

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT: HYDRAULIQUE  
N° : .....



DOMAINE : HYDRAULIQUE  
FILIERE: HYDRAULIQUE  
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par: DAHOUMI SALAH EDDINE  
BOUSBAA MOHAMMED

Intitulé

**IDENTIFICATION DE LA QUALITE  
HYDROGEOCHIMIQUE DES EAUX  
SOUTERRAINES DE LA ZONE NORD-EST DE  
LA REGION DE CHEMORA .W DE BATNA**

Soutenu devant le jury composé de:

Nom et prénom Enseignant .....

Mr. Ghodbane. M .....

.....

Président

Rapporteur

Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

## *Remerciements*



*Nous tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre travail et qui Aide-nous lors de la rédaction de ce mémoire.*

*Tout d'abord, nous voudrions remercier le promoteur, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils,*

*nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'université de M'sila*

*et nous voudrions exprimer notre gratitude à tous ceux qui nous ont aidés et nous leur souhaitons du succès dans leurs vies*



## *Dédicaces*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut... Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, Le respect, la reconnaissance...*

*À l'esprit de mon père , qui a prétendu que Dieu bénisse son âme*

*A MA TRÈS CHÈRE MÈRE : Nourra autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pourtoi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours.*

*A ma très chère sœurs ;En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments.*

*Et mon grand frère qui puise mes forces et le considère comme un exemple à suivre dans la vie*

*A ma Famme; Ton encouragement et ton soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, de solitude et de souffrance. Merci d'être toujours à mes côtés, par ta présence, par ton amour dévoué et ta tendresse, pour donner du goût et du sens à notre vie de famille En témoignage de mon amour, de mon admiration et de ma grande affection .*

*A mon cher petit fis Houde Pour toute l'ambiance dont tu m'as entouré, pour toute la spontanéité et ton élan chaleureux, Je te dédie ce travail .*

*Puisse Dieu le tout puissant exhausser tous tes vœux.*

*Dahoumi Salah eddine*

## *Dédicaces*

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chères ma soeur et mes frères , Amine, abderrahmane, Bachir, et walid pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mes chers amis pour leur appui et leur encouragement,*

*Pour que chacun puisse les soutenir tout au long de ma carrière de premier cycle,*

*Merci pour toujours ici pour moi . et Puisse Dieu le tout puissant exhausser tous tes vœux.*

*Bousbaa Mohammed*

## SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	01
----------------------------	----

### Chapitre I: Présentation de la zone d'étude

Introduction .....	02
I- Aperçu géographique.....	02
I-1-Communes limitrophes de Chemora.....	03
I-2-Habitation.....	03
I-3-Agriculture .....	03
I-4-Climat et couverture végétale.....	04
I-4-1-Climat.....	04
I-4-2-Couvert végétale.....	04
I-5-La ressource en eau.....	05
I-6-Le réseau hydrographique.....	05
II- Géomorphologie.....	06
II-1-Description du bassin versant.....	06
II-2- Les caractéristiques morphométriques.....	08
II-3- Les caractéristiques du réseau hydrographique.....	14
1.3.1- Densité de drainage (Dd) .....	14
11.3.2- Temps de concentration (Tc) .....	15
II-3.3- Vitesse d'écoulement de l'eau (Vc) .....	15
II-4-Conclusion.....	16

### Chapitre II: Aperçu géologique et hydrogéologique

I-Aperçu géologique.....	17
I-I-Introduction.....	17
I-II-Historique.....	17

I-III- Litho stratigraphie.....	19
I-III -1-Les formation des (Quaternaire) .....	21
I-III- 2-Les formation des (Crétacé) .....	22
I-IV- Tectonique et paléogéographie.....	25
I-IV.1- Evolution paléogéographique.....	25
I-IV.2- Aperçu Tectonique.....	25
I-V - Caractéristiques lithologiques du sous bassin versant.....	26
I-VI-Conclusion.....	29
II- Aperçu hydrogéologique.....	30
II-I- Introduction.....	30
II-II- Etendue de la nappe superficielle.....	30
II-III- Inventaire des points d'eau.....	30
II-IV- caractéristiques des points d'eau.....	32
II -V Conclusion.....	35
<b>Chapitre III: etude hydrogeochimique</b>	
III.1. Introduction .....	36
III.2. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines.....	36
III.2.1.Représentation graphique et analyse des paramètres physiques.....	36
III.2.2.Représentation graphique et analyse des paramètres géochimiques.....	41
III.3.3. Le calcium (Ca <sup>++</sup> ).....	41
III.3.4. Le magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	43
III.3.4. Les chlorures Cl <sup>-</sup> .....	45
III.3.5. Les bicarbonates HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	47
III.3.6. Les sulfate SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	49
III.3.7. Le sodium Na <sup>+</sup> .....	51
III.3.8. Le potassium K <sup>+</sup> .....	53
III.3.8. Les nitrate NO <sub>3</sub> .....	55

III.4. Détermination des faciès hydrogéochimiques.....	57
III.5. Analyses par les méthodes statistiques multivariées .....	58
III.5.1. Analyse en composantes principales (A.C.P) .....	58
III.5.1.1. Définition.....	58
III.5.1.2. Principe de l'ACP.....	58
III.5.1.3- Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude.....	59
III.5.1.3.1. Analyse Statistique.....	60
III.5. 1.3.2. Matrice de corrélation .....	60
III.5.1.3.3 - Interprétation des résultats des ACP (Mars 2015 et Juin 2017) .....	65
III.5.2-L'analyse par la méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).....	68
III.5.2.1-Définition de la CAH.....	68
III.5.2.2.Principes de la classification ascendante hiérarchique.....	68
III.5.2.3. <u>Avantages de la classification ascendante hiérarchique</u> .....	69
III.5.2.4. Application de la méthode CAH sur des données chimiques de la zone d'étude -....	69
III.7- Indice d'échange de base (i.e.b) .....	71
III.7.1 - Interprétation des résultats.....	72
III-8- Origine des éléments chimiques .....	73
III-8-1- Origine du calcium (Ca <sup>2+</sup> ).....	73
III-8-2- Origine de Na+et Cl-.....	74
III.9 - Qualité chimique des eaux: .....	75
III.9.1- Convenabilité de la qualité des eaux pour la potabilité .....	75
III.9.1.1- Selon l'O.M.S.....	75
III.9.1.2- Degré hydrotimétrique total (D.H.T) .....	76
III.8.2-Aptitude à l'irrigation.....	77
III-10- Conclusion.....	82
Conclusion Générale.....	84

## ***Listes des tableaux :***

### **Chapitre I**

Tableau (I-1) : Paramètres géométriques du bassin versant de Chemora Nord-Est.....	09
Tableau (I-2) : Répartition de l'altitude en fonction de la superficie.....	11
Tableau (I-3) : classification de l' ORSTOM.....	14
Tableau (I-4): Récapitulatif des paramètres morphométriques.....	16

### **Chapitre II**

Tableau II-1 : Répartition des terrains selon leur degré de potentialité ANRH .....	27
Tableau II-2 : Colonne stratigraphique et conséquence hydrogéologique.....	28
Tableau II-3 Inventaire des d'eau pour la nappe superficielle (période de Mars 2015 et Juin 2017) .....	32

### **Chapitre III**

_Tableau III.1: Statistiques de pH des eaux souterraines de la zone d'étude.....	37
Tableau III.2 Statistiques de CE des eaux souterraines de la zone d'étude.....	38
Tableau III.1: Statistiques de Température des eaux souterraine de la zone d'étude.....	39
Tableau III .4: Statistique du calcium dans les eaux souterraines de la zone d'étude.....	41
Tableau III .5: Statistiques de Magnésium dans les eaux souterraines la zone d'étude.....	43
Tableau III. 2: Statistique de Chlorure dans les eaux souterraines la zone d'étude.....	45
Tableau III. 3: Statistique de Bicarbonate dans les eaux souterraine la zone d'étude.....	47
Tableau III. 4: Statistique de sulfate SO <sub>4</sub> dans les eaux souterraines la zone d'étude.....	49
Tableau III. 9: Statistique de sodium Na dans les eaux souterraines la zone d'étude.....	51
Tableau III.10: Statistique de potassiums K dans les eaux souterraines la zone d'étude.....	53
Tableau III.11: Statistique de nitrates dans les eaux souterraines la zone d'étude.....	55

Tableau n°(III.12): Moyennes et écart types des éléments variables.....	59
Tableau(III.13). Coefficient de corrélation linéaire selon Bravais- Pearson.....	60
Tableau n°(III.14): Matrices de corrélation des paramètres chimiques.....	61
Tableau n°(III.15): Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques.....	61
Tableau n°(III.16):Caractéristiques des ACP appliquées aux données physico-chimiques.....	66
Tableau n° III.17 : Indices d'échanges de base (Mars 2015).....	72
Tableau n° III .18 : Indices d'échanges de base (JUIN 2017).....	73
Tableau n° III .19: Normes de potabilité de l'O.M.S. ....	76
Tableau n° III 20: Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969).....	76
Tableau n° III.21 l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.....	77
Tableau III.22: calcul de SAR.....	78
Tableau n° 23: Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox.....	81

## ***Listes des figures :***

### **Chapitre I**

Figure I-1 situation géographique de la zone d'étude. ....	02
Figure I-2 Communes limitrophes de Chemora .....	03
Figure I-3 Réseau hydrographique du sous bassin versant de Chemora (zone Nord-Est).....	04
Figure I-4 Carte topographique (zone Nord-Est) du sous bassin versant de Chemora .....	06
Figure I-5 Le rectangle équivalent. ....	10
Figure I-6 Courbes hypsométriques. ....	11

## **Chapitre II**

Figure II-1 Carte géologique(Nord-Est) de la wilaya de Batna. ....	18
Figure II-2 La carte géologique du sous bassin versant de Chemora. ....	20
Figure II-3 Coupe géologique interprétative : Anticlinal du Djebel Fedjoudj.....	21
Figure II-4 Carte représenté les sols du piémont Nord-Est des Aurès. ....	25
Figure II-5 Carte d’inventaire des points d’eau. ....	31
Figure II-6 Carte piézométrique-Compagne Mars 2015 . ....	33
Figure II-7 Carte piézométrique-Compagne Juin 2017. ....	34

## **Chapitre III**

Figure. III.1.Variation du pH des eaux souterraines pour les deux périodes .....	37
Figure. III. 2. Variation de CE des eaux souterraines pour les deux .....	38
Figure. III. 3. Variation de la température des eaux souterraines de la zone d’étude. ....	39
Figure. III.4.Carte iso-valeur de conductivité électrique CE ( $\mu$ S/cm) (Mars 2015) .....	40
Figure. III.5.Carte iso-valeur de conductivité électrique CE ( $\mu$ S/cm) (Juin 2017) .....	40
Figure. III.6.Carte iso-teneur en calcium ( $Ca^{+2}$ en mg/l) Mars 2015.....	42
Figure. III.7.Carte iso-teneur en calcium ( $Ca^{+2}$ en mg/l) juin 2017 .....	42
Figure. III.8.Carte iso-teneur en Magnésium (en $Mg^{2+}$ mg/l) mars 2015.....	44
Figure. III.9. Carte iso-teneur en Magnésium (en $Mg^{2+}$ mg/l) juin 2017.....	44
Figure. III.10. Carte iso-teneur en chlorure (en $Cl^{-}$ mg/l) mars 2015.....	46
Figure. III.11. Carte iso-teneur en chlorure (en $Cl^{-}$ mg/l) juin 2017.....	46
Figure. III.12. Carte iso-teneur en Bicarbonate $HCO^{-}_3$ (Mars 2015).....	48
Figure. III.13.Carte iso-teneur en Bicarbonate $HCO^{-}_3$ (juin 2017).....	48
Figure. III.14.Carte iso-teneur en sulfate ( $SO_4$ en mg/l) mars 2015.....	50
Figure. III.15. Carte iso-teneur en sulfate ( $SO_4$ en mg/l) juin2017.....	50
Figure. III.16. Carte iso-teneur en sodiums ( $Na^{+}$ en mg/l) mars2015.....	52
Figure. III.17. Carte iso-teneur en sodiums ( $Na^{+}$ en mg/l) juin2017 .....	52

Figure.III.18. Carte iso-teneur en potassiums ( $K^+$ en mg/l) Mars 2015.....	54
Figure. III.19. Carte iso-teneur en potassiums ( $K^+$ en mg/l) Juin 2017.....	54
Figure. III.20. Carte iso-teneur en Nitrate ( $NO_3^-$ mg/l) mars 2015.....	56
Figure. III.21. Carte iso-teneur en Nitrate ( $NO_3^-$ mg/l) juin 2017.....	56
Figure. III.22.Diagramme de Piper Compagne de juin 2017.....	57
Figure.III.23: Relation de CE avec (Ca, Mg).....	62
Figure.III.24:Relation de CE avec (Ca, Mg).....	62
Figure.III.25: Relation de CE avec (Na, K).....	63
Figure.III.26: Relation de CE avec (Na, K).....	63
Figure.III.27: Relation de CE avec (Cl, $SO_4$ ).....	63
Figure.III.28: Relation de CE avec (Cl, $SO_4$ ).....	64
Figure.III.29: Relation de Ca avec Mg.....	64
Figure.III.30: Relation de Ca avec Mg.....	64
Figure.III.31: Relation de $Cl^-$ avec Na.....	64
Figure.III.32 : Relation de $Cl^-$ avec Na.....	65
Figure.III.33: Relation de $SO_4$ avec (Ca, Mg).....	65
Figure.III.34: Relation de $SO_4$ avec ( Ca , Mg).....	67
Figure. III.35 : cercle de corrélation (Compagne Mars 2015).....	67
Figure. III.36 : cercle de corrélation (Compagne Juin 2017).....	67
Figure. III.37: cercle des Individus (Compagne Juin 2017).....	67
Figure. III.38: cercle des Individus (Compagne Juin 2017).....	70
Figure. III.39. Dendrogrammes des faisceaux des variables et des échantillons analysés.....	70
Figure. III.40 L'évolution du $Ca^{2+}$ en fonction de $HCO_3^-$ selon la droite de pente (1 :1).....	74
Figure. III.41. L'évolution du $Na^+$ en fonction de $Cl^-$ selon la droite de pente (1 :1).....	75
Figure III.42: Diagramme de Richard de classification des eaux pour l'irrigation (Mars 2015).....	78
Figure. III.43: Diagramme de Richard de classification des eaux pour l'irrigation (Juin2017).....	79
Figure III.44: DIAGRAMME DE WILCOX (Mars 2015).....	80
Figure III.45: DIAGRAMME DE WILCOX (Juin 2017).....	81

***Introduction  
générale***

### **INTRODUCTION GENERALE :**

La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.

En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables .

Mais la majorité de la population dépend des eaux souterraines Par manque d'eau de surface.

L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants liés à l'essor démographique et le développement accéléré des activités économiques, notamment l'agriculture en irrigué et l'industrie.

La gestion des ressources en eau, en quantité et en qualité, reste au centre des préoccupations du pays compte tenu de l'insuffisance des ressources qui est souvent aggravée par la sécheresse.

La qualité des eaux souterraines est souvent influencée par plusieurs facteurs de surface ou profonds tels que la qualité des roches dans les couches contenant de l'eau, où la géologie de la région est un facteur clé pour déterminer la qualité de l'eau souterraine et ses propriétés chimiques et physiques.

En surface, la filtration de l'eau affectée par les actifs de surface, en plus des éléments qu'elle contient, joue un rôle efficace dans la détermination de la qualité des eaux souterraines, qui sont exploitées par les populations pour potabilité ou irriguer leurs cultures.

Les dernières décennies sont caractérisées par une sécheresse intense qui touche l'Algérie du Nord d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution.

Dans ce cadre, nous avons abordé à l'étude d'de la qualité hydrogéochimique des eaux souterraines de la région de Chemora située dans la Wilaya de Batna à l'Est Algérien par la connaissance des caractères hydrologiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrochimiques avec la recherche de sources de pollution qui pourrait contaminer les eaux souterraines de cette région.

# *Chapitre( I )*

## *Présentation de la zone d'étude*

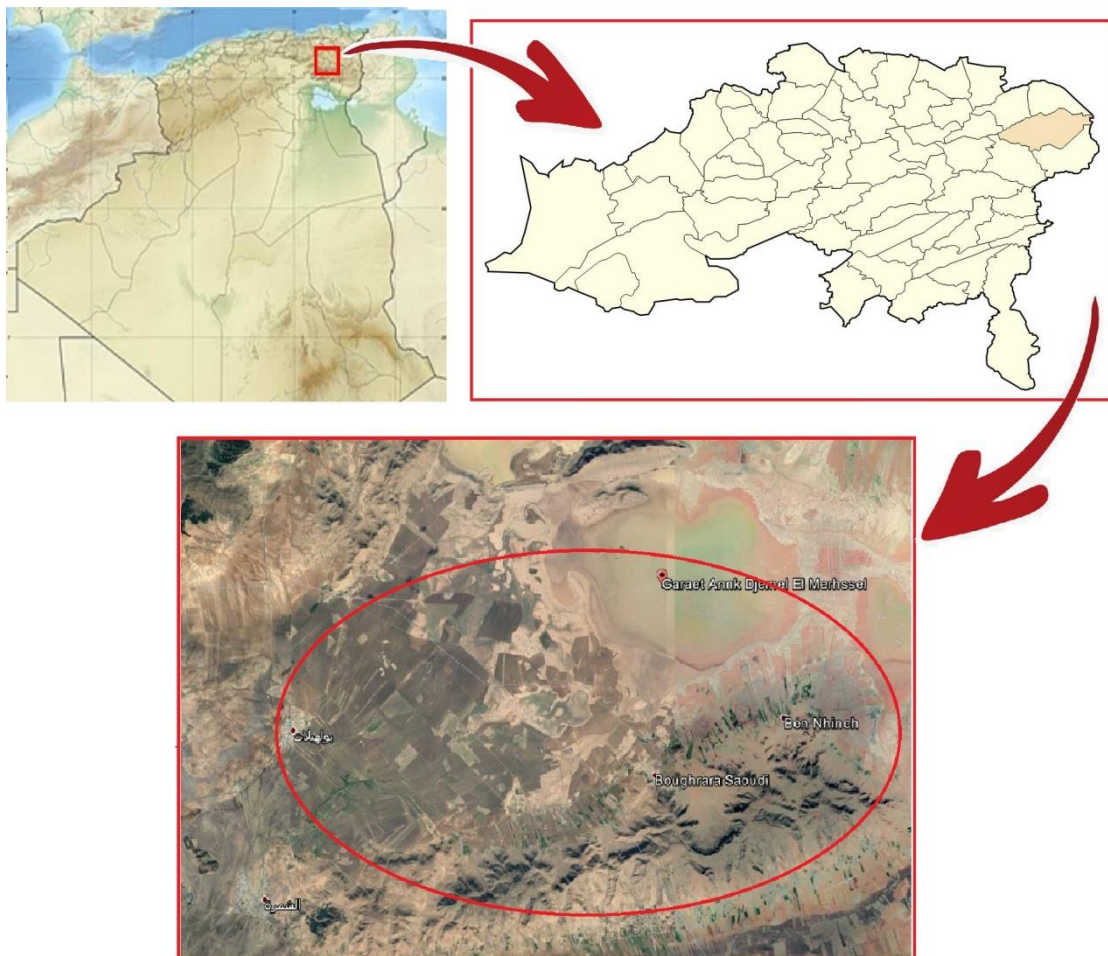
**Introduction :**

Avant d'aborder n'importe quel sujet, nous devrions avoir une idée générale de notre site d'étude afin de bien étudier le sujet et de faciliter les prochaines étapes.

Notamment en ce qui concerne les perspectives géographiques, démographiques, climatiques et morphométriques...ect.

**I- Aperçu géographique:**

La commune de Chemora est considérée parmi les anciennes communes de la wilaya de Batna connue par ses dolmens. Cette commune est située 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. Cette plaine couvre une superficie de 459 Km<sup>2</sup> (**Fig. I.01**) [1] .

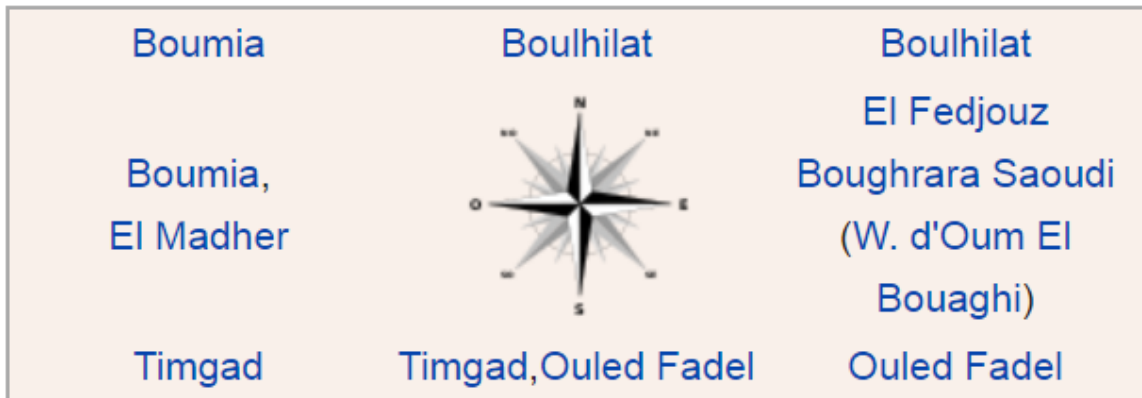


**Fig. I.01:situation géographique de la zone d'étude.**

Les coordonnées géographiques entre parallèles 35° 35'N et 35° 50'N et les méridiens 6°30'E et 6° 55'E en DMS (degrés, minutes, secondes).

**I-1-Communes limitrophes de Chemora:**

Sont montrés dans l'image suivante [2] :



**Fig. I.02: Communes limitrophes de Chemora**

**I-2-Habitation :**

En 2008, la population de la commune de Chemora était d'environ 17000 habitants. Aujourd'hui, il y a plus de 20 000 résidents.

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

Chef-lieu des communes ; Chemora, Bouhilet, Bougharara Saoudi et les agglomérations secondaires de Kouachia et Haouadssa.

**I-3-Agriculture :**

Plain Chemora est une profession agricole. L'occupation dominante est la culture de céréales intensives à faible activité pour les cultures légumières et les arbres fruitiers. Cette activité occupe une superficie de 16940 hectares, le reste est la steppe. Le bétail (ovin, caprin et bovin) constitue une partie importante de la région, principalement en pâturage et en bétail.

I-4-Climat et couverture végétale:

I-4-1-Climat :

La région de Chemora est caractérisée par un climat continental semi-aride, avec des hivers rudes et des étés secs et chauds. Les précipitations sont faibles et irrégulières d'une année à l'autre et de l'ordre de 200 mm (Fig.03), Les températures sont variables d'une saison à l'autre avec des amplitudes parfois très importantes de 5°C à 35°C. Les vents sont canalisés par les massifs montagneux voisins des Aurès et du Belezma.

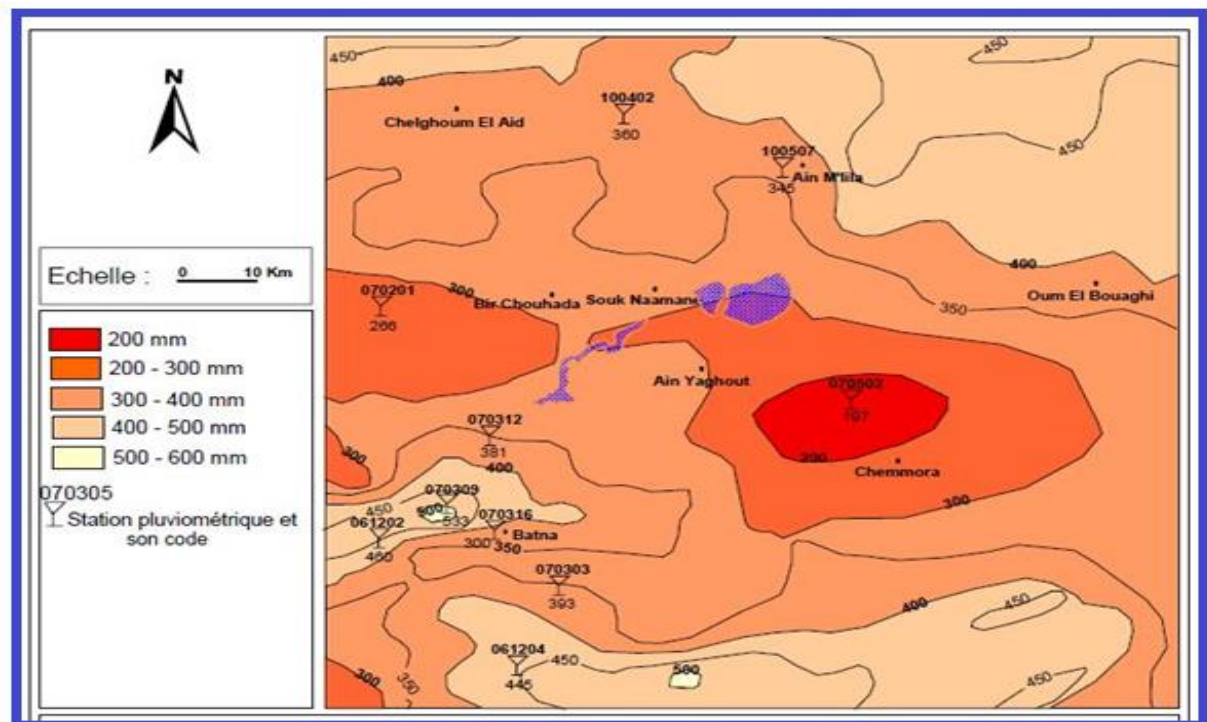


Fig. n° I.3 : Carte pluviométriques de l'Algérie du Nord d'après l'A.N.R.H 1922/60

1969/89

I-4-2-Couvert végétale :

Djebel Fedjoudj représente le principal relief carbonaté de la région sans aucun couvert végétal, les glaciers sont recouvert par l'armoise et l'alfa et constituent des zones de pâturages. La plaine reste le domaine de la céréaliculture et des cultures maraichères, par contre l'arboriculture est pratiquement inexistante [3].

**I-5-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 75% sont utilisés purement pour l'irrigation.
- ❖ L'autre profond exploité par plus de 112 forage de( 50m à 250 m) ; 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 m<sup>3</sup>/an.

