

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme

MASTER

FILIERE : Hydraulique

Option : Hydraulique urbaine

THEME

**ETUDE HYDROCHIMIQUE ET EVALUATION DE
LA SALINITE DES EAUX SOUTERRAINES DE
LA REGION DE CHEMORA - W DE BATNA**

**Dirigé par :
Mr. GHODBANE.M**

**Présenté par :
Ben Bagra ikram
Boussadia iman**

Promotion : 2019/2020

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant, pour nous avoir donné la force et la patience.

*Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements à notre encadreur Monsieur : **Ghodbhane messaoud**, pour l'orientation de notre travail avec disponibilité, patience et bienveillance.*

Un grand merci à tous nos enseignants.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

*C'est avec un très grand honneur que nous dédions ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde : **nos chers parents** qui nous ont permis de continuer nos études dans les meilleures conditions et qui nous ont appris à ne jamais baissé les bras. Et à **nos chères sœurs et nos Frères.***

Et à tous les membres de nos familles.

A toutes personnes qui nous ont encouragés ou aidés à la long dèmes étude.

Nous n'oublions pas nos chères amies.

Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte leur fruit.

iman et Ikram

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Aperçu géographique :	2
I.1.1. -Situation géographique	2
I.1.2. -Habitation	3
I.1.3. -Agriculture.....	3
I.1.4. -La ressource en eau	3
I.1.5. -Climat.....	4
I.1.6. -Le réseau hydrographique	4
I.2. -Géomorphologie :	5
I.2.1. -Description du bassin versant	5
I.2.2. - Les caractéristiques morphométriques :	6
A. -Superficie (A)	6
B. -Périmètre (P)	6
C. -Indice de compacité (K_C)	6
D. -Les dimensions du rectangle équivalent	6
E. -Courbe hypsométrique	7
*- altitudes caractéristiques.....	8
*-Dénivelée simple (D)	9
F. -Les indices des pentes	9
*- Indice de la pente globale (I_g)	9
*- Indice de pente de roche (I_p)	10
*- Dénivelée spécifique (D_s)	10
I.3 - Les caractéristiques du réseau hydrographique.....	11
a -Densité de drainage (Dd).....	11
b -Temps de concentration (T_c).....	11
c -Vitesse d'écoulement de l'eau (V_c).....	12
I.4 -Conclusion	13

Chapitre II : Etude géologique

II.1 -Introduction	14
II.2 - litho stratigraphie	16
II.2.1 - Les formation Quaternaire	16
II.2.2 -{Q} Formation dunaires (lunettes).....	18
II.3 - Tectonique et paléogéographie	19
II.3.1 -Evolution paléogéographique.....	19
II.3.2 -Aperçu tectonique	19
II.4 -Caractéristiques lithologiques du sous bassin versant.....	21

II.4.1-classification des formation géologiques selon leurs intérêts hydrogéologique	21
II.5-Conclusion	22

Chapitre III : Etude hydrogéologique

III.1- Introduction	23
III.2- Etendue de la nappe superficielle	23
III.3 -Inventaire des points d'eau	23
III.4-Etude de l'aquifère superficiel	24
III.4.1-Caractéristique des points d'eau.....	24
a-Etude piézométrique	24
b-Interprétation de la carte piézométrique.....	25
III.4.2- Gradient hydraulique	26
III.5- conclusion	26

Chapitre IV : Etude Hydrochimique et Evaluation de la Salinité des Eaux Souterraines

IV.1- Introduction	27
IV.2-Echantillonnage des eaux et Analyses au laboratoi	28
IV.3-Etude et évaluation de la qualité des eaux	28
IV.3.1- Paramètres ayant fait l'objet de limite de qualité.....	28
IV.3.1.1- Fiabilité des résultats mesurés au laboratoire	29
A-Etude des paramètres physiques	29
* - Température	29
* - Le Potentiel d'hydrogène (pH)	29
* -La Conductivité électrique (CE)	31
B- Etude des paramètres chimiques	32
* - Détermination et répartition des faciès chimiques	32
* - Classification des eaux de cette zone	35
C- Cartographie hydrochimique et répartition spatiales des éléments chimiques	37
a- Le calcium Ca^{++}	37
b-Le magnésium Mg^{++}	38
c- Les chlorures Cl^{-}	39
d- Les bicarbonates HCO_3^{-}	40
e- Les sulfates SO_4^{-}	41
f- les sodiums Na^{+}	42
g- Les potassiums K	43

h- Les nitrates NO_3^-	44
D- Analyse en composantes principales (A.C.P).....	45
D.1 - Principe de la méthode	45
D.1.1- Application de l'A.C.P sur les données chimiques de la zone d'étude	46
D.1.1.1- Analyse Statistique	46
D.1.1.1- Etude des variables et des individus	48
IV.4 Indice d'échange de base (i.e.b)	50
IV.4.1 - Interprétation des résultats	51
IV.5 - Qualité chimique des eaux	51
IV.5.1 - Potabilité des eaux	51
a- Selon l'O.M.S	51
b- Normes selon le degré hydrotimétrique total (D.H.T)	53
IV.5.2- Qualité des eaux pour l'irrigation	53
a- Salinité.....	53
b- Eaux peu salées	54
C- aux à forte teneur en sodium	54
IV.5.3 - Comparaison des classes issues des méthodes de Richards et de WILCOX	55
a- Classification de Richards.....	55
b- Classification de Wilcox	57
IV.5.4- Classification des certaines cultures maraichères par tolérance à la salinité.....	59
IV.6- Conclusion	59
Conclusion général	61

Liste des tableaux

N° Tableau	Titer	Page
Tableau .N°I.1	Paramètres géométriques du bassin versant de Chemora Nord-est	7
Tableau .N°I.2	Répartition de l'altitude en fonction de la superficie	8
Tableau .N°I.3	Classification de l'ORSTOM	11
Tableau .N°I.4	Récapitulatif des paramètres morpho métriques	13
Tableaux N°II.1	Répartition des terrains selon leur degré de potentialité –ANRH-	22
Tableau N°III.1	Inventaire des points d'eau pour la nappe superficielle (Période 2017)	24
Tableau N°IV.1	valeurs statistiques de la température durant la période Mai 2017	29
Tableau N°IV.2	Valeurs statistiques du PH	30
Tableau N°IV.3	Valeurs statistiques de la conductivité électrique	31
Tableau N°IV.4	Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité	31
Tableau N°IV.5	Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER–BERKALOFF	35
Tableau N°IV.6	Classification de SCHOELLER selon la concentration en sulfates	36
Tableau N°IV.7	Classification de SCHOELLER selon la concentration en chlorures	36
Tableau N°IV.8	Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines	46
Tableau N°IV.9	Matrice de corrélation des paramètres chimiques	47
Tableau N°IV.10	Valeurs critiques du coefficient de corrélation selon A. Mangin.	47
Tableau N°IV.11	Pourcentage de variance exprimée	48
Tableau N°IV.12	Indices d'échanges de base 2017	51
Tableau N°IV.13	Normes de potabilité de l'O.M.S	52
Tableau N°IV.14	Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)	53
Tableau N°IV.15	Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Salinité)	54
Tableau N°IV.16	Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards	55
Tableau N°IV.17	Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox	58
Tableau N°IV.18	Classification de certaines cultures maraichères par tolérance à la salinité	59

Liste des figures

N°figure	Le nom de figure	Page
Fig .N°I.1	Carte de situation géographique	3
Fig.N° I.2	Réseau hydrographique du bassin de la plaine Nord est de Chemora	4
Fig.N° I.3	Carte topographique (zone nord) du sous bassin versant de Chemora	5
Fig .N° I.4	Courbe hypsométrique	8
Fig.N°II.1	montrant la Zone d'étude	15
Fig.N° II.2	Coupe géologique interprétative : Anticlinal du Djebel Fedjoudj	17
Fig.N° II.3	Carte représenté les sols du piémont Nord-Est des Aurès	20
Fig N° .III.1	Carte piézométrique	25
Fig. N° .IV.1	Carte des points d'eau analysés	28
Fig.N° .IV. 2	Carte des PH	30
Fig. N°IV.3	Carte des conductivités	32
Fig N° .IV. 4	Diagramme de piper	33
Fig N° .IV.5	diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF	34
Fig. N° .IV. 6	Carte des calciums (Ca^{++})	38
Fig. N° .IV.7	Carte des Magnésiums (Mg^{++})	39
Fig. N° .IV.8	Carte des chlorures (Cl^-)	40
Fig. N° .IV.9	Carte des bicarbonates (HCO_3^-)	41
Fig. N° .IV.10	Carte des sulfates (SO_4^-)	42
Fig. N° .IV.11	Carte des sodiums Na^+	43
Fig. N° .IV.12	Carte des potassiums (K^+)	44
Fig. N° .IV.13	Carte des nitrates (NO_3^-)	45
Fig N° .IV.14	cercle de corrélation des variables	46
Fig N° .IV.15	cercle des Individus	47
Fig N° .IV.16	Diagramme de Richard de classification des eaux pour l'irrigation	57
Fig N° .IV.17	DIAGRAMME DE WILCOX	58

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE :

La salinisation est l'accumulation des sels dans les sols à des niveaux toxiques pour la plupart des plantes, animaux et champignons. Elle est devenue une cause importante de désertification, d'érosion et de dégradation des sols et de l'agriculture et plus largement de la biodiversité. C'est aussi une « menace généralisée pour la structure et le fonctionnement écologique des zones humides continentales et côtières, et se produit actuellement à une vitesse et à une échelle géographique sans précédent ».

Ses causes sont diverses avec notamment le réchauffement climatique, la surexploitation ou la dérivation de ressources en eau douce, le défrichement, les incendies de forêt, l'irrigation, certains effluents miniers salés, l'élévation du niveau marin, le recul du trait de côte, les ondes de tempête, l'utilisation de sels de déglacage... Et les prospectivistes annoncent une aggravation des modifications anthropiques du cycle hydrologique en raison de la surpopulation, de la démographie, des pratiques agricoles et du dérèglement climatique, acteurs qui devraient aggraver la gravité de la salinisation des zones humides et la taille des zones touchées.

Dans ce cadre, notre étude proposée est pour l'objet de connaître les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, et hydrochimiques de la zone chemora, en mettant en évidence la salinité et son impact sur les eaux souterraines.

La plaine de chemora située dans la-W. Batna-est-algérien, se caractérise par son climat semi-aride très sévère, avec une forte évapotranspiration, et une salinisation des sols qui commence à prendre de l'ampleur surtout à la partie nord-est est la sécheresse qui perdure depuis plus de deux décennies, combinée à l'absence de possibilité de pompage dans l'oued chemora, a obligé les agriculteurs à utiliser les souterraines comme unique source d'irrigation.

Ce qui nous a amené à traiter la qualité des eaux souterraines pour l'irrigation et prévoir les risques éventuels de dégradation des sols.

Les études suivies dans ce sujet sont les suivantes :

- L'étude morphométrique du sous bassin versant de chemora qui a pour but de caractériser les conditions d'écoulement.
- L'étude géologique qui définit les formations aquifères.
- L'étude hydrogéologique de l'aquifère superficiel.
- L'étude hydrochimique qui a pour but de définir les faciès chimiques des eaux souterraines. Il sera également apprécié la qualité des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation. Et enfin dévaluer le risque de la salinité des eaux souterraines et leur influence à l'irrigation.

Chapitre I :

Présentation

de la zone

d'étude

Présentation de la zone d'étude

I.1-Aperçu géographique :

I.1.1-Situation géographique :

La plaine de Chemora est située au cœur des hautes plaines constantinoises ; à mi-chemin entre les hauteurs du tell Constantinois et celles de l'Aurès .Cette plaine est à Cheval sur les Wilayets de Batna (Communes de Chemora et Boulhilet), Et Oum El Bouaghi (Communes de Ain-Kercha et Boughrara Saoudi). Cette zone se trouve à 54 Km au Nord-Est de la wilaya de Batna, à 108 Km au Sud-Ouest de Constantine et 448 Km au Sud-est d'Alger.

Elle se trouve entre les parallèles 35° 35' N et 35° 50' N et les méridiens 6°30' E et 6° 55' E (Figure I-1).

Cette plaine couvre une superficie de 459 Km² et elle est limitée :

- Au Nord par Djebel Djebel Marhsel, Garaet et Djebel Annk Djemel.
- A l'Est par la Chaîne de Montagnes formée par Djebel Fedjoudj et Merzeklal.
- Au Sud par les Hautes plaines Bateneennes et Djebel Amrane.
- A l'Ouest par Djebel Bouarif (Bourirhsène)

Administrativement, la région de Chemora est limitée:

Au Nord par les communes d'Ouled Zaouai, El-Harmalia, Ain Kercha et Ain Fakroun au Nord-Est (Wilaya d'Oum El- Bouaghi).

- A l'Est par les communes de Ain- zitoune (Wilaya d'Oum el-Bouaghi) et commune de R'Mila (Wilaya de Khenchela).
- Au Sud par les communes d'Oule dfadhel (Toufana) et Timgad.
- A l'Ouest par les communes d'El-Madher et Boumia.



Fig .N°I.1 : Carte de situation géographique

I.1.2 - Habitation :

Les habitants de la région de Chemora sont très dispersés surtout dans les zones éparées et regroupés en agglomérations en 05 sites :

Chef-lieu des Communes ; Chemora, Boulhilet, Boughrara Saoudi et les agglomérations secondaires de Kouachia et Haouadssa.

I.1.3-Agriculture :

La plaine de Chemora est à vocation Agricole. L'occupation prédominante est la Céréaliculture intensive avec une faible activité pour les cultures maraîchères. Cette activité occupe une superficie de 16940 ha, le reste est steppique. Le cheptel représente une part importante de la région, il est détenu en majorité par les privés.

I .1.4-La ressource en eau :

La ressource en eau de la région de Chemora est d'origine souterraine de deux aquifères différents :

- L'un superficiel jusqu'à 50 m de profondeur exploité par plus de 95 puits dont 25% sont utilisés pour A.E.P et l'irrigation et 75% sont utilisés purement pour l'irrigation.
- L'autre profond exploité par plus de 112 forages (de 50m à 250m); dont 15% sont utilisés pour l'A.E.P et 85% sont utilisés pour l'irrigation.

La ressource mobilisable est de l'ordre de : 7.169.000 m³/an.

I.1.5- Climat :

Chemora a un climat continental semi-aride avec des hivers rudes avec des précipitations et des étés secs et chauds. Les températures sont variables d'une saison à l'autre avec des amplitudes parfois très importantes. Les précipitations sont faibles et irrégulières d'une année à une autre. Les vents sont canalisés par les massifs montagneux voisins des Aurès et du Belezma. Le sirocco souffle pendant le mois de mai et dure entre 20 et 40 jours.

I.1.6- Le réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau, affluents, et sous affluents, permanents ou temporaires, par lequel s'écoulent toutes les eaux de ruissellement et convergent vers un seul point de vidange du sous bassin versant (Exutoire).

Les sous bassin de Chemora (Zone Nord) présente un réseau hydrographique très peu développé.

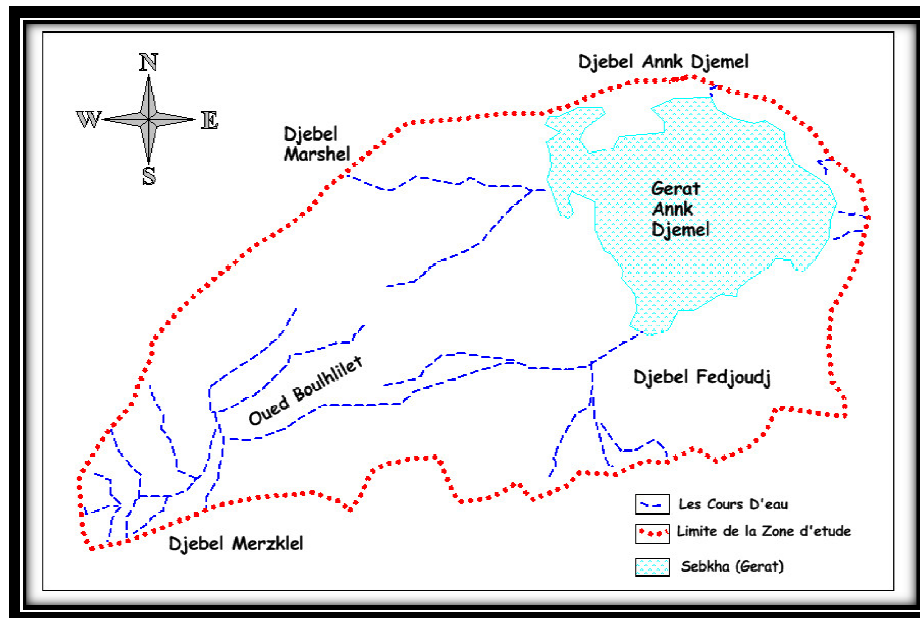


Fig.N° I-2: Réseau hydrographique du bassin de la plaine Nord est de Chemora

I.2- Géomorphologie :

I.2.1 - Description du bassin versant :

Le Bassin versant à une section droite d'un cours d'eau, est défini comme étant la totalité de la surface topographique drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la dite section. Généralement la ligne de partage des eaux correspond à la ligne de crête, on parle alors du bassin versant topographique, toute fois la délimitation topographique nécessaire à la détermination en surface du bassin versant naturel n'est pas suffisante lorsqu'un sol perméable recouvre un substratum imperméable. La division des eaux selon la topographie ne correspond pas toujours à la ligne de partage des eaux souterraines. Le bassin versant est alors

différent du bassin versant délimité strictement à l'aide de la topographie; Il est appelé dans ce cas Bassin versant réel, mais ses limites sont difficilement repérables et l'on admet la plupart du temps qu'ils coïncident avec les limites topographiques. Le bassin versant de la plaine de Chemora fait partie du bassin versant des « Hauts Plateaux Constantinois ». Le secteur d'étude concerne la « Partie Nord » du sous bassin versant de la plaine de Chemora dont les rebords sont constitués par Djebels Hanout Kebir, Djebel Marhsel au Nord, Garaet et Djebel Annk Djemel au Nord-Est, la chaîne de Montagnes de Djebel Fedjoudj et Merzklal à l'Est et Djebel sidi Ahmed Ben Bouzid à l'Ouest. Cette partie de la plaine couvre une superficie de 459 Km² environ planimétrie sur les cartes topographiques de Boulhilet et d'Ain Kercha. Le curvimètre de cette Zone donne un périmètre de 91 km environ.

