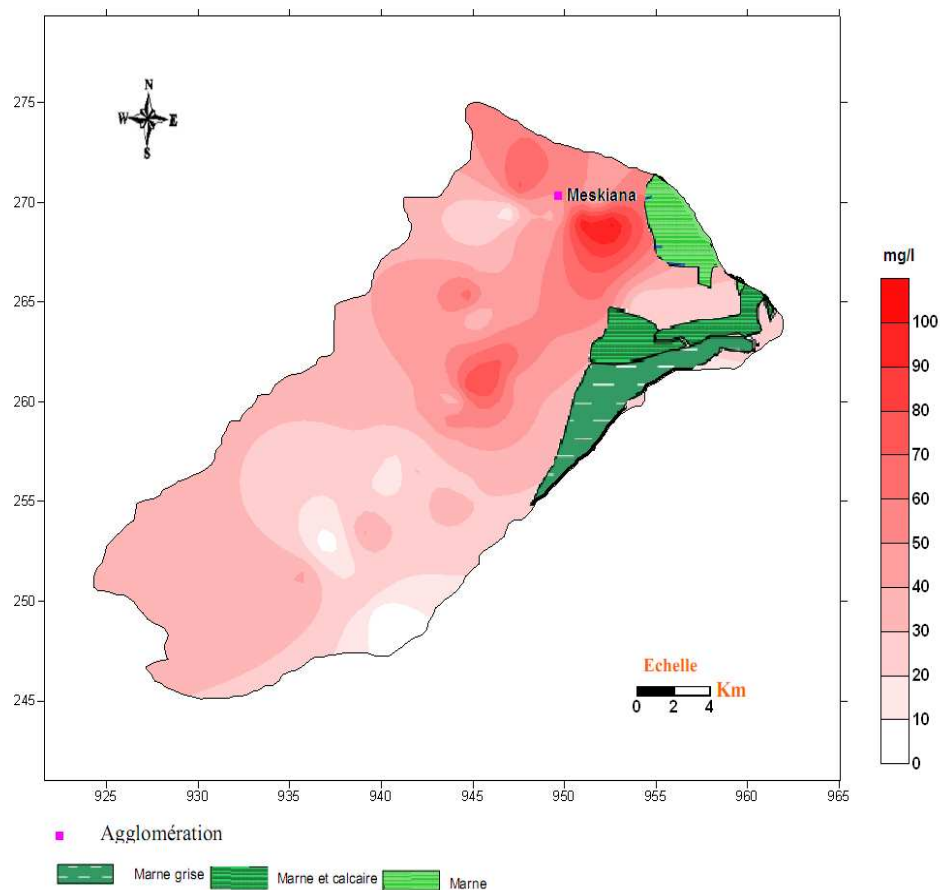


Figure 33 : Carte de la distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines (mg/l)

Au Nord-Est de la plaine les concentrations enregistrées sont très fortes, parce que cette zone a une grande perméabilité et beaucoup plus exposée à la pollution, car les ions nitrates s'infiltrent rapidement.

Selon notre analyses hydro-chimiques, environ 25,45 % des puits ont présenté des teneurs dépassant les normes de l'OMS.

IV.6. Etude de l'origine des éléments dominants et les rapports caractéristiques

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale de Meskiana proviennent des formations carbonatées de l'Eocène et du Maestrichtien qui bordent la plaine. Ensuite, elles s'écoulent dans un matériel très hétérogène (des alluvions, des sables, des graviers, des dépôts évaporitiques... etc.). Le parcours d'écoulement et les couches traversées influent sur l'acquisition des éléments chimiques. En se basant sur les mesures et les analyses chimiques nous essayons de déterminer l'origine probable de quelques ions.

IV.6.1. Détermination de l'origine du calcium

Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse, la détermination de l'origine de la concentration en Ca^{2+} est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe.

L'observation de la (figure 34) permet de distinguer deux origines de calcium la première gypsifère et la deuxième est carbonaté.

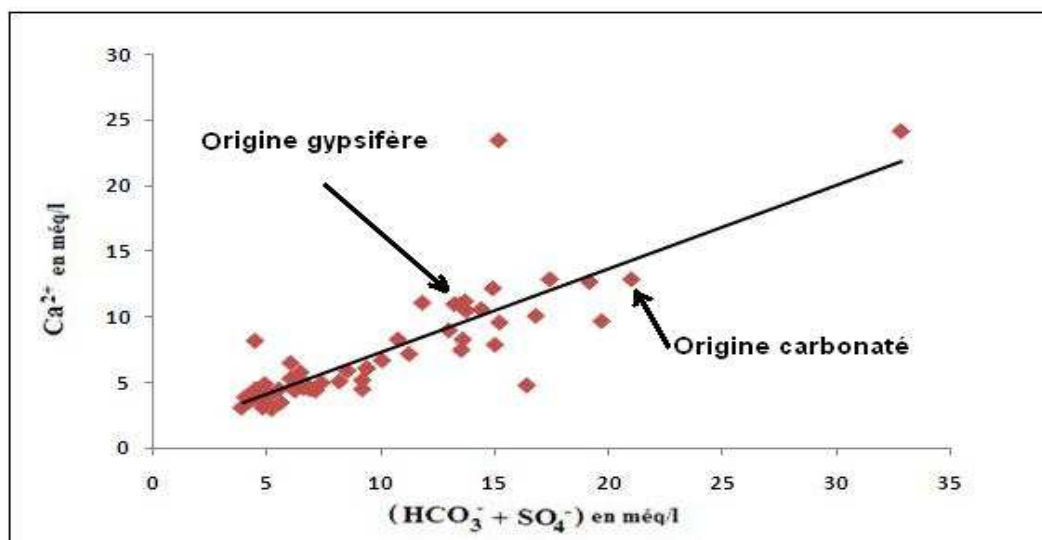


Figure 34 : L'origine de calcium

IV.6.2. Détermination de l'origine du sodium

La représentation graphique de l'évolution du Na^+ en fonction de Cl^- a montré que l'ensemble des points présentent un alignement, indiquant que les eaux auraient traversées les mêmes terrains avec dissolution de l'halite rencontrée dans les formations triasiques.

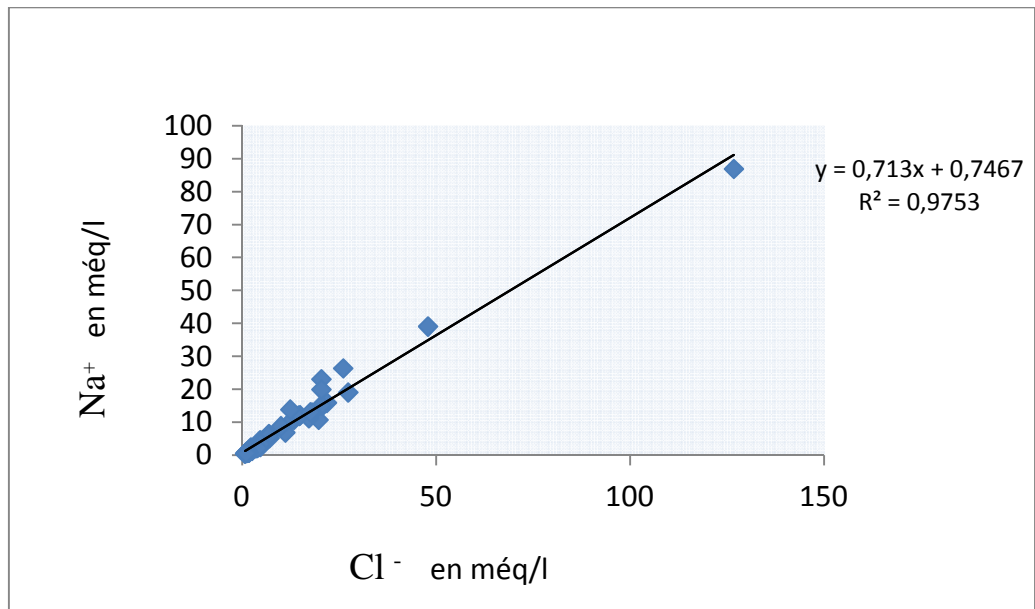


Figure 35 : L'origine du sodium

IV.6.3 Détermination de l'origine du SO_4^- et Cl^-

Ces deux ions sont issus de deux formations différentes, le SO_4^- provient du gypse et le Cl^- provient de la dissolution de l'halite et probablement d'une pollution anthropique. Tous les points se trouvent sur la droite d'équilibre, avec un enrichissement en sulfate.