**I-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 bassin versant (Exutoire). La zone d'étude (Nord-est de Chemora) appartient au sous bassin **Fig. I.04** qui présente un réseau hydrographique de type dendritique. Les affluents sont de longueurs souvent inégales et les points de confluences plus éloignés, associés le plus souvent à de faibles pentes, et par conséquent ne favorisant pas la concentration rapide des débits. [4]

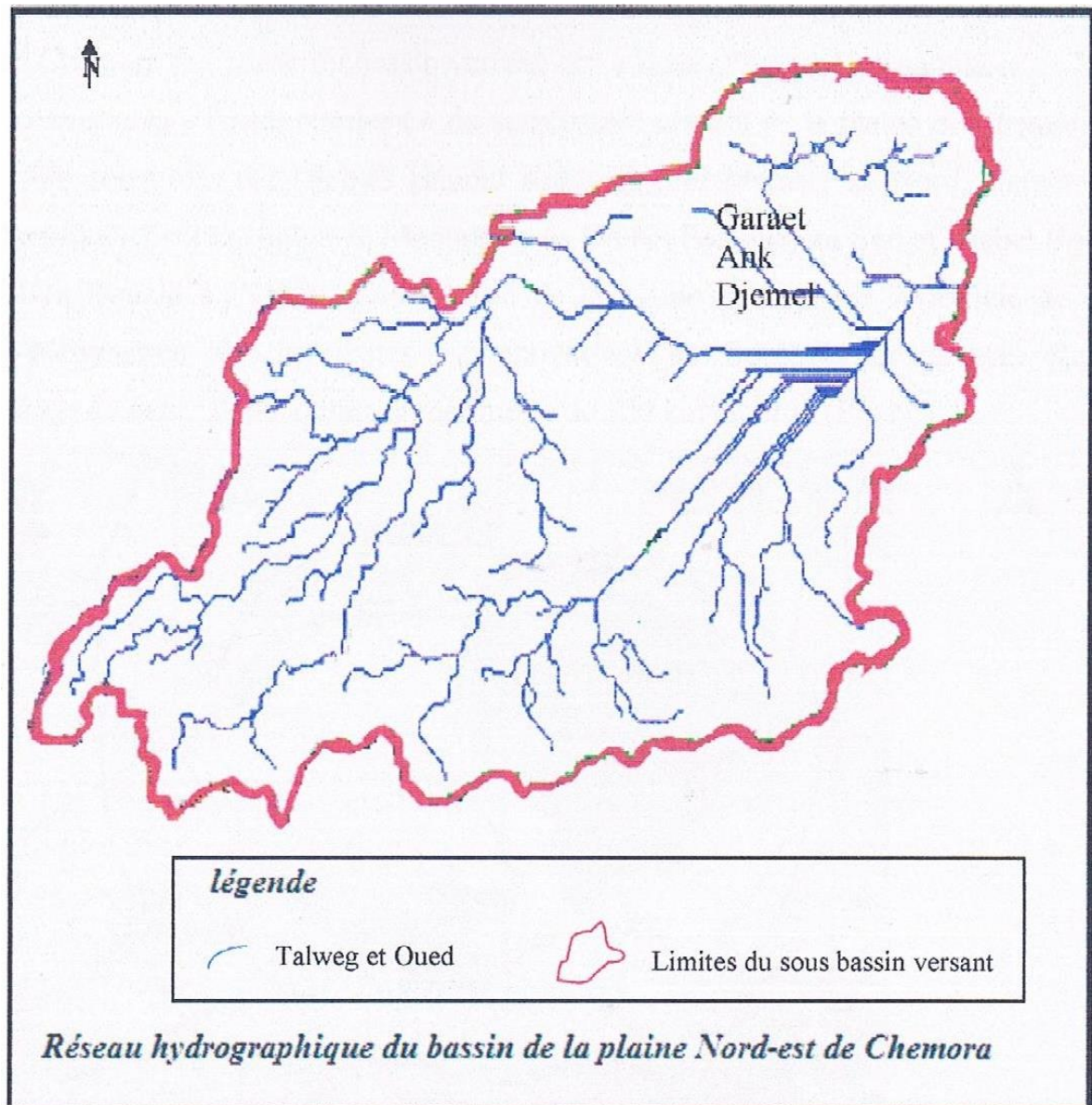


Fig. I.04: Réseau hydrographique du sous bassin versant de Chemora (zone Nord-Est)

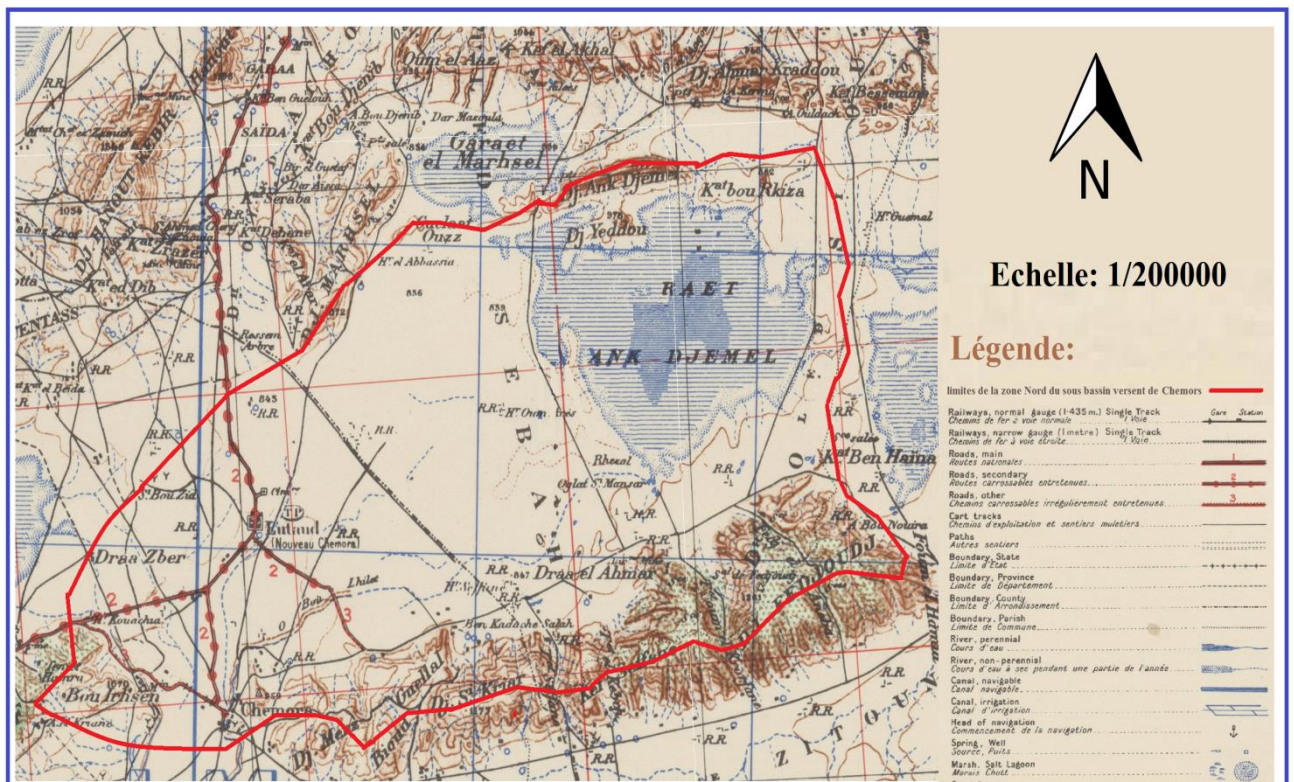
## II- Géomorphologie:

La géomorphologie est l'étude scientifique des reliefs et des processus qui les façonnent, sur les planètes telluriques.

### II-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 parti du bassin versant des « Hauts Palataux Constantinois ». Le secteur d'étude concerne la « Partie Nord-est » 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 à l'Est, la chaîne de Montagnes de Djebel Fedjoudj au Sud et Djebel Bouarif, sidi Ahmed Ben Bouzid à l'Ouest. Cette partie de la plaine couvre une superficie de 308 Km environ planimétrie sur les cartes topographiques de Boulbilet et de Ain Kercha. Le curvimétrage de cette Zone donne un périmètre de 120 km environ (Fig.05). [5]



**Fig. I.05: Carte topographique (zone Nord-Est) du sous bassin versant de Chemora (Extrait de la carte topographique de Batna (feuille NI-32-XIX) Echelle: 1/200000) .**

**II-2- Les caractéristiques morphométriques:**

Les caractéristiques du sous bassin versant ont été déterminées après sa délimitation sur la carte topographique à l'échelle 1/200000.

La forme d'un bassin a une influence sur l'écoulement et surtout sur l'allure de l'hydrogramme de crue. Ainsi, un bassin très allongé ne réagira pas de même façon qu'un bassin de forme massée, si les autres conditions sont égales. On exprime la caractéristique de forme par le coefficient de compacité de Gravelluis qui est défini comme étant le rapport du périmètre du bassin considéré et celui d'un cercle ayant la même surface. Plus cet indice se rapproche d'unité et plus le bassin a une forme massée et plus le temps de concentration de l'eau sera court. [6]

**a-** P : le périmètre de la zone nord du bassin versant de la plaine de Chemora soit :

$$P = 120 \text{ km.}$$

**b-** A : la surface de la zone nord du bassin versant de la plaine de Chemora soit :

$$A = 308 \text{ km}^2.$$

**c- Coefficient de compacité de Gravelluis ( Kc)**

Pour aboutir à un modèle de représentation, il faut tout d'abord calculer le coefficient de Gravelluis qui se définit comme étant le rapport du périmètre mesuré au périmètre d'un cercle ayant la même superficie. Il est exprimé par la relation suivante :

$$\boxed{K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}} \quad K_c = 0.28 \frac{120}{\sqrt{308}} = 1.91$$

Selon la classification des bassins versants suivante :

$K_c \leq 1$  Bassin versant de forme circulaire.

$K_c = 1,12$  Bassin versant de forme carrée.

$K_c > 1,12$  Bassin versant allongé.

$K_c = 1,19 > 1,12$  le bassin versant est donc de forme allongée ce qui va influencer le régime d'écoulement.

**d- Modèle de représentation:**

Ce mode de représentation mis au point par M. Roche pour comparer les bassins entre eux, afin de connaître l'influence de la forme sur l'écoulement. Par une transformation purement géométrique, le contour du bassin devient un rectangle de longueur (L) et de largeur (I) avec une même surface (A), un même périmètre (P), un même indice de compacité (Kc), et une même hypsométries le bassin versant étudié. Les courbes de niveaux sont des droites parallèles aux petits cotés du rectangle et l'exutoire un des petits cotés du rectangle.

L et I sont les racines d'une équation de 2<sup>ème</sup> degré et sont données par les équations suivantes :

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

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

Avec:

- L: longueur du rectangle équivalent en km.
- I: largeur du rectangle équivalent en km.
- Kc: indice de compacité .
- A: superficie du bassin versant en km<sup>2</sup>.

Les résultats d'une telle application sont donnés dans le tableau(N: I.01) et fig (N:I.06).

**Tableau n°I.01 Paramètres géométriques du bassin versant de Chemora Nord-Est.**

Paramètre	Valeurs
A ( km <sup>2</sup> )	308
P ( km )	120
Kc	1,91
L ( km )	54,17
I ( km )	5,68

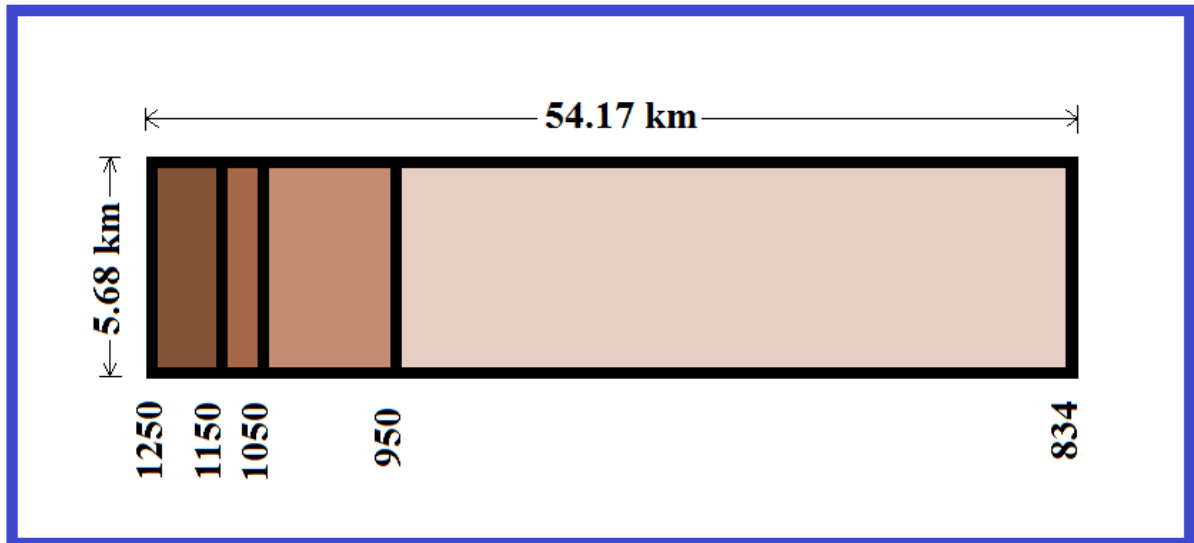


Fig I.06: Le rectangle équivalent.

#### 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 n°I.02** et par la courbe hypsométrique correspondante (**fig. I.06**). On remarque que l'altitude supérieure à 1100 m du secteur d'étude ne représente que 9,60 km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup> de la 79,3% de la superficie totale.

Tableau n°I.02 Répartition de l'altitude en fonction de la superficie.

Tranches d'altitude (m)	Altitude Moyenne $H_i$ en (m)	Surface partielle $A_i$		Surface cumulée $A_i$		$A_i \cdot H_i$
		$A_i$ en $km^2$	$A_i$ en %	$A_i$ en $km^2$	$A_i$ en %	
1250-1200	1225	1,21	0,4	1,21	0,4	1482,25
1200-1150	1175	2,51	0,8	3,72	1,2	4371
1150-1100	1125	5,88	1,9	9,6	3,1	10800
1100-1050	1075	8,02	2,6	17,62	5,7	18941,5
1050-1100	1025	19,02	6,2	36,64	11,9	37556
100-950	975	27,07	8,8	63,71	20,7	62117,25
950-900	925	37,05	12	100,76	32,7	93203
900-850	875	47,06	15,3	147,82	48	129342,5
850-834	842	160,18	52	308	100	259336
/	/	308 $km^2$	100%	/	/	617149,5

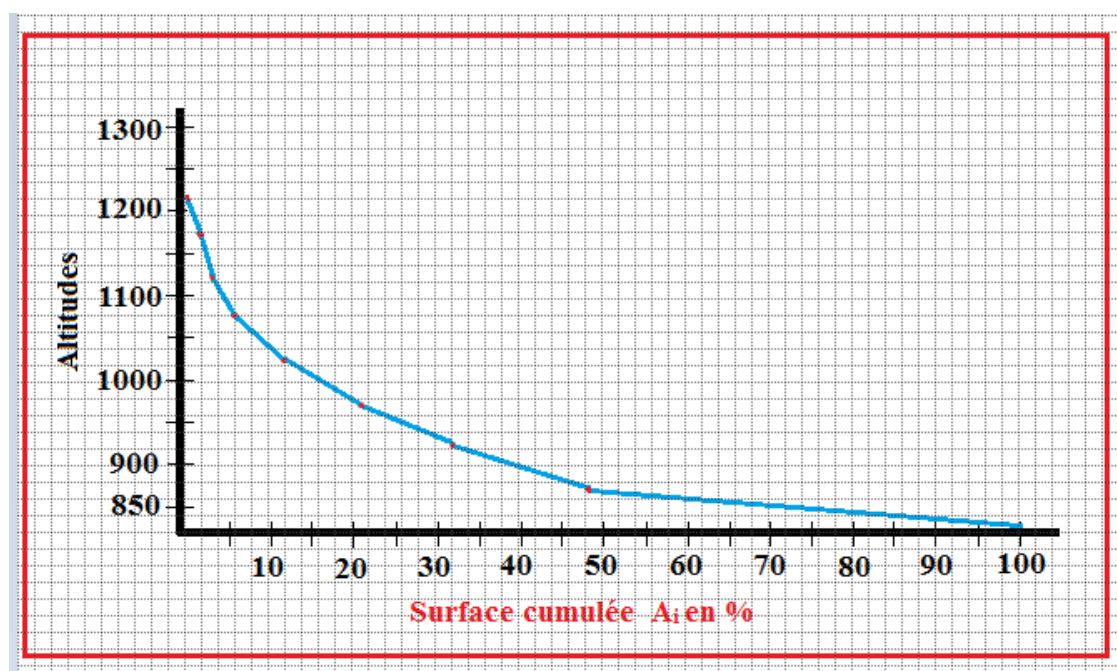


fig. I.°07: Courbe hypsométrique.

❖ **Altitudes caractéristiques:**

La courbe hypsométrique (Fig.n°07) 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 :

$$H_{moy} = \frac{\sum Si \cdot Hi}{St}$$

**Avec :**

$H_i$  : altitude moyenne de chaque classe d'altitude en mètre.

$A_i$  : surface partielle des tranches d'altitude en km<sup>2</sup>.

$A_t$  : surface totale du sous bassin en km<sup>2</sup>, ce qui ne permet d'avoir une  $H_{moy} = 898$  m.

L'altitude médiane H50% correspond à 50% de l'altitude sur la courbe hypsométrique soit:

**H 50% = 875m.**

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 sous bassin versant, la dénivelée simple est donc égale à :

**D= H 5% - H 95% = 1080 - 845 = 235 m.**

**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 regarder que 90% de l'aire du sou bassin. Ce indice est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$I_g = \frac{D}{L}$$

**Avec :**

D: dénivelée simple en (m) .

L : longueur du rectangle équivalent (km).

I<sub>g</sub> : Indice de pente globale, d'où I<sub>g</sub> = 4.34 m/km.

**\*- Indice de pente de Roche (I<sub>p</sub>):**

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

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i d_i} \quad \text{Ou :} \quad I_p = \sqrt{08 / I_g}$$

**Avec :**

I<sub>g</sub> : Indice de pente globale.

I<sub>p</sub>: Indice de pente de roche.

L : longueur du rectangle équivalent.

A<sub>i</sub> : surface partielle entre deux courbes de niveau par rapport au totale.  $\sum A_i$

d<sub>i</sub> : l'équidistance entre deux courbes de niveaux.

Nous obtenons alors : I<sub>p</sub> = 1.36 m/km

**\*Dénivelée spécifique (D<sub>s</sub>) :**

L'indice I<sub>g</sub> 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 :  $D_s = \frac{D}{L} \sqrt{A}$

**Donc:**  $Ds = 7.95\ 308 = 76,17m$

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 n° I.03).

**Tableau n° I.03: classification de l' ORSTOM**

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

**II-3- Les caractéristiques du réseau hydrographique :**

**1.3.1- 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 :

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

Li : longueur des talwegs ( en km) et A : la superficie du bassin (en km<sup>2</sup>).

D'où Dd= 0.28 km/km<sup>2</sup>

**II.3.2- 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 :

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.54}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec :

A : Superficie du sous bassin = 308 km<sup>2</sup>.

Lp : longueur du talweg principale = 23 km.

Hmoy : Altitude moyenne = 898 m.

H min : Altitude minimale = 834 m.

Nous Obtenons alors :

$Tc = 11.58 \text{ heures}$
-----------------------------

**II-3.3- Vitesse d'écoulement de l'eau (Vc):**

Elle est donnée par l'expression suivante:  $Vc = \frac{Lp}{Tc}$

Avec :

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

Lp : Longueur du talweg principal : 23 km = 23000 m.

Tc: temps de concentration : 11.58 heures = 41688 S.

Donc:  $Vc = 23000/41688$

**$Vc = 0,55 \text{ m/s}$ .**

Les paramètres morphométriques du sous bassin versant de la (zone Nord de Chemora) sont reportés dans le tableau n°I.04 .

Tableau n°I.04: Tableau récapitulatif des paramètres morphométriques.

N° d'ordre	Caractéristiques	Unité	Symboles	Valeur
1	Superficie du bassin	( km <sup>2</sup> )	A	<b>308</b>
2	Périmètre	( km )	P	<b>120</b>
3	Indice de compacité	/	Kc	<b>1,91</b>
4	Longueur du rectangle équivalent	(km)	L	<b>54,17</b>
5	Largeur du rectangle équivalent	(km)	I	<b>5,68</b>
6	Altitude maximal	( m )	H max	<b>1250</b>
7	Altitude minimal	( m )	Hmin	<b>834</b>
8	Altitude moyenne	( m )	H moy	<b>898</b>
9	Dénivelée simple	( m )	D	<b>235</b>
10	Indice de pente globale	( m/km )	Ig	<b>4,34</b>
11	Indice de pente de Roche	/	Ip	<b>1,36</b>
12	Dénivelée spécifique	( m )	Ds	<b>76,17</b>
13	Densité de drainage	( km/km <sup>2</sup> )	Dd	<b>0,28</b>
14	Temps de concentration	(heures)	Tc	<b>11,58</b>
15	Vitesse d'écoulementd'eau	(m/s)	Vc	<b>0,55</b>

#### II-4-Conclusion:

La Zone Nord-est de la plaine de Chemora se présente sous forme d'un sous bassin versant allongé. L'analyse morphométriques a permis de voir que le réseau hydrographique est très peu développé et les indices de pente et de compacité permette ni 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. Le climat est semi-aride caractérisé par des hivers rudes et des étés secs et chauds. Les précipitations sont de l'ordre de 200 mm, Les températures sont variables de 5°C à 35°C. Les vents sont canalisés par les massifs montagneux voisins des Aurès et du Belezma.

# *Chapitre( II )*

## *Aperçu géologique et hydrogéologique*

**I-Aperçu géologique:****I-I-Introduction :**

La géologie est la science dont le principal objet d'étude est la Terre, et plus particulièrement la lithosphère. Discipline majeure des sciences de la Terre, elle se base en premier lieu sur l'observation, puis établit des hypothèses permettant d'expliquer l'agencement des roches et des structures les affectant afin d'en reconstituer l'histoire et les processus en jeu. Le terme « géologie » désigne également l'ensemble des caractéristiques géologiques d'une région. [7]

Toute étude hydrogéologique doit obligatoirement passer par une étude géologique qui détermine à partir de la lithologie, les formations susceptibles d'être aquifères. Ainsi plusieurs travaux et études dans ce domaine ont porté sur la stratigraphie et la géologie structurale ont été entrepris dans l'Est Algérien. [8]

**I-II-Historique:**

Plusieurs travaux et étude dans ce domaine ont porté sur la stratigraphie et la géologie structurale ont été entreprise dans l'Est Algérien. En 1939 , R.Laffitte se consacre à l'étude géologique des Aurès . c'est une œuvre fondamentale sur laquelle sont basés tous les travaux géologique postérieurs . A partir de 1970 l'aspect structural a été abordé par plusieurs travaux. Parmi ces travaux l'étude des Monts de Batna ou J.M. Villa et S. Guelliel ont dressé en 1973, pour le compte de Sonatrach, la carte géologique de Batna , qui a été publiée en 1977 et englobe les travaux d'exploitation réalisés dans la région de Chemora qui ont abouti à la description suivante Fig. II.01:

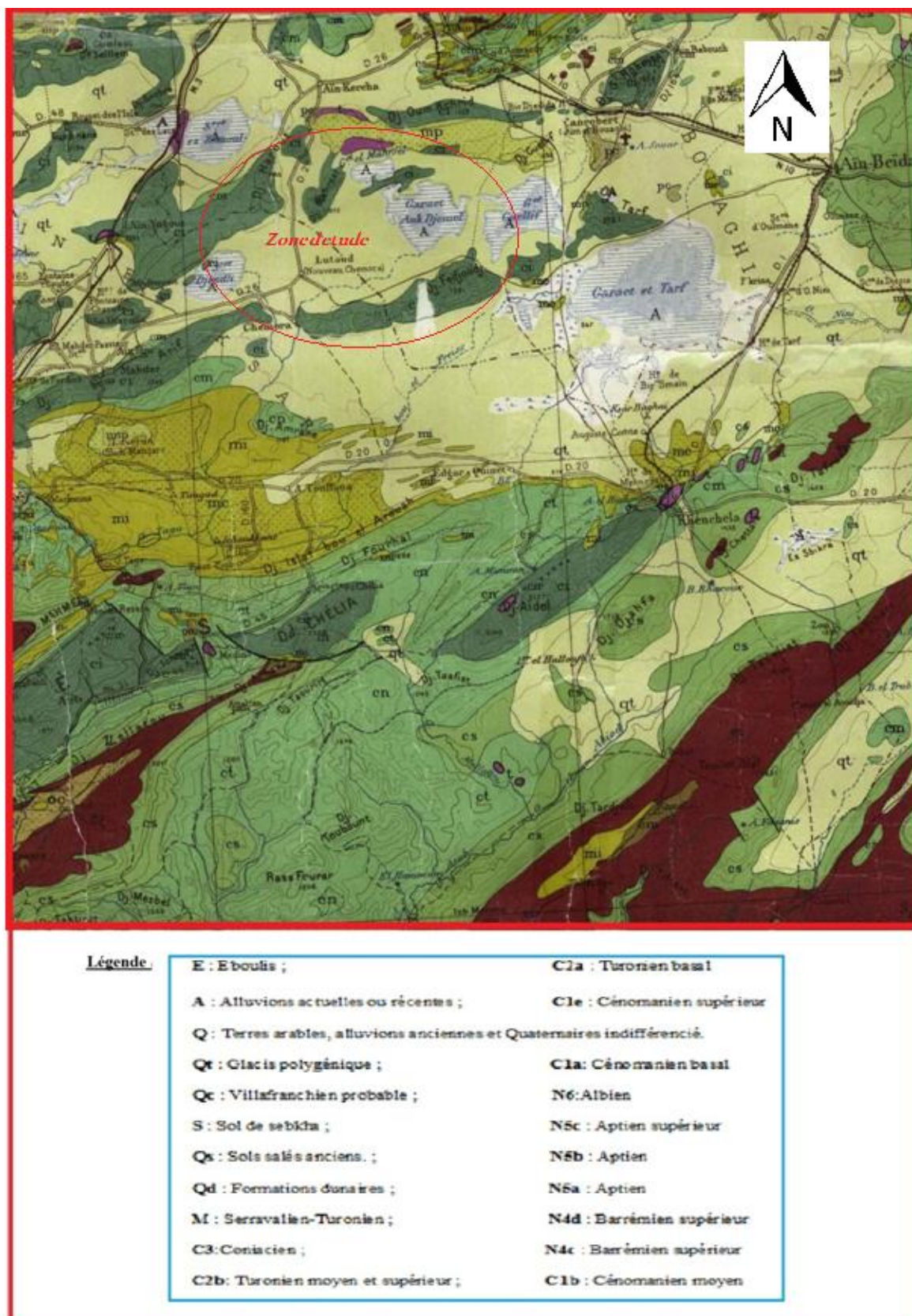


Fig. II.01: Carte géologique(Nord-est) de la wilaya de Batna.