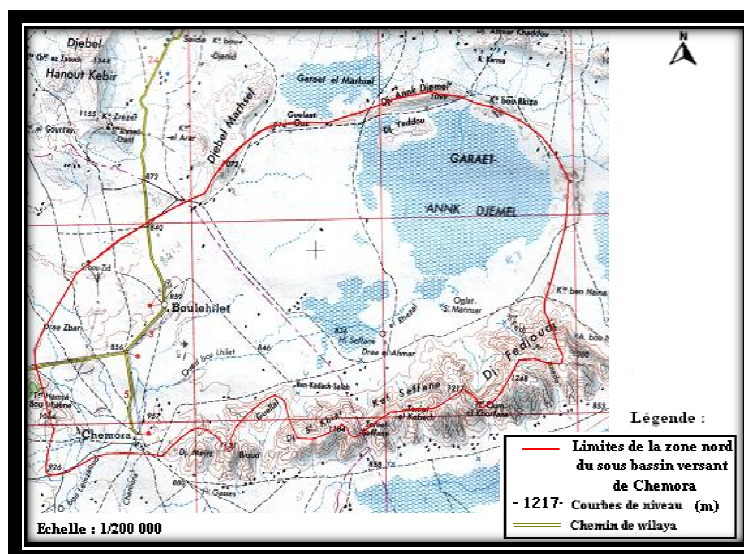


Fig.N° I-3: Carte topographique (zone nord) du sous bassin versant de Chemora extrait de la carte topographique de Batna (feuille NI-32-XIX). Echelle : 1/200 000

I.2.2- Les caractéristiques morphométriques:

Les caractéristiques du sous bassin versant ont été déterminées après sa délimitation sur la carte topographique

a-Superficie (A) : La superficie a été mesurée par un Planimètre, elle est égale à **410 km²**.

b-Périmètre (P) : Le périmètre (P) a été déterminé par un Curvimètre, il est égal à **100 km**

c-Indice de compacité (Kc) : Le temps de concentration des eaux à l'exutoire d'un sous bassin versant est conditionné par la forme de celui-ci. En effet, un bassin de forme allongée ne réagira pas de la même manière qu'un autre de forme plus ramassée.

La forme est exprimée par l'indice de compacité, qui correspond au rapport du périmètre P du sous bassin à celui d'un cercle ayant la même surface.

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \qquad K_c = 0,28 \frac{100}{\sqrt{410}} = 1,38 \dots\dots\dots (I.1)$$

A partir de la valeur de KC, on peut caractériser la forme du sous bassin versant comme suit :

KC ≤ 1 —————> Bassin versant de forme circulaire.

KC = 1,12 —————> Bassin versant de forme carrée.

KC > 1,12 —————> Bassin versant allongé.

Dans notre cas KC > 1,12, la forme du sous bassin versant est donc allongée le temps de concentration sera élevé.

d-Les dimensions du rectangle équivalent :

Cette notion introduite par L. Roche en 1963, permet la comparaison des bassins versant entre eux, quant à l'influence de leurs caractéristiques physiques sur l'écoulement global. Quand l'indice de compacité est supérieur à 1,12. Les dimensions du rectangle équivalent sont obtenues à l'aide des relations suivantes :

$$L = \sqrt{A} \frac{K_c}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(I.2)$$

$$l = \sqrt{A} \frac{K_c}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right]$$

Avec :

L : longueur du rectangle équivalent en Km.

l: largeur du rectangle équivalent en Km.

Kc: indice de compacité.

A : superficie du bassin versant en Km².

Les résultats d'une telle application sont donnés dans le tableau I-1 et figure I-4.

paramètre	Valeurs
A (km2)	410
P (km)	100
Kc	1.38
L (km)	54.17
I (km)	5.68

Tableau .N°I-1: Paramètres géométriques du bassin versant de Chemora Nord-est

E-Courbe hypsométrique:

Pour le bassin versant de Chemora Nord-est, le relief est caractérisé par une variété de formes géomorphologiques plates occupées par la plaine, sebkha et de relief abrupt. Les fréquences altimétriques sont représentées dans le (tableau I-2) et par la courbe hypsométrique correspondante (Fig. I-5). On remarque que l'altitude supérieure à 1100 m du secteur d'étude ne représente que 9,60 km², soit 3,1% de la surface totale, la tranche d'altitude comprise entre 1100 m et 950 m est très peu étendue, et ne représente que 54,11

km², soit environ 17,6% de la surface totale du sous bassin versant tandis que la tranche d'altitude comprise entre 950 m et 800 m couvre presque la totalité du bassin versant, avec 244,29 km² de la 79,3% de la superficie totale.

Tranches d'altitude (m)	Surface partielle Ai		Surface cumulée Ai		Ai . Hi
	Ai en km ²	Ai en%	Ai en km ²	Ai en%	
1250-1200	1.50	0.4	1.50	0.4	1482.25
1200-1150	3.20	0.8	4.70	1.2	4371
1150-1100	7.51	1.9	12.21	3.1	10800
1100-1050	8.88	2.6	21.09	5.7	18941.5
1050-1000	27.60	6.2	48.69	11.9	37556
1000-950	34.07	8.8	82.76	20.7	62117.25
950-900	42.30	12	125.30	32.7	93203
900-850	72.60	15.3	197.66	48	129342.5
850-834	212.67	52	410	100	259336
/	410 km ²	100 %	/	/	617149.5

Tableau .N°I-2: Répartition de l'altitude en fonction de la superficie.

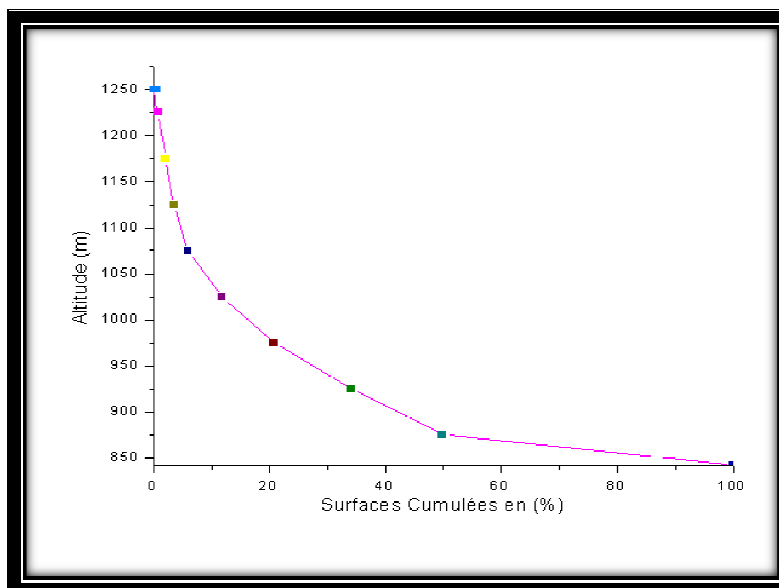


Fig .N° I-4: Courbe hypsométrique

*-Altitudes caractéristiques :

La courbe hypsométrique (Figure I-5) permet de déterminer les valeurs caractéristiques suivantes:

Altitude maximale (Hmax): l'altitude la plus élevée est de l'ordre de 1250 m.

Altitude minimale (Hmin): l'altitude minimale est de l'ordre de 834 m.

Altitude moyenne (Hmoy): la valeur de l'altitude moyenne du sous bassin versant peut être calculée par la formule suivante :

$$\text{Avec : } H_{\text{moy}} = \frac{\sum A_i \times H_i}{A_t} \dots\dots\dots(I.3)$$

Hi : altitude moyenne de chaque classe d'altitude en mètre.

Ai : surface partielle des tranches d'altitude en km².

At : surface totale du sous bassin en km², ce qui ne permet d'avoir une

H moy = 898 m.

L'altitude médiane H 50% correspond à 50% de l'altitude sur la courbe hypsométrique soit : H 50% = 870m.

Comparant l'altitude moyenne à l'altitude médiane H moy > H 50% ce qui montre une dissymétrie des altitudes à l'échelle du sous bassin versant.

*-Dénivelée simple (D) :

Sur la courbe hypsométrique tracée, on prend la distance verticale en (m), qui sépare les altitudes ayant 5% et 95% de surface totale du sou bassin versant, la dénivelée simple est donc égale à :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1070 - 840 = 230 \text{ m} \dots\dots\dots (I.4)$$

F-Les indices des pentes :

*-Indice de pente globale (Ig) :

L'indice de pente globale est déterminé à partir de la courbe hypsométrique en éliminant les valeurs extrêmes, de manière à ne garder que 90% de l'aire du sou bassin. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L} \dots\dots\dots (I.5)$$

Avec :

D : dénivelée simple en (m).

L : longueur du rectangle équivalent (km).

Ig : Indice de pente globale, d'où Ig = 5.81 m/ km.

***-Indice de pente de Roche (Ip) :**

L'indice de pente de roche est calculé par les formules suivantes :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i d_i} \quad \text{Ou } I_p = \sqrt{08 / I_g} \dots\dots\dots(I.6)$$

Avec :

Ig : Indice de pente globale.

Ip : Indice de pente de roche.

L : longueur du rectangle équivalent.

Ai : surface partielle entre deux courbes de niveau par rapport au totale. $\sum A_i$

bi : l'équidistance entre deux courbe de niveaux.

Nous obtenons alors :

$$I_p = 1.173 \text{ m/km}$$

***-Dénivelée spécifique (Ds) :**

L'indice Ig décroît pour un même bassin, lorsque la surface augmente, il est donc difficile de comparer des bassins de taille différente, d'où la nécessité de l'introduction de la notion de dénivelée spécifique calculée à l'aide de la formule suivante :

$$D_s = \frac{D}{L} \sqrt{A} \dots\dots\dots(I.7)$$

$$\text{Donc : } D_s = 7.95\sqrt{410} = 117.84m$$

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer), la dénivelée spécifique du bassin de Chemora se trouve dans la classe R5 : caractérisée par un relief assez fort (Tableau I-3).

R1	Relief très faible	05 <Ds< 10m
R2	Relief faible	10 <Ds< 25m
R3	Relief assez faible	25 <Ds< 50m
R4	Relief modéré	50 <Ds< 100m
R5	Relief assez fort	100 <Ds< 250m
R6	Relief fort	250 <Ds< 500m
R7	Relief très fort	500 <Ds< 750m

Tableau .N°I-3: Classification de l'ORSTOM

I.3-Les caractéristiques du réseau hydrographique :

a-Densité de drainage (Dd) :

La densité de drainage peut donner un aperçu sur la lithologie du bassin versant et permet de comparer l'écoulement superficiel au niveau de plusieurs bassins. Elle est donnée par la relation suivante :

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{A} (km / km^2) \dots\dots\dots (I.8)$$

Li : longueur des talwegs (en km) et A : la superficie du bassin (en km²).

D'où Dd = 0.53 km/ km².

b-Temps de concentration (Tc) :

Le temps de concentration est défini comme étant la durée que met une goutte d'eau qui tombe dans le point le plus éloigné du bassin versant, pour atteindre l'exutoire. Il est exprimé par la formule de Crandotti qui a la forme suivante :

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.54}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \dots\dots\dots (I.9)$$

Avec :

A : Superficie du sous bassin = 410 km².

L_p : longueur du talweg principale = 17,8 km.

H_{moy} : Altitude moyenne = 894 m.

H_{min} : Altitude minimale = 840 m.

Nous Obtenons alors : T_c = 14,03 heures

C-Vitesse d'écoulement de l'eau (V_c) :

Elle est donnée par l'expression suivante:

$$V_c = \frac{L}{T_c} \dots\dots\dots (I. 10)$$

Avec :

V_c : Vitesse d'écoulement de l'eau en m/s.

L_p : Longueur du talweg principal : 17,8 km = 17800 m.

T_c : temps de concentration : 13,63 heures = 49068 s.

Donc :

$$V_c = \frac{17800}{50508} = 0.35 \text{ m/s}$$

Les paramètres morphométriques du sous bassin versant de la (zone Nord) de Chemora sont reportés dans le tableau I-4 :

N° d'ordre	Caractéristiques	Symboles	Valeur
1	Superficie du bassin (km ²)	A	410
2	Périmètre (km)	P	100
3	Indice de compacité	Kc	1,19
4	Longueur du rectangle équivalent (km)	L	30,45
5	Largeur du rectangle équivalent (km)	I	15,07
6	Altitude maximale (m)	H max	1250
7	Altitude minimale (m)	Hmin	840
8	Altitude moyenne	H moy	894
9	Altitude médiane (m)	H ½	870
10	Dénivelée simple (m)	D	230
11	Indice de pente globale (m/km)	Ig	5.81
12	Indice de pente de Roche	Ip	1.73
13	Dénivelée spécifique (m)	Ds	117.84
14	Densité de drainage (km/km ²)	Dd	0.53
15	Temps de concentration (heures)	Tc	14.03
16	Vitesse d'écoulement d'eau (m/s)	Vc	0,35

Tableau .N°I-4 : Récapitulatif des paramètres morphométriques.

I.3- Conclusion:

La Zone Nord-est de la plaine de Chemora se présente sous forme d'un sous bassin versant allongé. L'analyse morphométrique a permis de voir que le réseau hydrographique est très peu développé et les indices de pente et de compacité permettent de dire que les eaux du sous bassin versant tendent à ruisseler plutôt que de s'infiltrer. Ceci aura des percussions sur le plan hydrologique.

Chapitre II :

Etude
géologique

Etude géologique

II.1-Introduction

la géologie C'est un ensemble géographique complexe qui regroupe des bassins sédimentaires, des massifs autochtones allant du paléozoïque au cénozoïque et des terrains allochtones constitués essentiellement de sédiments crétacés et paléogènes .

L'étude géologique nous permettons d'identifier les formations perméables détritiques et les informations résistantes fissurées ou karstique susceptibles d'être aquifères, ainsi que les formations imperméable qui constituent soit le toit, soit le substratum de ces informations ; leurs épaisseurs, et leurs étendues. L'étude tectonique nous renseigne sur la géométrie des différents aquifères de la région. Les familles de failles entraînant la formation de fossés d'effondrement ou de soulèvement modifient ainsi la géométrie des couches qui va caractériser chaque type de nappe et permettent la communication probable entre les aquifères.

Aperçu sur la géologie de la zone d'étude :

Le bassin versant de la région de Chemora est situé au cœur des hautes plaines constantinoises, entre les hauteurs du tell constantinois et celles des Aurès avec :

- Au Nord l'anticlinale du Djebel Fdjoudj qui s'étend de l'Est à l'Ouest.
- Au sud l'Anticlinale du Djebel Amrane.

Lagéologie montre que ces ensembles appartiennent à une même chaîne, formée par desbicarbonates et de calcaire gréseux vert à l'Ouest et par les marnes au Nord.

Entre le Nord et le Sud se trouve des terrains plats (terrain agricole), l'Est présente le relief montagneux (DjebelMerzklal et DjebelFedjoudj). Au centre de la plaine se trouve un sol salé sebkha (greatannkdjemel). Cette zone est traversée par un cours d'eau (oued boughilet et oued chemora).

Les terrains les plus anciens qui affleurent dans le secteur sont attribués au Crétacé (Djebel Fedjoudj et DjbelAnnkdjemel) et sebkha, et les plus récentes Quaternaire (terrain agricole).

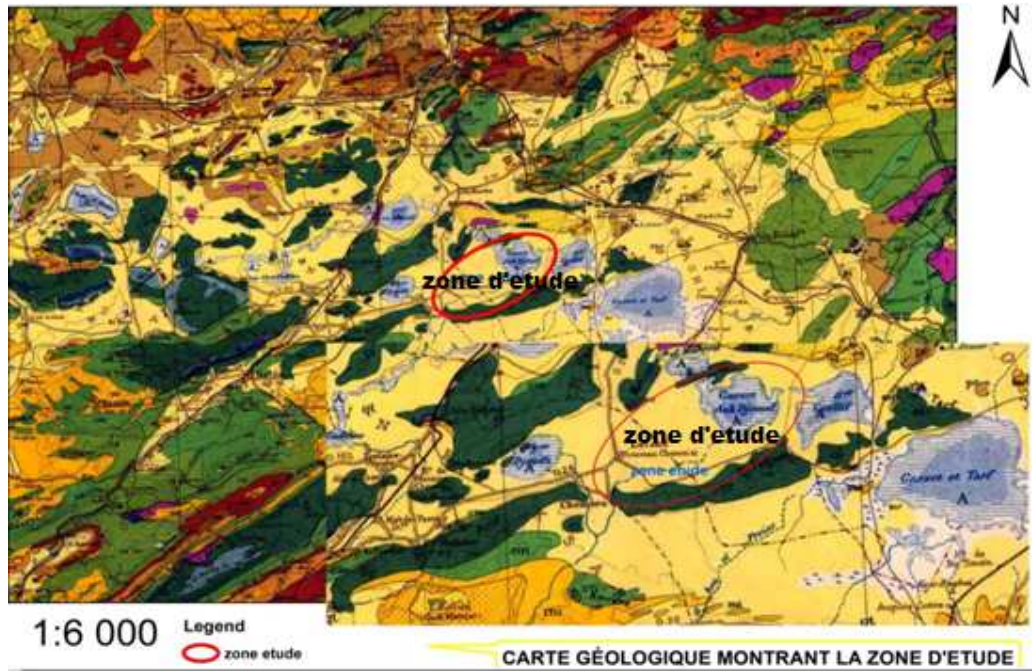


Fig.N°II.1: carte géologique montrant la Zone d'étude

La carte géologique de batna qui a été publiée en 1977 et englobe les travaux d'exploration réalisé dans la région de chemora qui ont abouti à la description suivante Fig N° 1 :

Féfigure	Les formation
A	Sols salés anciens (sebkha, Garaets)
C ₁	Grés et marnes rouges, verts
C ₂	Calcaires, dolomies , marnes, grés
Q _c	Cailloutis ,éboulis
Q _d	Dunes

II.2- litho stratigraphie :

- Au Nord par djebel hanoun kebir et djebel Marhsel .
- Au Sud par la chaine de Montagne formée par Djebel Fedjoudj.
- A l'Est par Djebel Ank Djemel, les plaines Sud de Ain fekroun et Granet Guellif .
- A l'Ouest par Djebel Bouarif (Bourirhsène-1064m) et Djebel Sidi Ahmed Ben Bouzid (907).

- Litho stratigraphie :

La partie stratigraphique de la zone d'étude présente des domaines géologiques où le quaternaire couvre la majorité de la plaine de chemora, les formation carbonatés affleurent au

Djebel Merzkelel, Djebel fedjoudj Bourhsene, selon les sondages qui traversent cette morphologie , on discerne un domaine très karstique et caverneude d'age Aptien et Barrémien de prés de 1100 m d'épaisseur avec des faciès comparables à ceux qui sont connus au Nord (feuille d'Ain kercha) ou plus à l'Ouest (feuille d'Ain El-ksar) et le Neomien dont l'extreme base n'a pas été atteinte et développée sur plus 1300 m d'épaisseur , lui aussi montre un net épaissement par rapport à la série du ravin bleu (feuille de Merouana).