Cet aspect dénote de la dissolution du gypse et de l'anhydrite contenus dans les inclusions évaporitiques du remplissage plio-quadernaire.

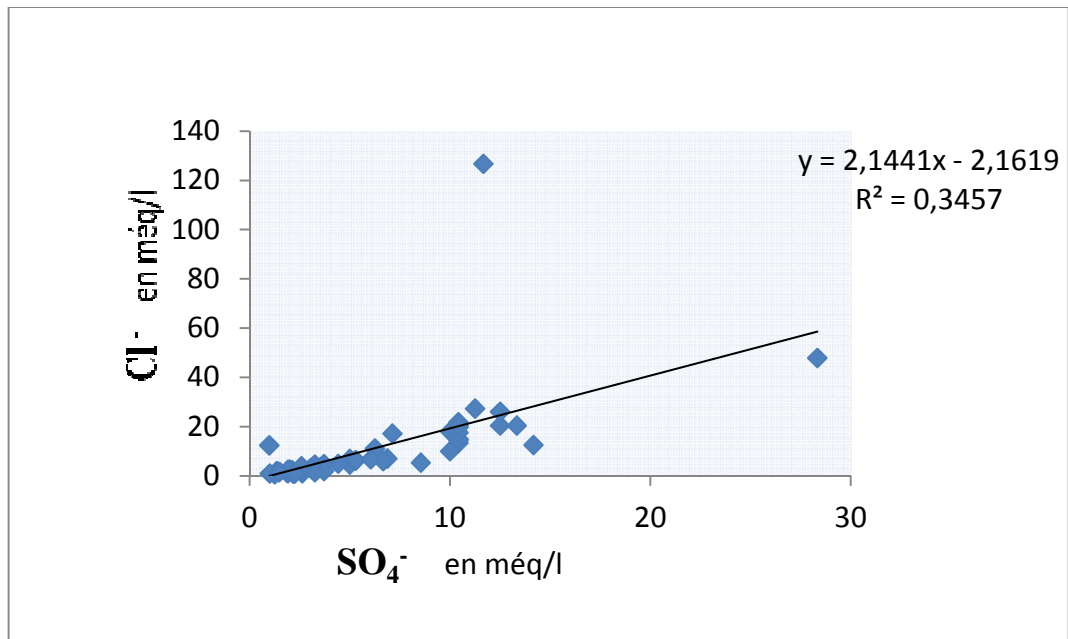


Figure 36 : L'origine de la salinité en fonction du rapport caractéristique : $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^-$

IV.7. Echanges de bases

Le processus d'échange de base est un mécanisme modificateur des nappes d'eau. Il se produit entre les alcalins (sodium-potassium) et les alcalino-terreux (calcium-magnésium) dans les terrains sédimentaires. Il est matérialisé par les ions adsorbés dans les argiles et les ions en solution dans l'eau. La sélectivité d'un ion correspond à son aptitude à être adsorbé sur les argiles. Si la sélectivité d'un ion en solution est plus forte que celle d'un ion présent dans l'argile (ou que sa concentration augmente), il va déloger cette ion déjà adsorbé qui va se retrouver en solution.

On voit ainsi que le sodium peut facilement débusquer le calcium. La concentration de l'eau sera alors diminuée en sodium et augmentée en calcium.

Pendant son écoulement l'eau au contact de la roche libère le calcium (cas de saturation en calcium) et fixe le sodium. Pour illustrer ce mécanisme on a choisi une méthode graphique.

L'observation de la (figure 37) met en évidence, trois familles d'eau :

- Une première caractérisée par un excès de calcium, le nombre d'échantillon est très faible.
- La deuxième appartenant à la zone d'équilibre (état naturel), ses échantillons sont saturés.

- La troisième famille, met en évidence la présence d'un échange de base.

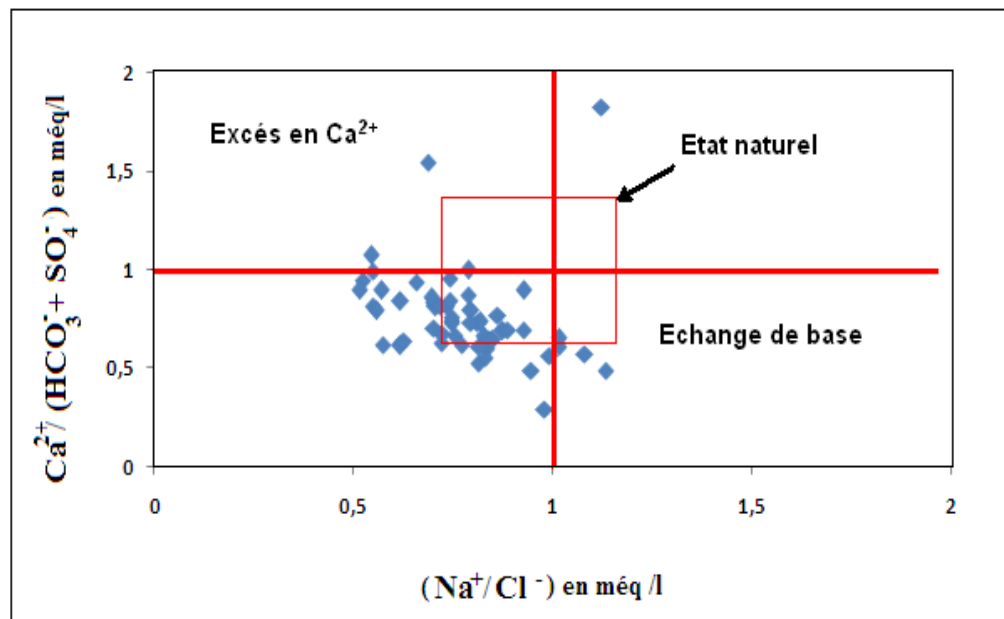


Figure 37 : Graphe explique le phénomène des échanges de bases

Le précédent graphe montre l'influence des formations carbonatées au niveau de la première famille (excès en calcium).

La deuxième famille correspond à la zone de transition (état naturel), en réalité, peut évoluer vers l'un des deux stades, sous l'effet de réaction chimique (thermodynamique).

Le troisième cas explique l'origine de sodium dans une zone où dominent particulièrement le calcium et le sodium.

IV.8. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol d'enracinement influe négativement sur la croissance des plantes, on a recensé deux séries d'effets de la salinité (M. De FORGES, 1972) : les uns portent sur les végétaux, les autres sur le sol. En effet, ces sels causent des changements de la perméabilité et de l'aération du sol d'une part, et d'autre part ils provoquent des perturbations du métabolisme des plantes et du processus osmotiques de ces dernières.