Extrait de la carte géologique des Aurès (R. LAFFITTE) au 1/200000.

La région de Chemora est située au centre des Hautes plaines constantinoises, entre les monts constantinois au Nord , et les monts des Aurès au Sud. Elle est divisée en deux dépressions l'une au Nord (plaine de Boulhilet) l'autre au Sud ( plaine de Chemora) par Djebel Fedjoudj (**1248 m**) orienté Est Ouest.

La zone d'étude située au Nord- Est de la région de Chemora est limitée :

- Au Nord par **Djebel Hanout Kebir** et **Djebel Marhsel**.
- Au Sud par la chaîne de montagnes formée par **Djebel Fedjoudj**.
- A l'Est par **Djebel Ank Djemel**, les plaines Sud de **Ain Fekroun** et **Granet Guellife**.
- A l'Ouest par **Djebel Bouarif-Bouirhsène-** (1064 m) et **Djebel Sidi Ahmed Ben Bouzid** (907m).

### **I-III- Litho stratigraphie :**

La partie stratigraphique de la zone d'étude présente des domaines géologiques.

le Quaternaire couvre la majorité de la plaine de Chemora, les formations carbonatés affleurent au Djebel Merzkelal, Djebel Fedjoudj et Djebel Bouirhsène . Selon les sondages qui traversent cette morphologie , on discerne un domaine très karstique et caverneuse d'âge Aptien et Barrémien de près de 1100 m d'épaisseur avec des faciès très 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'extrême base n'a pas été atteinte et développée sur plus 1300m d'épaisseur, lui aussi montre un net épaissement par rapport à la série du ravin bleu ( feuille de Merouana ). [9]

L'analyse litho stratigraphie ci-après est inspirée de travaux antérieurs, et des notices explicatives des cartes géologiques suivantes au 1/50.000 : ( Fig. n° II. 02 et Fig. n°II .03 )

- ✓ Ain El Ksar.
- ✓ Ain Kercha.
- ✓ Ain Yaghout.
- ✓ Boulhilet .

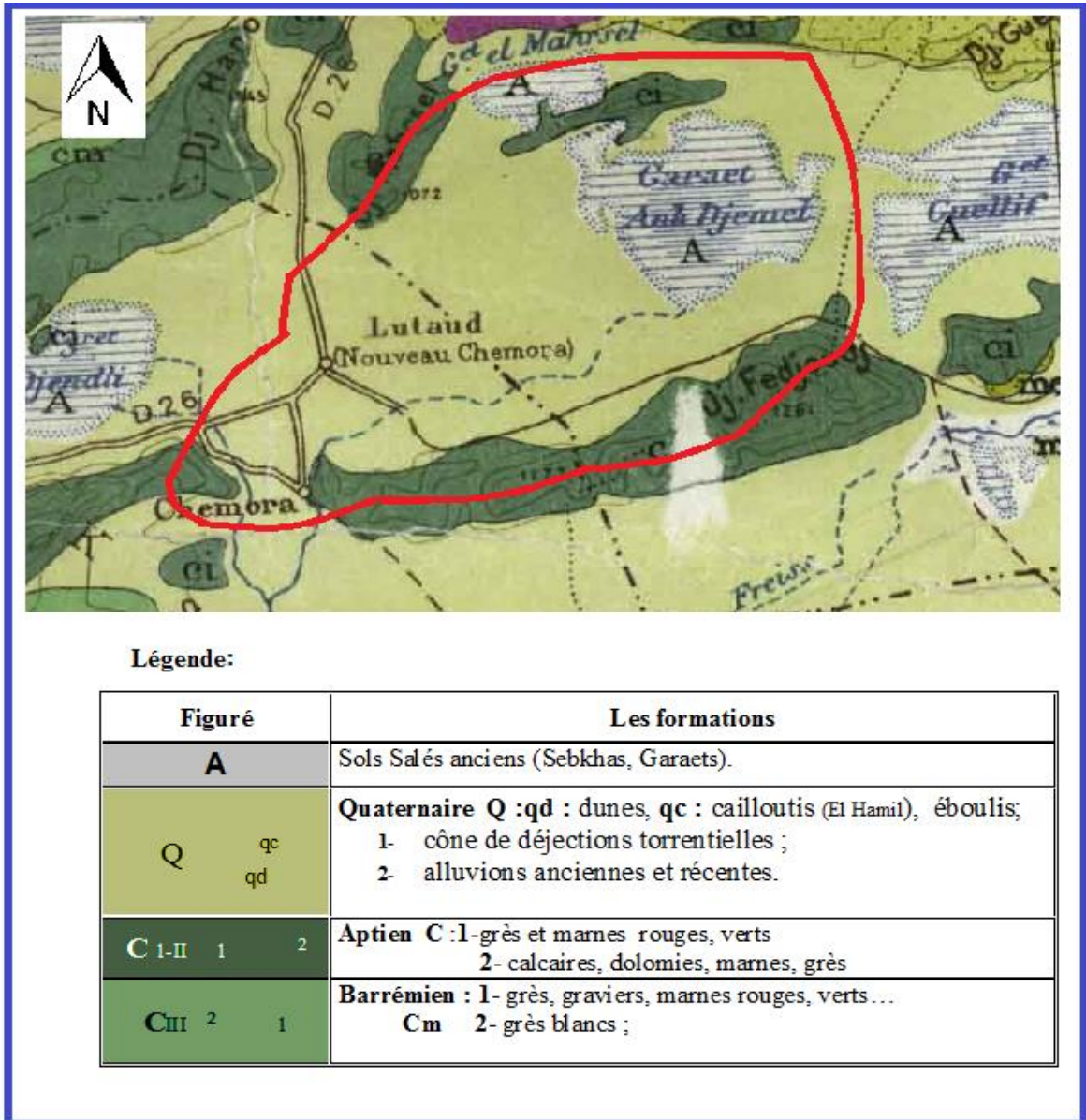
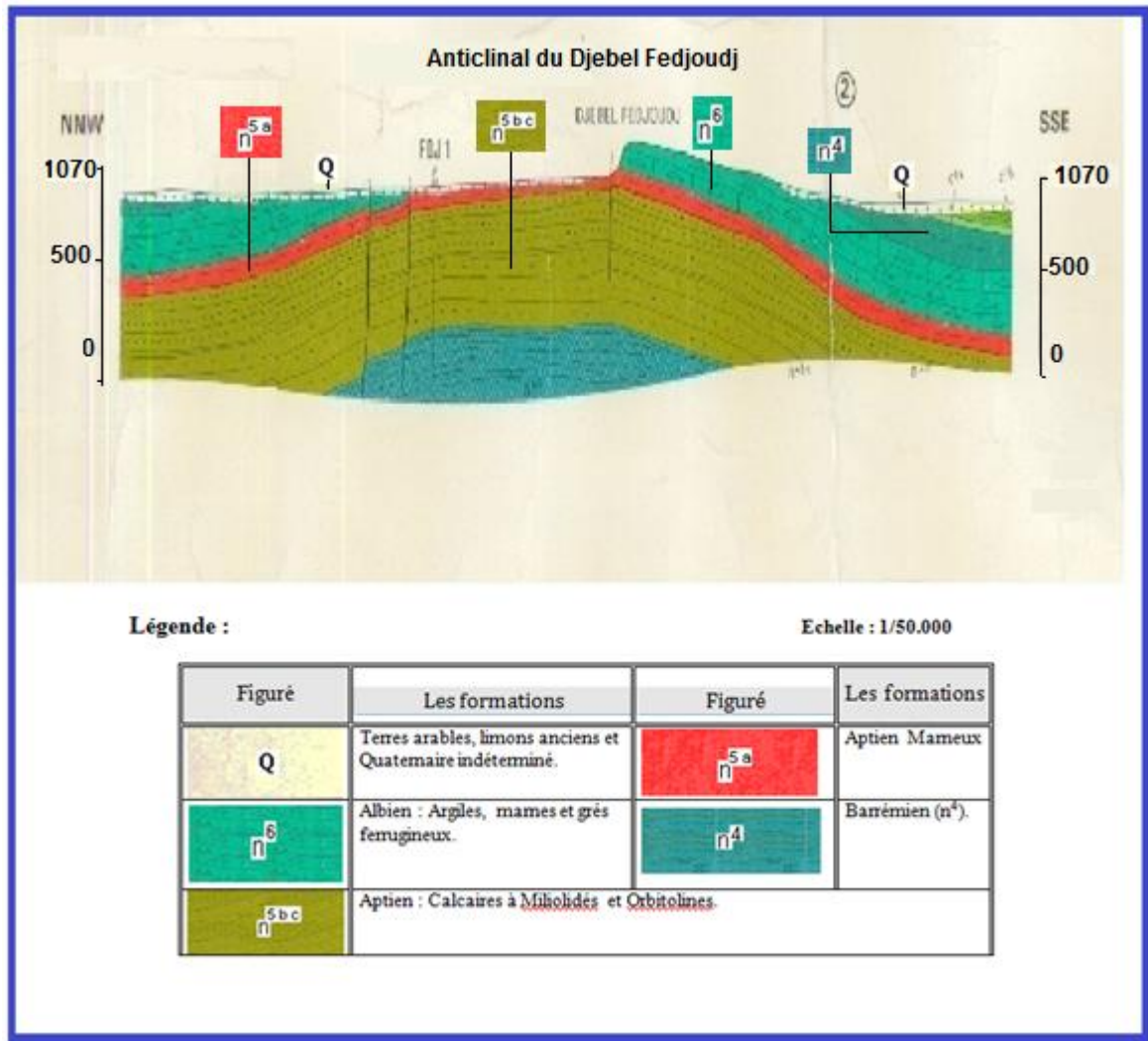


Fig n°II.02 : La carte géologique du sous bassin versant de Chemora.

Extrait de la carte géologique des Aurès (R.LAFFITTE au 1/200000.).



**Fig n° II.03 : Coupe géologique interprétative : Anticlinal du Djebel Fedjoudj-Echelle : 1/50 000 (source carte géologique de l'Algérie –Boulhilet (Ex Lutaud)**

**I-III -1-Les formation des (Quaternaire) :**

❖ **E : Eboulis**

nappant les pentes de Djebel Fedjoudj, issus de l'Aptien calcaire.

❖ **A : Alluvions actuelles et récentes :**

On les rencontre au Nord et à l'Ouest de Djebel Fedjoudj au niveau des dépressions de Oued Chemora, Oued Boulhilet et Oued Boulfreiss au sud de la carte.

**❖ Q : Terres arables, limons anciens et Quaternaire indéterminé**

Il correspond à des limons sombres sur lesquels se développe un sol brun, c'est le domaine réservé à la céréaliculture. Il constitue une zone où l'infiltration est presque nulle.

**❖ Qt : Glacis polygéniques nappant les reliefs**

Ils sont localisés au niveau des piémonts des reliefs et sont formés d'éléments détritiques divers. On remarque qu'il existe un bon classement à l'amont et à l'aval de la pente et au transport de ces éléments par les eaux de ruissellement.

**❖ Qc : Villafranchien probable**

Il correspond à une croûte calcaire qui affleure au sud de Djebel Bouarif.

**❖ S : Sebkhah**

Ces sont des zones salées qui forment les sebkhahs telles que sebkhah Djendli, Garaet ank Djemel et Guellife ; celles sont inondées en hiver, l'été recouverte par une couche de sel due à une forte évaporation.

**❖ Qs : Sols salés anciens**

Ils sont localisés aux alentours des Sebkhah et correspondent à des sols salés hydromorphes sur lesquelles se développe une végétation.

**❖ Qd : Formation dunaire**

Ce sont des amas de sables fins de poussières localisées autour de la sebkhah et corrodées par l'érosion.

**I-III- 2- Les formations des (Crétacé) :**

Les formations du crétacé supérieur sont localisées au niveau du versant nord de Djebel Amrane. Celles du crétacé inférieur forment le cœur de l'anticlinal Bouarif-Fedjoudj-Taref.

**C3 : Coniacien**

Il a une épaisseur de 15 m. Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox 0 et il est formé par des alternances de marnes grises et de marno-calcaires zoogènes à Inocérames.

Ce sont des bancs décimétriques ou métriques ayant un aspect noduleux. A la base, la microfaune est pauvre avec des *Rotalia*. Au sommet, elle est riche avec des *Globotruncana*.

**C2b : Turonien moyen et supérieur**

A Djebel Amrane, le sommet du Turonien est caractérisé par une barre d'une épaisseur de 150 m qui correspond à une série d'alternance de calcaire zoogènes noduleux riches en débris mollusques et d'échinodermes, suivi par des marnes beiges et de petits bancs métriques à *Globotruncanarenzi* et dédoublé formé par des calcaires ocre noduleux, riche en débris divers. C'est un bon repère qu'on peut suivre sur de grandes distances.

**C2a : Turonien basal**

La base de la série est formée par des marno-calcaires bitumineux à cassure noire qui forment la limite avec le Génomaniens supérieur.

Au dessus on a une dominance de marnes, de marnes bleues et de petits bancs de calcaires centimétriques ou décimétriques, sur plus de 200 m. la microfaune est abondante formée par les *Globotruncana*, *Helvetica*, *rotariasp*, *Heterohelix* caractérise bien le Turonien franc.

**C1c : Cénomaniens supérieur**

Il s'agit d'une formation calcaire franche composée de micrites gris bleu à cassure noirâtre sombre en bancs d'épaisseur 1 à 3 mètres et de bancs marneux minces. La microfaune des marnes est riche en *Rotaliporacushnani* et autres ostracodes.

**C1b : Cénomaniens moyen**

C'est une formation marneuse qui dépasse les 300 m d'épaisseur. Il s'agit de marnes grises avec des intercalations micritiques minces. C'est une formation riche en fossile avec *Aspidiscus cristatus* et de nombreux *Enchynides*.

**C1a : Cénomaniens basal**

Il constitue le cœur de l'anticlinal de Djebel Amrane. Il s'agit de marnes grises ou gris-bleuté, schisteuses avec de minces intercalations de micrites argileuses et glauconieuses.

La microfaune à Hétéhélixsp et Hedbergelles correspond peut être au Cénomaniens basal, il est mieux daté au Djebel Bouarif.

**N6 : Albien**

Il a une épaisseur de 250 m à Djebel Amrane. C'est une série d'alternance d'argiles beige verdâtre, silteuses, de marnes grises et de grès bancs tendes, ferrugineux ou de grès quartziques fins. La microfaune est typiquement Albiennaise avec Orbitolina.

**N5bc : Aptien supérieur**

Il est localisé au niveau de Théni et El Kherfène, à l'extrémité Est de Djebel Fedjoudj.

C'est une série formée à sa base par des biomicrites sombres en bancs métriques, des grès blancs ferrugineux, des argiles grises silteuses, son épaisseur est de 150 m.

Le sommet est formé par une alternance de calcaire gris-noir, organo-détritiques, parfois oolithiques en bancs décimétriques ou métriques, de dolomies beiges ou oolites et de marnes avec des passées métriques à débris de mollusques ; son épaisseur est de 150 m.

**N5b : Aptien**

Il forme la majorité de l'anticlinal de Djebel Fedjoudj. Son épaisseur est de 175 m, c'est une succession de calcaires sparitiques ou oolithiques sombres en bancs métriques, de minces bancs marneux gris, de petits bancs de calcaire noduleux à débris de Rudistes et à Orbitolines.

**N5a : Aptien marneux**

Localisé dans la moitié Est de Djebel Fedjoudj, son épaisseur est de 75 m marnes grises ou beiges avec quatre minces intercalations de calcaires zoogènes en bancs décimétriques ou métriques beiges, noduleux riche en débris de Lamellibranches, Echinodermes, de Brachiopodes et à Orbitolines.

**N4d : Barrémien supérieur à dominante gréseuse**

Il affleure à Sidi Bouzid, près de Bouirhsène, à Djebel Bouarif. L'épaisseur visible est de 80 m.

**N4c : Barrémien supérieur calcaro-dolomitique**

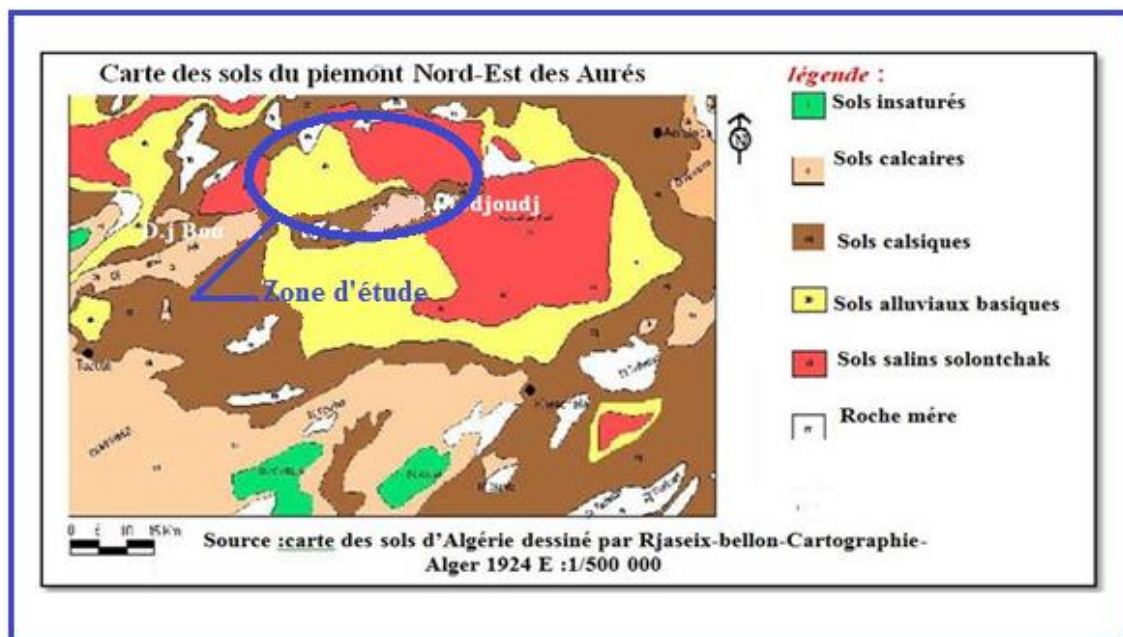
Il affleure à Sidi Bouzid, ces sont des petits bancs de dolomies sombres et des calcaires fins, cristallins, son épaisseur est de 50 m\*

**I-IV- Tectonique et paléogéographie:****I-IV.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 Aurès correspondant à un bassin fermé entouré de reliefs fortement accidentés et tectanisés.

**I-IV.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 Fedjoudj et celui de Djebel Amrane **Fig n°II. 04** .



**Fig. n° II.04 : Carte représenté les sols du piémont Nord-Est des Aurès.**

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 dextre qui disposent l'axe du Djebel Fedjoudj 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 sur la feuille d'Ain- Kercha.

L'Anticlinal du Djebel Fedjouj est donc un pli embouti par le serrage alpin postérieur à la tectonique plicative atlasique fini- éocène. [10]

#### **I-V - Caractéristiques lithologiques du sous bassin versant:**

Les descriptions lithologiques sont inspirées en grande partie de la notice explicative des cartes géologiques au 1/50.000 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 la charge solide arrachée aux versants.

Quand aux formations gréseuses, elles occupent **24 %** de la surface, et affleurent principalement dans les secteurs de Koudiat 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 formations à dominance calcaire du Crétacé inférieur ; qui affleurent Djebel Bou-Arif et Djebel Fedjoud, occupent une surface de **3 %** de la surface totales.

#### **\*- Classification des formations géologiques selon leurs intérêts hydrogéologiques**

La classification des formations géologiques du sou bassin en question est basée sur la structure physique des roches (porosité), donc de leur susceptibilité d'emmagasiner ou de transmettre de l'eau. [11]

Nous avons classé ces terrains en trois catégories, les terrains aquifères à fortes potentialités, les terrains à faible potentialité et les terrains imperméables (tableau N° II.01 et II.02).

Tableaux n°II.01 : Répartition des terrains selon leur degré de potentialité -

ANRH-

Terrains	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Terrains aquifères à forte potentialité	133	29
Terrains Aquifères à faible potentialité	184	40
Terrains imperméables	142	31

- 1) : Ce sont Les formations perméables en grand sont représentées par les roches et séries calcaro-dolomitiques fissurées des Djebels Merzeklal, Fedjoudj, Annk Djemel et Bouarif.
- (2) : Ce sont des roches meubles à perméabilité d'interstice ; sable; gravier, limons, alluvions diverses qui ne se diffèrent entre elles que par le volume de vide ou par la porosité.
- (3) : Ce sont des marnes, des argiles et des conglomérats cimentées et dépourvues de fissuration ou de porosité.

Le secteur étudié recèle plusieurs formations aquifères réparties sur plusieurs niveaux stratigraphiques, depuis le crétacé jusqu' au quaternaire dont la nature, la puissance et la qualité sont variables. Cependant, on peut distinguer dans la région où appartient la zone d'étude trois principaux types de nappes; La nappe de plaines Sud Constantinoises et plaines alluviales du Bassin, la nappe miocène de Timgad, et le réservoir calcaire des monts des Aurès qui sont à l'origine de plusieurs sources.

système	Etage	Symbole	Description lithologique	Les affleurements	Epaisseur (m)	Intérêt hydrogéologique
Quaternaire		e	Eboulis	Frangent le relief de Djebel Fedjoudj.	100m	perméable
		A	Alluvions actuelles et récentes	À l'Ouest du Djebel Fedjoudj et le long des vallées de l'Oued Chemora -Boulhilet et Gareat Annk Djemel		
		Q	Terres arables, limons anciens et Quaternaire indéterminé	Zones plates cultivables.		
		Q <sup>t</sup>	Glacis polygénique nappant les reliefs.	Couvrent de très vastes surfaces en pente douce		
		Q <sup>c</sup> S Q <sup>s</sup>	Croûtes calcaires massives Sols de Sebkha, sols sales et dunaires	- Occupant de vastes espaces dans les zones basses au Sud-est. -Au bord Nord du sou bassin (Garaet Ank Djemel et ses environs).		
Crétacé inférieur	Aptien	n <sup>5a</sup>	Marnes grises.	-Affleurent mal à Djebel Fedjoudj sous les éboulis	75m	impermeable
		n <sup>5b</sup>	Calcaires à Miliolidés Orbitolines et dolomitiques	Djebel Fedjoudj.	175m	perméable
		n <sup>5c</sup>	Calcaires à Miliolidés	Djebel Fedjoudj (Theniet El-Korfane).	50m	perméable
	Barrémien	n <sup>4c</sup>	Dolomites sombres et calcaires fins noirs	Dj Sidi Bou zid	-	perméable
		n <sup>4d</sup>	grés	Affleure à Dj Sidi Bouzid	80m	perméable
	Albien	n <sup>6</sup>	Argiles, marnes et grés ferrugineux	Au bord Ouest du sousbassin Visible à Dj bouarif	250m	impermeable

Tableau<sup>o</sup>II.02 : Colonne stratigraphique et conséquence hydrogéologique

**I-VI-Conclusion**

Les formations prédominantes dans la région sont celles du Quaternaire, atteint 100 m d'épaisseur et celles du Crétacé représentées par l'Aptien et le Barrémien d'épaisseur 750 m à 950m . Cependant les argiles et les marnes gréseuses localisées dans la partie Sud et les formations de calcaires sont assez peu représentées à l'Est.

Le secteur étudié recèle plusieurs formations aquifères réparties sur plusieurs niveaux stratigraphiques, depuis le Crétacé jusqu' au Quaternaire dont la nature, la puissance et la qualité sont variables. Cependant, on peut distinguer dans la région où appartient la zone d'étude trois principaux types de nappes:

- La nappe de plaines Sud Constantinoises (plaines alluviales du Bassin);
- La nappe miocène de Timgad;
- Le réservoir calcaire des monts des Aurès qui sont à l'origine de plusieurs sources.

**II- Aperçu hydrogéologique:****II-I- Introduction:**

L'hydrogéologie, est la science qui étudie l'eau souterraine. Son domaine d'étude repose essentiellement sur deux branches des sciences de la terre, la géologie et l'hydrologie,

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface. [12]

À travers l'étude précédente la géologie de la région montre qu'il existe (03) aquifères:

- Un aquifère superficiel se trouvant dans les formations du Quaternaire,
- Un aquifère profond dans la formation calcaro-dolomitiques fissurées exploité à l'aide de forages profonds réalisés par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Batna et celle d'Oum el Bouaghi.
- Un aquifère dans les formations Barrémiennes qui affleurent au piedmont Nord-est de Djebel Fedjoudj et s'étend vers Sebka (Annk Djemel).

Dans cette étude, nous étudierons le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale de l'aquifère superficiel des formations du Quaternaire et nous traitons principalement la piézométrie relevée durant les périodes de Mars 2015 et Juin 2017 . [13]

**II-II- Etendue de la nappe superficielle:**

la nappe en question va jusqu'a 80 m de profondeur dans les formations du Quartenaire.

elle est constituée essentiellement d'alluvions récentes et anciennes.

cette nappe considérée alluviale est contact avec les formations calcaires.

**II-III- Inventaire des points d'eau:**

On a pu inventorier 23 forages (Fig N II.06) et les données piézométriques ont été consignées dans le (Tableau N II.03).