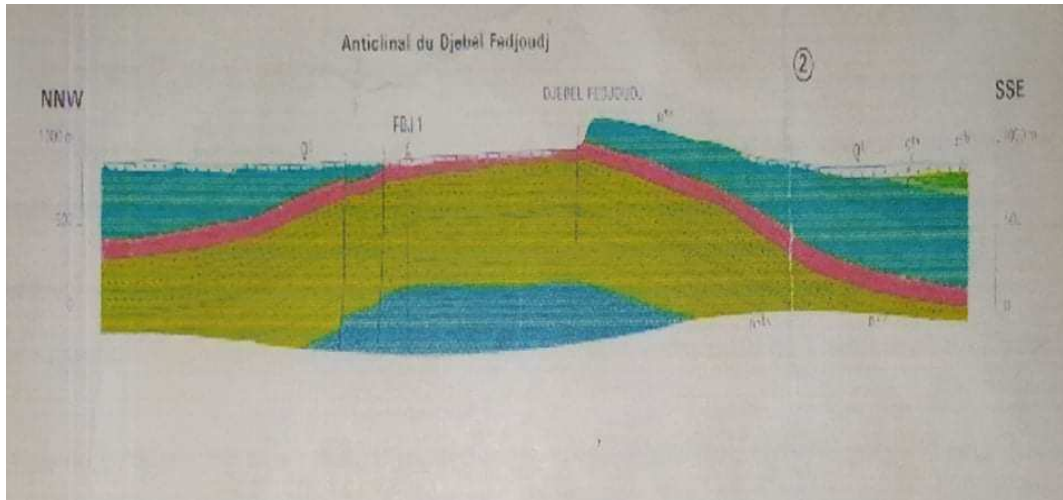
L'analyse litho stratigraphie ci-après est inspirée de travaux antérieurs, et des notices explicatives des cartes géologiques suivantes 1/50.000(fig N° II.2)

- Ain El Ksar.
- Ain Kercha.
- Ain Yahout.
- Boulhilet .

II.2.1- Les formation Quaternaire :

- {S} Sebkha sur le bord nord de la partie nord de la région de chemora, il s'agit des prolongements médiaux des Garaet Annk Djamel et Guelif.
- {e} Eboulis : les éboilis longent le relief du Djebel fedjouj ,il sont donc uniquement alimentés par l'Aptien calcaire .
- {A} alluvions actuelle et récentes : les alluvions actuelle et récentes sont localisées d'une part au Nord et à l'Ouest du djebel fedjoudj le long des vallées, de l'Oued de chemora et de l'Oued boulhilet.

- {Q} Terres Arables, Limons Ariens et Quaternaires Indéterminé : Elles correspondent aux vastes plates cultivables, ce sont des limons sombres sur lesquels se développe un sol brun .
- {Q^t} Glacis polygéniques Nappant le reliefs : Ces glacis couvrent de très vastes surfaces, leur organisation en pente douce est tout à fait caractéristique.



Légende :

Echelle : 1/50.000

Figuré	Les formations
Q	Terres arables, limons anciens et Quaternaire indéterminé.
n ⁶	Albien : Argiles, marnes et grés ferrugineux.
n ⁵	Aptien : Calcaires à Miliolides et Orbitolines.
n ^{5a}	Aptien Marneux .
n ⁴	Barrémien (n ⁴) .

Fig.N° II.2 : Coupe géologique interprétative : Anticlinal du Djebel Fedjoudj-
 échelle : 1 /50000 (source carte géologique de l'Algérie-boulhilet(Ex Lutaud))

II.2.2-{Q} Formation dunaires (lunettes) :

Ce sont des agglomérats de poussières et de sables fins localisés autour des Sebka, actuellement corrodés par l'érosion.

Crétacé :

Les couches du Crétacé supérieur correspondent au versant nord de l'anticlinal du Djebel Amrane.

- {n^{5b}} Aptien calcaire à miliolidés et orbitolines et rares intercalations dolomitiques :

C'est l'aptien calcaire qui forme l'essentiel de l' anticlinal de Djebel fadjouj .Cette série atteint 175 m d'épaisseur et correspond à une succession assez monotone de calcaires sparitiques ou oulithiques sombres en bancs métriques, de minces bancs marneux gris, de petits bancs de calcaire noduleux à débits de rudistes et à orbitalines.

- {n^{5a}} Aptien marneux :

L'aptien marneux apparaît seulement dans la moitié Est de Djebel Fedjouj dans les criques que l'érosion a aménagé dans la voute anticlinale de celui-ci, 75 m de série affleurent mal sous les éboulis, ce sont des marnes : grises ou beiges avec 4 minces intercalation de calcaire zogène en bancs décimétriques ou métriques beiges, noduleux à nombreux débris de lamellibranches, de brachiopodes et à orbitales et à miloles.

A la base de cet ensemble marneux quelques bancs de grés ferrugineux appartiennent peut-être déjà au barrémien terminal et sont visibles sur quelques mètres.

- {n^{4d}} Barrémien supérieur à dominante gréseuse :

Ce type de formation affleure à Sidi Bouzid sur le bord nord-Ouest de la feuille et près de Bouirhsène dans la voute de l'anticlinal de Djebel Bou Arif. Aucun fossile n'a été découvert leur faciès est identique à celui des couches bien datées du djebel Bou Arif (Feuille de Ain Elksar) ou de Djebel Hanout Kebir (feuille Ain Kercha). 80 m de la série sont visibles.

II.3- Tectonique et paléogéographie :

II.3.1-Evolution paléogéographique : la zone d'étude appartient au vaste ensemble structural des hautes plaines constantinoises, entre les hauteurs du tell constantinois et celles des Aurés correspondant à un bassin fermé de reliefs fortement accidentés et tectanisés.

II.3.2-Aperçu tectonique : l'analyse cartographique et les reconnaissances sismiques montrent que la structure de la zone d'étude est simple. Deux grands anticlinaux sont visibles du Nord vers le Sud : l'anticlinal du Djebel Fadjouj et celui de Djebel Amrane (Fig. N° II .3) .

Leurs pentes restent faibles sauf sur le versant Sud . En replaçant ces structures dans un cadre plus vaste et en étudiant la disposition des axes, on peut aisément se rendre compte du rôle de la fracturation Alpine, en dehors de quelques fractures à faible rejet vertical, le résultat essentiel est dû à des décrochements régulièrement dextres qui disposent l'axe du Djebel Fadjouj en une vaste courbe à convexité nord à l'Ouest et à concavité nord plus à l'Est, pratiquement au milieu de la feuille de Boulhilet, Les dimensions et le dispositif structural sont ceux du pli plus occidental de Ras El Aioun, à la bordure Nord du Hodna , Le même dispositif existe plus au Nord, encore plus accusé plus accusé sur la feuille d'Ain-kercha.

L'Anticlinal du djebel Fadjouj est donc un pli embouti par le serrage alpin postérieur à la tectonique plicative atlasique fini-éocène .

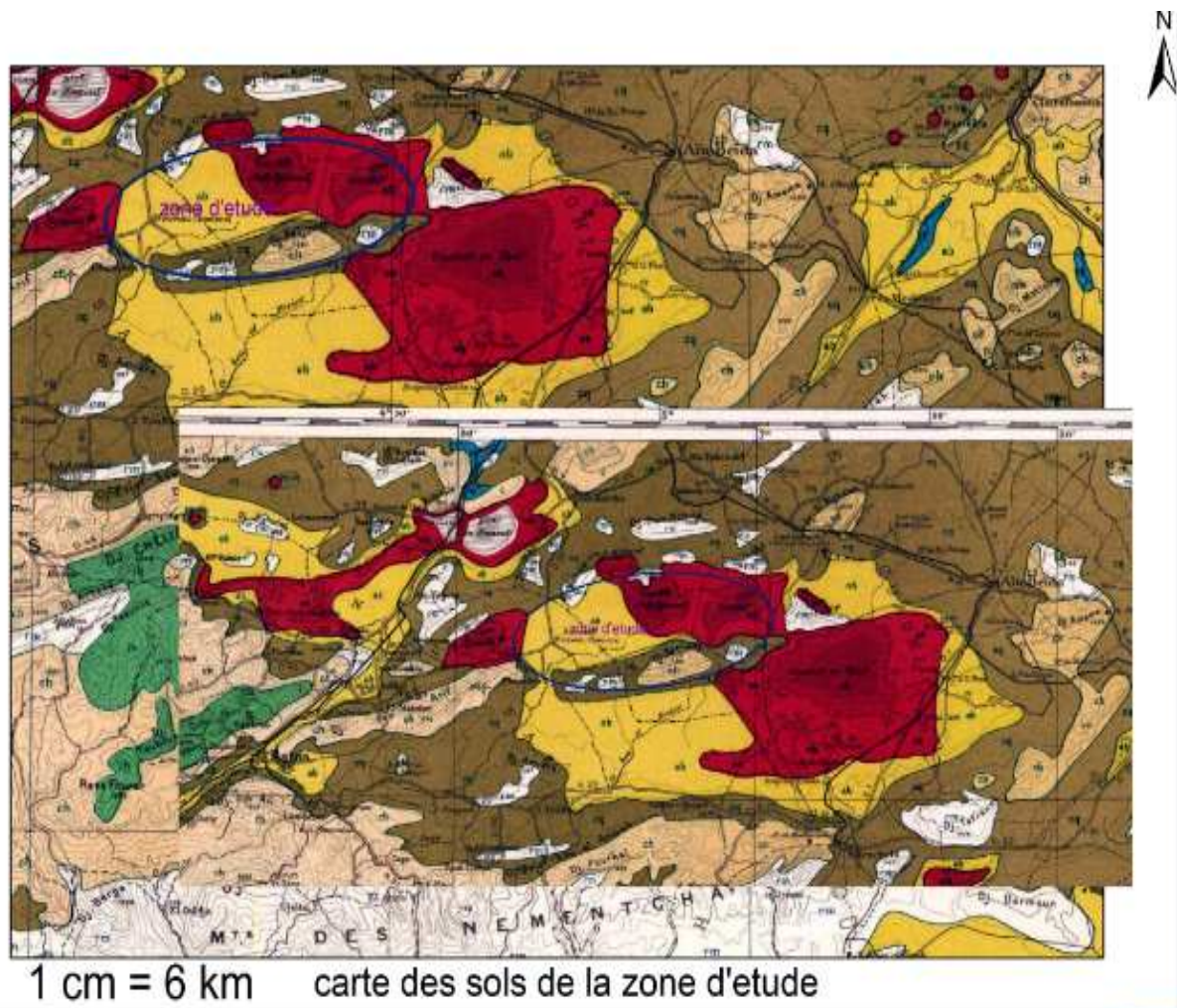


Fig.N° II.3 : Carte représente les sols du piémont Nord-Est des Aurès

II.4-Caractéristiques lithologiques du sous bassin versant :

Les descriptions lithologiques sont inspirée en grande partie de la notice explicative des cartes géologique au 1cm= 6 km de Ain el ksar, Boulhilet, Ain-Yagout et Ain-kercha.

Les formations quaternaires occupent 52% de la surface et s'étendent sur les zones de faible pente où s'effectue le dépôt de charge solide arrachée aux versant.

Quand aux formation gréseuses, elles occupent 24% de la surface, et affleurent Principalement dans les secteurs de Koudiar Medouar et djebel Bou- Arif , les argiles siliceuses associés aux grés, caractérisant les reliefs de tagratine occupent 11% de la surface .

Les masses à alternance de calcaire et de marne, affleurent au Nord de Djebel Bou-Arif et les flans Ouest de Djebel Amrane , cette série occupe 10% de la surface du bassin de chemora. Les les formations à dominance calcaire du Crétacé inférieur , qui affleurent Djebel Bou-Arif Djebel Fedjoudj , occupent une surface de 3% de la surface totale.

II.4.1-classification des formation géologiques selon leurs intérêts hydrogéologique :

La Classification des formations géologiques du sou bassin en question et basée sur la structure physique des roches (porosité), donc de leur susceptibilité d'emmagasiner de transmettre de l'eau.

Nous avons classé ces terrains ces trois catégorien, les terrains aquifères à fortes potentialités , les terrains à faible potentialité et les terrains imperméables.

Tableaux N° II.1 : Répartition des terrains selon leur degré de potentialité – ANRH- :

Terrains	Superficie (km²)	Superficie(%)
Terrains aquifères à forte potentialité (1)	133	29
Terrains aquifères à faible potentialité (2)	184	40
Terrains imperméables (3)	142	31

II.5-Conclusion :

Dans la zone chemora , identifier les réservoirs pour l'étude géologique . nous avons observé dans le sous bassin qui fournit les conditions pour l'accumulation d'eau souterraine, et que les bords forment des barres carbonatées , calcaire et les dolomites.

La détermination des différents endroits favorable à l'implantation des forages est basée sur une bonne connaissance de la géologie locale et formations géologiques susceptibles d'être aquifères de la zone d'étude.

Après l'étude de la région on a constaté que la région est divisée dans deux ères :Crétacéet Quaternaire :

Les formations principales sont celles du Quaternaire et du Crétacé représentées par l'Aptien et le Barrémien. Comme les argiles et les marnes gréseuses localisées dans la partie Sud de la Zone d'étude et les formations de calcaires sont assez peu représentées à Djebel Fedjoudj.

Chapitre III :

Etude
hydrogéologique

Etude hydrogéologique

III.1- Introduction

L'hydrogéologie est une branche de la géologie appliquée à l'étude, exploitation et planification des ressources en eau. Pour cela, la géologie est importante pour le domaine de l'hydraulique.

-Aperçu sur l'hydrogéologie de la zone d'étude :

La géologie de la région comporte trois (03) aquifères :

- Un aquifère superficiel se trouvant dans les formations du Quaternaire .
- Un aquifère profond dans les formations calcaro-dolomitiques fissurées exploité à l'aide de forages profonds .
- Un aquifère dans les formations crétacé qui affleurent au piedmont Nord –Est de Djebel Fedjoudj et s'étend vers Gareat Annk Djemel.

Dans cette étude on s'intéressera au comportement hydrodynamique de la nappe superficielle du Quaternaire et on étudiera principalement : La piézométrie durant la période de Mars 2017.

III.2- Etendue de la nappe superficielle:

La nappe en question va jusqu'à 80 m de profondeur dans les formations du Quaternaire, Elle est constituée essentiellement d'alluvions récentes et anciennes cette nappe considérée Alluviale est au contact avec les formations calcaires.

III.3 -Inventaire des points d'eau:

On a pu inventorier 20 points d'eau (Forages) pour la nappe superficielle. Les données Piézométriques ont été consignées dans le (Tableau N°.III.1).

**Tableau N° .III.1: Inventaire des points d'eau pour la nappe superficielle
(Période 2017)**

points d'eau	X (km)	Y (km)	NP (m)	Points d'eau	X (km)	Y (km)	NP (m)
1	294,206	3947,078	889	11	280,601	3941,339	917
2	289,899	3947,155	887	12	281,957	3948,370	888
3	290,602	3945,606	875	13	284,286	3945,613	880
4	288,959	3945,010	876	14	285,877	3948,518	863
5	289,085	3942,295	886	15	288,618	3952,151	851
6	286,891	3944,041	876	16	295,513	3951,806	848
7	286,946	3943,336	883	17	298,621	3951,806	845
8	287,796	3940,975	912	18	301,658	3953,815	853
9	285,677	3942,315	898	19	302,467	3955,467	849
10	285,329	3943,139	892	20	304,615	3956,131	846

III.4-Etude de l'aquifère superficiel :

III.4.1-Caractéristique des points d'eau:

Les point d'eau retenus sont répartis d'une manière inégale a travers la zone d'étude ils sont des forges de profondeur allant jusqu'à 80 m dans les formations Quaternaire destinés essentiellement à l'irrigation des cultures saisonnières et secondairement à l'alimentation en eau potable du fait que les habitants sont alimentés en eau potable à partir d'un réseau communal.

a-Etude piézométrique:

Afin d'étude le comportement de la nappe superficielle du Quaternaire de la plaine de Chemora on effectué des mesures de niveau d'eau aux points d'eau désignés.

Les niveaux piézométriques mesurés ont permis de tracer la carte piézométrique (FigN° .III.1).

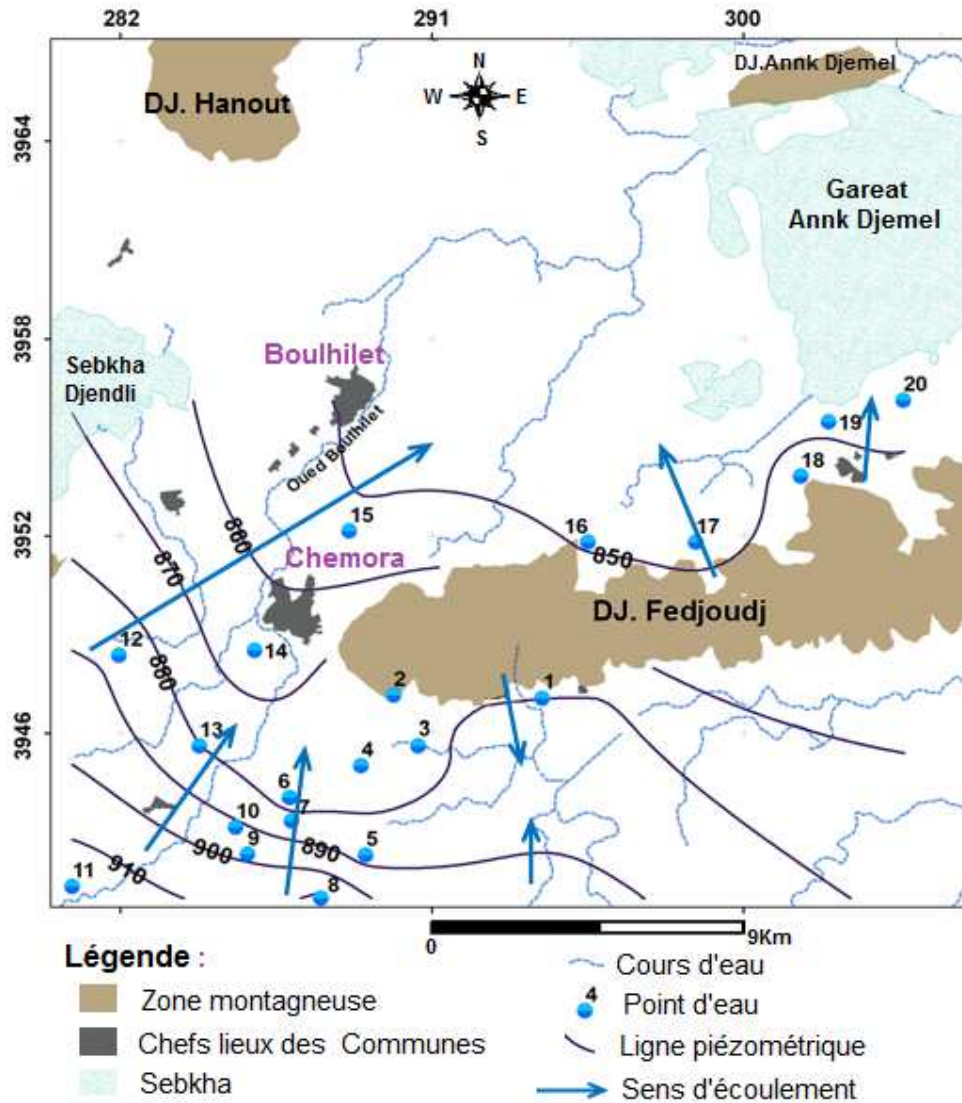


Fig N°.III.1 : Carte piézométrique

b-Interprétation de la carte piézométrique:

L'observation de la carte piézométrique (Fig N° .III.01) permet d'analyser le comportement

Hydrodynamique de la nappe superficielle. La carte piézométrique montre une morphologie de quatre zones:

Zone Sud-ouest : les courbes sont serrées, l'écoulement est de Sud-ouest des massifs d'Amrane et Bouarif vers le Nord-est de la zone d'étude suivant l'axe d'écoulement de l'oued de Chemora- Boulhilet.