Comme la région de Meskiana est à vocation agricole et les risques de salinisation des sols se font sentir, une étude d'aptitude des eaux à l'irrigation s'avère nécessaire car cette région se caractérise par une faible pluviométrie, une forte évaporation et une eau souterraine trop chargée en chlorures et en sulfates. Les risques qu'encourt cette plaine imposent une bonne connaissance des régimes hydriques et salins afin de pouvoir assurer une durabilité d'utilisation des ressources en eau et des sols.

Afin d'estimer l'influence de ces eaux sur le sol et sur certaines cultures pratiquées dans la région, nous allons essayer d'évaluer leur aptitude à l'irrigation. Pour cela, nous allons utiliser plusieurs méthodes afin de les classer (DIB, 2009).

IV.8.1 Salinité

Selon R. S. AYERS et D. W. WESTCOT (1988) ; quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Tableau 24) montrent que :

- ✓ Si la salinité exprimée par la conductivité est inférieure à 700 $\mu\text{S} / \text{cm}$, il n'y a aucune restriction pour l'irrigation ;
- ✓ Si la conductivité varie entre 700 et 3000 $\mu\text{S} / \text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne ;
- ✓ Si elle est supérieure à 3000 $\mu\text{S} / \text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

Tableau 24 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Salinité).

Restriction pour l'irrigation	CE en $\mu\text{S} / \text{cm}$	Pourcentage des échantillons
Aucune	< 700	24%
Légère à modérée	700 - 3000	56%
Forte	> 3000	20%

L'examen du tableau montre que la majorité des points d'eau de la plaine de Meskiana représentent une restriction pour l'irrigation légère à modérée.

IV.8.2. Infiltration

Les problèmes d'infiltration liés à la qualité de l'eau apparaissent, lorsque la vitesse de pénétration de l'eau d'irrigation ou de la pluie est notablement réduite provoquant une stagnation de l'eau à la surface du sol et diminution de la qualité d'eau mise en réserve tandis que la salinité diminue la disponibilité de l'eau en réserve.

IV.8.2.1. Eaux peu salées

Les eaux peu salées dont la conductivité électrique est inférieure à 200 $\mu\text{S} / \text{cm}$ ont une forte tendance à mobiliser rapidement le calcium du sol, ce qui entraîne plus la dispersion des particules et l'obturation des espaces poreux (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988).

La valeur minimale de conductivité des eaux de la plaine de Meskiana est supérieure à 200 $\mu\text{S} / \text{cm}$, donc ce problème ne se pose pas.

IV.8.2.2. Eaux à forte teneur en sodium (Risque de sodicité)

La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium des sels par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. De part cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes.

Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent fréquemment les cations Ca^{2+} dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cet effet (Rouabhia, 2010).

Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio : SAR ».

Ce dernier est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Où :

Na : Concentration de l'eau en ions de sodium (még/l).

Ca : Concentration de l'eau en ions de calcium (még/l).

Mg : Concentration de l'eau en ions de magnésium (még/l).

IV.8.2.2.1. Classification des eaux par la méthode de Riverside

Dans le but de mettre en relief l'effet de la lithologie sur l'aptitude des eaux à l'irrigation, nous avons cartographié la qualité des eaux à l'irrigation.

On définit différentes classes d'eau en fonction de leur SAR (S1 à S4).

Le diagramme de Riverside est construit en croisant le SAR calculé et la conductivité mesurée.

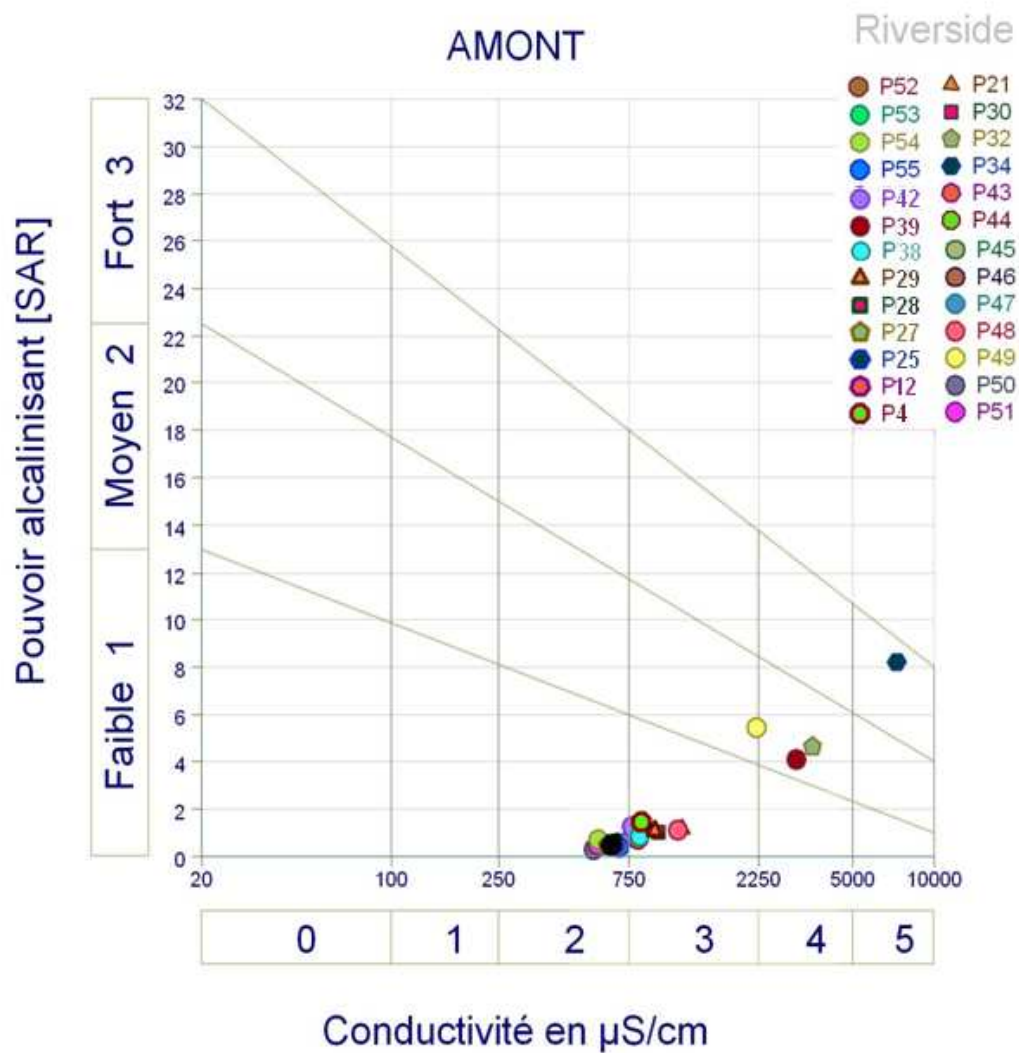
Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR, on a pu dégager la présence des six classes suivantes :

- La classe C2S1 : Elle caractérise une eau de bonne qualité pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels. Cette classe représente les eaux de faible minéralisation que l'on rencontre en amont de la nappe à proximité des bordures.
- La classe C3S1: Généralement, cette classe renferme des eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité et la salinité doit être contrôlée. Elle représente les puits qui se situent au Nord de la ville de Meskiana.
- Les classes C4S1, C4S2, C4S3 : elles représentent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés. Les classes C4S2, C4S3, ont d'une sodicité plus importante que celle de la classe précédente. On la rencontre dans le Nord-Est de la plaine de Meskiana
- La classe C5S3 : Elle caractérise une eau de qualité très mauvaise pour l'irrigation des cultures.