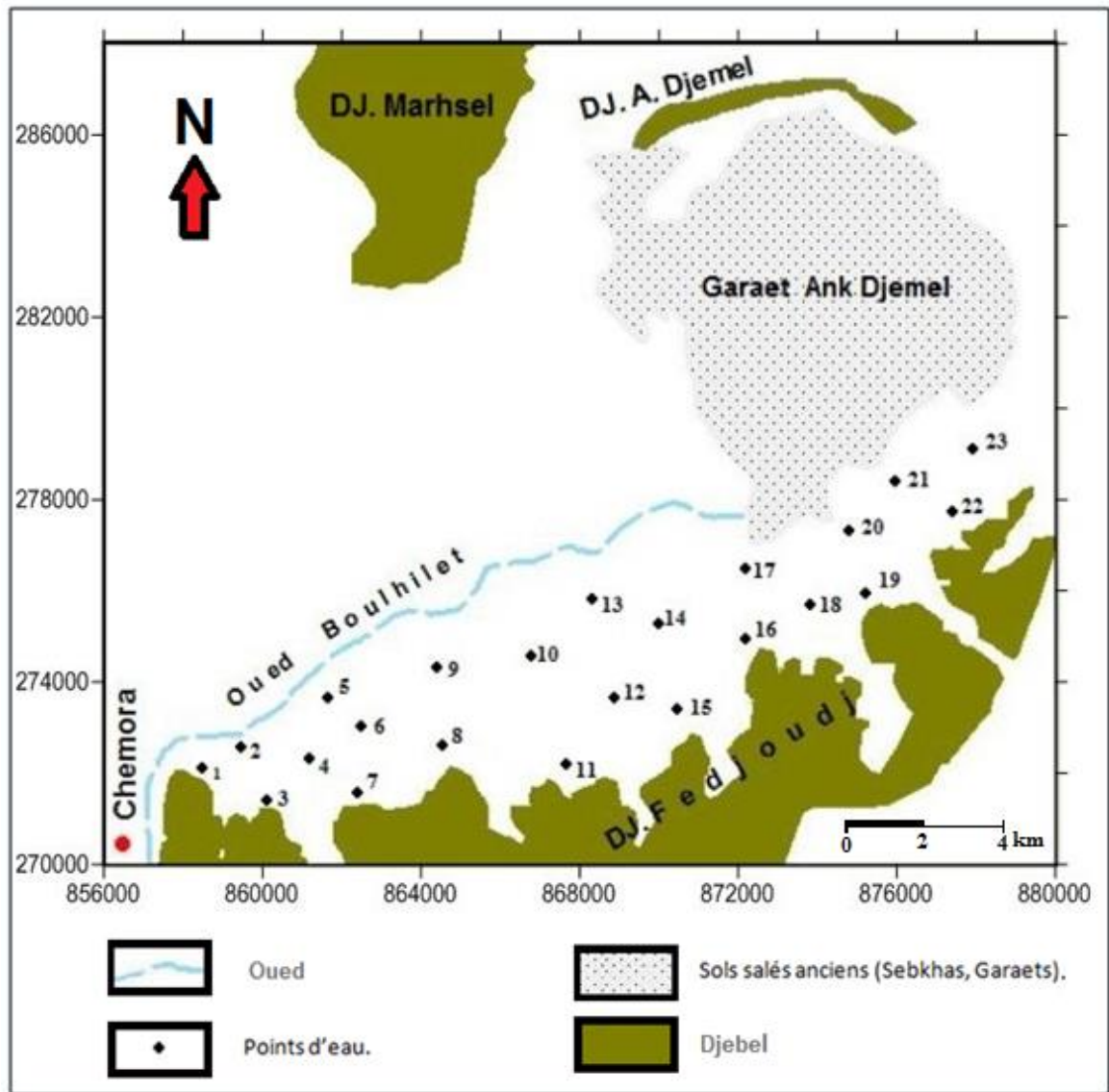


Fig N II.05 : Carte d'inventaire des points d'eau.

Tableau N II.03: Inventaire des d'eau pour la nappe superficielle (période de Mars 2015 et Juin 2017)

Points d'eau	X(m)	Y(m)	Zp(m) Mars	Zp(m) Juin	Points d'eau	X(m)	Y(m)	Zp(m) Mars	Zp(m) Juin
1	858500	272400	839.00	837.90	13	868300	276500	850.00	847.90
2	859500	272900	837.00	835.30	14	870000	275900	833.00	831.50
3	860100	271600	847.00	846.85	15	870500	273800	833.90	833.00
4	861200	272600	849.50	847.70	16	872200	275500	833.70	832.10
5	861700	274100	868.00	867.25	17	872200	277200	830.00	829.55
6	862500	273400	871.00	868.80	18	873800	276300	833.00	831.75
7	862400	271800	852.00	848.50	19	875200	276600	831.00	830.20
8	864500	272900	899.00	897.40	20	874800	278200	831.00	829.80
9	864400	274800	874.00	872.90	21	875900	279300	834.00	833.00
10	866800	275100	853.00	851.00	22	877400	278600	833.80	832.60
11	867700	272500	892.50	891.20	23	877900	280200	833.00	831.50
12	868900	274100	848.00	844.65	/	/	/	/	/

### III-IV- caractéristiques des points d'eau:

Les puits de la zone d'étude sont essentiellement des puits domestiques non forés, creusés à la main et construits en briques ou en pierres, de profondeurs différentes et de diamètres allant de 3 à 5 mètres et parfois de 2 mètres, généralement équipés de motopompes ne s'adaptant pas aux caractéristiques des puits.

Nous avons choisi 23 points d'eau (forages) pour mener notre étude de manière moderne et équipés de pompes Immergé jusqu'à une profondeur de 200 mètres.

Ils sont destinés 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.

La majorité des puits sont implantés dans la partie Sud.

▪ **Etude piézométrique:**

L'établissement des cartes piézométrique s'est basé sur le traitement des données par le logiciel Map info 8.0 + surfer 10.(fig: N.II , N II.06 et N II.07).

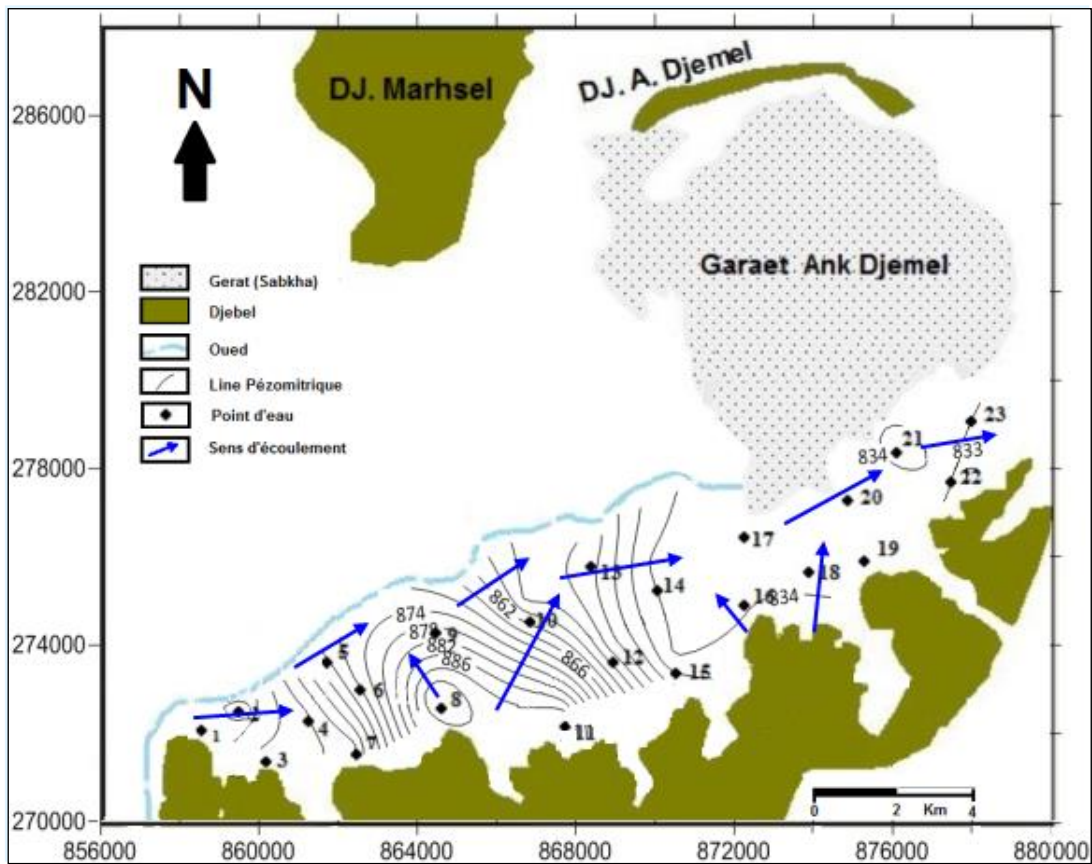


Fig N° II.07 : Carte piézométrique-Compagne Mars 2015

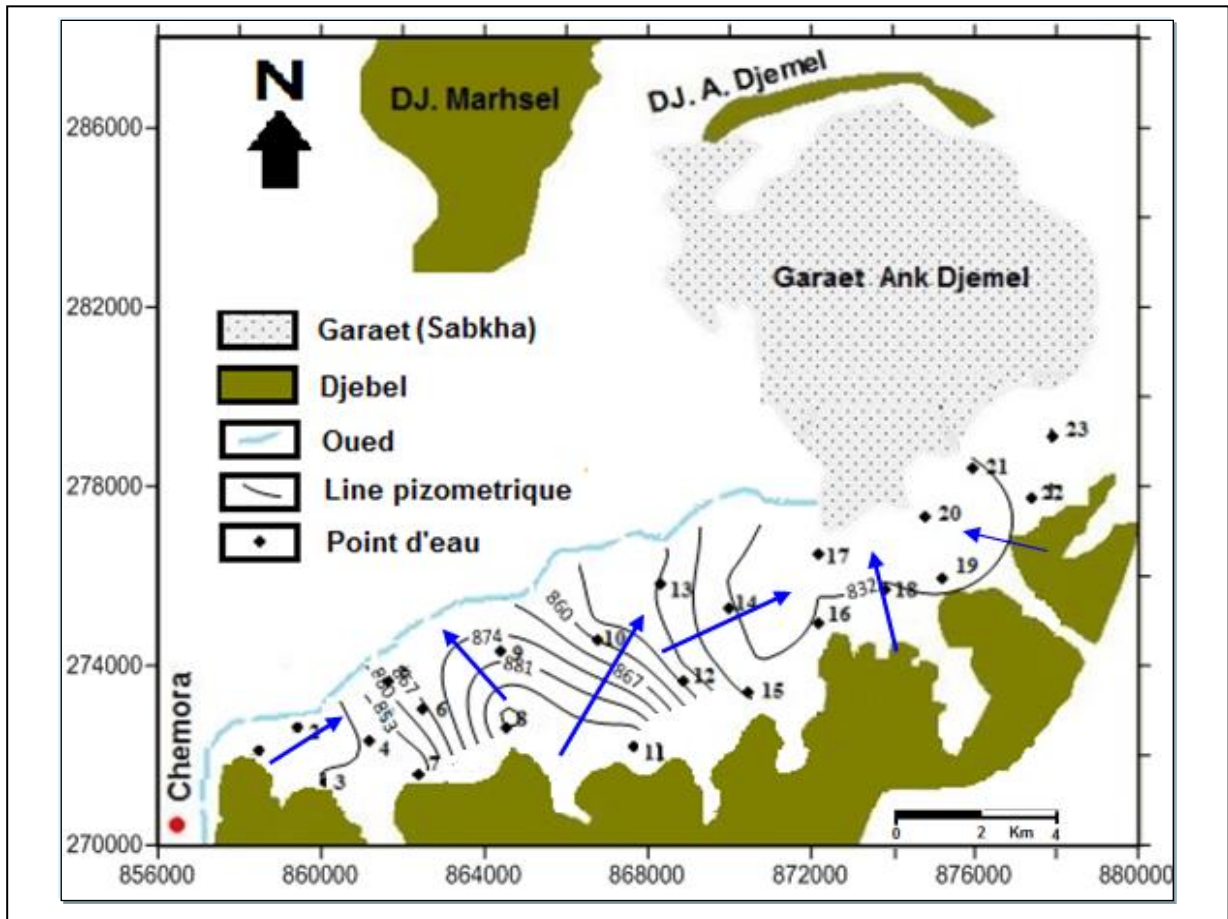


Fig N° II.07 : Carte piézométrique-Compagne Juin 2017

L'observation des cartes piézométriques (Figures n°06 et 07) permet d'analyser le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale. Comme elle montrent une morphologie à trois zones :

**Zone Sud-ouest** : Les courbes sont moins serrées, l'écoulement se fait du Sud-ouest vers la partie centrale de la plaine.

**Zone Sud**: Les courbes sont moins serrées, caractérisées par un écoulement à partir du Dj. Fedjoudj vers la partie centrale de la plaine (S-N, S-N) vers une dépression et de (S-E) vers un axe de drainage de direction SW-NE.

**Zone Est** : considérée comme zone de dépression et de drainage ou l'écoulement suit la topographie.

▪ **Le niveau piézométrique :**

Le niveau piézométrique mesuré subit un rabattement de la nappe entre la période de Mars 2017 et la période de Juin 2017 varie de 0.15 à 3.50 m Fig. n II.08.

ceci est probablement dû à la pénurie de l'apport pluviométrique (période sèche) et l'intensification de pompage.

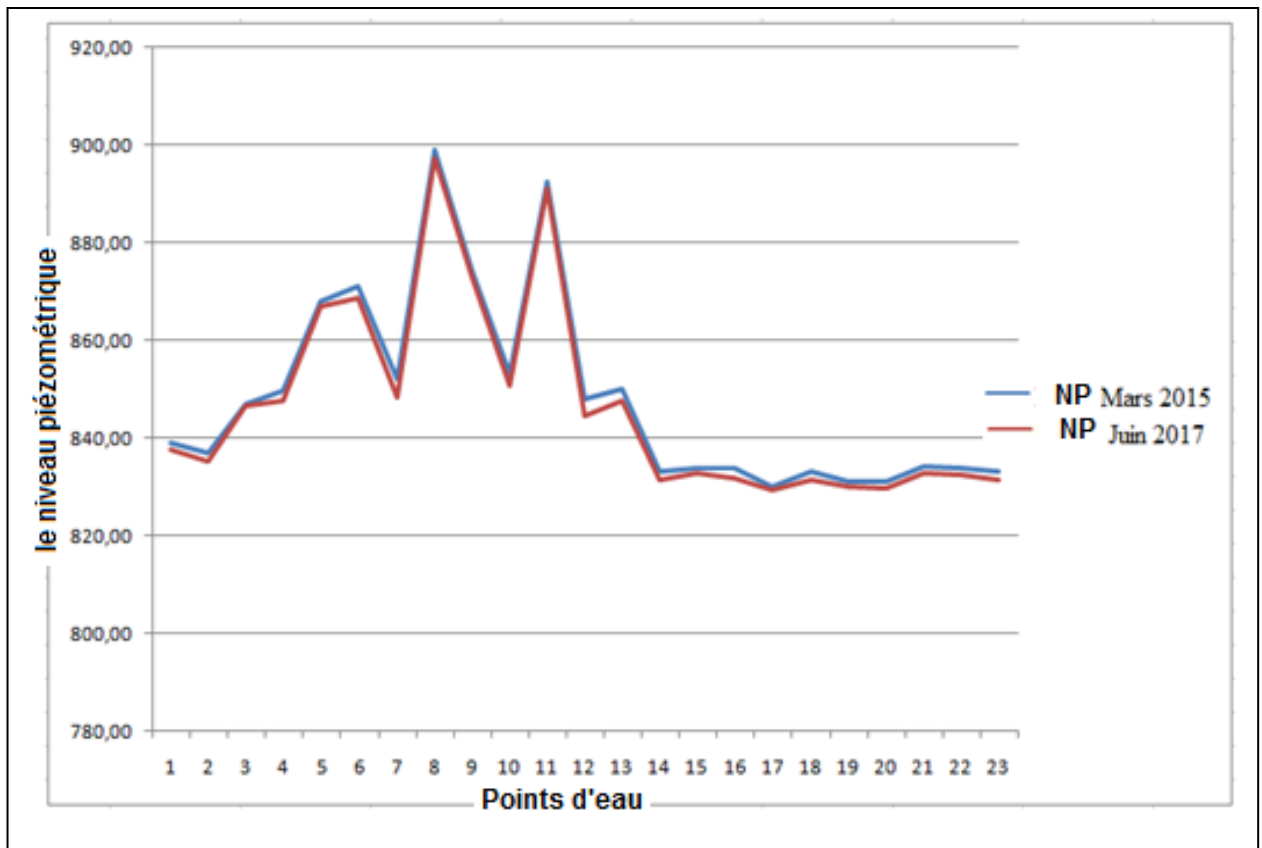


Fig. N° II.08: Caret de variabilité de(NP-NP2)

### Conclusion:

Les cartes piézométriques des deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017) montrent les zones correspondantes à des horizons à fort écoulement avec les directions de l'écoulement de S-N et SO-NE, toutes les eaux convergentes vers le centre de la plaine. Ainsi l'alimentation de l'aquifère superficiel se fait à partir des massifs qui bordent la plaine ou les axes d'écoulement prennent naissance et se dirigent vers la dépression.

La nappe a connu entre les deux périodes un rabattement qui varie de 0.15 à 3.5 m et ce changement est dû au manque de précipitations et à l'exploitation intensive de pompage par les agriculteurs en raison de la température élevée et de la sécheresse en été.

# *Chapitre( III )*

## *Etude hydrogéochimique*

**CHAPITRE III :****ETUDE HYDROGEOCHIMIQUE****III.1. Introduction :**

L'identification de la qualité hydrogéochimique des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes qui se produisent dans les systèmes aquifères. C'est-à-dire dans les échanges possibles entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par la dissolution et l'altération des minéraux du réservoir.

Comme elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et d'estimer leur origine, d'estimer la profondeur de circulation des eaux, et d'apprécier la qualité des eaux vis-à-vis de la potabilité et à l'irrigation. [13]

C'est dans ce but que ce chapitre a été consacré, où on a utilisé des différentes méthodes graphiques et statistiques pour la classification et l'identification de la qualité des eaux.

**III.2. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines**

vingt-trois (23) échantillons prélevés au niveau de 23 forages (Compagne Juin 2017) font l'objet d'une étude de la qualité des eaux souterraines de la région de Chemora. Les résultats d'analyse de cette compagne sont comparés à celle de Mars 2015.

**III.2.1.Représentation graphique et analyse des paramètres physiques.****• Le pH :**

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calcocarbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableuses ou granitiques. Le pH est alcalin dans les calcaires. Le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution. Ainsi, dans un milieu aqueux à 25 °C :

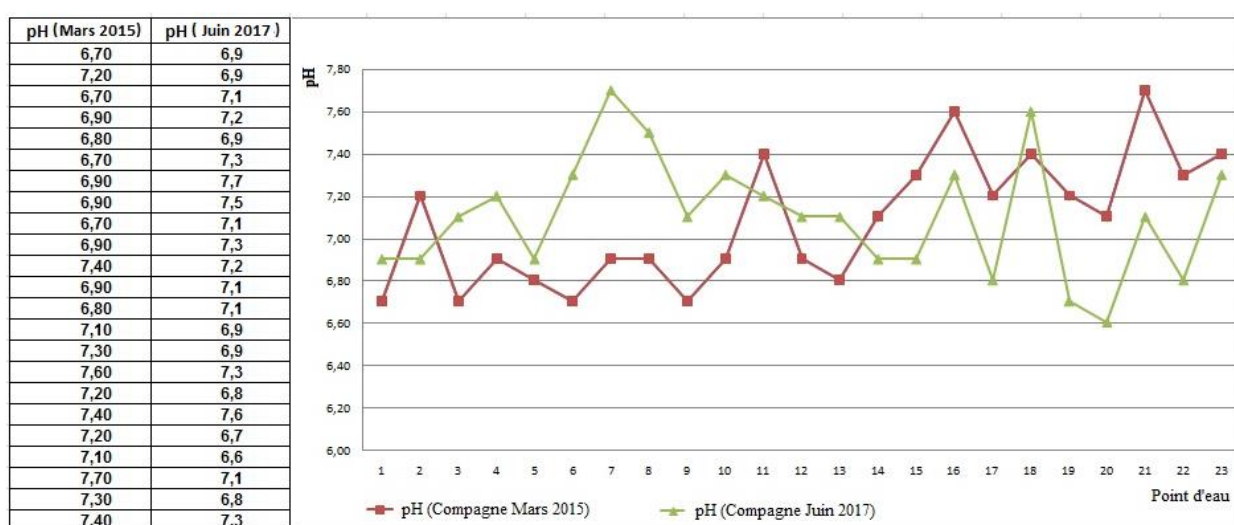
- Une solution de  $\text{pH} = 7$  est dite neutre ; de  $\text{pH} < 7$  est dite acide ; de  $\text{pH} > 7$  est dite basique ;

A partir des résultats obtenus (tableau n° III.1) et (figure (n° III.1)), on constate que les eaux de la nappe souterraine ont un pH qui varie entre **6.6** et **7.7** pour les deux périodes Mars

2015 et Juin 2017. 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 -8.5) et présentent une tendance basique pendant les deux périodes Mars 2015 et Juin 2017.

**Tableau III.1: Statistiques de pH des eaux souterraines de la zone d'étude.**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	6.7	7.06	7.7	0.3	<b>6.5 &lt; pH &lt; 8.5</b>
Juin 2017	6.6	7.1	7.7	0.28	



**Fig. III.1.Variation du pH des eaux souterraines pour les deux périodes (Mars2015 et Juin2017).**

Selon les valeurs du pH représentées dans le tableau (n° III.1) et la figure (n° III.1) on constate que l'eau de la zone Nord-est de la plaine de Chemora présente une tendance basique pendant les deux périodes Mars 2015 et Juin 2017, mais elle reste toujours dans les normes de potabilité.

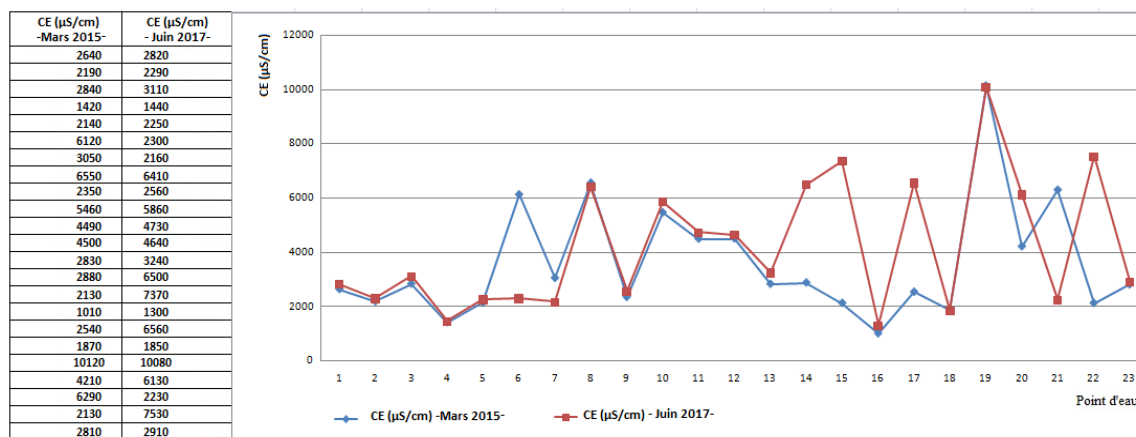
**-La conductivité électrique (CE)**

Définie comme étant l'aptitude d'une eau (ou d'un matériau) à se laisser traverser, plus ou moins vite, par un courant électrique. Elle est directement proportionnelle à la teneur en sels dissous d'une eau et dont les valeurs représentatives sont prises à des températures voisines à 20°C et exprimées en µS/cm. [14]

Les résultats de la conductivité électrique (CE) des eaux de la zone d'étude sont récapitulés dans le tableau (Tab III.2) et la variation temporelle est représenté dans la figure n°III.2, avec des valeurs vont de 1010 à 4185.65  $\mu\text{S/cm}$ , dont plus de 65% des valeurs de CE dépassent la norme de l'OMS (2500  $\mu\text{S/cm}$ ) en deux compagnes (Mars 2015 et Juin 2017).

**Tableau III.2 Statistiques de CE des eaux souterraines de la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	1010	3482.5	10120	2125.06	<b>CE <math>\leq</math> 2500 <math>\mu\text{S/cm}</math></b>
Juin 2017	1300	4185.65	10080	2406.69	



**Fig. III. 2. Variation de CE des eaux souterraines pour les deux périodes (Mars2015 et Juin2017).**

**-La température :**

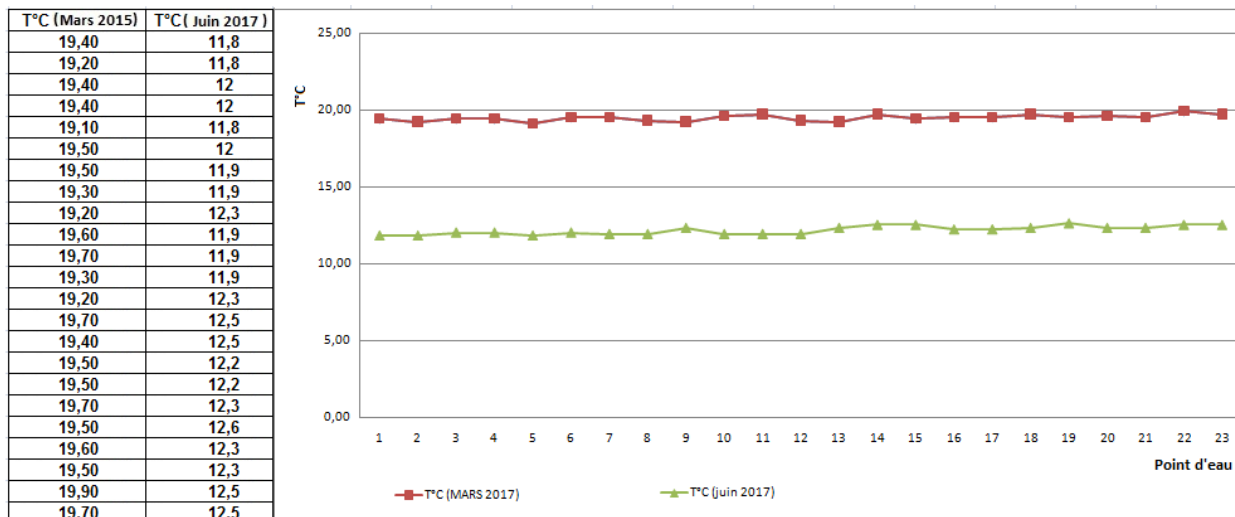
La température des eaux est fonction soit du climat ( $T^\circ$  de l'air/eau de surface) ou de la profondeur (gradient géothermique, réactions chimiques/eau profonde). C'est un paramètre qui permet de distinguer les eaux de surfaces de celles souterraines, ainsi qu'il régit la solubilité des sels et des gaz.