Zone Sud : On constate un écoulement du centre à partir des massifs de Fedjoudj vers le Sud.

Zone Centre : Les courbes sont moins serrées caractérisées par deux axes d'écoulement à partir des massifs de Fedjoudj; le premier du centre au Sud et le deuxième de direction S-N.

Zone Est : L'écoulement se fait selon la direction S- NE vers une zone de dépression (Garaet Ank Djemel).

III.4.2- Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique est peu variable au centre de la plaine, il présente une valeur moyenne de l'ordre de 0.018 à l'Ouest et au Sud. Les valeurs importantes sont enregistrées près des reliefs calcaires de 0.4 à 0.6 au Nord-est, ceci explique que les massifs entourant la plaine correspondent à des zones d'alimentation de la nappe c'est-à-dire que l'écoulement est plus important et il est remarquable lors de pompage le niveau d'eau ne s'abaisse pas beaucoup et récupérable après peu du temps.

III.5- conclusion :

L'analyse de la carte piézométrique de notre zone d'étude montre:

Les zones correspondantes à des horizons à fort écoulement avec les directions de l'écoulement de S-N, SO-NE et N-S, les eaux convergent vers le centre de la plaine, ainsi l'alimentation de l'aquifère superficiel se fait à partir des massifs qui bordent la plaine où les axes d'écoulement prennent naissance et se dirigent vers la dépression. Pour Garaet Ank Djemel, elle présente une zone d'alimentation ce qui influe sur la qualité des eaux souterraines. Les valeurs du gradient hydraulique sont peu variables dans la même direction de l'écoulement, avec une valeur moyenne de 18‰ à l'Ouest et au Sud, et de 1‰ au centre de la Plaine.

Chapitre IV :

Etude

hydrochimique

IV- Etude Hydrochimique et Evaluation de la Salinité des Eaux Souterraines

IV.1- Introduction

La salinisation des sols et des eaux reste un problème éminent surtout dans les zones arides et semi aride. L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium sur le milieu adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'étouffement des plantes. L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage. Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie (A. Douaoui et T. Hartani, 2007 ; S. Bouhlassa et al., 2008 ; A.E.K. Rouabhia et L. Djabri, 2010).

La zone Nord-est de la plaine de Chemora se caractérise par son climat semi-aride très sévère, avec une forte évapotranspiration, et une salinisation des sols qui commence à prendre de l'ampleur. La sécheresse qui dure depuis plus de deux décennies, aggravée par le pompage intense des eaux souterraines dont l'absence de d'autres sources d'irrigation.

Ce ci nous a amené à entreprendre cette approche sur les analyses et l'interprétation des données chimiques effectuées pendant la période de Mars 2017 par des méthodes graphiques et statistiques en utilisant des supports informatiques « Logiciels » tels que : Mapinfo, Surfer, Diagrammes, XLstat 2016,...etc. Ces techniques permettent de déterminer:

- La répartition Spatiale et quantitative des éléments majeurs.
- les principaux faciès chimiques des eaux et leurs origines géologiques.
- Classifier et évaluer la qualité des eaux pour la potabilité et leur aptitude à l'irrigation.

IV.2-Echantillonnage des eaux et Analyses au laboratoire :

Vingt (20) échantillons prélevés au niveau de 20 forages durant la période de Mars 2017, qui font l'objet d'une étude de la qualité des eaux souterraines de la plaine de Chemora (Fig. N°IV.1).

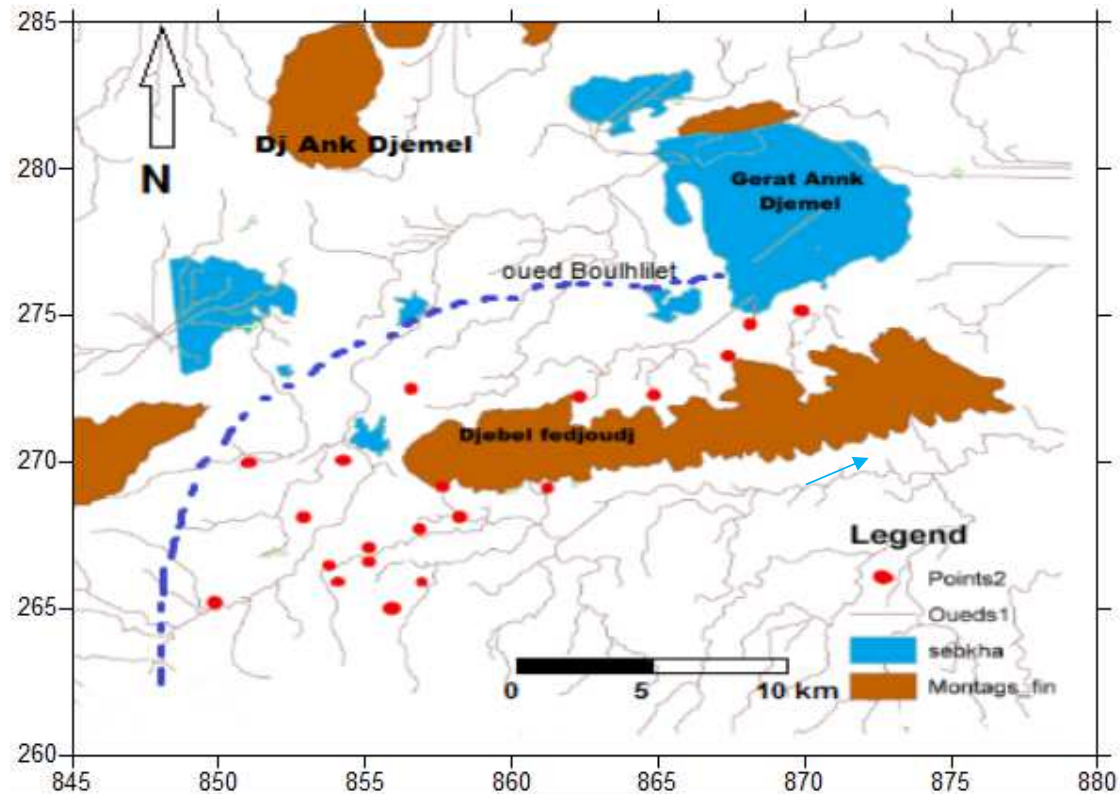


Fig. N°IV.1: Carte des points d'eau analysés

IV.3-Etude et évaluation de la qualité des eaux :

IV.3.1- Paramètres ayant fait l'objet de limite de qualité :

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de chimie au département des sciences de la terre de l'université de Constantine.

Les paramètres sont classés en deux grandes catégories :

- ✓ Paramètres physiques : T (C°), pH, conductivité électrique, DHT et TAC
- ✓ Paramètres chimiques : ont porté sur le dosage :
 - Des cations : Mg^{++} , Ca^{++} , Na^+ et K^+
 - Des anions: Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- et NO_2^-

IV.3.1.1- Fiabilité des résultats mesurés au laboratoire :

Le contrôle du bilan ionique (BI) donne une valeur inférieure à 10%, ce qui atteste la bonne qualité des résultats obtenus.

$$B_i = \frac{\sum Cation(meq/l) - \sum Anion(meq/l)}{\sum Cation(meq/l) + \sum Anion(meq/l)} \times 100$$

a- Etude des paramètres physiques:

* - Température :

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz. Elle est directement liée à la profondeur de l'aquifère, s'il est très profond les eaux sont influencées par le gradient géothermique, s'il est peu profond, seule la variation atmosphérique particulièrement le changement saisonnier de la température de l'air qui influence le chimisme de l'eau.

La température des eaux souterraines de la nappe superficielle a été mesurée in-situ à l'aide d'un thermomètre.

La variation de la température a été représentée dans le tableau suivant :

Tableau N°IV.1 : Valeurs statistiques de la température durant la période Mars 2017

Paramètres statistiques	Minimum	moyenne	maximum	Ecart type	Cv
Périodes	°C	°C	°C		
Température	19.20	19.55	19.90	0.14	0.0071
Norme de potabilité	T ≤ 25°C				

On remarque les valeurs de la température mesurées au laboratoire ne dépassent pas la norme de l'OMS (T ≤ 25°C).

* - Le Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH représente l'acidité ou l'alcalinité du milieu. A partir des résultats obtenus (tableau N° IV. 2) on constate que les eaux de la nappe souterraine ont un pH qui varie entre **6.7** et **7.6**. Les valeurs du pH mesurées aux différents points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité fixée par l'OMS (**6.5 - 9.2**).

Tableau N°.IV.2 : Valeurs statistiques du pH

Paramètres statistiques	Minimum	moyenne	maximum	Ecart type	Cv
Périodes					
Ph	6.7	7.17	7.6	0.3	0.041

L'examen de la carte du pH (Fig. N°.IV. 2) montre que les valeurs élevées caractérisent les eaux des parties Nord-est et Sud-est de la zone d'étude.

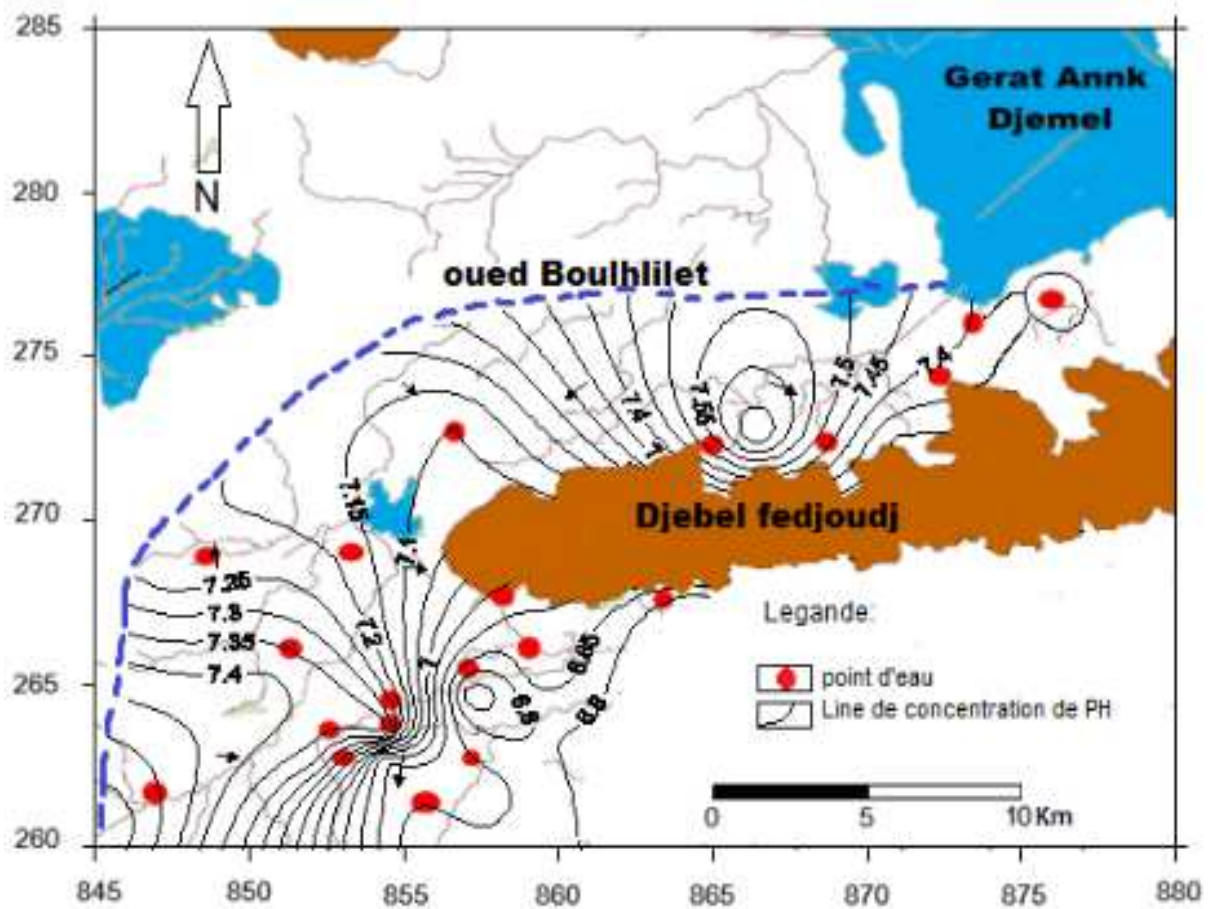


Fig. N°.IV. 2: Carte des PH

*-La Conductivité électrique (CE) :

La conductivité d'une eau augmente avec sa teneur en sels dissous, elle permet donc une estimation de la minéralisation. L'analyse des résultats statistiques du tableau N°.IV.3 montre des valeurs très élevées avec une valeur maximale atteinte 10120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ce qui traduit la salinité des eaux de la zone d'étude.

Tableau N°.IV.3 : Valeurs statistiques de la conductivité électrique

Périodes	Paramètres statistiques	Minimum	moyenne	Maximum	Ecart type	Cv
		$\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{S}/\text{cm}$		
2017		1010.000	3998	10120	1709.8	0.42
Norme de l'OMS $\leq 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$						

Le tableau N°3 montre que la majorité des eaux de la plaine de Chemora pour cette période sont plus conductrices donc plus minéralisés ($C_E > 3000 \mu\text{S} / \text{cm}$).

Tableau N°IV.4:Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité

Conductivité	Degré de	pourcentage des points d'eau
$\mu\text{S}/\text{cm}$ à T = 250C	Minéralisation	(%)
< 45	Très faible	/
450 – 750	Faible	/
750 – 1500	Moyen	5
1500 – 2300	Moyennement élevée	10
2300 – 3000	Elevée	25
> 3000	Très élevée	60

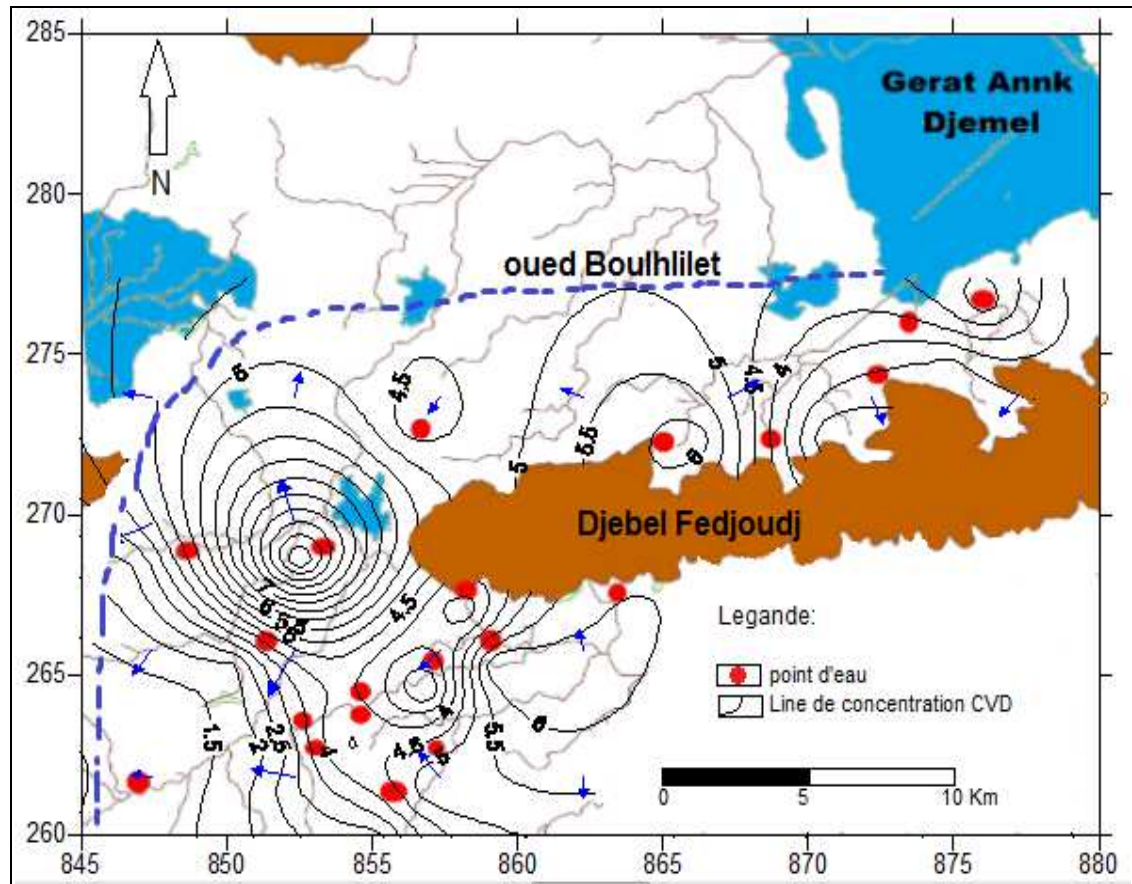


Fig. N°IV.3: Carte des conductivités

B- Etude des paramètres chimiques

* - Détermination et répartition des faciès chimiques :

Le faciès chimique a été déterminé à l'aide du diagramme de Piper et celui de Schoeller-Berkaloff.

Les résultats des analyses chimiques de cette campagne a été reporté sur le diagramme de piper (Fig.N°.IV.04) ; ce qui permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines.