Il apparaît donc que les eaux souterraines de la nappe de Meskiana sont d'une salinité souvent inutilisable pour l'irrigation. Il est à noter l'inexistence de première classe de la CE à savoir : C1 ($0 \mu\text{S}/\text{cm} < \text{CE} < 0,25 \mu\text{S}/\text{cm}$).

La classification classique de Riverside montre que la meilleure classe de ces eaux est C2S1 de bonne qualité avec treize (13) échantillons (23,63 %). La classe C3S1 avec vingt deux (22) échantillons (40%), Les classes (C4S1, C4S2, C4S3), avec dix-huit (18) échantillons (32,72 %).

La classe C5S3 qui est caractérisée par un danger de sodicité et de salinité très élevé mais avec un faible taux (03,63%).



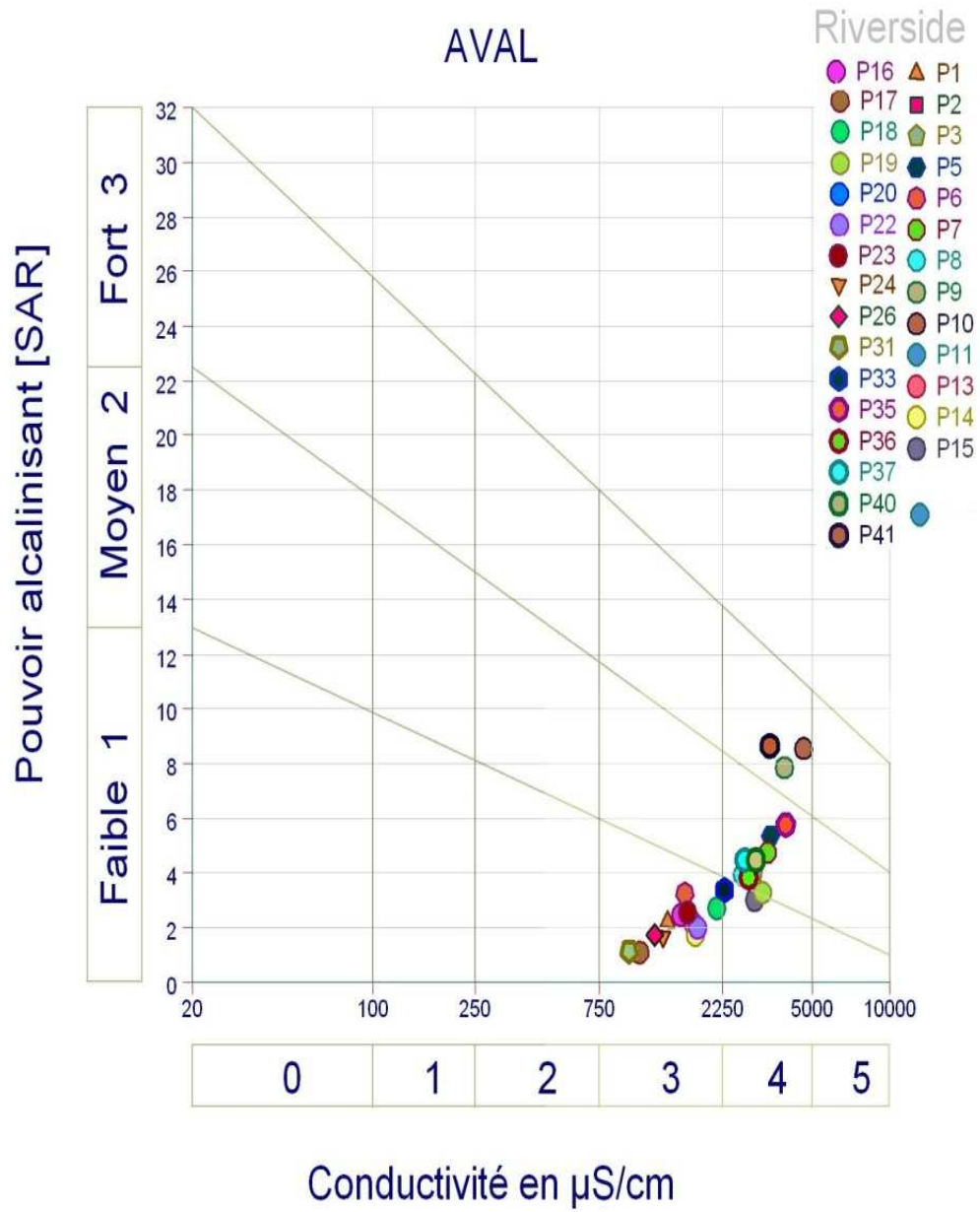


Figure 39 : Représentation des échenillons sur le diagramme de Riverside

(A l'aval de la nappe)

IV.9. Cartographie de l'aptitude des eaux à l'irrigation selon la classification de Riverside

L'observation de la carte (Figure 40) montre que la majorité des eaux souterraines ont une qualité dégradée, elle regroupe les eaux qui se situent au centre et au Nord de la plaine. Sous l'effet de l'aridité du climat, ces eaux sont soumises à l'évaporation, ce qui a pour effet d'augmenter leur salinité. Cette salinité affecte les cultures et les plantes s'il arrive de les utiliser en irrigation sans sélection d'espèces