Le tableau (III.3) présente des valeurs de la température moyennes et maximales qui ne dépassent pas la norme en deux compagnes (Mars 2015 et Juin 2017).

La figure (III.3) de variation de la température montre une légère variation qui ne dépasse pas  $1^\circ\text{C}$ , durant chaque période et une variation remarquable jusqu'à  $7^\circ\text{C}$  entre les deux périodes, cela dû aux conditions climatiques saisonnières.

**Tableau III.1: Statistiques de Température des eaux souterraine de la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2017	19.1	19.4	19.9	0.2	$T \leq 25^{\circ}\text{C}$
Juin 2017	11.8	12.15	12.6	0.27	



**Fig. III. 3. Variation de la température des eaux souterraines de la zone d'étude.**

À l’instar des paramètres physiques, on peut affirmer que les eaux souterraines de la région de Chemora ne sont pas adaptées à la consommation, ces dernières sont affectées par les eaux de surface pendant les périodes des inondations. Ainsi par l’influence de la dissolution des formations géologiques voisines (Djebels : Fedjoudj, Bouarif et Marhsel) sur la composition chimique des eaux souterraines.

La conductivité d’une eau augmente avec sa teneur en sels dissous, elle permet donc une estimation de la minéralisation, l’examen des Carte iso-valeurs de la (CE) (figures n°III-4 et III-5) montrent que la majorité des eaux de la plaine de Chemora ont un degré de minéralisation très élevé de (CE >2500  $\mu\text{S} / \text{cm}$ ).

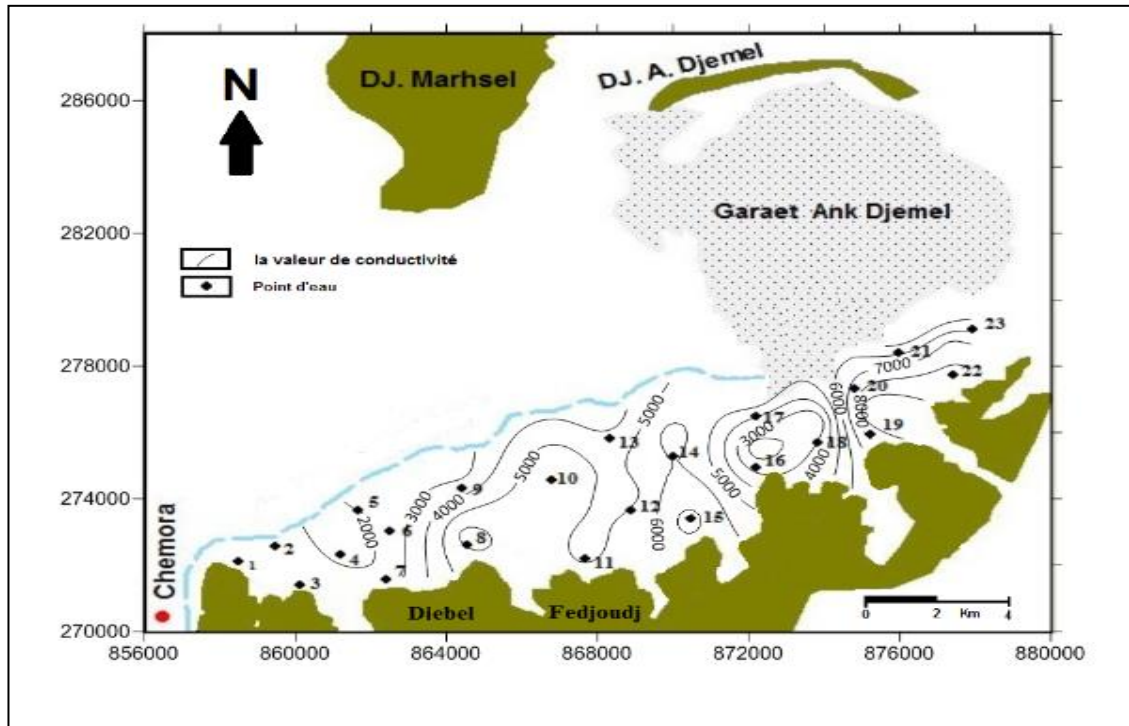


Fig. III.4. Carte iso-valeur de conductivité électrique CE ( $\mu$  S/cm) (Mars 2015)

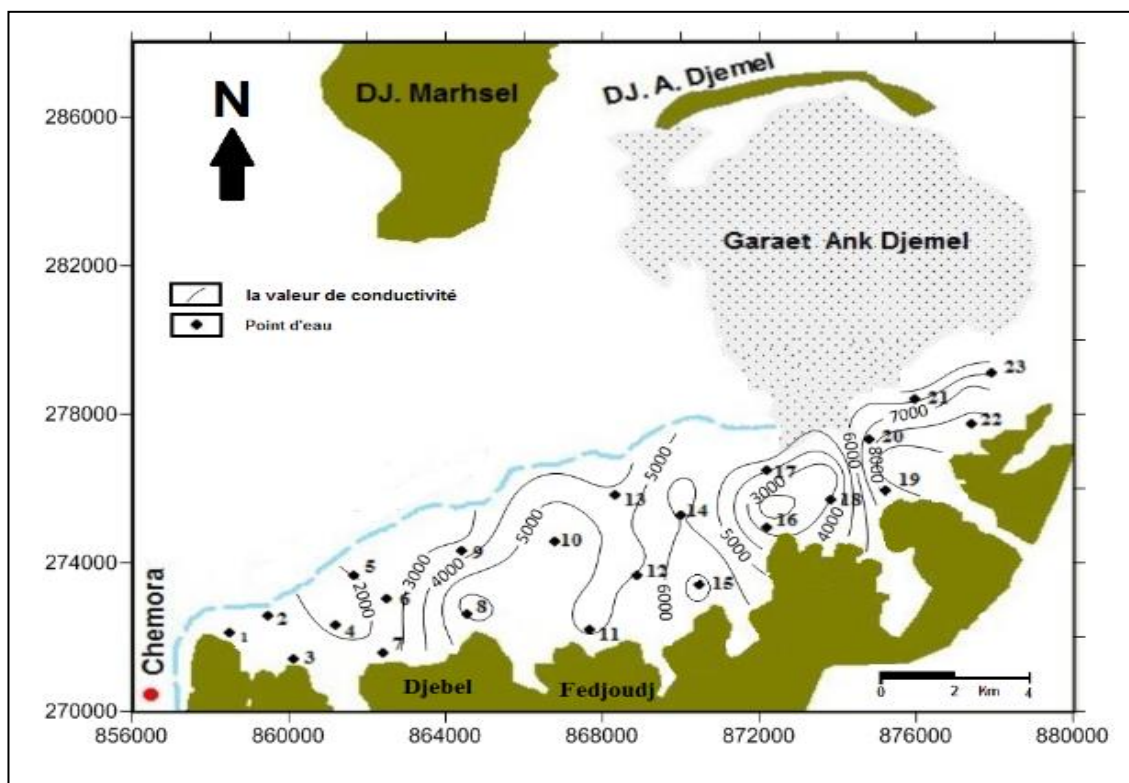


Fig. III.5. Carte iso-valeur de conductivité électrique CE ( $\mu$  S/cm) (Juin 2017)

### III.2.2. Représentation graphique et analyse des paramètres géochimiques.

#### III.3.3. Le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) :

Le calcium est un élément alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates, fréquent dans les roches sédimentaires sous forme aussi de carbonates ; calcite, dolomite et aragonite.

La teneur en calcium dans les eaux naturelles dépend de la nature géologique des terrains traversés par les eaux souterraines, suite à la dissolution des roches carbonatées et également des formations gypsifères ( $\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) suite à la présence du gaz carbonique.

L'examen du tableau (III .4) montre des valeurs des teneurs en calcium qui dépassent la norme en deux compagnes (Mars 2015 et juin 2017). Sauf l'échantillon n °16 durant la période de Mars 2015.

**Tableau III .4: Statistique du calcium dans les eaux souterraines de la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	72.14	257.02	609.21	141.15	75-200 (mg/l)
Juin 2017	101	260.13	745.48	131.93	

L'analyse des cartes des deux périodes (figures n°III-6 et III-7), montre que les fortes concentrations en  $\text{Ca}^{++}$  pour les deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017) sont de (600 à 700 mg/l) se situent dans la partie Est près de Garaet Annk Djemel et Dj. Fedjoudj, dues à la dissolution de roches carbonatées. Les concentrations les plus faibles (100 à 200 mg/l) se situent au niveau des parties Sud et Sud-est. La partie centrale du secteur d'étude est caractérisée par des teneurs dépassant la norme, dues aussi à la dissolution des roches sédimentaires sous forme de carbonates par les eaux dans le sens d'écoulement.

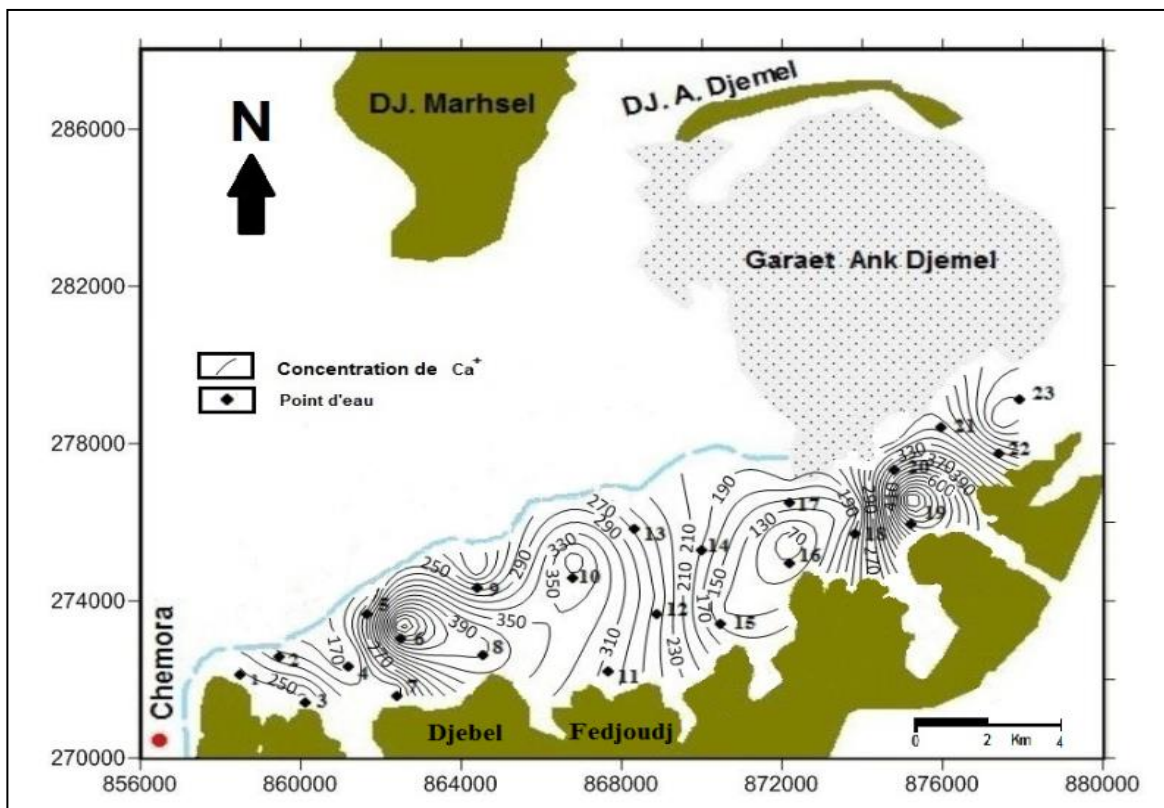


Fig. III.6. Carte iso-teneur en calcium ( $Ca^{+2}$  en mg/l) Mars 2015

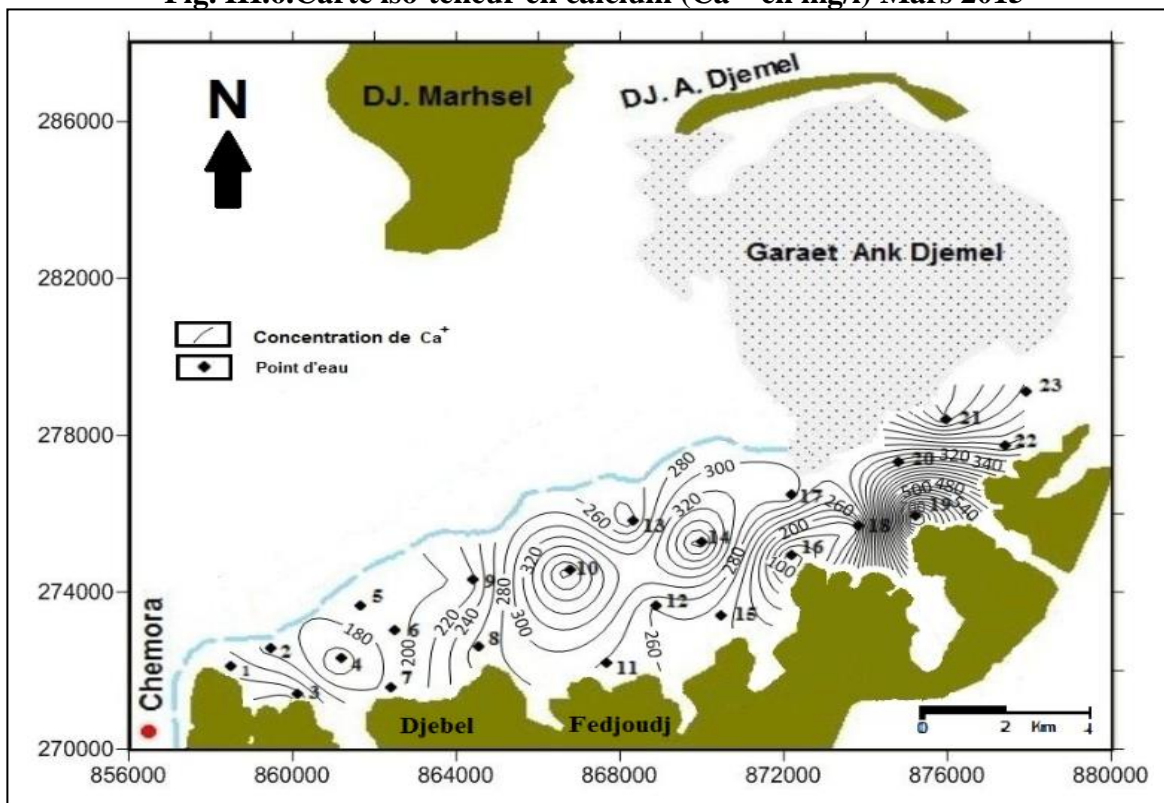


Figure. III.7. Carte iso-teneur en calcium ( $Ca^{+2}$  en mg/l) juin 2017

### III.3.4. Le magnésium ( $Mg^{2+}$ ) :

La majorité des eaux souterraines dans les régions arides et semi-aride présentent des teneurs en magnésium assez importantes. La teneur en magnésium dépend, comme celle du calcium, de la composition des roches sédimentaires rencontrées et traversées par l'eau. Le magnésium dans l'eau provient de l'attaque chimique des formations calcaro- dolomitiques par l'eau en présence du gaz carbonique, ainsi que de la dissolution de ( $MgSO_4$ ) dans les terrains gypseux et des minéraux ferromagnésiens. Le magnésium peut avoir un effet laxatif et des troubles digestifs chez l'enfant, surtout si les concentrations de sulfate de magnésium sont supérieures à 700 mg/l.

Le tableau (III .5) montre que tous les échantillons ont des valeurs des teneurs en magnésium qui dépassent la concentration maximale acceptable de Mg pour l'eau potable (50 mg /l) pour les deux périodes.

**Tableau III .5: Statistiques de Magnésium dans les eaux souterraines la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2017	51.72	157.81	536.88	144.74	50-150 mg /l
Juin 2017	54.6	170.33	512.76	135.73	

Les concentrations du magnésium est quasiment identique pour les deux périodes. L'examen des cartes des deux périodes (figures n°III-8 et III-9), montre que les fortes concentrations en  $Mg^{2+}$  pour les deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017) sont de (240 à 540 mg/l) se situent dans les parties Sud et Sud-est au piedmont nord du Dj. Fedjoudj, dues à la solubilité des roches Silicatées d'origine calcaire et de magnésite ( $MgCO_3$ ). La partie centrale du secteur d'étude est caractérisée par des teneurs de (50 à 200mg/l) dépassant la norme, dues aussi à la dissolution des roches sédimentaires sous forme de carbonates dans le sens d'écoulement.

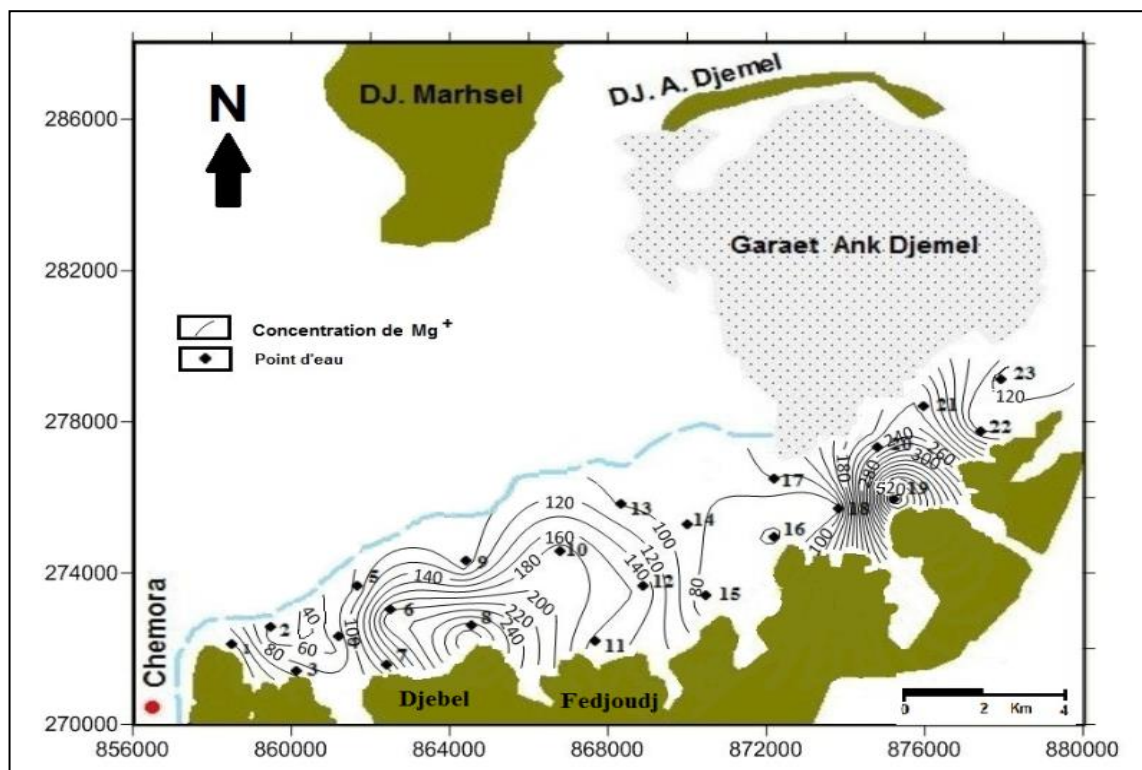


Fig. III.8. Carte iso-teneur en Magnésium (en  $Mg^{2+}$  mg/l) mars 2015

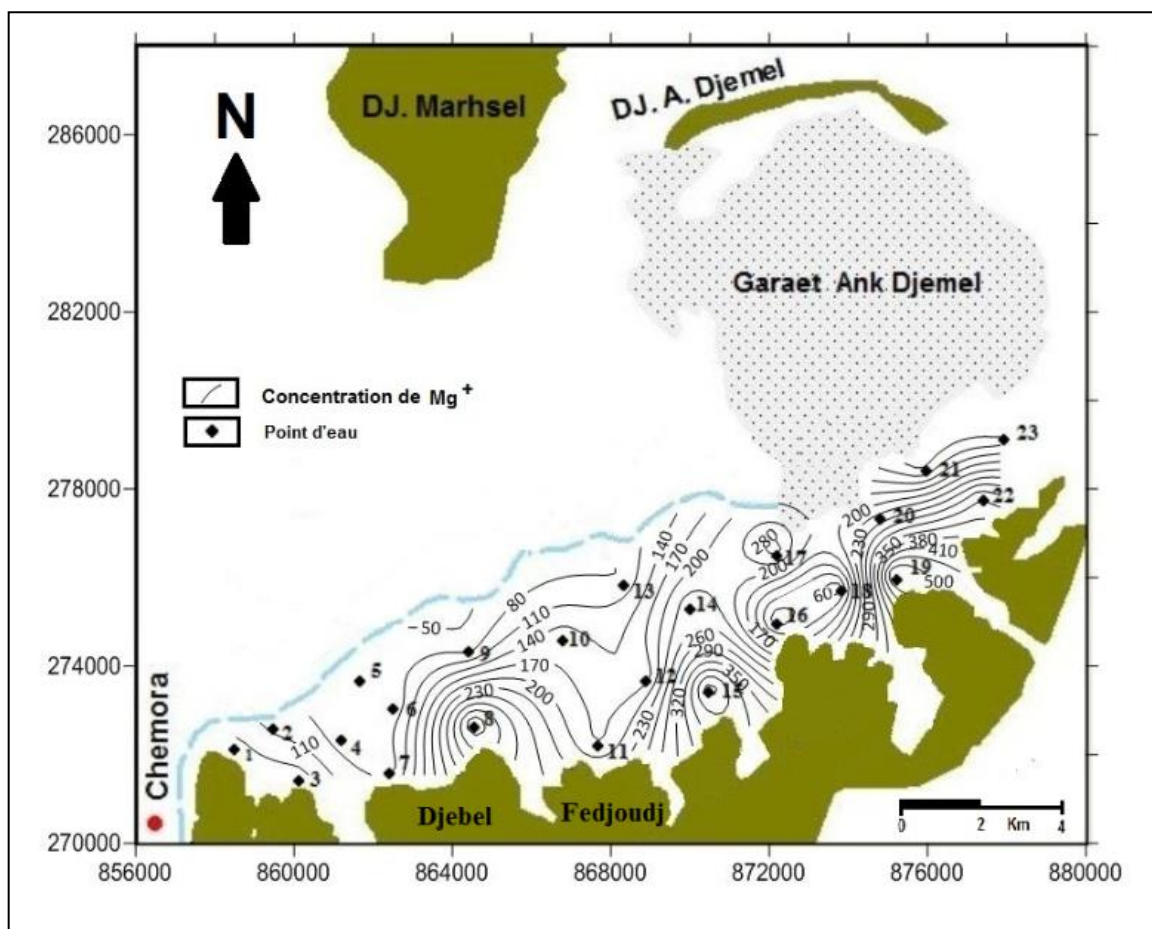


Fig. III.9. Carte iso-teneur en Magnésium (en  $Mg^{2+}$  mg/l) juin 2017

### III.3.4. Les chlorures $\text{Cl}^-$ :

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. L'éloignement de la mer, et l'absence des rejets d'origine industrielle laissent supposer une origine géologique en relation avec les formations argileuses, marneuses et salifères triasiques.

Le tableau (III .6) et Figure. (III.14) suivant montre que tous les échantillons dépassés la concentration maximale acceptable de Cl "pour la potabilité (200 mg / l) sauf les eaux des points n°4 et n°16 pendant les deux périodes.

**Tableau III. 2: Statistique de Chlorure dans les eaux souterraines la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	99.4	283.9	340.8	57.18	200-600 mg/l
Juin 2017	142	299.06	340.8	53.43	

Les cartes (Fig. III.10 et III.11) de la variation spatio-temporelle des concentrations des chlorures, illustrent des valeurs élevées ne dépasse pas les normes pour les deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017), avec des fortes concentrations localisées au niveau des parties Sud et Sud-est, marquant un maximum de 340 mg/l près du Great Ank Djemel (Lac salé) pour les deux périodes. Ceci est dû possiblement au lessivage des terrains salés.