Le diagramme de Piper montre que les eaux présentent une seule famille caractérisée par un faciès global: **Chlorurée et sulfatée calcique à magnésien.**

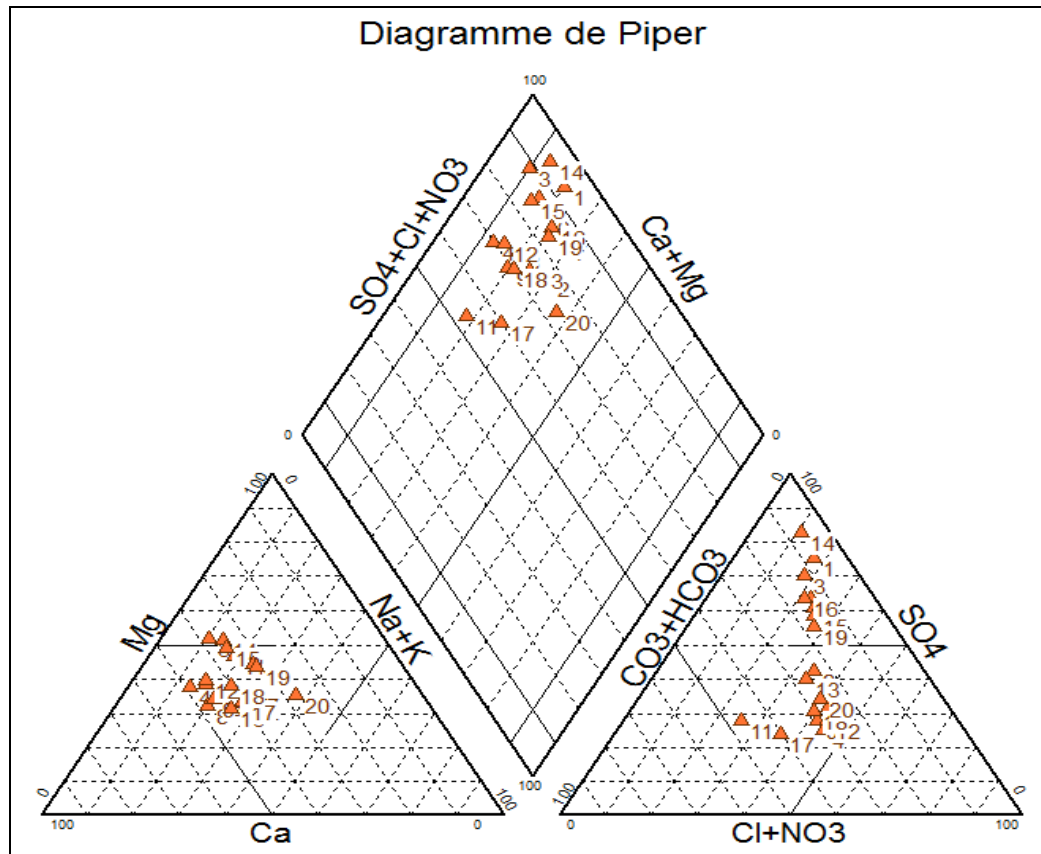


Fig N°IV. 4: Diagramme de piper

Le diagramme H. SCHOELLER (1932), révisé par BERKALOFF en 1952, il est composé de sept échelles logarithmiques verticales correspondant aux principaux ions analysés dans l'eau. Ce diagramme (Fig. N°05) a permis d'identifier les grandes familles chimiques suivantes (tableau N°5) :

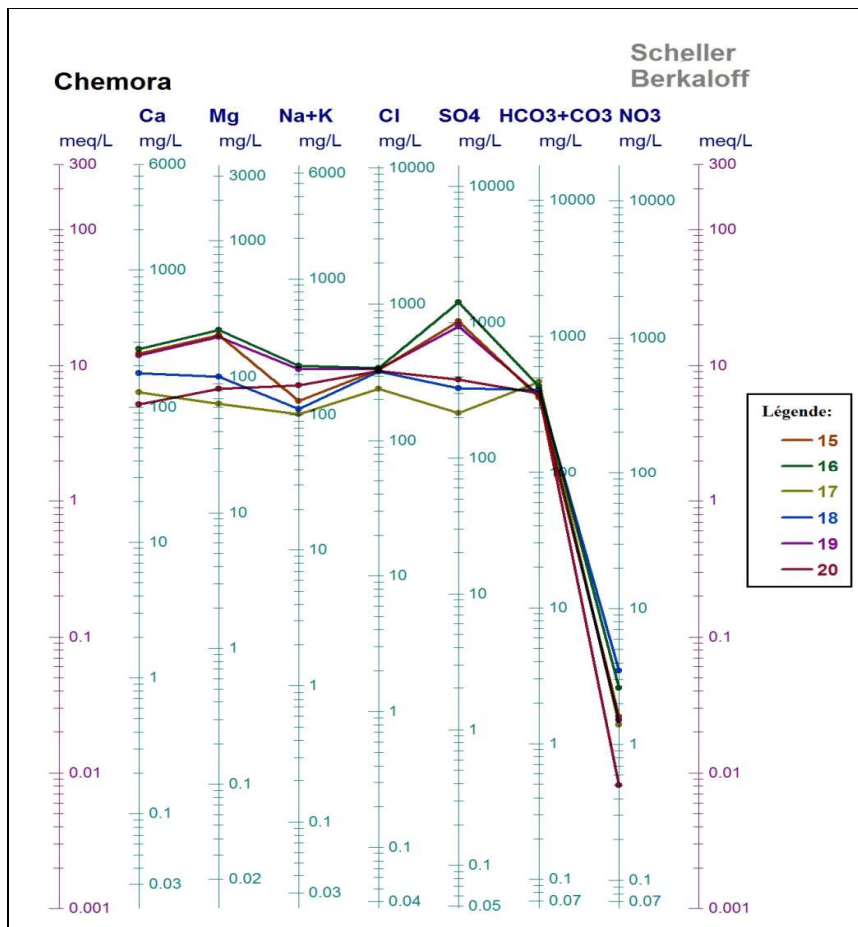
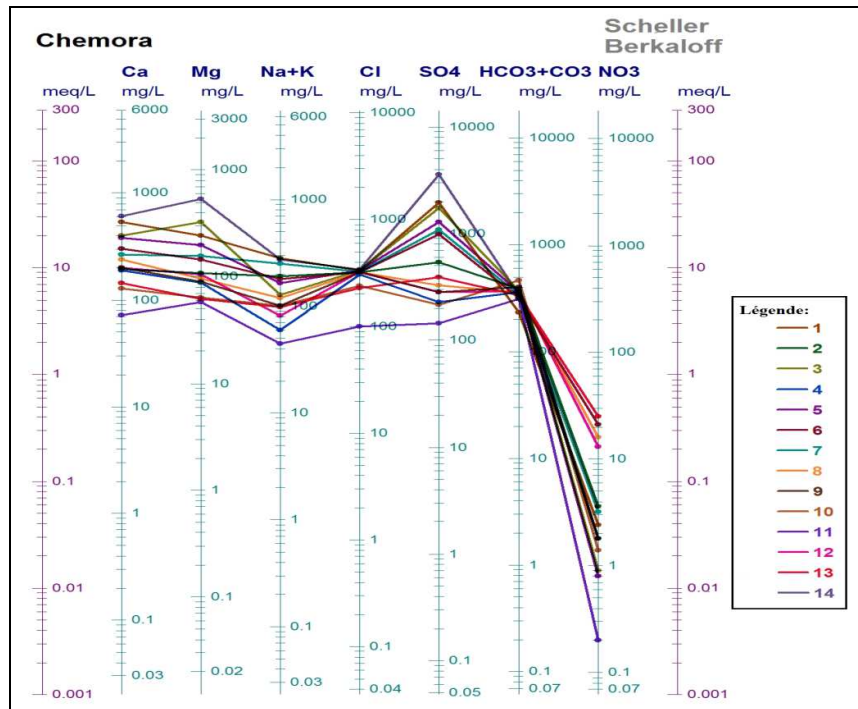


Fig N°.IV.5 : diagramme de SCHOELLER – BERKALOFF

Tableau N°IV.5: Faciès chimiques des eaux selon la méthode de SCHOELLER–BERKALOFF

Compagne chimique	Faciès chimiques	Effectif	Pourcentage(%)		
Familles de faciès chimiques	Famille des eaux Sulfatées	Sulfaté magnésien	7	35	60
		Sulfaté calcique	5	25	
	Famille des eaux Chlorurées	Chloruré calcique	5	25	30
		Chloruré magnésien	1	5	
	Famille des eaux Bicarbonatées	Bicarbonaté calcique	1	5	10
		Bicarbonaté magnésien	1	5	

D'après l'analyse des résultats du tableau N°.IV.5. on remarque qu'il y a une variation des faciès chimique. La méthode semi-log de Schoeller et Berkaloff, permet de visualiser la répartition des faciès de cette zone. Donc on peut constater :

- La dominance du faciès Sulfaté-Calcique et magnésien avec 60% de cas. Cela du possiblement à la dissolution des formations carbonatés et calcaires des massifs de Djebel Fedjoudj.
- Le faciès Chloruré-Calcique et magnésium avec 30%, peut être expliqué par un apport de calcium et magnésium lié probablement au lessivage des terrains argilo-marneux et les formations salées (Gareat).
- Un faciès de bicarbonates calcique et magnésien avec 10% de cas, d'une origine dolomitique et carbonaté (Formations du Djebel Amrane), dû à la solubilité de ces dernières dans le sens d'écoulement.

***- Classification des eaux de cette zone :**

Tenant compte des faciès prédominants, on classera les eaux selon les concentrations en sulfates et en chlorures. La classification De SCHOELLER est donnée dans les tableaux suivants. (Tableaux 6 et 7).

Tableau N°.IV.6: Classification de SCHOELLER selon la concentration en sulfates :

Classe	Limites requises (méq/l)	Nbre des points	Taux (%)	Observation
Eaux hyper sulfatées	r So4 > 58	1	5	/
Eaux sulfatées	r So4 entre 58 et 24	4	20	/
Eaux oligosulfatées	r So4 entre 24 et 6	9	45	Teneur normale
Eaux sulfatées normales	r So4 < 6	6	30	Teneur normale

- La majorité des échantillons présentent des teneurs normales. La teneur maximale atteinte est de 74,58 méq/l au forage n°14, qui dépasse la limite supérieure de potabilité autorisée qui est de 24 méq/l.

Tableau N°.IV.7 : Classification de SCHOELLER selon la concentration en chlorures :

Classe	Limites requise (méq/l)	Nbre de points	Taux %	Observation
Eaux hyper chlorurées	r Cl >700	-	-	/
Eaux chloro thalassiques	r Cl entre 700 et 420	-	-	/
Eaux chlorurées fortes	r Cl entre 420 et 140	-	-	/
Eaux chlorurées moyennes	r Cl entre 140 et 40	-	-	/
Eaux oligochlorurées	r Cl entre 40 et 10	-	-	Teneur normale
Eaux chlorurées normales	r Cl < 10	20	100	Teneur normale

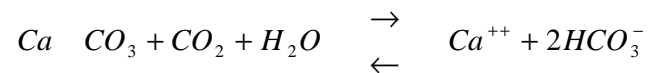
- Par les eaux sont à 100 % chlorurées normales avec des teneurs normales en chlorures qui restent inférieures à la teneur limite autorisée de 40 méq/l.

C- Cartographie hydrochimique et répartition spatiales des éléments chimiques :

L'établissement des cartes, nous permet d'apprécier la répartition des concentrations et expliquer leur origine.

a- Le calcium Ca^{++} :

Le Calcium est fréquent dans les roches sédimentaires, il provient essentiellement de la dissolution des roches carbonatées suite à la présence du gaz carboniques. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($Ca SO_4, 2H_2O$), qui sont facilement solubles selon l'équation suivante :



L'examen de la carte de calcium (Fig.N°06) montre:

- Les concentrations du calcium varient de 72.14 à 609.21 mg/l.
- Les concentrations les plus élevées sont marquées à la partie Sud-ouest et aux environs de Garaet, dues à la dissolution des formations carbonatées et gypsifères.

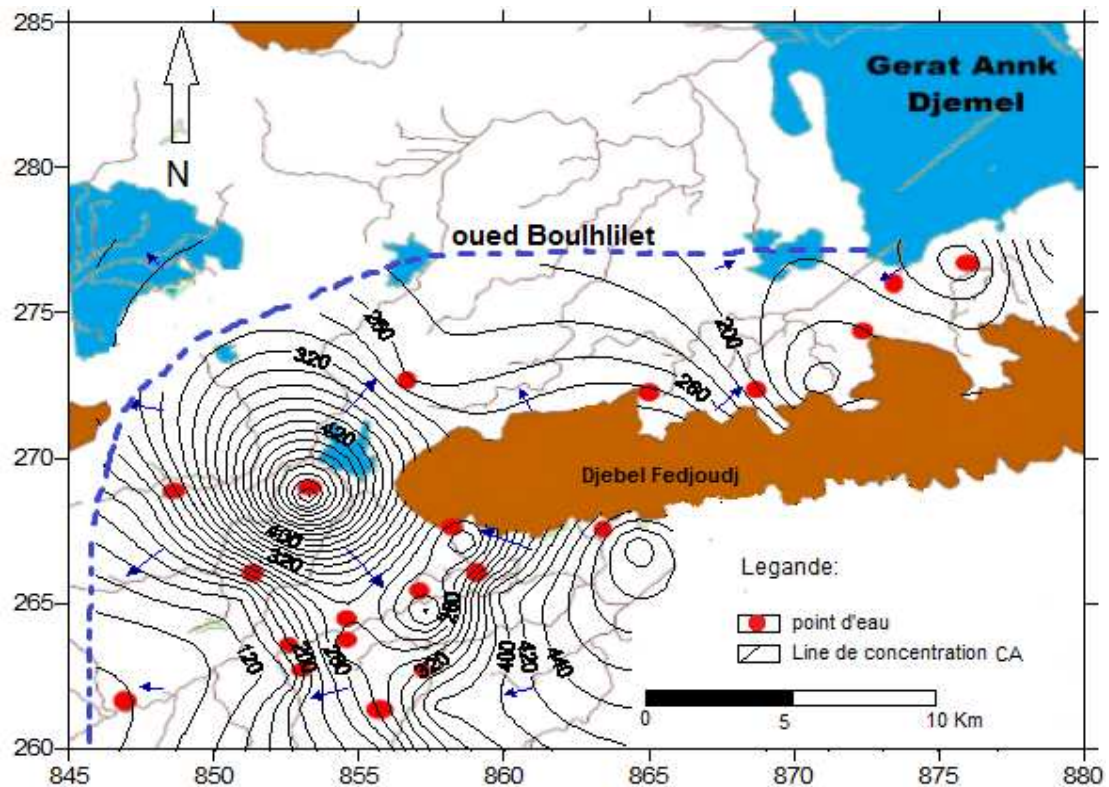


Fig. N°.IV. 6: Carte des calciums (Ca⁺⁺)

b - Le magnésium Mg⁺⁺:

Il provient de l'attaque chimique des formations calcaro- dolomitiques par l'eau en présence du gaz carbonique, ainsi que de la dissolution de (Mg SO₄) dans les terrains gypseux et des minéraux ferromagnésiens.

L'observation de la carte de magnésium (Fig.N°.IV.7) montre:

- Les concentrations du magnésium ont des valeurs qui varient de 57.6 à 536.88 mg/l.
- Les concentrations les plus élevées sont enregistrées aux environs de Garaet, liées à la dissolution des calcaires par le contact eau-roche.

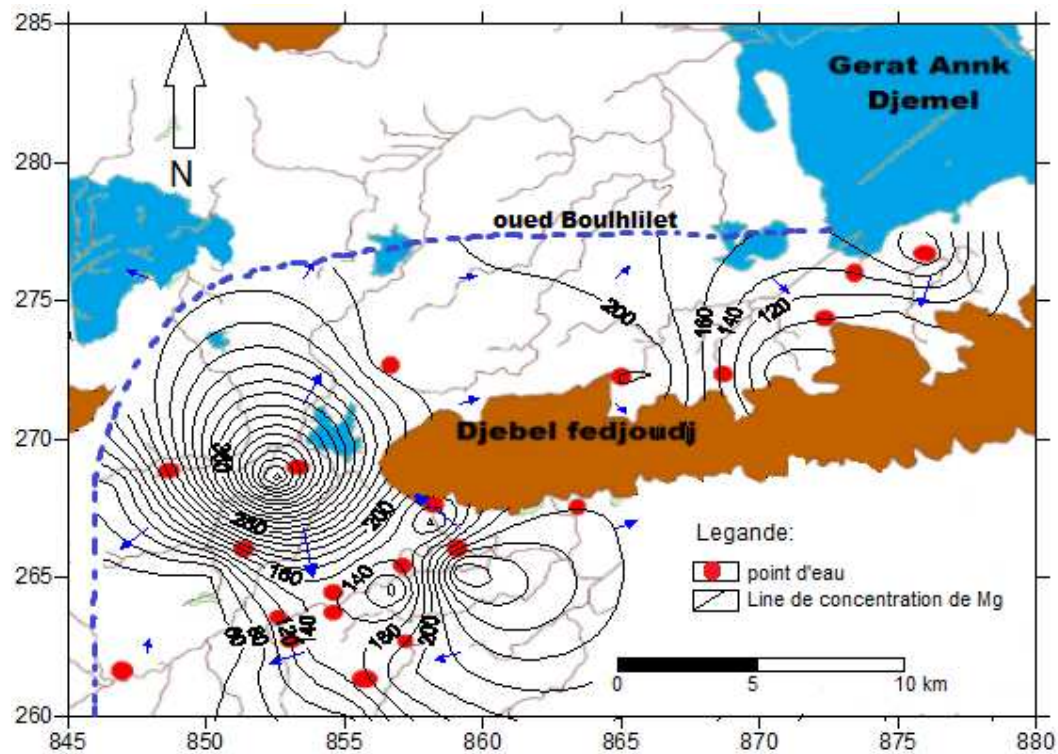


Fig. N°.IV.7: Carte des Magnésiums (Mg^{++})

c- Les chlorures Cl^- :

Les chlorures peuvent provenir d'une intrusion d'eau marine, ou suite à l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination des eaux usées. Ils peuvent provenir également de la dissolution des sels par lessivage des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentrations dans les eaux ayant traversées les formations argilo - sableuses ou argileuses. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de l'O.M.S). L'éloignement de la mer, et l'absence des rejets d'origine d'industrielle laissent supposer une origine géologique en relation avec les formations argileuses, marneuses et salifères triasiques.

L'analyse de la carte des chlorures (Fig.N°.IV.08) montre:

- Les concentrations des chlorures ont des valeurs qui varient de 99.40 à 340.80 mg/l.
- Les concentrations les plus élevées sont enregistrées à la partie Sud-ouest. Cela est lie au lessivage des formations évaporitiques.