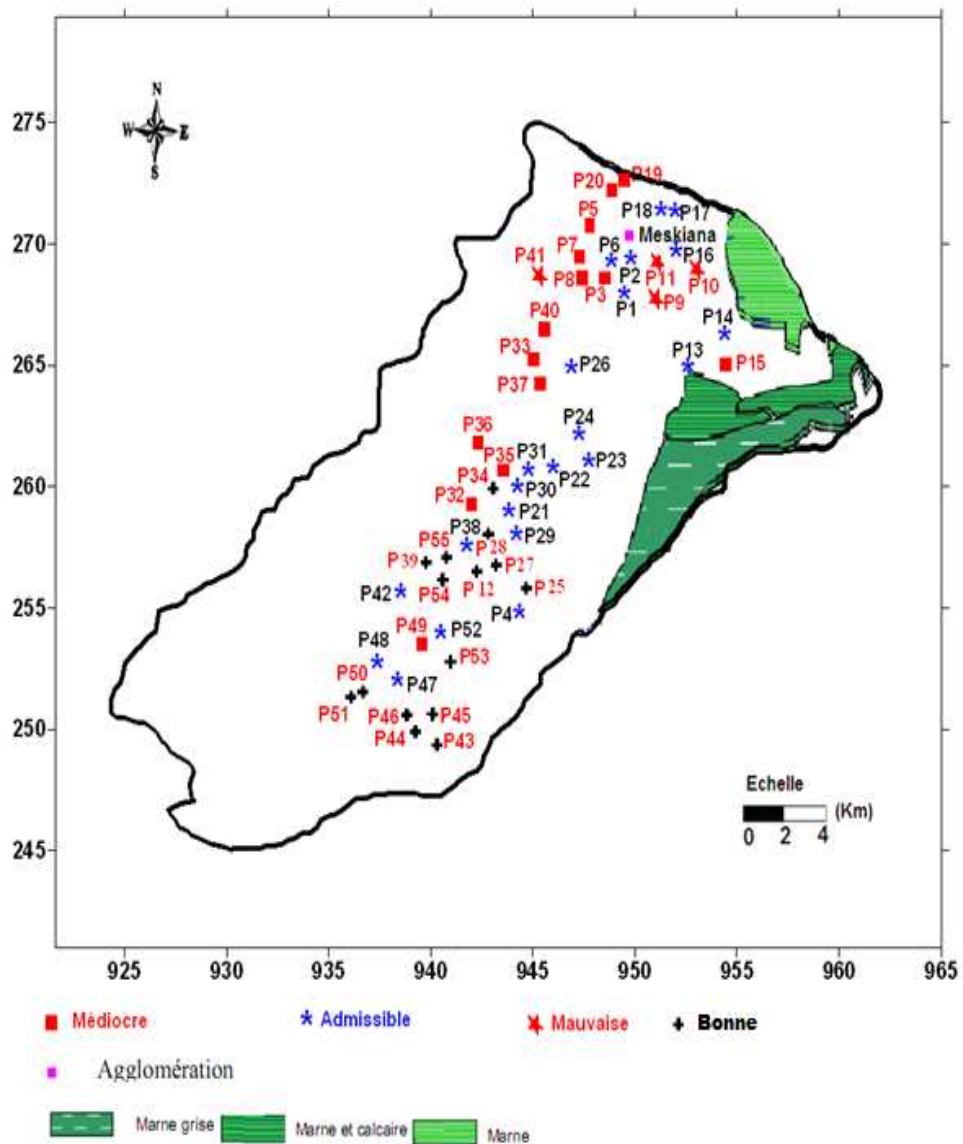


Figure 40 : Carte d'aptitude des eaux à l'irrigation de la nappe du Meskiana selon la classification de Riverside

IV.10.Conclusion

La qualité des eaux souterraines de la nappe de Meskiana dépend de plusieurs paramètres physiques et chimiques. Leurs variations spatiales sont dues soit à la lithologie des terrains traversés (dissolution et précipitation des sels), pollution anthropique et variabilité climatique.

Les fortes teneurs en sodium, calcium, chlorure et sulfate sont dues, soit à la dissolution des sels contenus dans les formations géologiques traversées par les eaux au cours de leur voyage souterrain (Roches carbonatées, évaporites et formations évaporitiques gypseuses et salifères), soit d'origine anthropique (la présence de la décharge sauvage, l'utilisation intensive des engrais chimiques et les échanges entre l'oued et la nappe) .Ce qui conduit à une augmentation de la salinité des eaux. Cette dernière est traduite par une forte conductivité dont les valeurs atteignent 13200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'amplification de cette salinisation avec le temps entraîne l'abandon des puits contaminés et la stérilisation des terrains irrigués (avec ces eaux minéralisées), la minéralisation varie de 310 mg/l à 8184 mg/L.

Dans notre région d'étude le faciès dominant est : Bicarbonaté-calcique, Chloruré-calcique, Chloruré-sodique et Sulfaté-calcique.

Les eaux de la nappe, en majorité, ne conviendraient pas à l'irrigation car elles présentent des conductivités très élevées.

II.1. Introduction

L'étude géologique s'intéresse aux roches et aux matériaux dérivés qui composent les couches souterraines de bassin de Meskiana. La lithologie joue aussi un rôle très important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies).

Il y a plusieurs géologues chercheurs qui travaillent sur le bassin de Meskiana tel que : M.G.BETIER et al. (1951), qui ont réalisé la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000, J.M. VILA (1977) qui a réalisé la carte de Dalâa, la carte de F'Kirina, la carte d'Ain Beida au 1/50000, D. KUSCER et al. (1985), qui ont réalisé la carte de Meskiana au 1/50000 et S.DOZET (1985), qui a réalisé la carte d'El Aouinet au 1/50000.

Ces travaux sur le bassin de Meskiana ont montré qu'il s'agit des terrains sédimentaires autochtones Nord-Aurésiens (J.M. VILA, 1980) qui se trouvent dans la partie orientale des hautes plaines Constantinoises. Ces formations sont constituées de:

- Terrains anciens représentés par le Trias à faciès lagunaire, apparaissant en diapirs ;
- Très importantes assises d'âge Crétacé (Aptien et Maestrichtien) formées de marnes et de calcaires ;
- Des grès et des calcaires gréseux marins formant la base du Miocène ;
- Divers recouvrements continentaux représentant le Mio-Plio-Quaternaire.

II.2. La série lithostratigraphique

En général, le bassin versant de Meskiana est caractérisé par une géologie complexe et qualifiée de grande tectonique. L'évolution des terrains rencontrés du Secondaire au Plio-Quaternaire. On a deux grandes ensembles représentés la lithostratigraphie du bassin de Meskiana :

-Le premier est constitué essentiellement par les formations Crétacées et Tertiaires qui affleurent dans les bordures ;

-Le second est formé, en général, par un recouvrement Mio-Plio-Quaternaire qui se dépose dans la plaine.

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique complète que nous allons décrire ci-après :

II.2.1. Trais

Le Trias est représenté par des masses chaotiques sans stratification (J.M. VILA, 1977), il est formé de pointement diapéritique jalonnants les accédants tectoniques c'est-à-dire qu'il est en position anormal.

- Au Nord, à proximité d'El Aouinet, au niveau de Mesloulou, Argoub Ez Zitoun et Argoub El Houra, le Trias se trouve en contact anormal avec les récifs Albo-Aptiens.

- Au Nord-Est (Djebel Belkefif), le Trias est en contact anormal avec les mêmes récifs et également avec le Cénomaniens et le Turonien (figure 09, coupe AA).

II.2.2. Crétacé**II.2.2.1. Aptien**

Il s'agit des formations de dimensions assez réduites affleurant au Nord, qui sont en contact anormal avec des pointements triasiques, au niveau de Mesloulou, Djebel Belkefif, Argoub Ez Zitoun et Kodiat El Hadjel. Ces formations sont représentées par des assises carbonatées qui sont recouvertes par le Miocène (figure 09, coupe AA'). Il présente un faciès lagunaire avec intercalation marine, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, et des dolomies.

II.2.2.2. Albien

Ces formations sont observées au Djebel Belkefif et à Mesloulou avec des épaisseurs très réduites, n'excédant pas 100m. Ces formations sont représentées par des calcaires noirs en plaquettes renfermant des intercalations des marnes argileuses gris foncées à noires (DOZET, 1985).

II.2.2.3. Cénomaniens (moyen et supérieur)

Sont des calcaires marneux avec intercalations marneuses et gypseuses (TABET S, 2008) Cet étage se présente à la limite Nord-Est de la plaine (région de Bellala), sous forme d'une série très puissante dont l'épaisseur varie de 600 m à 1000 m.

II.2.2.4. Turonien

Il est observé au Nord-Est à Douar El Machtab, et il est représenté par uniformément dans toute la zone montagneuse par un épais niveau de 200 à 300 m d'épaisseur. Composé de calcaire cristallin de calcaire marneux et de calcaire dolomitique.

II.2.2.5. Maestrichtien

Les calcaires maestrichtiens forment les monts du Djebel Gourigueur, Djebel Bou Tokhma et Djebel Garne Lahmar.

Il est formé par des Calcaires massifs à la base puis alternance de marnes et de calcaires dures.

II.2.3. Paléogène

Il est observé seulement à la limite orientale, entre Djebel Guerigueur et Djebel Serdies. Il est représenté par une série de 50 m de puissance, constituée de marnes gris foncées qui sont parfois argileuses.