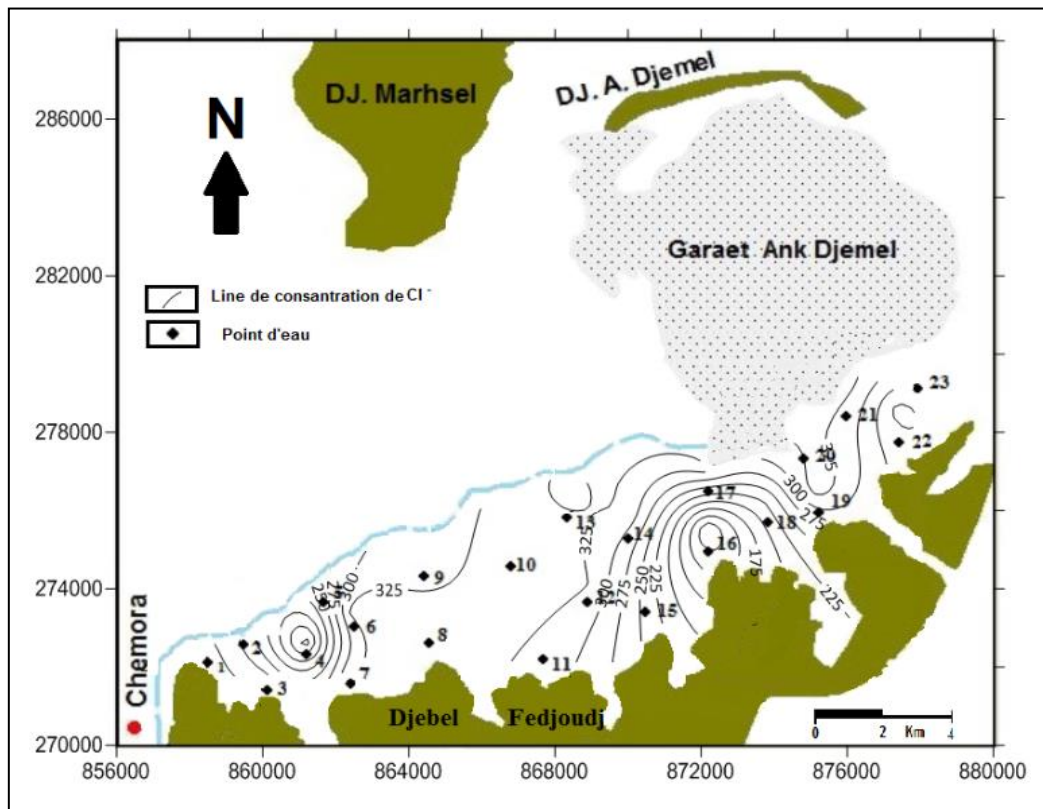


Fig. III.10. Carte iso-teneur en chlorure (en Cl<sup>-</sup> mg/l) mars 2015

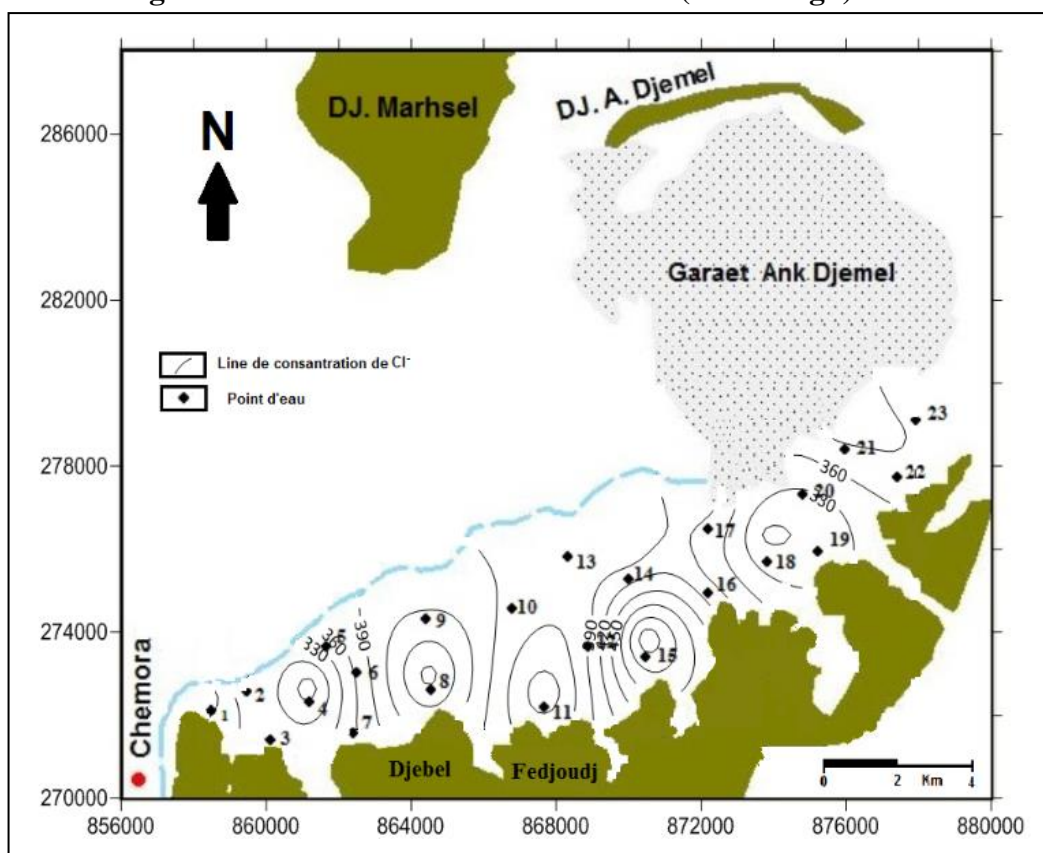
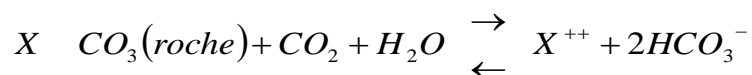


Fig. III.11. Carte iso-teneur en chlorure (en Cl<sup>-</sup> mg/l) juin 2017

### III.3.5. Les bicarbonates $\text{HCO}_3^-$ :

Les bicarbonates résultent de l'équilibre physico - chimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique. Ont un double caractère acido-basique. Les carbonates et les bicarbonates donnent un gout agréable à l'eau et ne présentent aucun risque pour la santé humaine. Ils proviennent de la dissolution des formations carbonatées (calcaire, dolomie) par des eaux chargées en gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) selon l'équation générale suivante :



Le tableau (III.3) présente les valeurs de la moyenne, minimale et maximale de Bicarbonate testé durant les deux Compagnes (Mars2015 et Juin2017), et leur comparaison avec les valeurs normatives.

**Tableau III. 4: Statistique de Bicarbonate dans les eaux souterraine la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	54.6	203.14	512.76	68.62	/
Juin 2017	250.1	367.43	567.3	69.6	

L'analyse des cartes (Fig.III.12 et III.13) des concentrations de bicarbonate montrent une augmentation durant la période de juin 2017 par rapport à celle mars 2015 en raison du faible apport pluviométrique et l'augmentation du taux de pompage élevé, ce qui engendre l'abaissement du niveau de la nappe et l'augmentation des concentrations des bicarbonates en présence des roches calcaires caractérisant les formations du Djebel Fedjoudj.

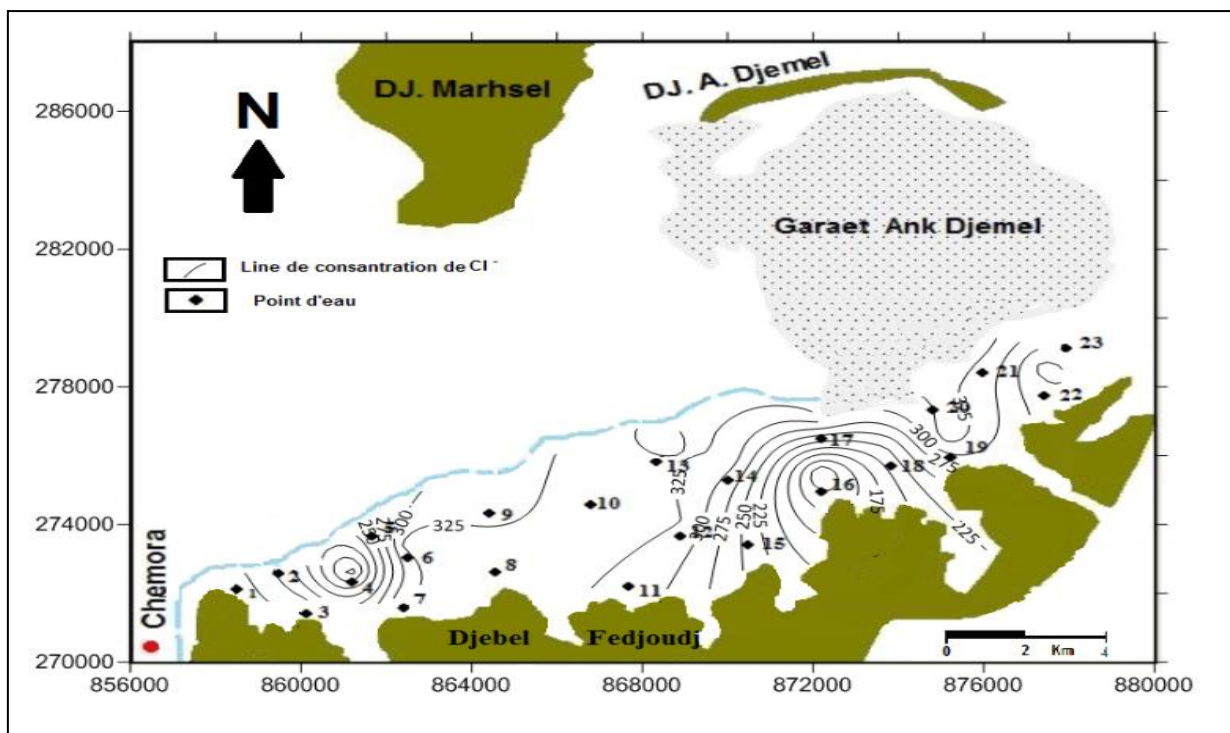


Fig. III.12. Carte iso-teneur en Bicarbonate  $\text{HCO}_3^-$  (Mars 2015)

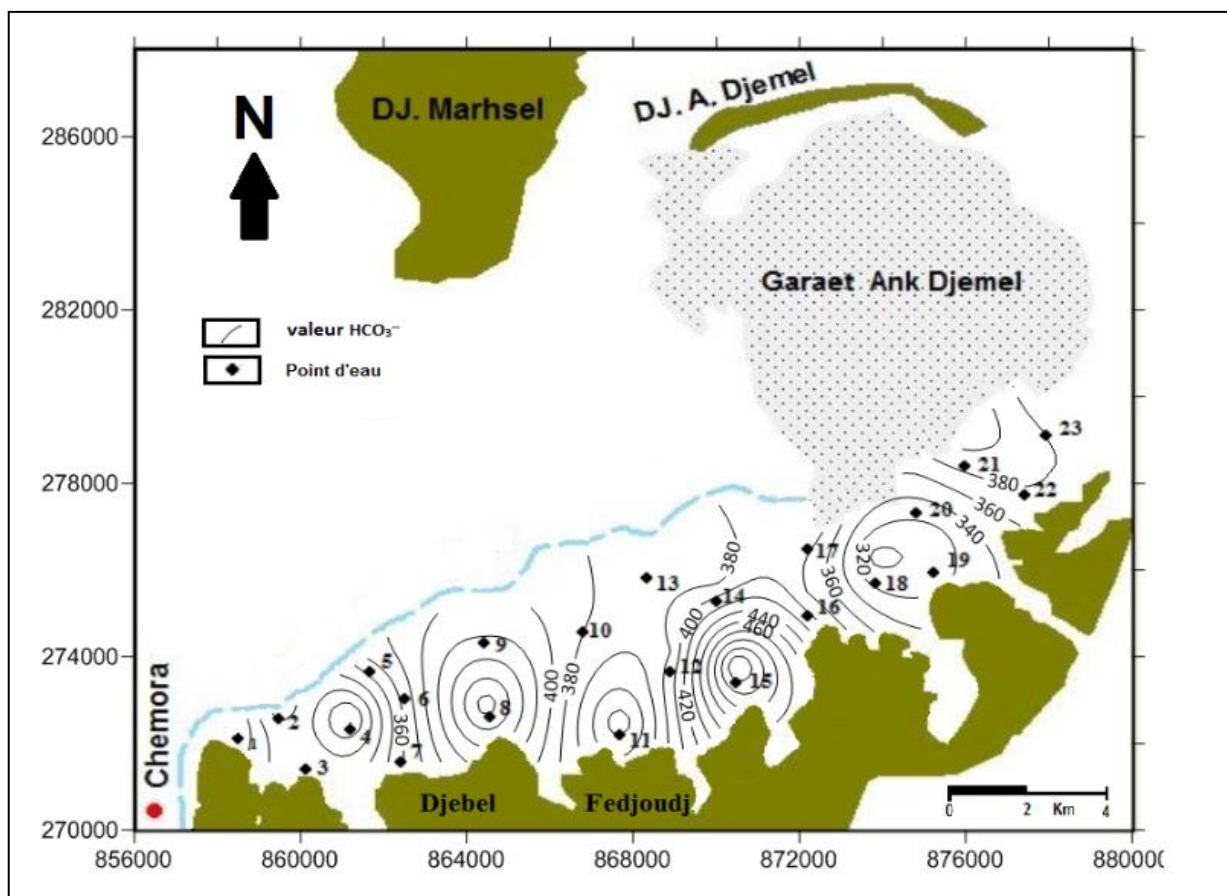


Fig. III.13. Carte iso-teneur en Bicarbonate  $\text{HCO}_3^-$  (juin 2017)

### III.3.6. Les sulfate $SO_4^{2-}$ :

Les sulfates contenus dans l'eau souterraine résultent de la dissolution du gypse ( $Ca SO_4 2H_2O$ ), l'utilisation des engrais chimiques, le lessivage des terrains argileux et marneux. Elles proviennent également des eaux usées industrielles. De plus l'oxydation de  $H_2S$  et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère entraîne lors de précipitation l'acidification des lacs et des rivières ainsi qu'une augmentation de la teneur en sulfates. La forte concentration en sulfates provoque de troubles gastro-intestinaux; aussi elles peuvent donner un goût désagréable à l'eau et créer des dépôts tenaces dans les chaudières.

Le tableau (III.8) présente les valeurs de teneurs moyenne et maximale des Sulfates qui dépassent la concentration maximale acceptable et la concentration maximale admissible de l'OMS pour les deux Campagnes.

**Tableau III. 5: Statistique de sulfate  $SO_4$  dans les eaux souterraines la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min	Moy	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	145	900	3580	766.2	200- 400 mg/l
Juin 2017	185	758.7	3560	715.89	

Les cartes des sulfate (Fig. III.14 et III.15) montrent que les fortes concentrations sont localisées à la partie Est de la zone d'étude. Elles varient de (145 mg/l) à (3580 mg/l) durant la première campagne avec une légère dilution au cours de la seconde campagne avec des valeurs extrême de (185 mg/l) et (3560 mg/l). Ces concentrations sont le résultat de la dissolution des marnes et des argiles appartenant à la série des alternances calcaires et marnes du Djebel el Fedjoudj. Notons que Les concentrations des sulfates dépassent la norme de potabilité (200 mg/l) pour la majorité de la zone d'étude sauf au niveau des points d'eau n°16 et n°22.

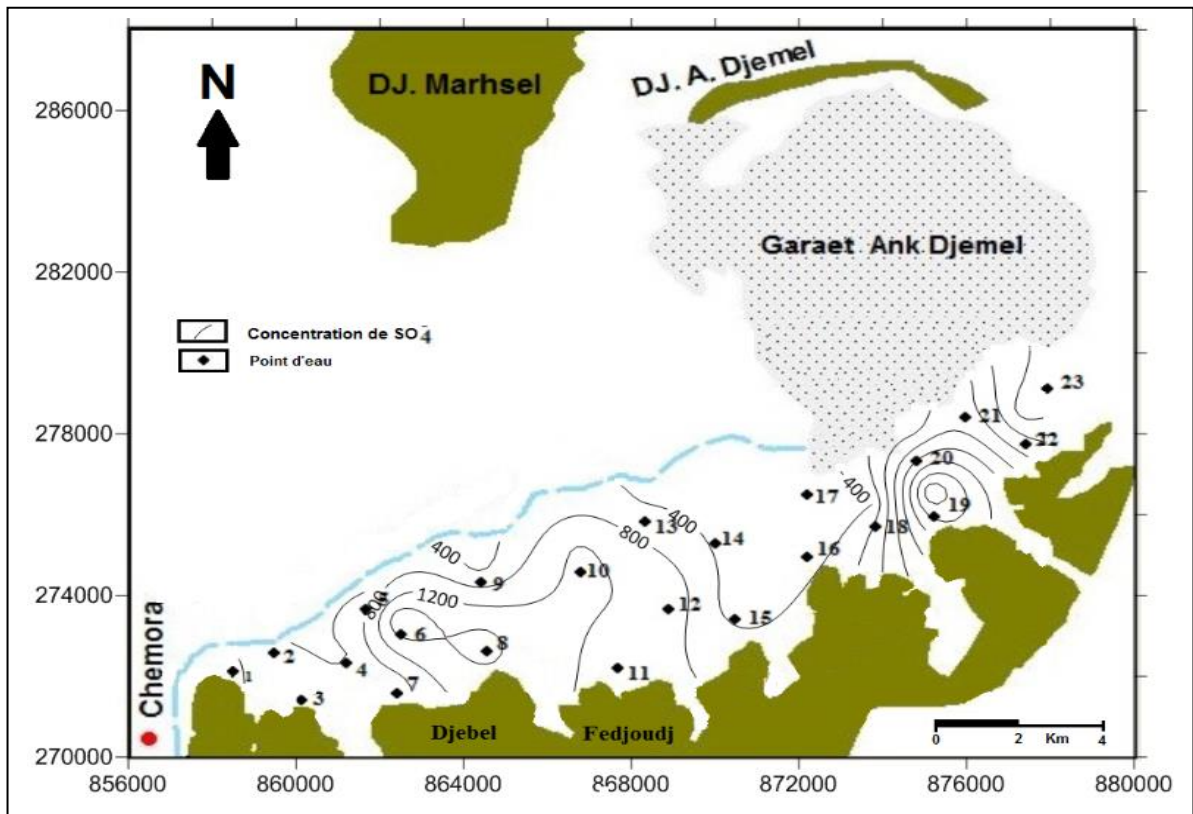


Fig. III.14. Carte iso-teneur en sulfate (SO<sub>4</sub> en mg/l) mars 2015

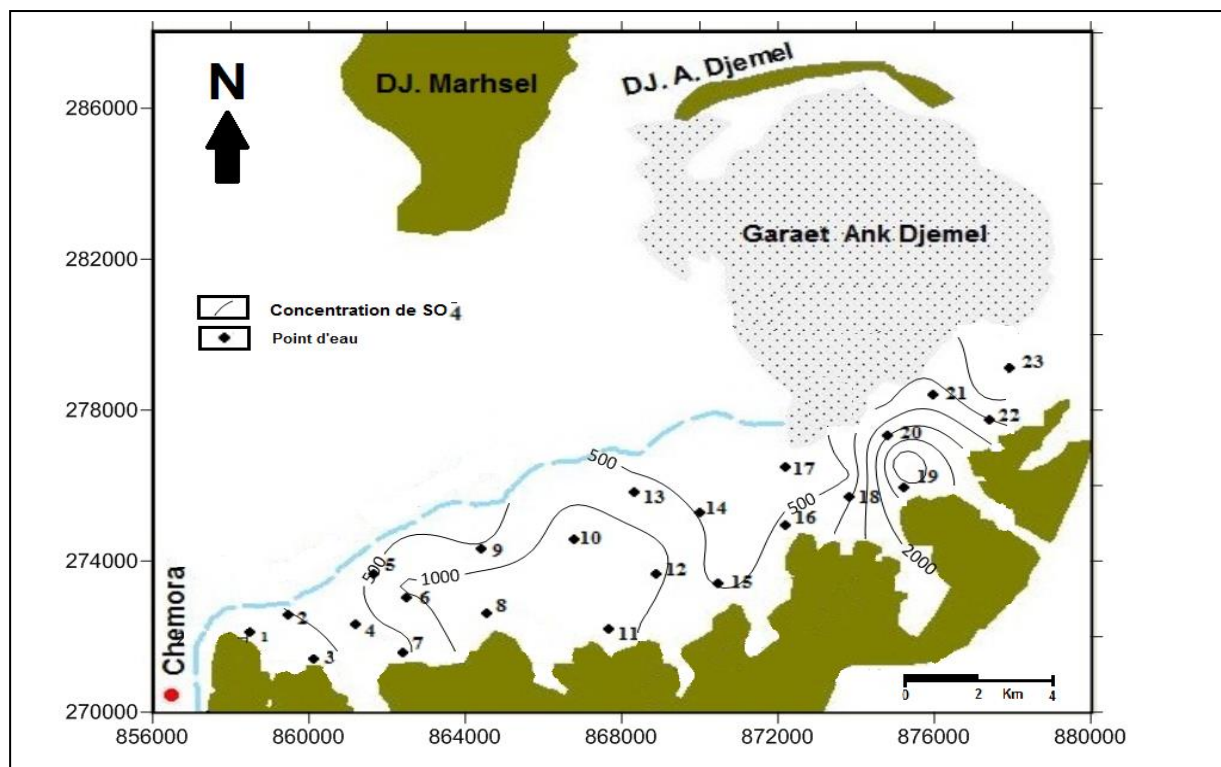


Fig. III.15. Carte iso-teneur en sulfate (SO<sub>4</sub> en mg/l) juin 2017

**III.3.7. Le sodium Na<sup>+</sup> :**

Le sodium élément, très abondant dans la nature, surtout dans l'eau de mer et provient aussi du lessivage ou de la percolation de terrains salés. Il joue un rôle important en irrigation à cause du fait de son action sur la perméabilité des sols, il est nécessaire à l'homme pour maintenir l'équilibre hydrique de l'organisme et le fonctionnement des muscles et des nerfs. Sa présence dans les eaux potables non limité par une norme ; mais trop de sodium a des répercussions importantes sur le système cardiovasculaire et peut provoquer ou empirer des maladies comme l'hypertension artérielle ou une insuffisance cardiaque ou rénale.

Le tableau (III.9) présente les valeurs de la moyenne, minimale et maximale de sodium durant les deux Campagnes (Mars 2015 et Juin 2017).

**Tableau III. 9: Statistique de sodium Na dans les eaux souterraines la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	42,6	136,06	265.80	64.48	200 mg/L
Juin 2017	38,4	112,02	235	50,39	

L'examen des cartes de sodium (Fig. III.16 et III.17) montre des teneurs très élevées durant les deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017) sont enregistrées à la partie Est près du Garaet, avec un maximum de 265 mg/l dû probablement au lessivage ou de la percolation de terrains salés.

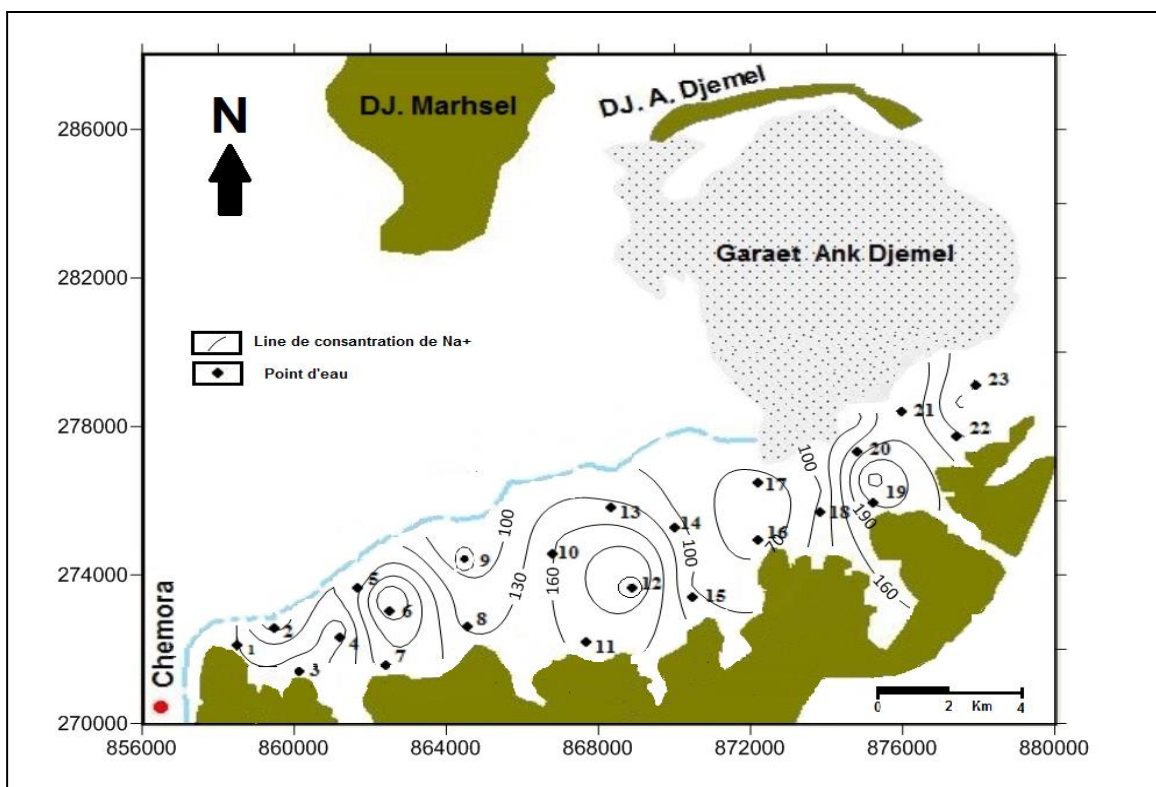


Fig. III.16. Carte iso-teneur en sodiums ( $\text{Na}^+$  en mg/l) mars2015

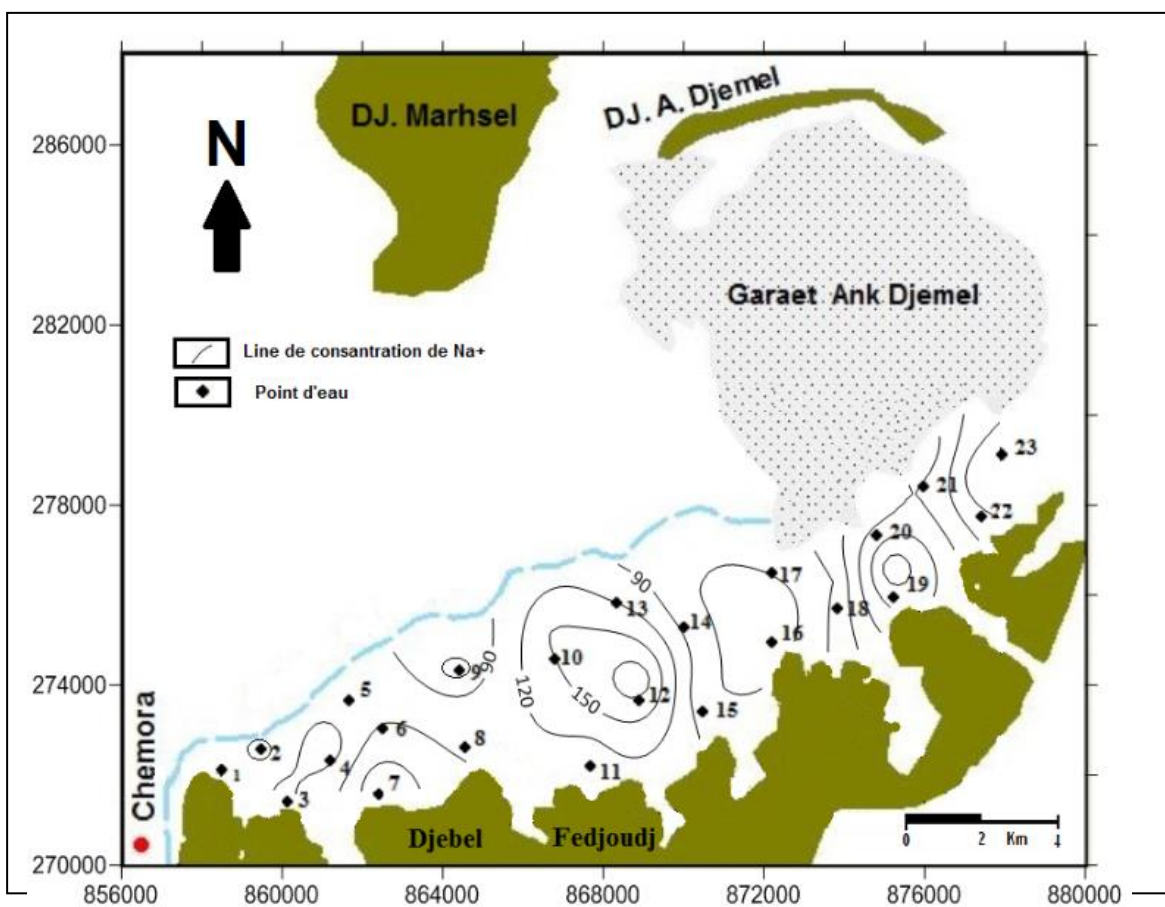


Fig. III.17. Carte iso-teneur en sodiums ( $\text{Na}^+$  en mg/l) juin2017

**III.3.8. Le potassium K<sup>+</sup> :**

Le potassium beaucoup moins abondant que le sodium, sa source de roches cristallines. et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. il ne représente aucun inconvénient particulier. La teneur globale de Na et de K dans l'eau est souvent estimée comme la différence entre la somme de tous les cations présents obtenus par échange ionique et la dureté.