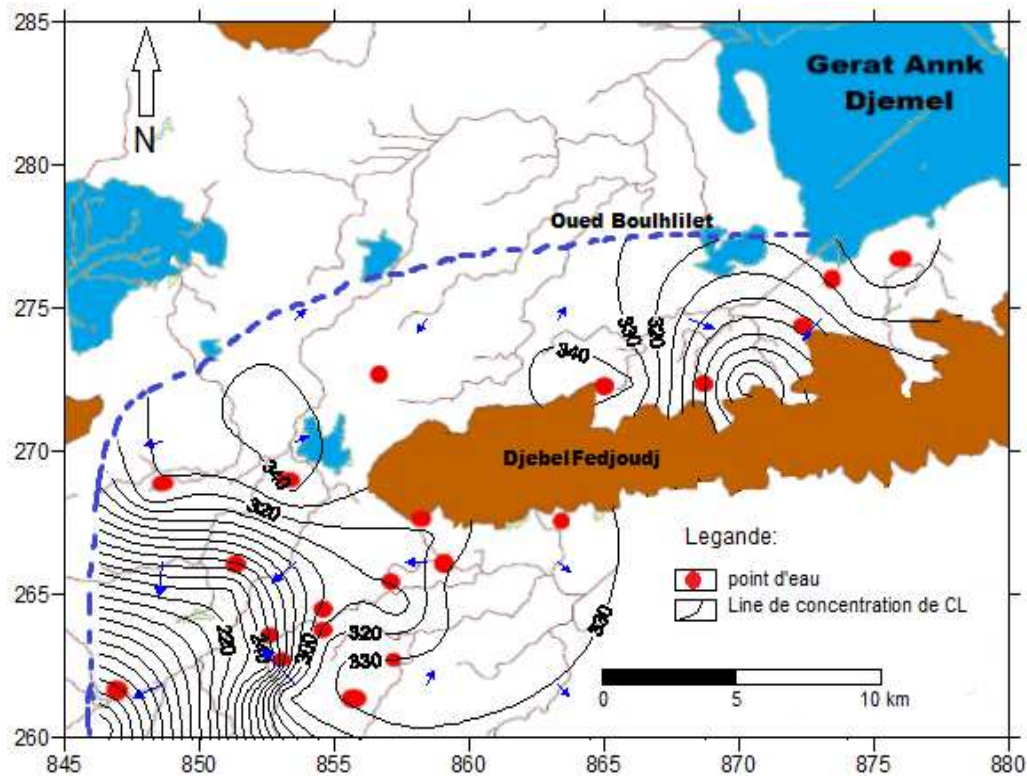
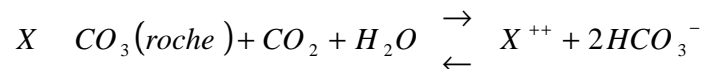


Fig. N°IV.8: Carte des chlorures (Cl)

d- Les Bicarbonates HCO_3^- :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico - chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique selon l'équation générale suivante :



Leur origine principale est la dissolution de roches carbonatées, donc sa concentration dans l'eau est en fonctions des paramètres suivants :

- Concentration du CO_2 dissous
- Température de l'eau
- pH de l'eau

L'élément (X) peut être le (Ca^{++}), ou le (Mg^{++}), il est beaucoup probable que ce soit le Ca^{++} , car le Mg^{++} est très solubles, sauf si l'eau est thermale.

L'observation de la carte des bicarbonates (Fig.N°.IV.9) montre:

- Les concentrations des Bicarbonates varient de 231.80 à 463.60 mg/l.
- Les valeurs élevées ont été enregistrées au pied nord de Djebel Fedjoudj dues à la dissolution des formations carbonatés.

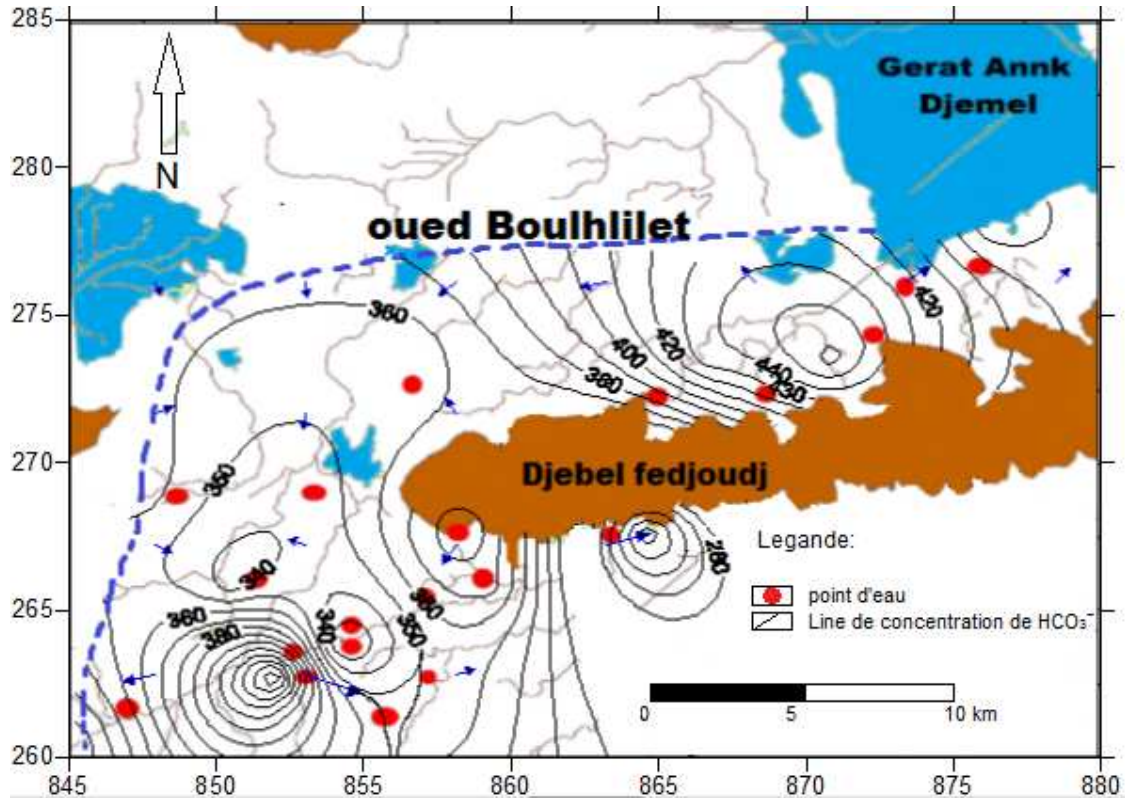


Fig. N°.IV.9: Carte des bicarbonates (HCO_3^-)

e- Les sulfates SO_4^{2-} :

Les sulfates contenus dans l'eau souterraines résultent de :

- La dissolution du gypse ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- L'utilisation des engrais chimiques.
- Le lessivage des terrains argileux et marneux.

L'examen de la carte des sulfates (Fig.N°.IV.10) montre:

- Les concentrations des sulfates varient de 145 à 3580 mg/l (Fig.N°.IV.10).
- Les valeurs élevées sont enregistrées à la partie Est et suivant le sens d'écoulement du à la dissolution des formations gypsifères et lessivage des terrains argileux et marneux, dont la valeur maximale est marquée au point d'eau F19.

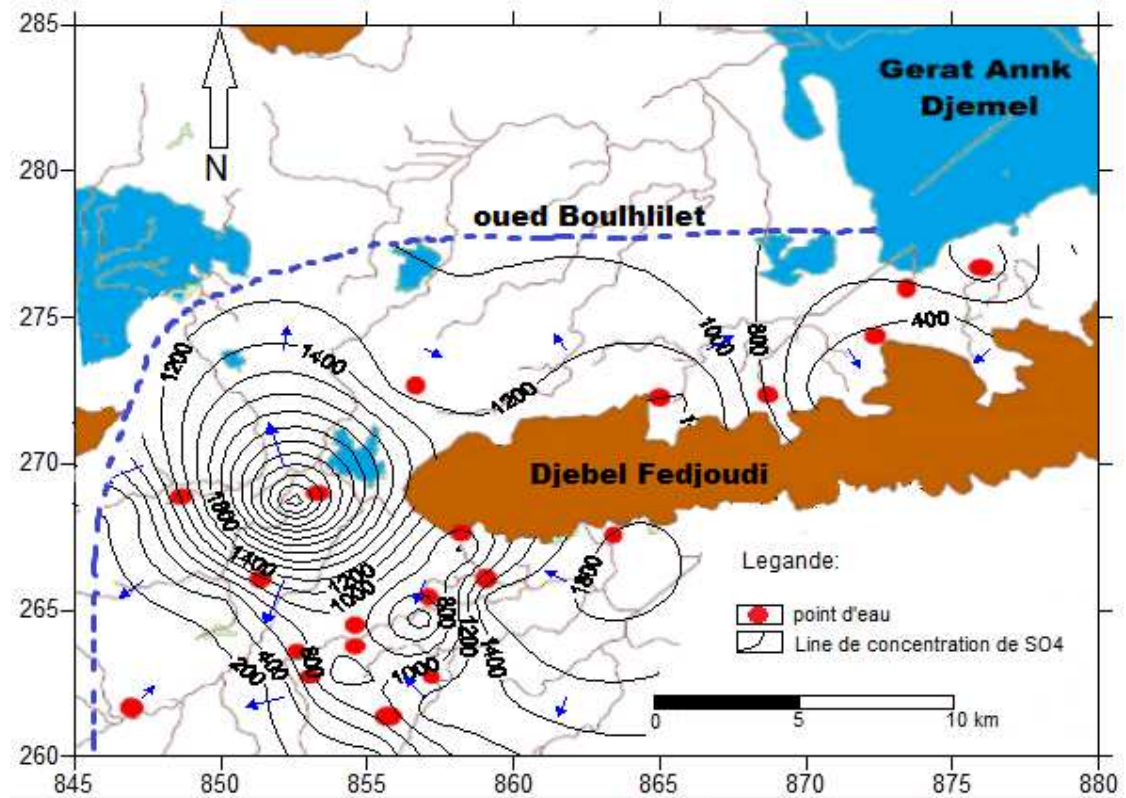


Fig. N°.IV.10: Carte des sulfates (SO₄-)

f- les sodiums Na⁺ :

L'analyse de la carte des sodiums (Fig.N°.IV.11) montre:

- La concentration des sodiums varie de 42.6 à 265.8 mg/l.
- Les concentrations élevées ont été observées aux parties Nord Est et Sud Est de la zone d'étude. Liées au lessivage des terrains argileux et marneux et la dissolution des formations salées (Garaet).

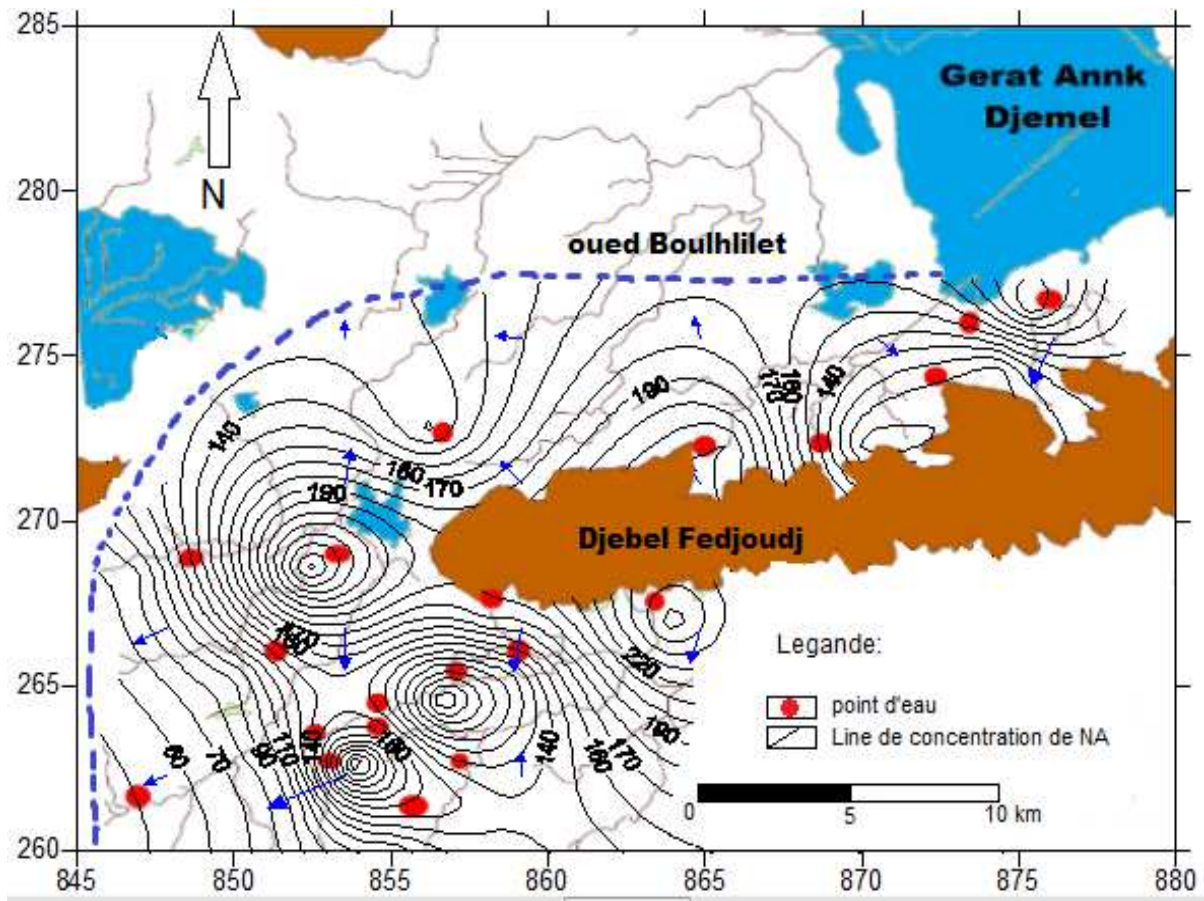


Fig. N°.IV.11: Carte des sodiums Na+

g- Les potassiums K :

La concentration admissible pour le potassium est de 34 mg/l, au-delà de cette valeur l'eau prend un certain gout indésirable.

- Les valeurs des concentrations varient de 1.8 à 16.50 mg/l (Fig. N°.IV.12).

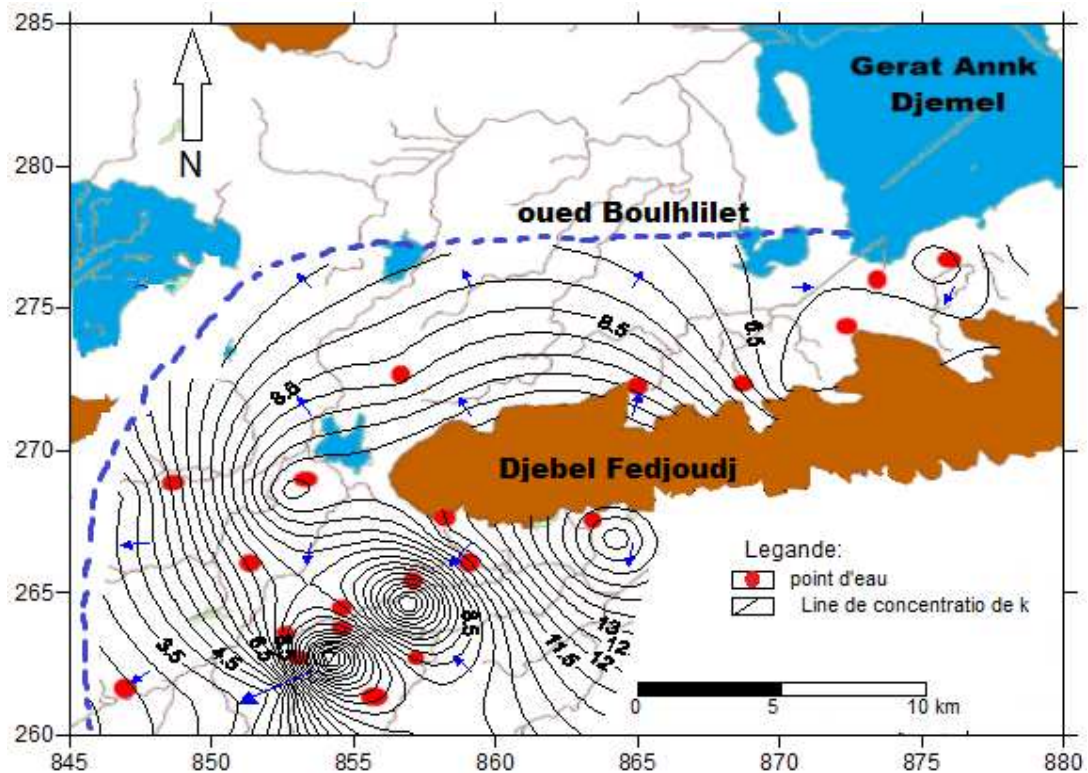


Fig. N°.IV.12: Carte des potassiums (K^+)

h- Les nitrates NO_3^- :

Les nitrates sont des composés naturels présents dans tous les écosystèmes. Ils sont essentiels aux végétaux, mais peuvent devenir néfastes pour les plantes et les animaux s'ils sont trop abondants. Ils entrent aussi dans la composition des engrais chimiques et naturels (fumiers). Les cours d'eau, les lacs et les étangs peuvent renfermer des nitrates provenant des diverses sources : zones agricoles dans lesquelles on fait une forte utilisation d'engrais, parcs d'engraissement de bétail et pâturages, et zones de traitement des eaux usées, donc ont une origine essentiellement agricole (engrais, élevage...) et urbaine (égouts). Les nitrates dans l'eau potable sont mesurés à la fois en terme de quantité d'azote présent ou en quantité d'oxygène et d'azote. Les normes pour le nitrate dans l'eau potable est de 50mg/l de nitrate mesuré en mg/l de nitrate NO_3 , lorsque l'oxygène est mesuré comme l'azote. L'excès de nitrate et le dépassement de la norme porte un potentiellement dangereux à la santé humaine, notamment pour les bébés.

- Les concentrations en nitrates varient de 0.2 à 25 mg/l (Fig.N°.IV.13), mais restent inférieures à la norme (50mg/l).

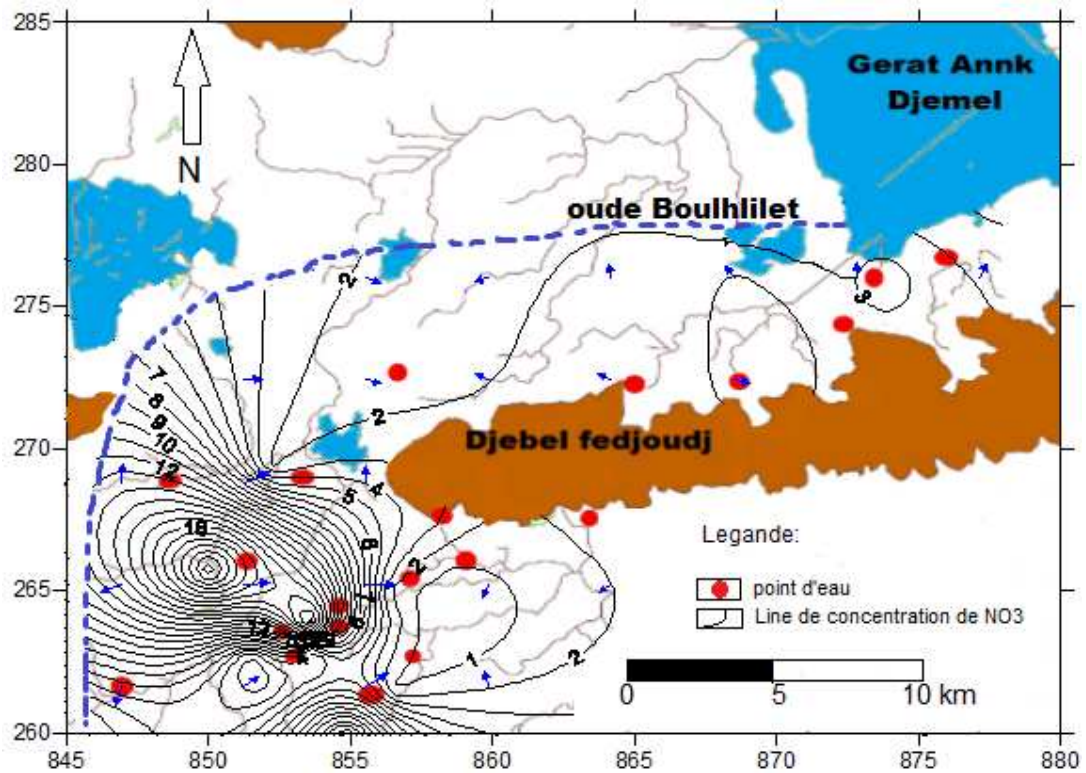


Fig. N°.IV.13: Carte des nitrates (NO₃)

D- Analyses statistiques en composantes principales (A.C.P) :

L'A.C.P est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum d'information contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus » (Forages, puits, sources,...) sur les quels sont mesurées des « variables quantitatives » (CE, teneurs en Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁼ et NO₃⁻) disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières.