II.2.3.1. Eocène

Il a été reconnu sur les flancs Est et Ouest du vaste anticlinal de Meskiana, notamment à Djebel Gourigueur et au synclinal d'Ain Dalâa. Il est caractérisé par des calcaires et des marnes avec des intercalations de calcaires marneux et des marno-calcaire selon la teneur en carbonates (BALOULA, 2008).

II.2.4. Néogène

II.2.4.1. Miocène

Les affleurements du Miocène sont de dimensions réduites et se répartissent dans la partie Nord de la plaine surtout à Mesloula, Argoub El Manchar, Argoub Ez Zitoun, Kodiat El Agab, Kodiat Rehia et Kodiat Naga.

Donc c'est une série composée par un ensemble marno-calcaire en haut, un ensemble de calcaires épais au centre de la série, et une série de stratification d'argile, calcaire, grés.

II.2.5. Quaternaire

II.2.5.1. Glacis polygéniques nappant les reliefs

Ces glacis s'étendent sur de grandes surfaces de la plaine en pente douce, ils recouvrent le cycle antérieur de glacis, qui est facile à reconnaître car il est constitué de croûtes calcaires massives.

II.2.5.2. Alluvions actuelles et récentes

Ces alluvions ont une extension limitée à la vallée de Meskiana. Elles sont constituées de limons fins, de sables fins, de graviers et d'alluvions argileuses qui se déposent des deux cotés de l'Oued Meskiana.

Les différentes formations géologiques du bassin de Meskiana se résument dans la (figure 10).

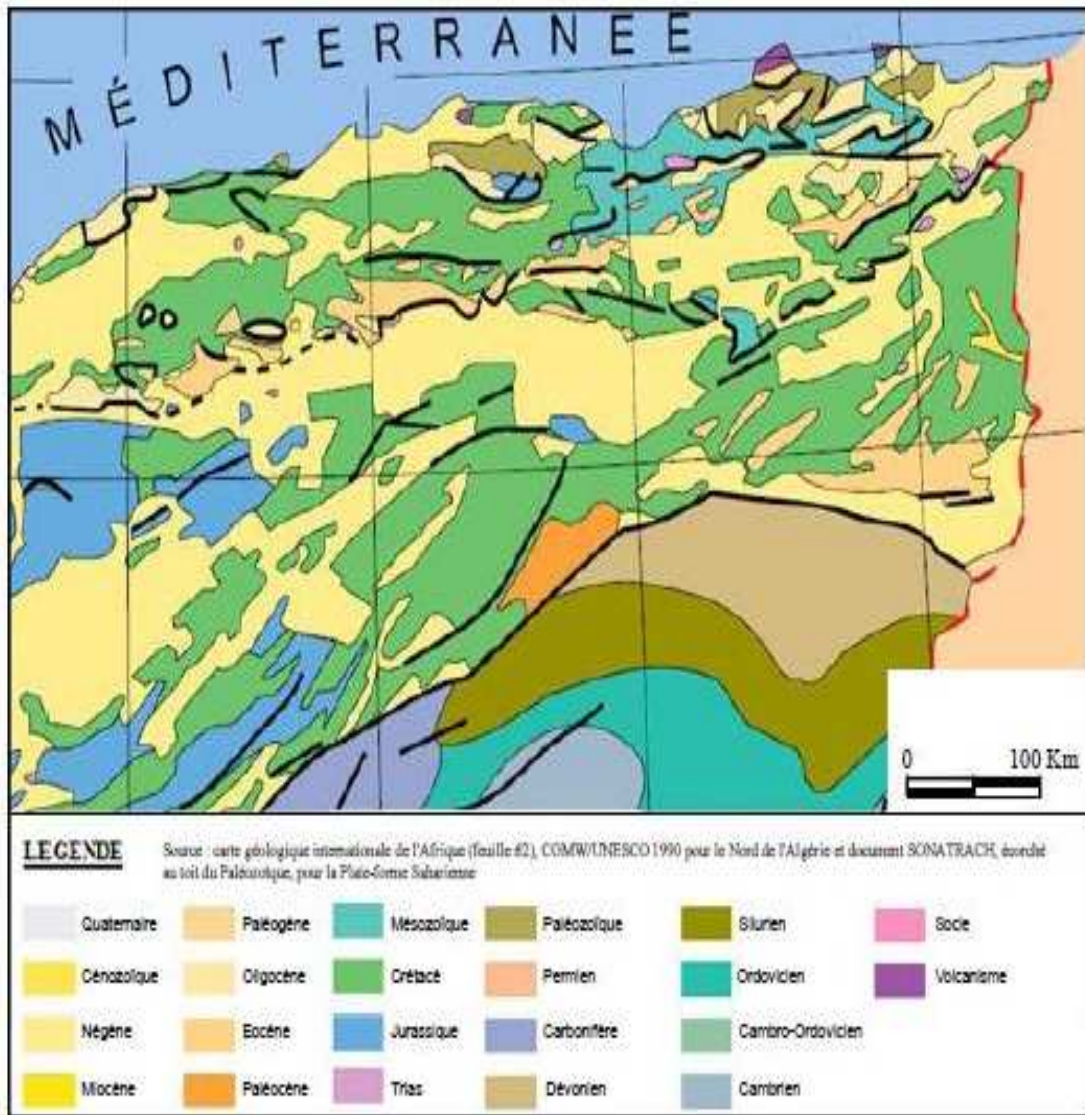


Figure 07 : Carte géologique de Nord-Est algérien (SONATRACH, 1990)