Le tableau (III.10) présente les valeurs des concentrations de potassium sont quelque peu acceptables, les valeurs la plus maximales enregistrées durant les deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017) sont respectivement 16,5 et 13,06 mg /l, qui ne dépassent pas la norme de 20mg/l.

**Tableau III.10: Statistique de potassiums K dans les eaux souterraines la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	1,8	8,35	16,5	3,75	20 mg/L
Juin 2017	0,64	7,17	12,06	2,98	

Les cartes de potassium (Fig. III. 18 et III.19) montre des teneurs qui ne dépassent pas la norme, avec des valeurs maximales de (16.5 et 12.06 mg/l) marquées respectivement durant les deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017) à la partie Sud-ouest et Sud de la zone d'étude, avec un maximum de 265 mg/l dû possiblement au lessivages des terrains argileux.

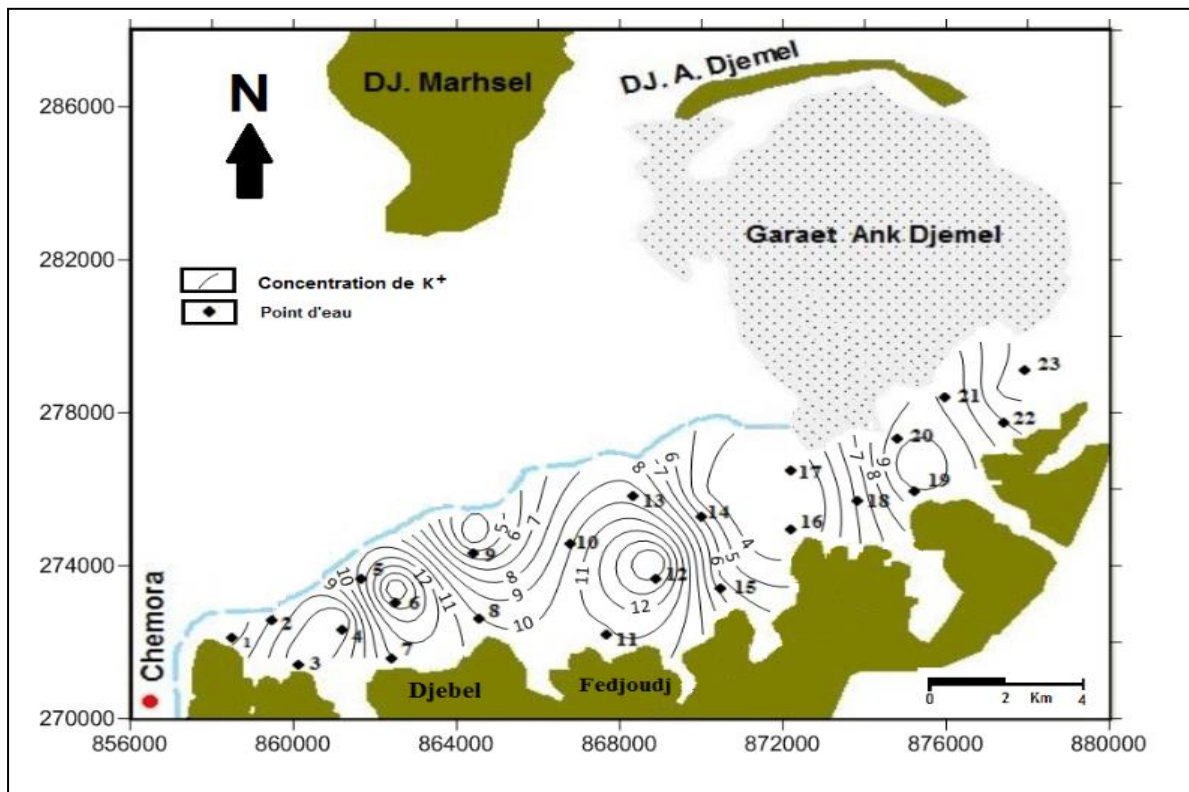


Fig.III.18. Carte iso-teneur en potassiums (K<sup>+</sup> en mg/l) Mars 2015

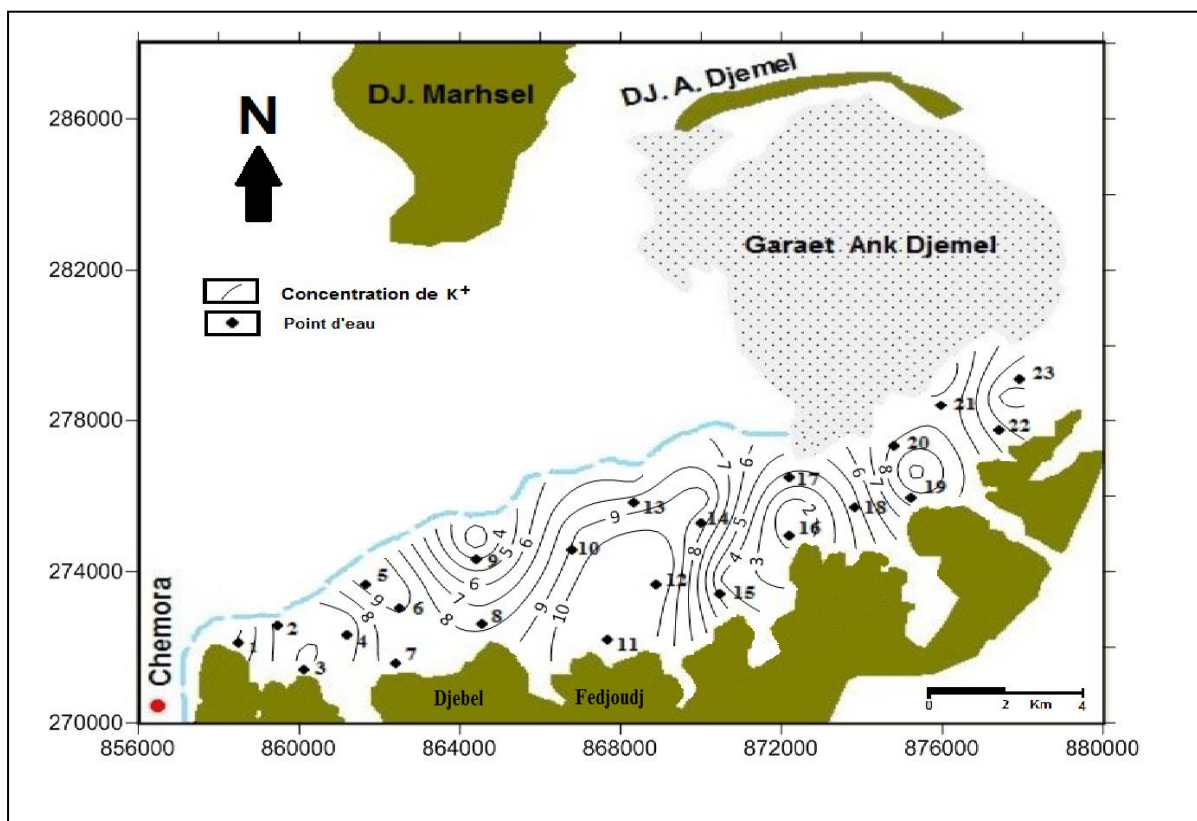


Fig. III.19. Carte iso-teneur en potassiums (K<sup>+</sup> en mg/l) Juin 2017

**III.3.8. Les nitrate NO<sub>3</sub> :**

Les nitrates sont des composés naturels présents dans tous les écosystèmes. Elles sont essentielles pour les plantes si leurs concentrations sont faibles, mais elles peuvent être nocives pour les plantes et les animaux si elles sont très abondantes. Sa source principale est les engrais (chimique et naturel) et les eaux usées. Ils se trouvent donc dans des zones agricoles à haut rendement dont l'utilisation des engrais, les aliments du bétail, les pâturages et les zones de drainage. Si les nitrates dépassent la norme (50mg/l), ils représentent un risque potentiel pour la santé humaine, en particulier pour les enfants.

Les résultats obtenus tableau (III.11) montrent que les concentrations des nitrates varient de 0.2 à 38.5 mg/l pour la période de Mars 2015 de l'OMS, tandis qu'elles varient de 11 à 92 mg/l durant la période de Juin 2017.

**Tableau III.11: Statistique de nitrates dans les eaux souterraines la zone d'étude**

Valeurs Périodes	Min.	Moy.	Max	Ecart-type	Valeurs normatives (OMS)
Mars 2015	0.2	8.83	38.5	11.46	50 -100 mg /l
Juin 2017	11	27.69	92	19.25	

L'analyse des cartes es nitrates (Fig. III. 20 et III. 21) montre des teneurs qui ne dépassent pas la norme durant la période de Mars 2015, mais elles présentent un dépassement de cette dernière durant la période de Juin 2017 avec un maximum de 92mg/l, les teneurs élevées sont enregistrées à la partie Sud-ouest de la zone d'étude, dû aux terrains agricoles et aux eaux usées

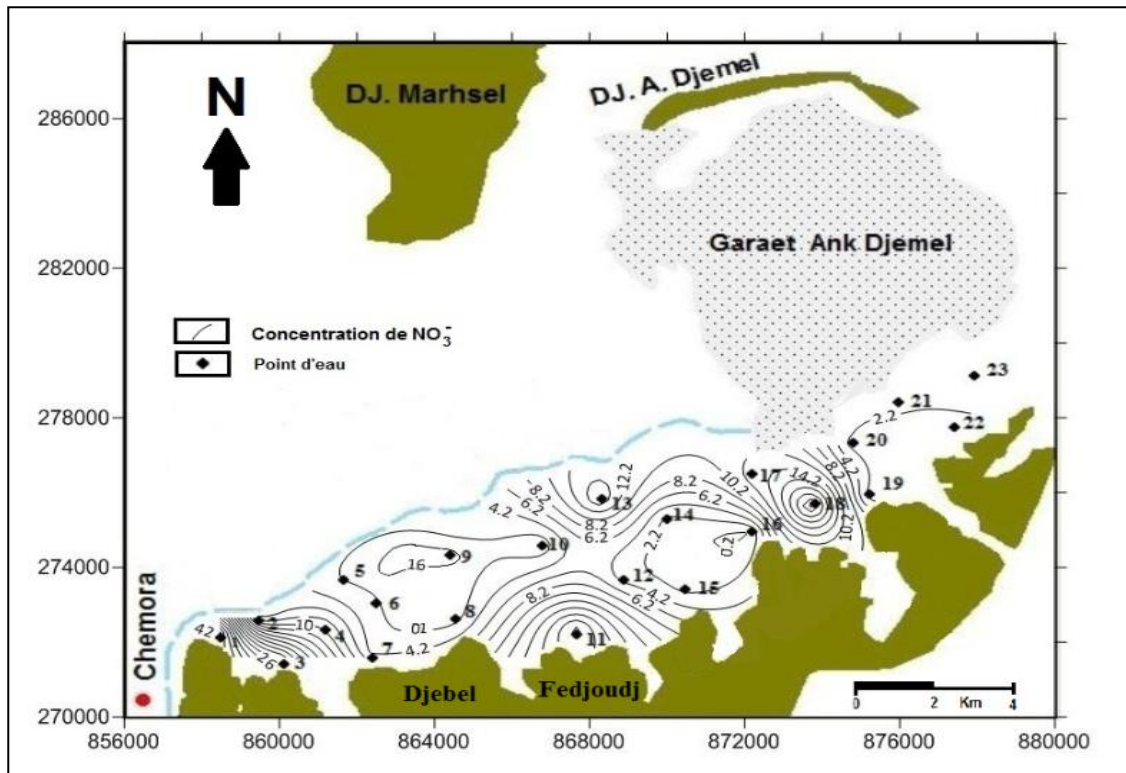


Fig. III.20. Carte iso-teneur en Nitrate ( $\text{NO}_3^-$  mg/l) mars 2015

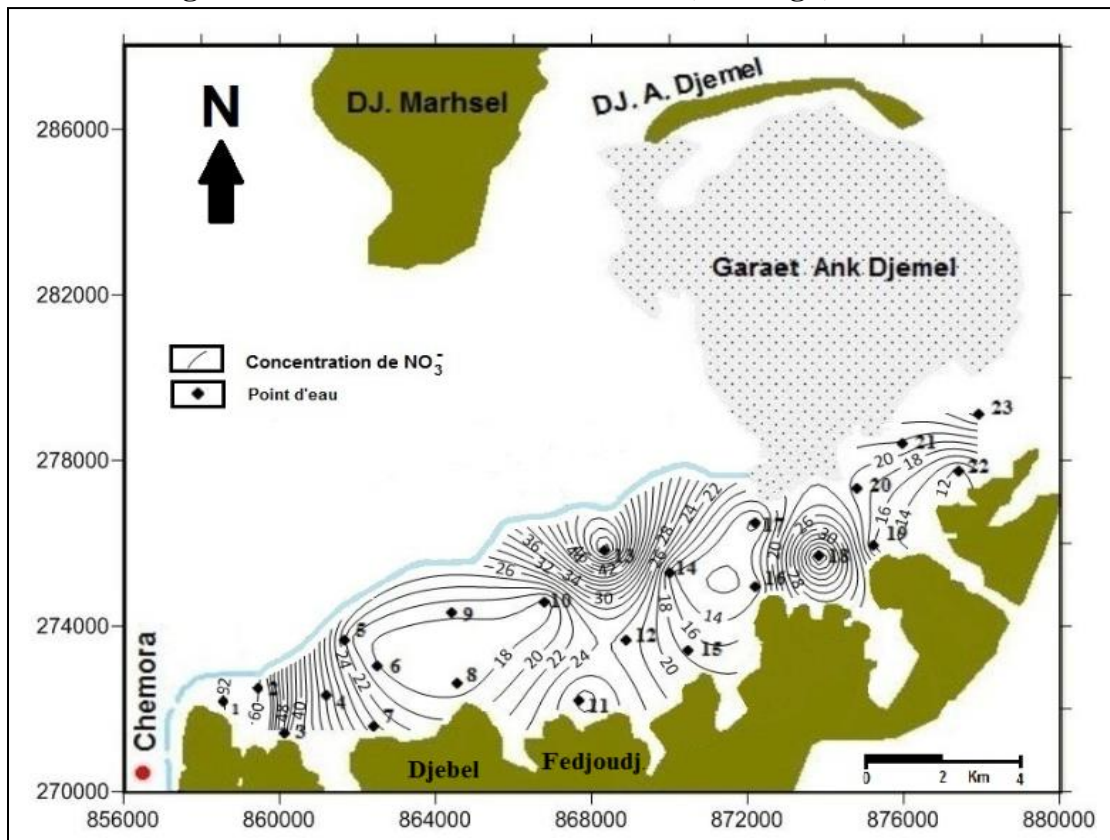


Fig. III.21. Carte iso-teneur en Nitrate ( $\text{NO}_3^-$  mg/l) juin 2017

Sur la base de l'analyse statistiques et cartographiques des éléments physico-chimiques, nous avons constaté que la majorité de ces éléments sont fortement concentrés, d'où une augmentation de la minéralisation, outre une salinité élevée en raison de la proximité des points d'eau du lac salé (Garaet). Ce qui confirme les valeurs de la conductivité électrique élevées et que, par conséquent, la qualité de l'eau de la plupart des points d'eau n'est pas conforme aux normes de potabilité de l'O.M.S.

#### III.4. Détermination des faciès hydrogéochimiques

Pour la classification et la détermination des faciès hydrogéochimiques nous avons utilisé le diagramme de Piper. [15]

Le diagramme de Piper est une représentation graphique de la chimie d'un ou plusieurs échantillons d'eau. Les anions et les cations sont représentés dans deux diagrammes ternaires distincts. Les sommets du diagramme ternaire des anions sont le sulfate, le chlorure et le carbonate plus l'hydrogénocarbonate. Les sommets du diagramme ternaire des cations sont le magnésium, le calcium et sodium plus le potassium. Les deux diagrammes ternaires sont projetés dans un losange. Le losange est une matrice de passage du graphique des anions (sulfate + chlorure/total des anions) et des cations (sodium + potassium/total des cations).

Les résultats des analyses chimiques ont été reportés sur le diagramme de Piper Fig. n° III.22.

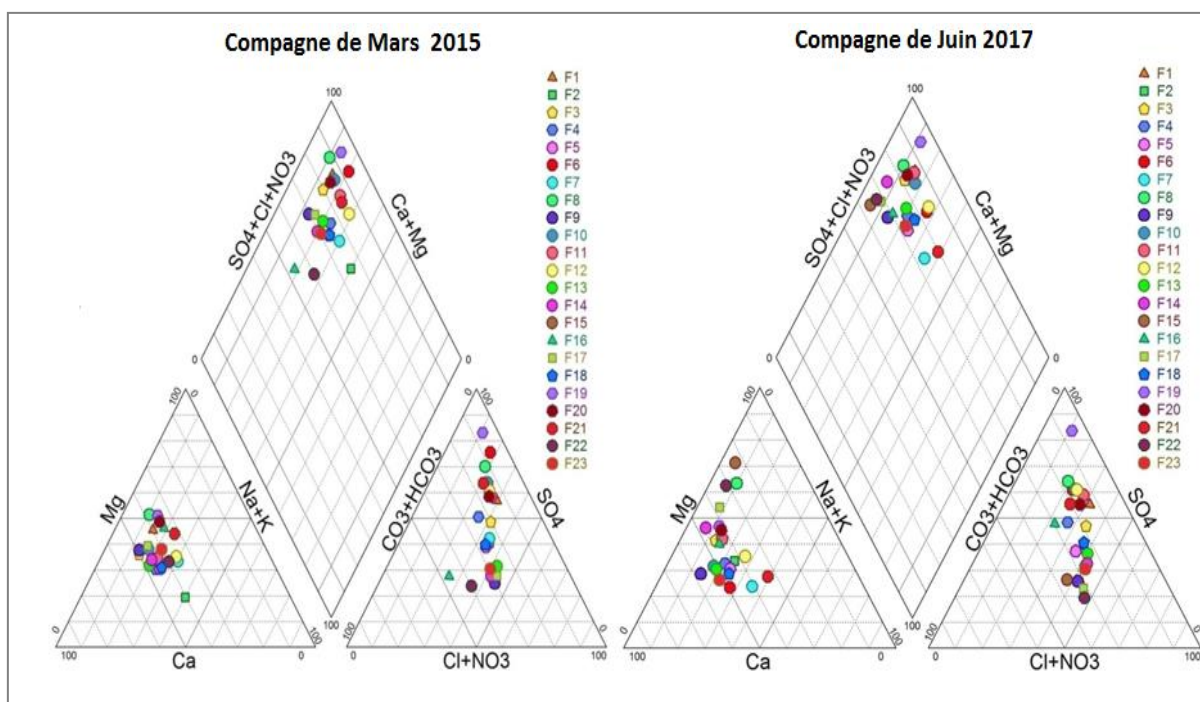


Figure. III.22. Diagramme de Piper Campagne de juin 2017

L'examen détaillé du faciès montre deux faciès chimiques pour les deux compagnes (sulfaté et bicarbonate) : Pour les deux compagnes, Mars 2015 et Juin 2017 respectivement représentés par 65% et 70% du faciès sulfaté, suivi par le faciès bicarbonate avec 35% et 30% des cas. Le premier faciès est lié aux formations, du lac salé, marne et argile. Le deuxième faciès est en relation avec les formations carbonatés situées aux limites de l'aquifère qui correspondent aux limites de recharge. Cette typologie de faciès souligne la complexité des processus hydrogéochimiques qui régissent la salinité de cette eau souterraine.

### **III.5. Analyses par les méthodes statistiques multivariées**

On traite les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines des forages implantés dans région nord de Chemora par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), dont l'objectif est d'identifier les faciès chimiques et l'interaction eau-roche afin d'expliquer l'occurrence de tel élément par rapport à un autre.

#### **III.5.1. Analyse en composantes principales (A.C.P) :**

##### **III.5.1.1. Définition :**

L'analyse en composantes principales (ACP ou PCA en anglais pour principal component analysis), ou selon le domaine d'application la transformation de Karhunen–Loève, est une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multi variée, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées » en statistique) en nouvelles variables décorréelées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », ou axes principaux. Elle permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante.

##### **III.5.1.2. Principe de l'ACP**

L'analyse en composantes principales, souvent notée ACP, fait partie des techniques descriptives multidimensionnelles. Le principe de l'ACP consiste à passer d'un tableau des données brutes, contenant toute l'information recueillie sur le phénomène que nous souhaitons étudier, à certaines représentations visuelles des données. Cette opération entraînera une certaine perte "d'information" que l'on essaie de minimiser. En échange, on obtient un gain en "signification", en particulier grâce aux représentations graphiques. Afin d'avoir un minimum de connaissances

sur le fonctionnement de l'ACP et la nature des résultats qu'elle produit, qu'on peut facilement interpréter.

### III.5.1.3- Application de L'ACP sur des données chimiques de la zone d'étude

Une analyse statistique en composantes principale a été appliquée sur les données chimiques pour les deux campagnes (Mars 2015, Juin 2017), en utilisant 23 échantillons (individus) et 09 variables (CE, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) consignés dans un tableau et à l'aide du logiciel *XLSTAT 2016*.

Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution. Les résultats des paramètres statistiques des variables (moyennes et écart types) sont enregistrés dans le (Tableau III. 12) suivant :

**Tableau n°(III.12): Moyennes et écart types des éléments variables  
Campagnes Mars 2015 et Juin 2017**

Compagne	Variable	Min	Max	Moy	Ecart-type	CV
Mars 2015	CE	1010	10120	3482.5	2125.06	0.61
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	54.6	512.76	203.14	68.62	0.34
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	145	3580	900	766.2	0.85
	CL <sup>-</sup>	99.4	340.8	283.9	57.18	0.20
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.2	38.5	8.83	11.46	1.30
	Ca <sup>++</sup>	72.14	609.21	257.02	141.15	0.55
	Mg <sup>++</sup>	51.72	536.88	157.81	144.74	0.92
	Na <sup>+</sup>	42.6	65.8	136.06	53.66	0.39
	K <sup>+</sup>	1.8	16.5	8.35	3.15	0.38
Juin 2017	CE	1300	10080	4185.65	2406.69	0.57
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	250.1	567.3	367.43	69.6	0.19
	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	185	3560	758.7	715.89	0.94
	CL <sup>-</sup>	142	340.8	299.06	53.43	0.18
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11	92	27.69	19.25	0.70
	Ca <sup>++</sup>	101	745.48	260.13	131.93	0.51
	Mg <sup>++</sup>	54.6	512.76	170.33	135.73	0.80
	Na <sup>+</sup>	38.4	235	109.87	50.39	0.46
	K <sup>+</sup>	0.64	12.06	7.17	2.98	0.42

**III.5.1.3.1. Analyse Statistique :**

L'analyse des résultats des données dans le tableau n° III 12 des deux compagnes montre que les ions :

( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  et  $HCO_3^-$ ) présentent un  $C_v < 0,5$ , pour le reste des ions ( $CE$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ) la dispersion est importante ( $C_v > 0,5$ ).

**III.5. 1.3.2. Matrice de corrélation :**

La corrélation des éléments est distinguée par une matrice carrée caractérisée selon un coefficient de corrélation entre les variables, deux à deux (Degré d'association entre deux variables). Les différentes corrélations entre les variables deux à deux peuvent être déterminées sur la base du coefficient de corrélation significatif (critique) tiré de la table de Bravais-Pearson en fonction du nombre d'observations et de variables mis en jeu. La corrélation entre les paramètres physico-chimiques dans les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche et permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. Du tableau (III.13) et à un risque d'erreur de 5% ce coefficient sera égal :  $r_c = f(e, v) = 0.51$   $v = n-p-1$

Avec  $v$ : le degré de liberté,  $n$ : le nombre d'observations,  $p$ : le nombre de variables explicatives et  $e$ : le risque d'erreur.

**Tableau(III.13). Coefficient de corrélation linéaire selon Bravais- Pearson**

$v \backslash e$	10%	5%	2%	$v \backslash e$	10%	5%	2%
1	0.9877	0.9969	0.9995	17	0.3887	0.4555	0.5285
2	0.9000	0.9500	0.9800	18	0.3783	0.4438	0.5155
3	0.8054	0.8783	0.9343	19	0.3687	0.4329	0.5034
4	0.7293	0.8114	0.8822	20	0.3598	0.4227	0.4921
5	0.6694	0.7545	0.8329	25	0.3233	0.3809	0.4451
6	0.6215	0.7067	0.7887	30	0.2960	0.3494	0.4093
7	0.5822	0.6664	0.7498	35	0.2746	0.3246	0.3810
8	0.5494	0.6319	0.7155	40	0.2573	0.3044	0.3578
9	0.5214	0.6021	0.6851	415	0.2428	0.2875	0.3384
10	0.4973	0.5750	0.6581	50	0.2306	0.2732	0.3218
11	0.4762	0.5529	0.6339	60	0.2108	0.2500	0.2948
12	0.4575	0.5324	0.6120	70	0.1954	0.2319	0.2737
13	0.4409	0.5139	0.5923	80	0.1829	0.2172	0.2565
14	0.4259	0.4973	0.5742	90	0.1726	0.2050	0.2422
15	0.4124	0.4821	0.5577	100	0.1638	0.1946	0.2301
16	0.4000	0.4683	0.5425				

La matrice de corrélation a été réalisée pour l'ensemble des prélèvements d'eau analysés (Tableau. III.14) à l'aide du logiciel XLSTAT 2016.