D.1- Principe de la méthode :

Dans un tableau comportant (P) variables quantitatives, les individus peuvent être représentés dans un « espace à P dimensions ». Pour des raisons de visualisation, les espaces retenus sont à une dimension (droites) où ce sera le cas le plus fréquent, à deux dimensions (plans). Les droites et les issus d'une A.C.P, ne sont pas réalisés avec les variables initiales mais avec des « indices synthétiques » obtenus par combinaisons linéaires de ces variables initiales.

Parmi tous les indices possibles, l'A.C.P recherche d'abord celui qui permet de voir au mieux les individus c'est-à-dire pour lequel la variance des individus est maximale. Cet indice est appelé première composante principale, ou encore premier axe principal. Une certaine proportion de la variation totale des individus est expliquée par cette composante principale. Ensuite une deuxième composante est recherchée, cette deuxième composante principale fournit la plus grande information possible complémentaire de la première. Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale. Si la variable ou un individu joue un rôle particulier, on l'introduit dans l'A.C.P « variable à expliquer » ou « variable supplémentaire » (ne participe pas à la construction des axes).

D.1.1- Application de l'A.C.P sur les données chimiques de la zone d'étude :

Une analyse en composantes principales à été faite sur les résultats des analyses chimiques. Il s'agit d'un tableau de 20 individus et 8 variables (Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- et NO_2^-).

D.1.1.1- Analyse Statistique :

L'analyse des résultats des données dans le tableau N°IV.8, montre que les ions : (K^+ , Na^+ , Cl^- et HCO_3^-) présentent un $C_v < 0,5$, pour le reste des ions (Ca^{++} , Mg^{++} , NO_3^- , SO_4^{--} , NO_2^-), la dispersion est importante ($C_v > 0,5$).

Tableau N°IV.8 : Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines

Eléments chimiques	Valeur minimale mg/l	Valeur maximale mg/l	Moyenne arithmétique	Ecart type	Cv
Ca	72.14	609.210	251.77	138.912	0.552
Mg	57.60	536.880	157.39	115.466	0.734
Na+ K	42.600	265.800	143.67	67.224	0.468
HCO ₃	231.800	463.600	368.25	53.076	0.144
Cl	99.400	340.800	302.83	58.767	0.194
SO ₄	145.000	3580.000	869.500	844.214	0.971
NO ₃	0,2	25	5,2	7,321	1,408
NO ₂	0.000	0.006	0.0014	0.002	1.173

Tableau N°IV. 9: Matrice de corrélation des paramètres chimiques

Variables	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na + K	NO ₃	NO ₂
HCO ₃	1							
Cl	-0,019	1						
SO ₄	-0,370	-0,448	1					
Ca	-0,491	0,533	0,929	1				
Mg	-0,274	0,473	0,974	0,889	1			
Na + K	-0,306	-0,571	-0,751	-0,701	-0,654	1		
NO ₃	-0,258	-0,054	-0,188	-0,100	-0,240	-0,157	1	
NO ₂	-0,042	-0,065	-0,258	-0,289	-0,310	-0,188	0,791	1

D'après le tableau de A. Mangin (tableau N°.IV.10) donnant un coefficient critique (r_c) en fonction du nombre d'individus traités et au seuil d'erreur de 5% on aura pour notre cas un coefficient de corrélation critique de: $r_c = 0.741 \longrightarrow r_c^2 = 0.549$.

Tableau N°IV.10: Valeurs critiques du coefficient de corrélation selon A. Mangin.

Individus	Corrélation critique		Individus	Corrélation critique	
	Au seuil de 5%	Au seuil de 1%		Au seuil de 5%	Au seuil de 1%
5	0.992	0.997	25	0.684	0.750
6	0.979	0.991	30	0.638	0.705
7	0.961	0.981	35	0.600	0.667
8	0.943	0.969	40	0.568	0.643
9	0.926	0.955	45	0.541	0.606
10	0.903	0.941	50	0.518	0.580
11	0.883	0.926	60	0.477	0.539
12	0.864	0.912	70	0.445	0.505
13	0.846	0.898	80	0.419	0.476
14	0.828	0.883	90	0.397	0.449
15	0.811	0.869	100	0.378	0.429
16	0.797	0.854	125	0.341	0.391
17	0.782	0.843	150	0.313	0.359
18	0.766	0.828	200	0.272	0.314
19	0.754	0.818	250	0.244	0.290
20	0.741	0.804	300	0.223	0.258

Cette analyse a permis d'avoir les corrélations entre les éléments suivants :

- *Couple $\text{Ca}^{++} - \text{SO}_4^{--}$: $r = 0.929$ *Couple $\text{Mg}^{++} - \text{SO}_4^{--}$: $r = 0.974$
 *Couple $\text{Mg}^{++} - \text{Ca}^{++}$: $r = 0.889$ *Couple $\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{SO}_4^{--}$: $r = 0.751$
 *Couple $\text{NO}_2^- - \text{NO}_3^-$: $r = -0.791$

En fonction des teneurs enregistrées et des corrélations entre les éléments, on distingue que les eaux de faciès Chloruré sulfaté calcique et magnésien est d'origine évaporitique et représente la majorité des échantillons d'eau avec 85% de la totalité des points d'eau.

D.1.1.2- Etude des variables et des individus :

Le traitement a été poussé jusqu'à deux facteurs, à ce stade 73.09 % de la variance ont été exprimés. Les résultats sont résumés dans le tableau N°.IV.11.

Tableau N°.IV.11: Pourcentage de variance exprimée

Facteur (Axe)	F ₁	F ₂
Valeurs propres	4.448	2.129
% variance exprimée	49.43	23.66
% variance cumulée	49.43	73.09

La figure N°.IV.14 permet de visualiser la projection des variables. selon le plan F1 - F2. Dans l'espace des variables, le facteur F₁ exprime 49.43% de la variance. Ce facteur est déterminé par Ca^{++} , Mg^{++} , $\text{Na}+\text{K}$, Cl^- et SO_4^{--} . Ceci nous permet de considérer le facteur F₁ comme facteur de minéralisation. Le second facteur, F₂, exprime 23.66 % de la variance et oppose les nitrates, indice de pollution agricole, aux bicarbonates. Il oppose donc les eaux d'origine profonde aux eaux d'origine superficielle.

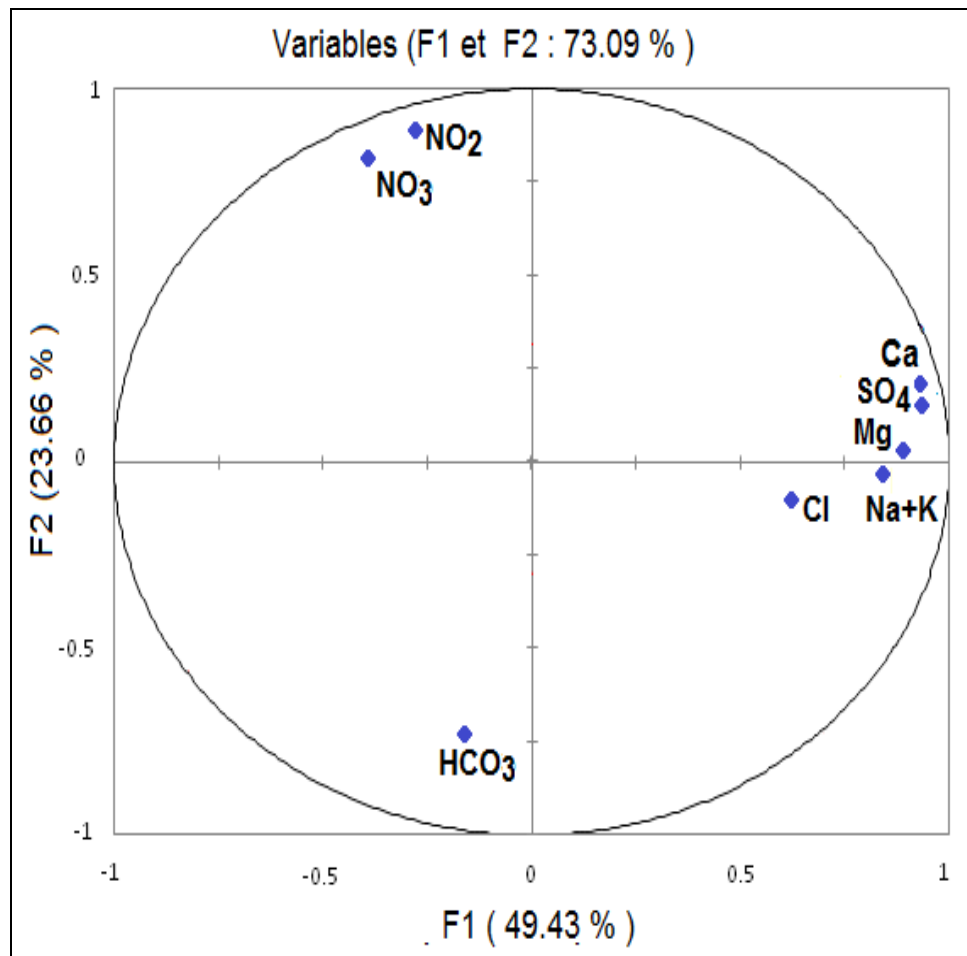


Fig. N°.IV.14: cercle de corrélation des variables

L'application de l'ACP nous a permis d'identifier trois groupes principaux des eaux suivants (Fig. IV.15):

- **Le groupe n° 01** : ce groupe est minéralisé, caractérisé par le faciès Sulfaté et comporte les points d'eau : F1, F2, F3, F5, F6, F7, F13, F14, F15, F16, F17 et F19.
- **Le groupe n° 02** : ce groupe comporte les renferme les forages F4, F8, F9, F12, F18, F12 et F20, caractérisées par le faciès chloruré et influencé par la pollution des nitrates liée à l'activité agricole et les eaux usées.
- **Le groupe n° 03** : ce groupe clautre les forages F10 et F11. Ces derniers captent les eaux caractérisées par le faciès bicarbonaté et cela du à la dissolution des roches calcaires du Djebel Amrane.

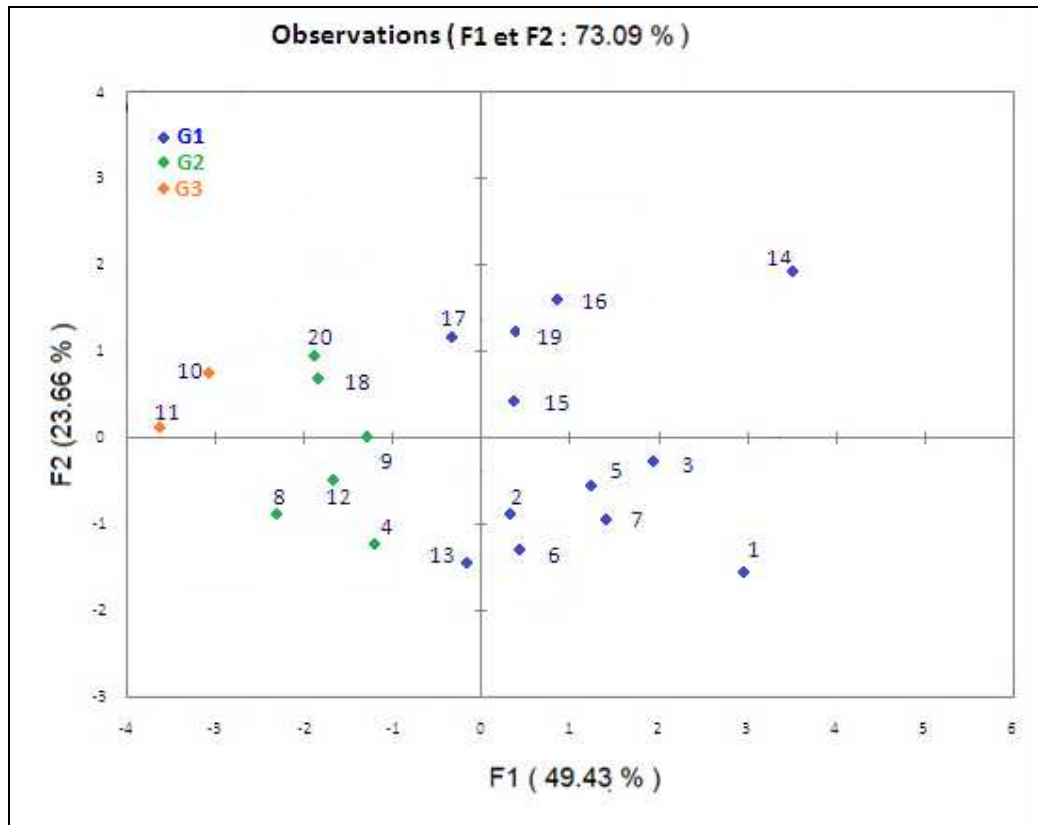


Fig. N°.IV.15 : cercle des Individus

On remarque les mêmes résultats obtenues que l'analyse cartographique et les diagrammes de Piper et celui de Schoeller. Ce qui confirme l'origine de ces eaux et leurs faciès chimiques.

IV.4 - Indice d'échange de base (i.e.b) :

L'indice d'échange de base défini par SCHOELLER en 1934 est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants dans l'eau. Il est obtenu par la relation suivante :

Si l'i.e $i.e.b1 = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$ ++ de l'eau sont échangés contre les ions K^+ et Na^+ des formations encaissantes. Par contre si l'i.e.b est positif, les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{++} et Ca^{++} des formations encaissantes. Dans le cas où l'i.e.b est négatif c'est-à-dire lorsqu'il y a échangé des alcalino-terreux de l'eau contre les alcalins des perme tolites, il est préférable de calculer l'i.e.b par la formule suivante :

$$i.e.b2 = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rSO_4^- + rHCO_3^- + rNO_3^-}$$

L'utilisation de cet indice est importante car il met en évidence les modifications du chimisme de l'eau au cours de son trajet souterrain.

IV.4.1- Interprétation des résultats :

L'interprétation des données des i.e.b calculés (Tableau N°.IV. 12) montre que la majorité des eaux souterraines de la plaine de Chemora ont un i.e.b positif ce qui signifie que les ions Na^+ et K^+ de l'eau sont remplacés par les ions Mg^{++} et Ca^{++} des formations encaissantes et explique le faciès calcique et magnésien.

Tableau N°.IV. 12: Indices d'échanges de base 2017

échantillon	I.E.B 1	I.E.B 2	Echantillon	I.E.B 1	I.E.B 2
1	0.500	0.331	14	0.467	0.334
2	-0.300	-0.229	15	-0.111	-0.038
3	0.375	0.180	16	0.286	0.099
4	-0.105	-0.032	17	0.555	0.409
5	0.192	0.108	18	0.250	0.107
6	-0.144	-0.029	19	-0.156	-0.018
7	0.111	0.058	20	0.333	0.115
8	0.400	0.091	21	-0.073	-0.019
9	0.689	0.562	22	0.231	0.165
10	0.167	0.057	23	0.412	0.268
11	0.111	0.039	24	0.287	0.109
12	-0.111	-0.033	25	0.176	0.107

IV.5 - Qualité chimique des eaux:

Pour la détermination de la qualité chimique des eaux on a utilisé d'une part des normes fixées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) et d'autre part par le degré hydrotimétrique.

IV.5.1 - Potabilité des eaux:

La potabilité des eaux souterraines est définie en se basant sur deux types de normes. Ceux de l'O.M.S et ceux basé sur le D.H.T.

a- Selon l'O.M.S :

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales (Tableau N°.IV.13) qui traduisent les limites de potabilité. On distingue :

- Une concentration maximale acceptable à partir de laquelle une eau provoque une certaine réticence chez le consommateur.

- Une concentration maximale admissible qui correspond à la quantité maximale de substance à tolérer et dont la teneur supérieure peut être dangereuse à la santé.

L'examen du tableau N°13 montre que tous les échantillons ont des teneurs en chlorures Cl^- et nitrates NO_3^- inférieures aux normes maximales admissibles. Pour le calcium, on a 35% des eaux qui ont des teneurs inférieures aux normes. Pour le magnésium on a 60% et pour les Sulfates on a 40% qui ont des teneurs < à la norme maximale admissible.

Tableau N°.IV.13: Normes de potabilité de l'O.M.S

Eléments chimiques	Concentration maximale acceptable (mg/l)	Concentration maximale admissible (mg/l)	Pourcentage des échantillons ayant une concentration inférieure à la concentration maximale admissible
Calcium	75	200	35
Magnésium	50	150	60
Sulfates	200	400	40
Chlorures	200	600	100
Nitrates	50	100	100

b- Normes selon le degré hydrotimétrique total (D.H.T) :

Le degré hydrométrique ou la dureté d'une eau correspond à la somme des concentrations en calcium et en magnésium.

$$DHT = rCa^{++} + rMg^{++} \quad (\text{en } \text{még/l})$$

$$DHT = (rCa^{++} + rMg^{++}) \times 5 \quad (\text{en degré Français } ^\circ F)$$

Le tableau N°14 ci-dessous montre que presque la totalité douce à assez douce (80%) avec D.H.T est supérieur à 54 °F et (20%) dure. Ce qui peut créer des conséquences plus ou moins néfastes telle que la consommation excessive du savon et la mauvaise cuisson des légumes secs, ce qui a été signalé par les habitants au cours de notre campagne sur le terrain.