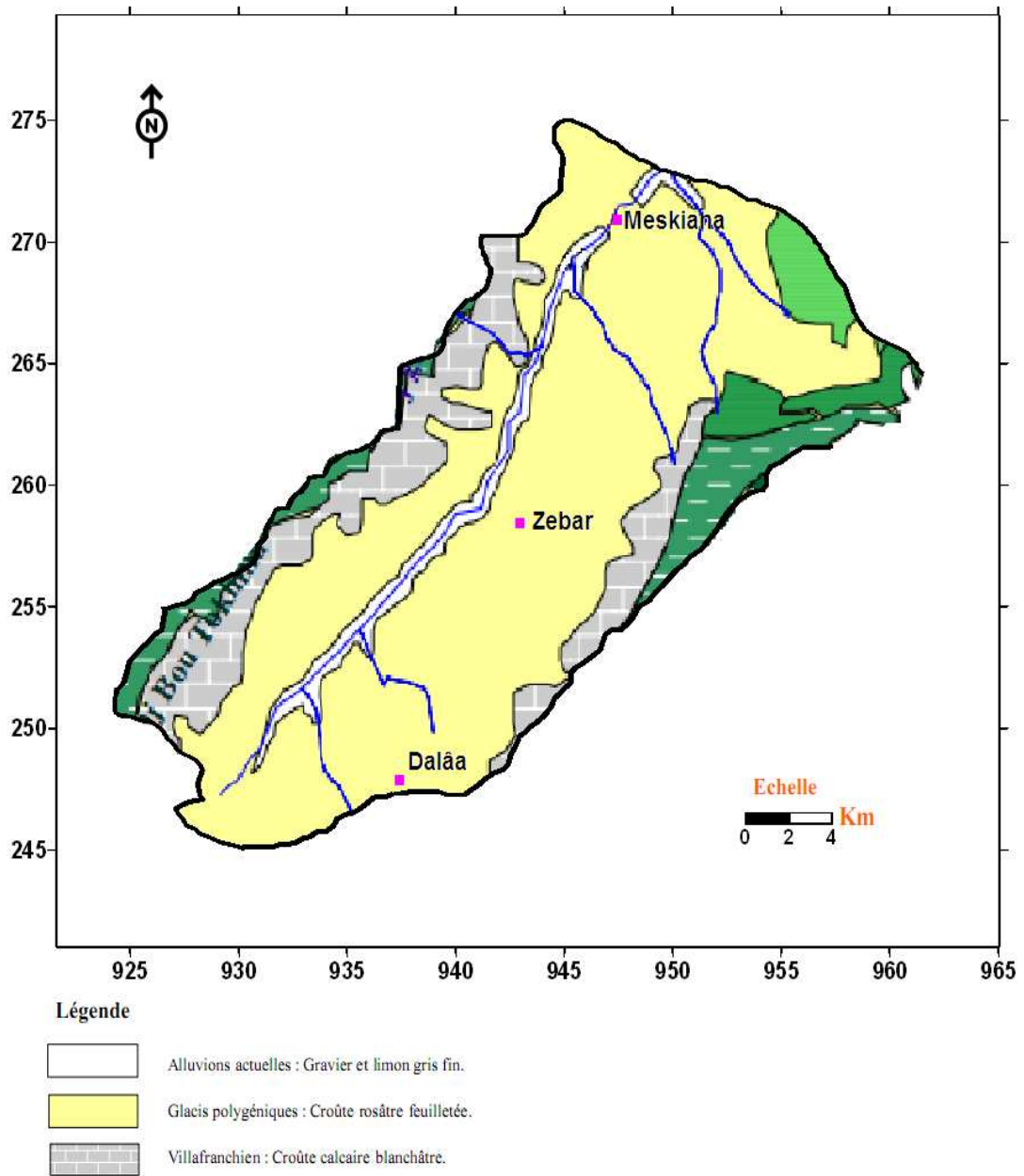


Figure 08 : Carte géologique de bassin du Meskiana (Goudia, 2008 modifié)

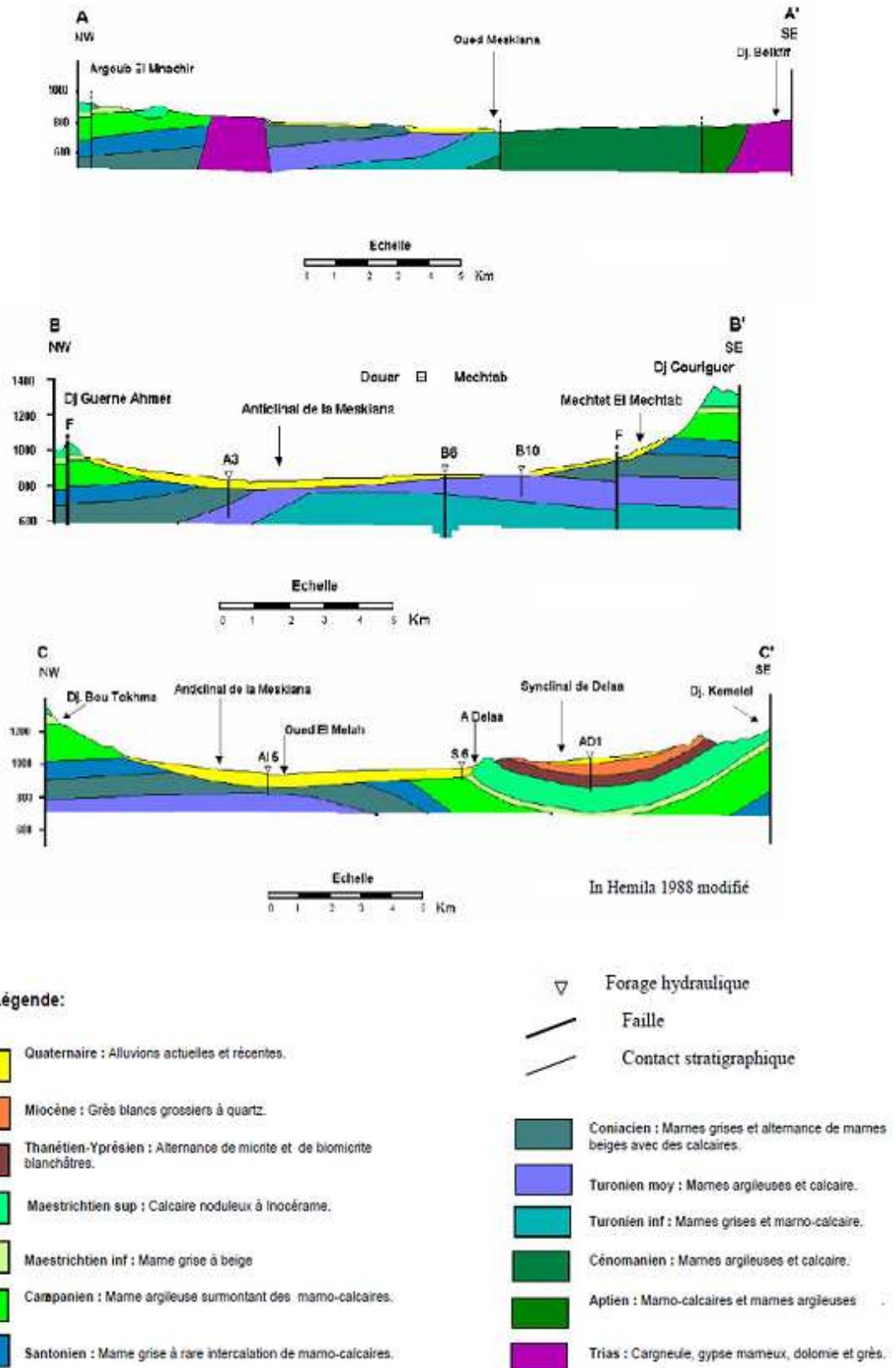


Figure 09 : Coupe géologiques dans le bassin de Meskiana (Goudia, 2008)

	Etage	Epaisseur (m)	Lithostratigraphie	Lithologie
QUATERNAIRE	Quaternaire	?		Limons gris et des graviers ;
				Croûtes rosâtres feuilletées ; Croûtes calcaires blanches .
NEOGENE	Tortonien- Langhien	60		Grès blancs grossiers à quartz
PALEOGENE	Thanétien-Yprésien	200		Alternance de micrite décimétrique gris-blanchâtre et biomicrite décimétriques ou métriques blanchâtre.
	Montien	70		Marnes grises verdâtres
CRETACE	Maestrichtien sup	150		Calcaires noduleux ocres avec quelques nodules de silex de couleur blanchâtre.
	Maestrichtien inf	50		Marnes gris-beiges.
	Campanien	230		Marnes noires Marnes et micrites
	Santonien	100		Marnes grises ou beiges à rares intercalations marno-calcaires.
	Coniacien	150		Marnes grises et alternance de marnes beige et calcaire gris.
	Turonien moy et sup	150		Alternance de marnes grises à beige et calcaire zoogène noduleux.
	Turonien inf	200		Marnes grises ou noires avec une intercalation de marno-calcaire blanchâtre.
	Cénomaniens sup et moy	800		Marnes argileuses à plaquette de calcite et rare intercalation de marnes, de marno-calcaire et de calcaire.
Albien et Cénomaniens inf	55		Calcaires et marnes argileuses noires	
Aptien	10		Marnes grises, biomicrite et dolomie.	
TRIAS	Trias	?		Cargneule jaunâtre, dolomie noire, grès, gypse mameux et gypse fibreux.

Figure 10 : Schéma lithostratigraphique des formations géologiques de bassin de Meskiana (Gouidia, 2008)

II.3. Aperçu tectonique

La plaine de Meskiana appartient à l'Atlas saharien (J.M. VILA, 1980). Elle est caractérisée par des éléments tectoniques simples, tels que les plis de direction NE-SW et les dislocations qui ont souvent un cours transversal à la direction de ces plis. On rencontre également des structures particulières, qui se sont survenues sous l'influence de la tectonique diapirique.

La période crétacée a été, du point de vue tectonique, assez calme (DOZET, 1985). Le fossé tectonique de Morsott est d'âge post-Miocène, il a un cours perpendiculaire à la direction des plis.

Les diapirs forment les noyaux des anticlinaux et peuvent également remplir les fractures les plus importantes. Ils ont été en action au Crétacé, au Miocène, au Pliocène et probablement au Quaternaire ancien.

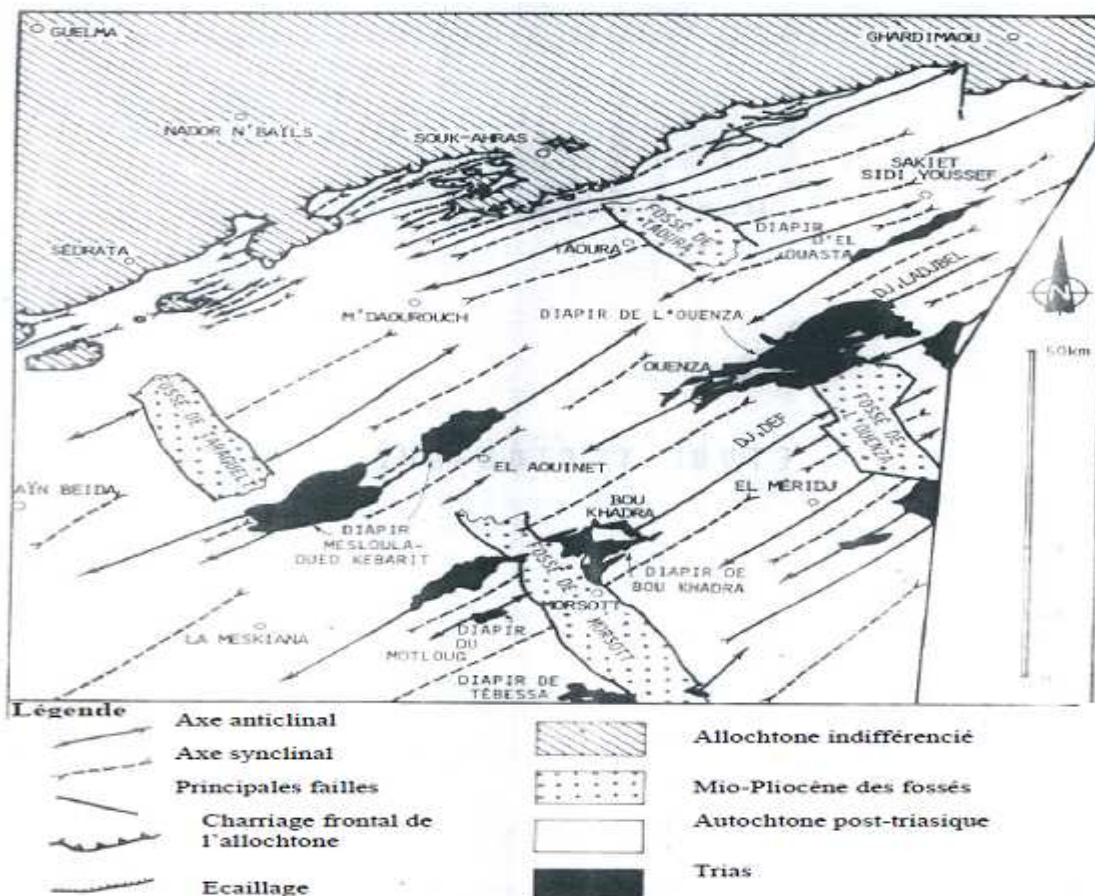


Figure 11 : Esquisse tectonique de la région de Meskiana, J.M.VILA (1980)

II.4. Conclusion

Le bassin d'oued Meskiana se caractérise géologiquement par :

- Sa localisation dans la partie orientale des hautes plaines constantinoises avec des affleurements de bordure d'âge Crétacé.
- Les formations d'âge Plio-Quaternaire se répartissent en totalité dans la plaine.
- Les activités tectoniques ont produit des plis de direction NE-SW, accompagnés d'une série de failles de direction perpendiculaire affectant les formations crétacées.
- Les assises marneuses constitueraient un substratum imperméable, que ce soit au niveau des bordures ou au centre de la plaine.
- A l'intérieur de la plaine, on a des formations alluvionnaires qui se composent de galets, de cailloutis, de graviers, de sables et de limons, qui pourraient avoir une porosité primaire et former des nappes alluviales.
- A partir de la lithologie des formations géologiques, on peut avoir une idée sur la minéralisation des eaux souterraines. Ainsi,
 - ✓ Les calcaires donnent un faciès généralement bicarbonaté calcique ou magnésique ;
 - ✓ Les marnes sont à l'origine des faciès sulfatés ;
 - ✓ Les alluvions donnent plusieurs faciès non salés.

On note que la présence du Trias peut provoquer la salure des eaux souterraines.

Introduction générale

Introduction générale

Dans les régions semi-arides, l'aridité du climat, associée à l'activité agricole et au changement de la lithologie sont autant de facteurs qui contribuent à la dégradation de la qualité des eaux ; la vallée de l'oued Meskiana, est une zone à vocation agricole, les eaux souterraines subissent quotidiennement des agressions, soit par utilisation et infiltration des engrais chimiques, soit par pompages intensifs jusqu'à drainer les eaux de l'oued très polluées par lessivage des déchets solides.

Notre étude s'inscrit dans une dynamique de protection et de la valorisation des ressources en eau, rares en région semi-arides, afin de préserver sa qualité et de pouvoir répondre aux besoins des populations.

Cette étude s'articule autour d'un certain nombre de points auxquels nous essayons de leur apporter des réponses.

Ce travail doit répondre aux préoccupations suivantes :

- Quelles sont la variabilité et la répartition quantitative des éléments majeurs ?
- Quels sont les principaux faciès chimiques des eaux et leur relation avec l'environnement géologique ?
- Quel est le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques ?
- Quelle est la qualité chimique des eaux souterraines de la nappe ?
- Quels sont les mécanismes physico-chimiques régissant l'évolution des éléments chimiques de la nappe ?
- Serait-il possible d'utiliser ces eaux à des usages de potabilité ou d'irrigation ?

Afin de répondre à ces préoccupations, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- Un aperçu géographique de la région de Meskiana ;
- Une étude du cadre géologique consistera à définir la lithologie des formations constituant la région;
- Une étude hydro-climatologique permettra d'évaluer les apports d'eau alimentant les réserves d'eau souterraine ;
- Une étude hydro-chimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines, de les comparer et de suivre leur évolution dans l'espace. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines du point de vue potabilité et aptitude à l'irrigation.

CHAPITRE I

PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

CHAPITRE II

LES CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

CHAPITRE III

LE CADRE HYDRO-CLIMATIQUE

CHAPITRE IV

ETUDE HYDROCHIMIQUE

Conclusion générale

ANNEXES