Tableau N° 14: Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

D.H.T (en °F)	0 - 7	07-22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Pourcentage des points d'eau	/	55	25	15	5

IV.5.2 - Qualité des eaux pour l'irrigation:

La rareté des précipitations et la forte évaporation, on contraint les agriculteurs à utiliser les eaux du barrage dans l'irrigation des terres agricoles. C'est Pour cette raison que la qualité de l'eau utilisée dans l'agriculture doit présenter les meilleurs paramètres physicochimiques.

Les eaux chargées en sels minéraux posent des problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une influence sur la croissance des plantes. Parmi ces sels, on peut citer le cas des sulfates et du sodium, qui avec de fortes teneurs influent sur la structure physique du sol et sur le développement de la plante.

Pour mettre en évidence de phénomène nous allons utiliser trois méthodes qui sont:

- la Salinité CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
- la Classification de RICHARD (SAR)
- la Classification de WILLOX

a-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 montrent que :

- Si, la salinité exprimée par la conductivité en $\mu\text{S} / \text{cm}$ est inférieure à 700, il n'y 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 ;
- Et si, elle est supérieure à 3000 $\mu\text{S} / \text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

L'examen du tableau N°15 montre que la majorité des points d'eau de la zone d'étude représentent une restriction forte. En cas d'irrigation avec ces eaux chargées en sels, on peut s'attendre à des chutes de rendements de certaines cultures pratiquées (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988).

Tableau N°.IV.15: 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	/
Légère à modéré	700 – 3000	45
Forte	> 3000	55

Il est recommandé d'irriguer avec ces eaux les cultures tolérantes en sels, de pratiquer des cultures sur les sols légers (sableux), de faire des apports d'eau supplémentaires.

b- Les 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 la dispersion des particules plus (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988) et l'obturation des espaces poreux.

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

C- Les eaux à forte teneur en sodium :

L'abondance de sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (R. S. AYERS et D. W. WESTCOT, 1988). Dans de telles conditions, il peut devenir extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture. Le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable, « Sodium Absorption Ratio » (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}, \text{ où tous les éléments sont exprimés en méq/l.}$$

IV.5.3- Comparaison des classes issues des méthodes de Richards et de WILCOX

a-Classification de Richards :

Cette classification a été proposée par Richards, chercheur à l'USDA de Riverside en Californie, en 1954, elle a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sodisation.

En effet, cette classification ne peut prendre en compte l'évolution des caractéristiques de l'eau lorsque sa minéralité augmente dans les sols des zones arides ou semi- arides auxquels elle est destinée. Elle donne une vision sur l'état actuel de ces caractéristiques mais ne permet pas d'anticiper sur le devenir de cette eau.

L'eau avec un SAR se situant entre 0 et 6 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec une faible accumulation de sodium. Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de Richards, selon la conductivité électrique et la valeur de SAR (Fig N°.IV.16.), un tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus après interprétation du diagramme.

Tableau N°.IV. 16 : Résultats obtenus après interprétation du diagramme de Richards

Classes		% des points d'eau	% cumulé
Admissible	C_3S_1	15	15
Médiocre	C_4S_1	45	50
	C_4S_2	5	
Mauvaise	C_5S_1	15	35
	C_5S_2	20	

Trois classes apparaissent (admissible, médiocre et mauvaise).Chaque classe présente ses propres caractéristiques.

- **Admissible (C_3S_1)** : Elle clastre généralement les eaux moyennement minéralisées avec des risques de salinisation moyens et de faible alcalisation; représente 15% des forages

localisés à la partie centre, convenable pour l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit être contrôlée ;

- **Médiocre (C4S1-C4S2)** : cette classe se caractérise par les eaux de forte minéralisation, présentant des risques de salinisation des sols importants, mais à alcalisation moyenne. La majorité des forages (50%) appartenant à cette classe, on la rencontre au centre et au Sud-ouest de la plaine, pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces (concombre, ...) bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
- **Mauvaise (C₅ S₁, C₅ S₂)** : en général, l'eau est très fortement minéralisée et ne peut être utilisé pour l'irrigation et pour certaines espèces bien tolérantes au sel qu'après drainage et lessivage des sols. Représente 35% des forages, on la rencontre à la partie Sud-ouest et Est près du lac salé (Garaet).

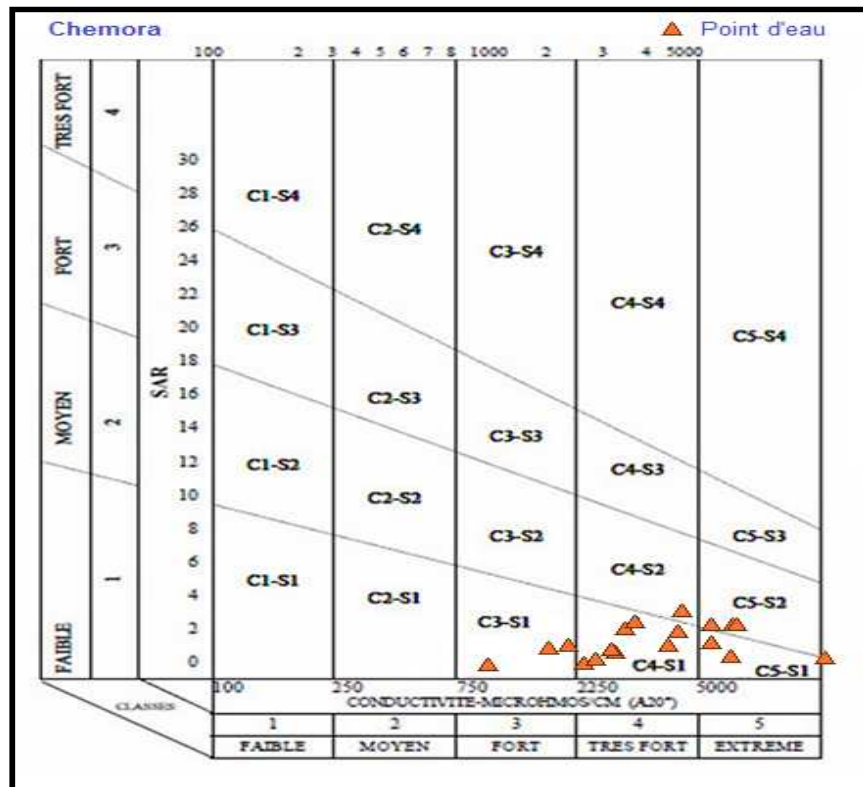


Fig.N°.IV.16: Diagramme de Richard de classification des eaux pour l'irrigation
D'après SALINE AND SOILS
(Complété par J.H DURANS)

b-Classification de Wilcox :

Généralement, les plantes supportent mal les sels saturés en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, généralement connue en pourcentage du sodium, est définie par formule ci-après :

$$\%Na^+ = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+} \times 100, \text{ où tous les éléments sont exprimés en méq/l.}$$

Cette classification définit cinq classes d'eau : Excellente – Bonne – Admissible- Médiocre - Mauvaise (Fig N°.IV.17....).

- D'après le diagramme de Classification de Wilcox, les résultats sont rapportés dans le tableau (Tableau N°.IV.17) montrent que la majorité des points d'eau sont représentés par la classe mauvaise avec 55% de la totalité des points d'eau, caractérisés par des conductivités très élevées et localisés à la partie Sud-ouest et à l'Est près du lac salé (Garaet Ank Djemel).

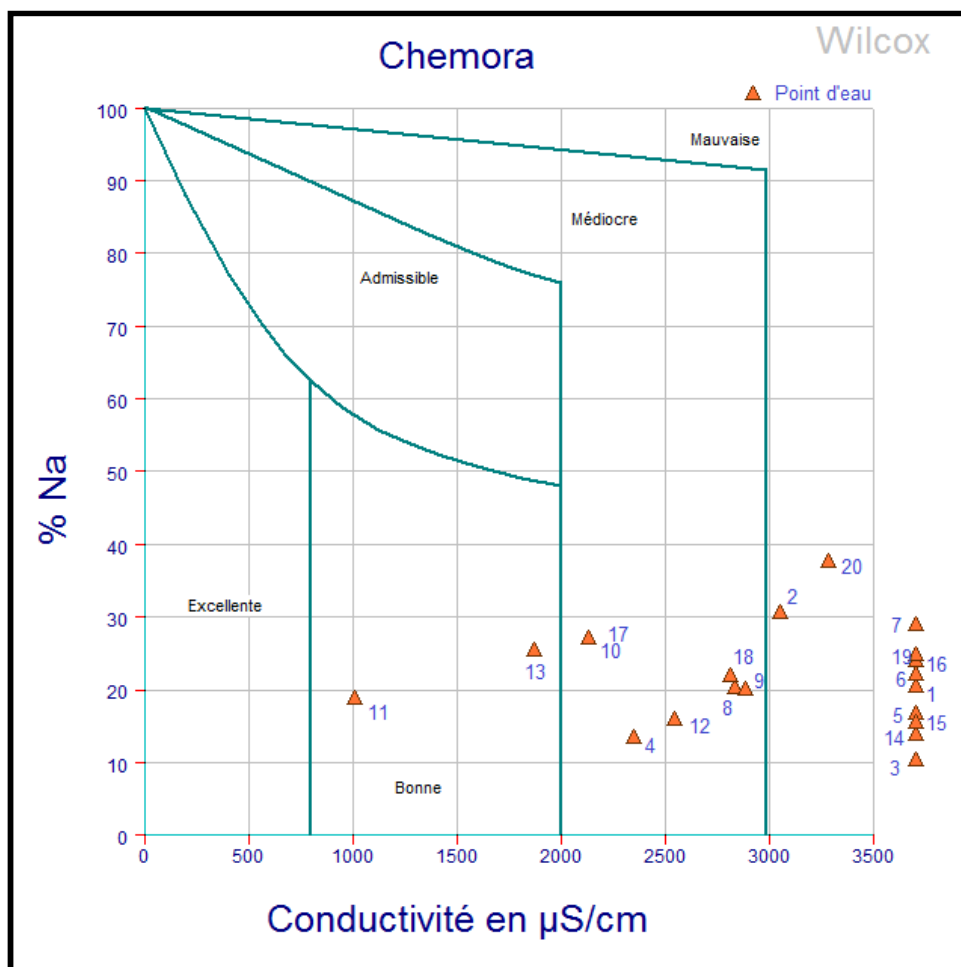


Fig.N°.IV.17: Diagramme de Wilcox

Tableau N°.IV.17: Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox

Classes	% des points d'eau
Excellente	/
Bonne	10
Médiocre	35
Mauvaise	55

IV.5.4- Classification de certaines cultures maraichères par tolérance à la salinité :

la classification de certaines cultures maraichères par tolérance à la salinité est représenté dans le tableau le tableau N°.IV.18 ci-dessous:

Cultures peu tolérantes	Cultures à tolérance moyenne	Cultures très tolérantes
Radis, céleri, fève en vert, haricot vert, fraise, melon.	Tomate, choux, poivron, laitue, mais pomme de terre melon, carotte, oignon, petit pois, courge, concombre.	Betterave rouge, asperge, épinard.

Conclusion :

L'étude hydrochimique et des eaux souterraines de la zone d'étude nous a permis de récapituler les résultats suivants:

- Les introspections du faciès chimique par Les diagrammes de Piper, Schoeller-Berkaloff ont montré une dominance du faciès Sulfaté-Calcique et magnésien avec 60% des cas, suivit du faciès Chloruré-Calcique et magnésium avec 30% et le reste est représenté par un faciès de bicarbonates calcique et magnésien avec 10% des cas.
- L'examen cartographique montre que le calcium, le magnésium, les chlorures, et les sulfates ont des concentrations élevées du centre au lac salé de la zone d'étude. Cette augmentation est due à l'influence des formations carbonatées tel que les calcaires, les calcaires dolomitiques et les formations gypsifères Trias d'une part, dissolution des formations argileuses, marneuses et salifères provenant du lac salé d'autre part. Par contre les bicarbonates sont caractérisées par des teneurs élevées à proximité du Djebel Fedjoudj et cela du probablement à la dissolution des roches carbonatés.
- L'étude statistiques effectuée par l'ACP nous a permis d'identifier trois groupes principaux des eaux souterraines contenus dans la nappe alluviale de Chemora, le premier est minéralisé, caractérisé par le

faciès Sulfaté, le second est caractérisées par le faciès chloruré et influencé par la pollution des nitrates. Le dernier est carbonaté.

- La majorité des eaux souterraines de la plaine de Chemora 70% présentent une qualité modérément douce à assez douce peuvent être utilisées à la consommation et le reste dure à très dure donc impropre à la consommation.
- Pour l'irrigation les eaux de la partie Sud-ouest et Est sont mauvaises pour l'irrigation vu la salinité excessive des terrains pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces tolérantes à la salinité comme (betterave rouge, asperge, épinard).

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'étude que nous avons menée dans la région Nord-est de Chemora nous a permis de faire une approche à la connaissance de la salinité des eaux souterraines par différentes méthodes graphiques et statistiques multivariées.

La plaine de Chemora est caractérisée par un climat continental semi-aride avec des hivers rudes et des étés secs et chauds. Appartient au sous-bassin versant N°07-05 de forme allongée, représente un réseau hydrographique de type dendritique, très peu développé.

La géologie de la région de Chemora présente des formations susceptibles d'être aquifère et renferme les conditions favorables pour l'accumulation des eaux souterraines. Les formations prédominantes sont celles du Quaternaire et celles du crétacé. Cependant les argiles et les marnes gréseuses sont localisées dans la partie Sud de la Zone d'étude et les formations de calcaires sont assez peu représentées à Djebel Fedjoudj.

L'analyse de la carte piézométrique de notre zone d'étude montre que les zones correspondantes à des horizons de fort écoulement sont celles des directions de l'écoulement de S-N, SO-NE et N-S, ainsi l'alimentation de l'aquifère superficiel se fait à partir des massifs qui bordent la plaine où les axes d'écoulement prennent naissance et se dirigent vers la dépression. Pour Garaet Ank Djemel, elle présente une zone d'alimentation ce qui influe sur la qualité des eaux souterraines.

L'étude hydrochimique et des eaux souterraines de la plaine de Chemora a montré la dominance du faciès Sulfaté-Calcique et magnésien. L'analyse statistique effectuée par l'ACP a donné trois groupes principaux des eaux souterraines, le premier est minéralisé, caractérisé par le faciès Sulfaté, le second est caractérisé par le faciès chloruré et influencé par la pollution des nitrates. Le dernier est carbonaté.

La majorité des eaux souterraines de la plaine de Chemora présentent une qualité modérément douce à assez douce peuvent être utilisées à la consommation et le reste dure à très dure donc impropre à la consommation. Pour l'irrigation les eaux de la partie Sud-ouest et Est sont mauvaises pour l'irrigation vu la salinité excessive des terrains pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces tolérantes à la salinité comme (betterave rouge, asperge, épinard).

Bibliographie

- [01] A. Boudoukha . « Etude hydrogéologique des hautes plaines sétifiennes et qualité des eaux souterraines » Thèse de doctorat D'état . Institut de chimie . Université Annaba 230 pages. (1998).
- [03] A . M . Bellaredj « Caractérisation des eaux souterraines de la plaine de la M'leta (Algérie, Nord-Ouest) par application de méthodes statistiques multivariées (ACP) » université de Oran 89-90 page. (2013) .
- [05] C . Durand C . « L'analyse de classification hiérarchique et de nuées dynamiques. Cours Sol6210, Analyse quantitative avancée ». Université de Montréal, 18p. (2009).
- [06] Etude d'aménagement hydro-agricole de la plaine de la Mitidja « AGID- Mott Mac Donald et Partner ltd et W.S Atkins International » (1992)
- [07] G . Couture. « Hydrogéochimie des eaux souterraines dans la ceinture méta sédimentaire centrale de la province géologique du Grenville, (Québec) » . Thèse de doctorat, Université du Québec, 112p. (1997).
- [08] H . N . El Houda . Mémoire De Master En Hydraulique Option Hydraulique urbaine « Analyse Statistique Multivariee Des Eaux Souterraines De La Région De Boussaâda » (W. M'sila) Université De M'sila (2015-2016).
- [09] L . Namane. Ingénieur d'état en agronomie spécialité hydraulique « Suivi des irrigations dans une exploitation agricole de la Mitidja ouest (Commune de Mouzaia) » Ecole Nationale Supérieure Agronomique El- Harrach -Alger- (209-2010).
- [10] M . Abid . Mémoire De Master En Hydraulique Option Aménagement et Ouvrages Hydrauliques « analyse statistique multivariée des eaux souterraines de la partie Nord de la région de Chemora (est-algérien) » Université. M'sila (2014-2015).
- [11] M. Ghodbane . « Étude de la contamination des eaux souterraines de la zone nord de Chemora par les nitrates (Nord –Est algérien) » Mémoire de magister. 146 p. (2009-2010).
- [12] M. Ghodbane . « Estimation des potentialités des eaux souterraines et estimation de la pollution par les nitrates (Cas de la région de Chemora-Est algérien) » Thèse de doctorat en sciences . Département Hydraulique Université . Batna.2. (2018-2019).

Résumé :

La plaine de chemora située dans la-W. Batna-est-algérien, se caractérise par son climat semi-aride très sévère, avec une forte évapotranspiration, et une salinisation des sols qui commence à prendre de l'ampleur surtout à la partie nord-est est la sécheresse qui perdure depuis plus de deux décennies.

notre étude proposée est pour l'objet de connaître les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, et hydrochimiques de la zone chemora , en mettant en évidence la salinité et son impact sur les eaux souterraines .

les analyses révèlent une grande diversité des compositions chimiques, les échantillons se répartissant de la faciès: chloruré et sulfate- calcique et magnésien.les données ont permis l'établissement de cartes d'aptitude des eaux à l'irrigation.

Abstract :

The plain of chemora located in the-W. Batna-est-Algerien, is characterized by its very severe semi-arid climate, with high evapotranspiration, and soil salinization which begins to increase especially in the northeastern part is the drought which has lasted for more than two decades.

Our proposed study is for the purpose of knowing the geological, hydrogeological, and hydrochemical characteristics of the chemora zone, by highlighting the salinity and its impact on groundwater.

The analyzes reveal a great diversity of chemical composition, the samples being distributed from the facies: chlorinated and sulfate-calcium and magnesium. The data allowed the establishment of maps suitability of water for irrigation.

ملخص :

سهل chemora يقع في ولاية باتنة. تتميز منطقة باتنة الجزائرية بمناخها شبه الجاف القاسي للغاية ، مع ارتفاع نسبة التبخر ، وتملح التربة الذي يبدأ في الزيادة خاصة في الجزء الشمالي الشرقي من الجفاف الذي استمر لأكثر من عقدين. تهدف دراستنا المقترحة إلى معرفة الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية للمنطقة الكيميائية ، من خلال إبراز الملوحة وتأثيرها على المياه الجوفية. كشفت التحليلات عن تنوع كبير في التركيب الكيميائي ، حيث يتم توزيع العينات من السحنات: الكلور والفسيت الكالسيوم والمغنيسيوم ، وقد سمحت البيانات بوضع خرائط لمدى ملاءمة المياه للري.