Tableau n°(III.14): Matrices de corrélation des paramètres chimiques (Mars 2015 et Juin 2017)

Compagne	Variables	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3
Mars 2015	CND	1								
	Ca	0,914	1							
	Mg	0,953	0,893	1						
	Na	0,746	0,708	0,609	1					
	K	0,570	0,647	0,483	0,842	1				
	HCO3	-0,014	0,281	0,105	-0,131	0,320	1			
	Cl	0,630	0,611	0,523	0,514	0,496	0,228	1		
	SO4	0,960	0,930	0,972	0,735	0,596	-0,209	0,477	1	
	NO3	-0,238	0,083	0,147	-0,237	0,015	-0,381	0,004	-0,143	1
	Juin 2017	Variables	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4
CE		1								
Ca		0,817	1							
Mg		0,928	0,710	1						
Na		0,216	0,456	0,136	1					
K		0,148	0,376	0,041	0,692	1				
HCO3		0,356	0,068	0,428	-0,118	0,311	1			
Cl		0,652	0,537	0,512	0,314	0,371	0,336	1		
SO4		0,520	0,759	0,516	0,697	0,496	-0,127	0,253	1	
NO3		-0,402	0,209	0,314	-0,056	0,125	-0,509	-0,033	-0,110	1

D'après les résultats obtenus on peut distinguer selon le coefficient de corrélation des ensembles des couples corrélés suivant le tableau (III.15) :

Tableau n°(III.15): Corrélation entre les couples des paramètres physico-chimiques.

Compagne	Couple	CE- Ca	CE- Mg	CE-Na	CE-K	CE-Cl	CE-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg	Ca-Na
Mars 2015	Corrélation	0,914	0,953	0,746	0,570	0,630	0,960	0,893	0,708
	% Corrélation	91,4%	95,3%	74,6%	57,0%	63,0%	96,0%	89,3%	70,8%
	Couple	Ca-K	Ca-Cl	Ca-SO <sub>4</sub>	Mg-Na	Mg-Cl	Mg-SO <sub>4</sub>	Na-K	Na-Cl
	Corrélation	0,647	0,611	0,930	0,609	0,523	0,972	0,842	0,514
	% Corrélation	64,7%	61,1%	93,0%	60,9%	61,1%	97,2%	84,2%	51,4%
	Couple	Na-SO <sub>4</sub>	K-SO <sub>4</sub>						
	Corrélation	0,735	0,596						
% Corrélation	73,5%	59,6%							
Juin 2017	Couple	CE- Ca	CE- Mg	CE-Cl	CE-SO <sub>4</sub>	Ca- Mg	Ca-Cl	Ca-SO <sub>4</sub>	Mg-Cl
	Corrélation	0,817	0,928	0,652	0,520	0,710	0,652	0,759	0,537
	% Corrélation	81,7%	92,8%	65,2%	52,0%	71,0%	65,2%	75,9%	53,7%
	Couple	Mg-SO <sub>4</sub>	Na-K	Na-SO <sub>4</sub>					
	Corrélation	0,516	0,692	0,697					
% Corrélation	51,6%	69,2%	69,7%						

L'examen de la matrice de corrélation, nous a permis d'établir les corrélations significatives entre les différents éléments. La conductivité électrique des différents échantillons, montre une

bonne corrélation avec les éléments ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ) durant les deux périodes, avec ( $r > 0.51$ ) (Fig. III.23 à III.28) (Sauf les éléments :  $\text{K}^+$  durant la période de Mars 2015 et  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  durant la période de Juin 2017, cela revient probablement à une dilution par l'arrivée d'un apport d'eau avec un échange de base. Les fortes corrélations indiquent la contribution directe de ces éléments dans la salinité des eaux souterraines. La relation entre  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  dans les eaux la zone nord de Chemora (Fig. III.29 et III. 30), montre une bonne corrélation entre leurs ions durant les deux périodes, cela explique possiblement la dissolution de la calcite et de la dolomite présentes dans l'aquifère du Quaternaire de la région de Chemora. La relation entre Na et Cl, montre une corrélation significative durant la période de Mars 2015 et cela dû roablement à la dissolution des formations évaporitiques (halite : NaCl).

(Compagne Mars 2015)

(Compagne Juin 2017)

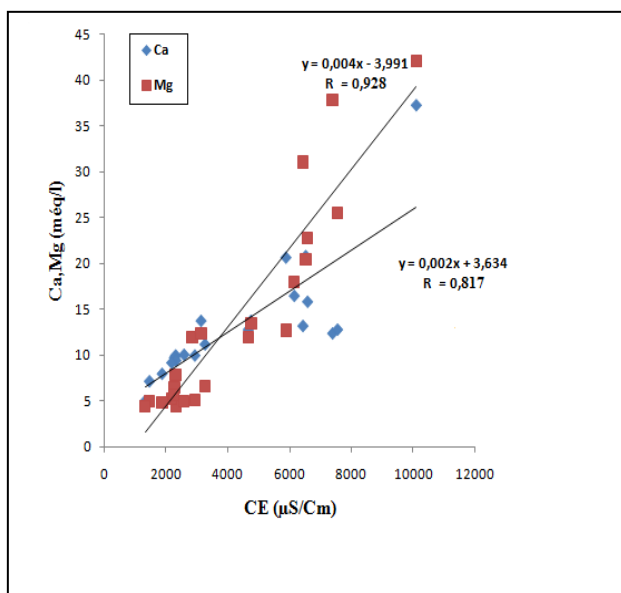
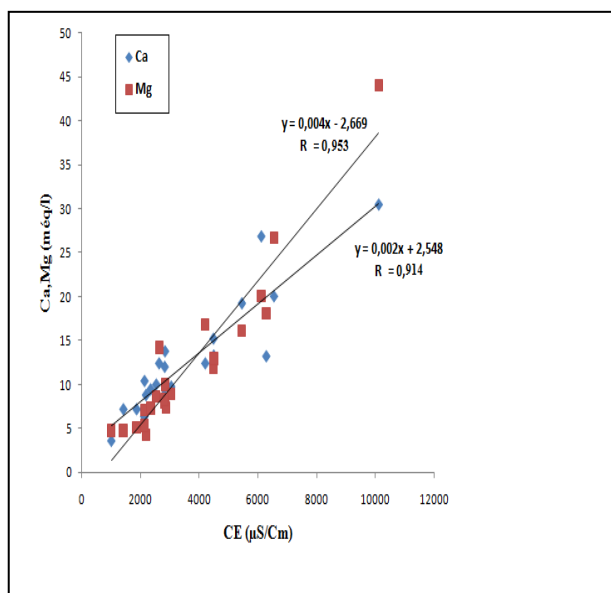


Fig.III.23: Relation de CE avec (Ca, Mg)

Fig.III.24:Relation de CE avec (Ca, Mg)

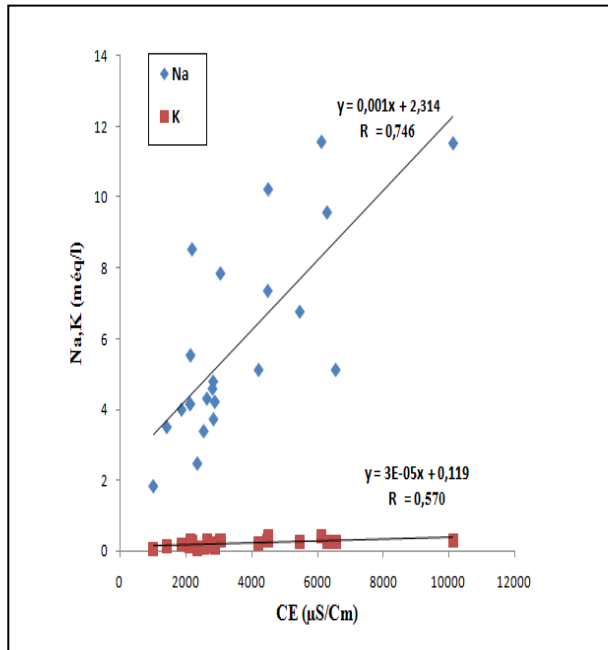


Fig.III.25: Relation de CE avec (Na, K)

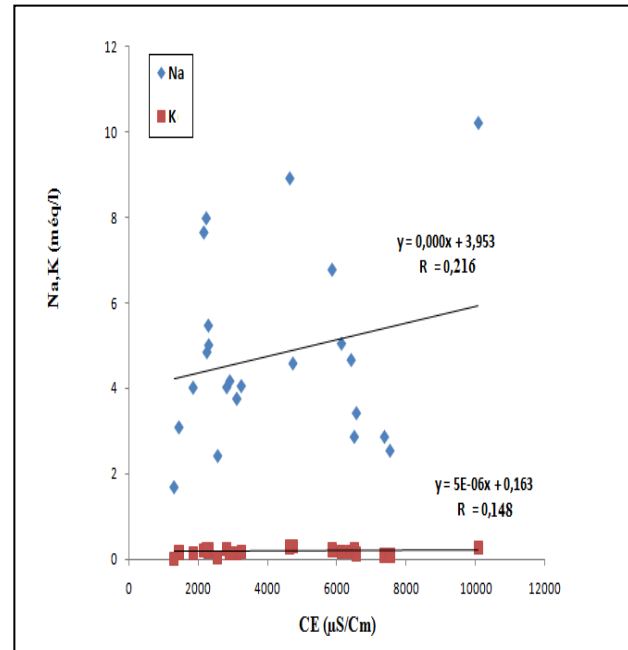


Fig.III.26: Relation de CE avec (Na, K)

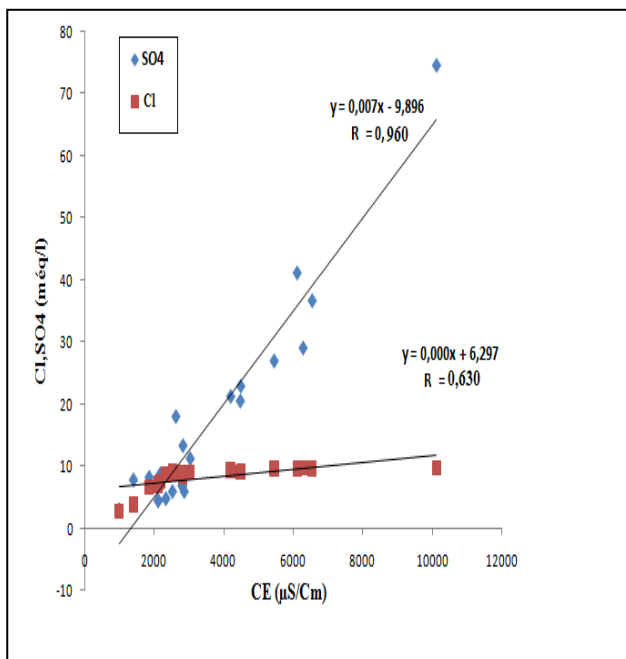


Fig.III.27: Relation de CE avec (Cl, SO4)

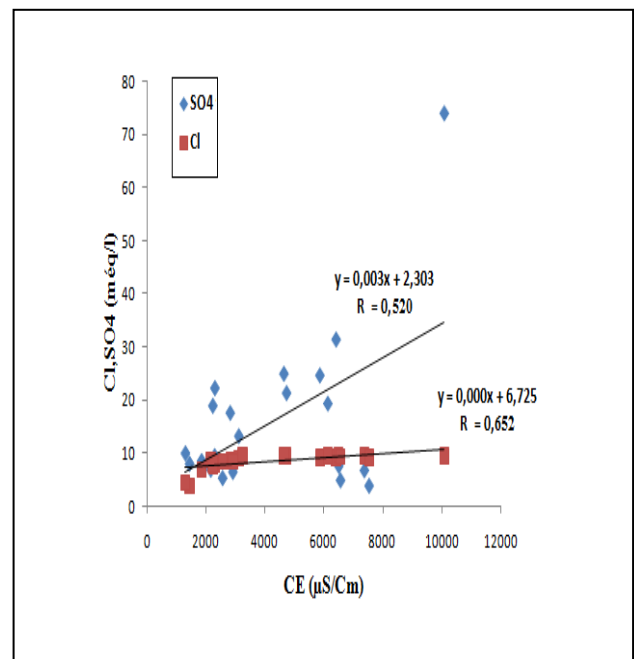
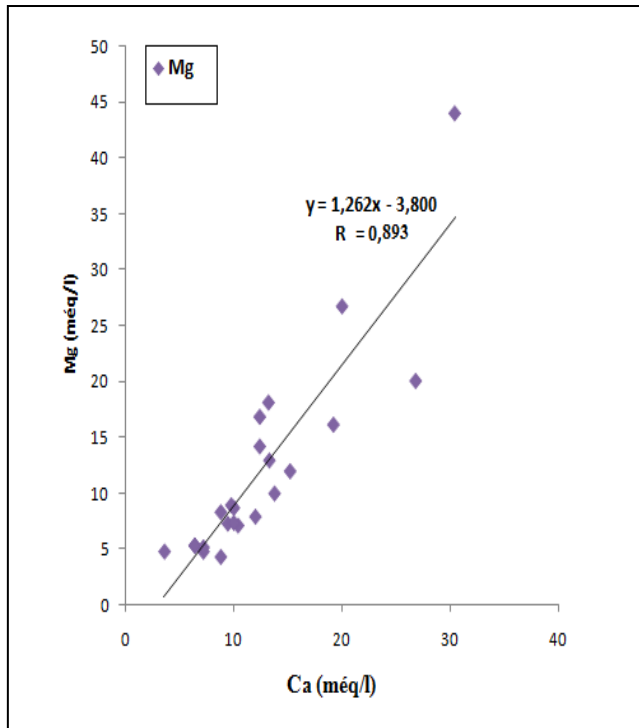
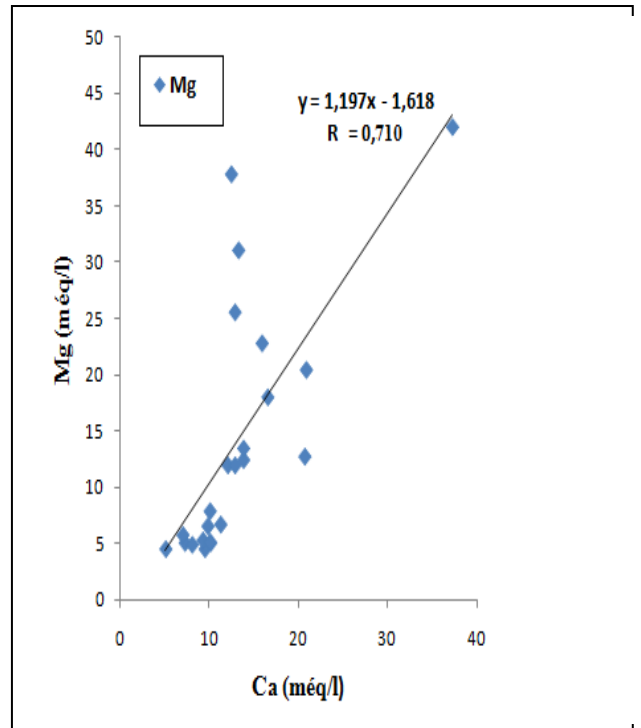


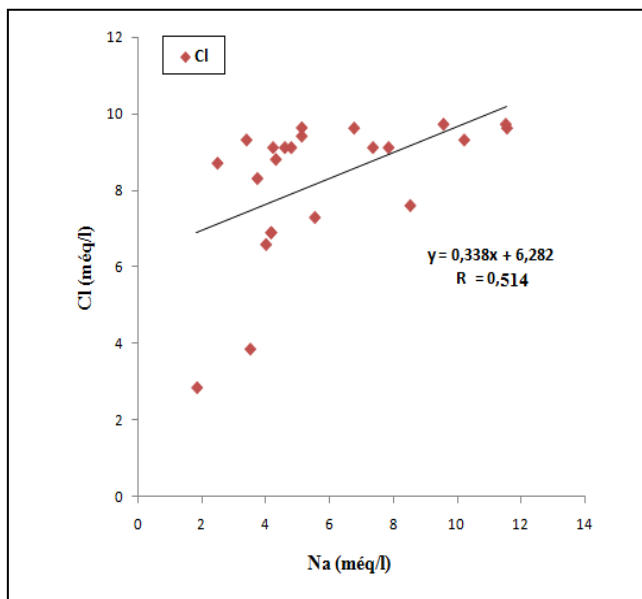
Fig.III.28: Relation de CE avec (Cl, SO4)



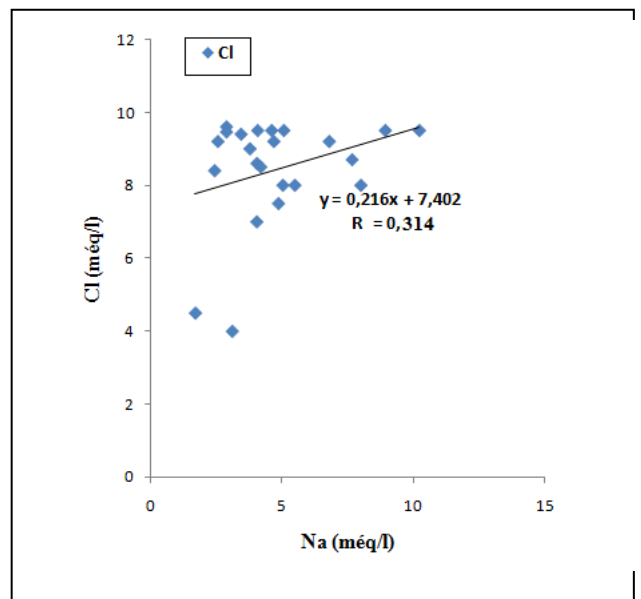
**Fig.III.29: Relation de Ca avec Mg**



**Fig.III.30: Relation de Ca avec Mg**



**Fig.III.31: Relation de Cl<sup>-</sup> avec Na**



**Fig.III.32 : Relation de Cl<sup>-</sup> avec Na**

Le faciès sulfaté caractérise les eaux souterraines durant les périodes de Mars 2015 (Fig.III.33 et Fig III.34). Les eaux de la partie Est ont un avantage minéralisé, dont  $\text{SO}_4^{2-}$  en contact avec le sel du lac salé et les formations terrigènes de la couche aquifère.

L'évolution du  $\text{SO}_4^{2-}$  avec  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  montre que les ions de calcium et les ions magnésiens ont été trouvés fortement corrélés avec les ions des sulfates à des coefficients de corrélations positifs très significatifs (0.930 et 0.972) pour la période de Mars 2015, tandis que pour la période de Juin 2017 ont une moyenne à bonne corrélation avec les ions des sulfates et avec un coefficient de corrélation positif significatif (0.516 à 0.759).

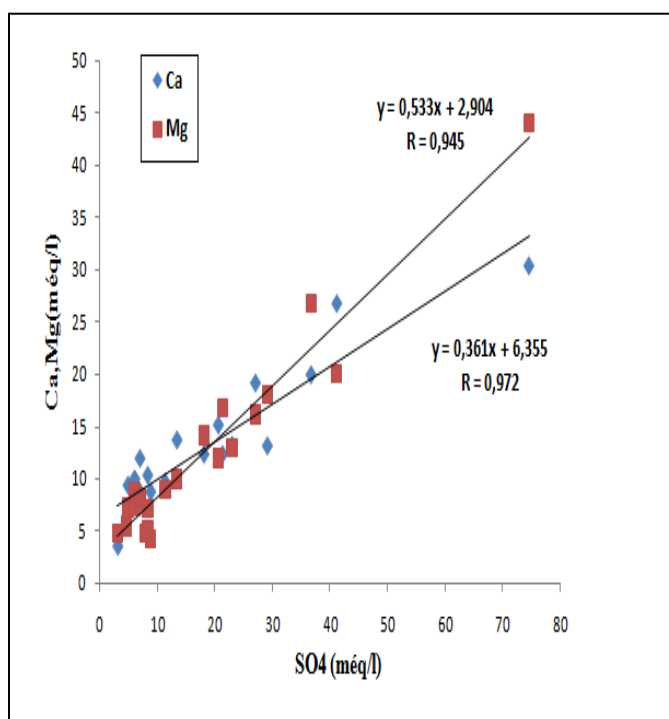


Fig.III.33: Relation de  $\text{SO}_4$  avec (Ca, Mg)

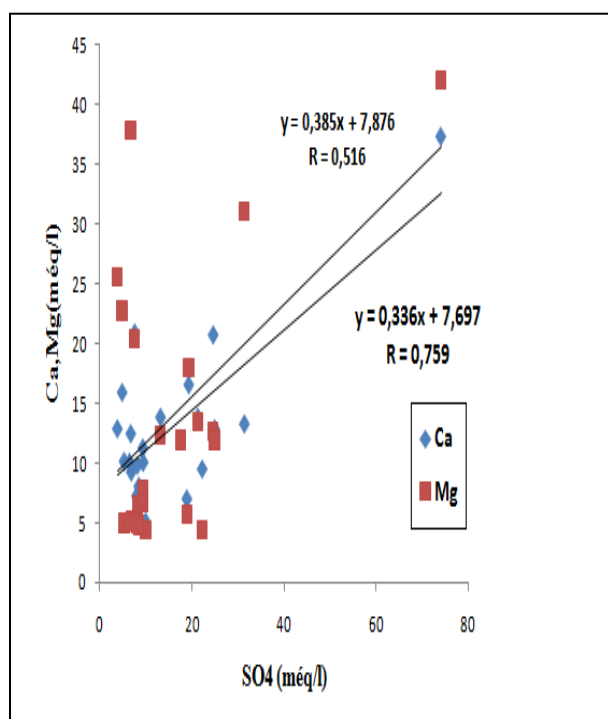


Fig.III.34: Relation de  $\text{SO}_4$  avec ( Ca , Mg)

### III.5.1.3.3 - Interprétation des résultats des ACP (Mars 2015 et Juin 2017)

L'interprétation des résultats des ACP en se basant sur le coefficient de corrélation critique de Pearson de 0.51 correspond à 5% d'erreur (Tableau III.16), montre que deux plans factoriels ont été retenus (F1 et F2) avec 74,06% et 65,90% de la variance cumulée pour les données des analyses hydrochimiques de Mars 2015 et Juin 2017 (Tableau. III.16), considérés corrélativement bons et peuvent être employées pour identifier les principales variations et changements dans la composition chimique de l'eau (Fig. III.35 et III.36).

**Le facteur 1 :**

Représente les chargements les plus élevés avec (53.43% et 41.84%) de la variance totale respectivement pour les deux périodes, notons que ces chargements sont déterminés comme suit :

- Mars 2015: Le facteur 1 est chargé positivement par (CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ) et explique 53.43% de la variance totale.

- Juin 2017: Le chargement est positivement par (CE,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ ), avec 41.84% de la variance totale, dans ce Facteur et par rapport à la période de Mars 2015, on remarque un changement de la composition chimique présenté par la diminution des ions de Sodium et Potassium et remplacés par les ions de calcium et magnésium. Cela dû possiblement à la dissolution des roches calcites et dolomites, avec une arrivée d'un apport d'eau et la dilution des concentrations des éléments ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ), ce qui permet d'avoir un échange de base dans la composition chimique des eaux.

Ce facteur symbolise les éléments évaporitiques résultant de la dissolution de minerais, origine de la minéralisation élevée des eaux souterraines de la zone d'étude.

- **Le facteur 2 :**

Ce facteur est caractérisé par des chargements négatifs faibles de ( $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) expliqué par 20.63 % et 24.06 de la variance totale respectivement pour les deux périodes. Ce qui peut être expliqué par l'altération du carbonate caractéristique des eaux profondes et par les eaux de surface dû principalement à l'eau d'irrigation polluées par les éléments azotés (utilisation des engrais et fumiers pour la fertilisation des terrains agricoles) et aux eaux usées.

**Tableau n°(III.16):Caractéristiques des ACP appliquées aux données physico-chimiques des eaux de la nappe de la région de Chemora.**

Mars 2015				Juin 2017			
Facteur	Valeur propre	% de la Variance	% cumulé	Facteur	Valeur propre	% de la Variance	% cumulé
F1	5.343	53.43	53.43	F1	4.184	41.84	41.84
F2	2.063	20.63	74.06	F2	2.406	24.06	65.90

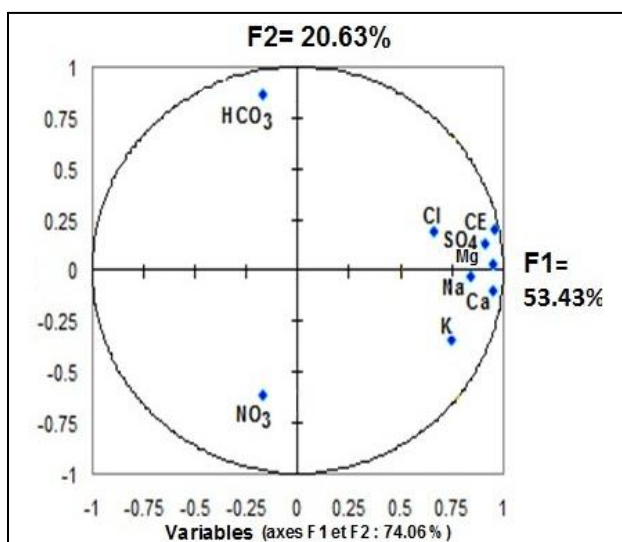


Figure. III.35 : cercle de corrélation (Compagne Mars 2015).

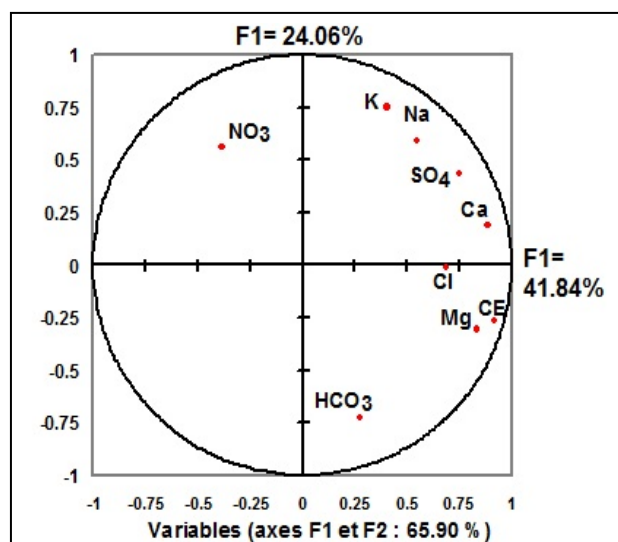


Figure. III.36 : cercle de corrélation (Compagne Juin 2017).

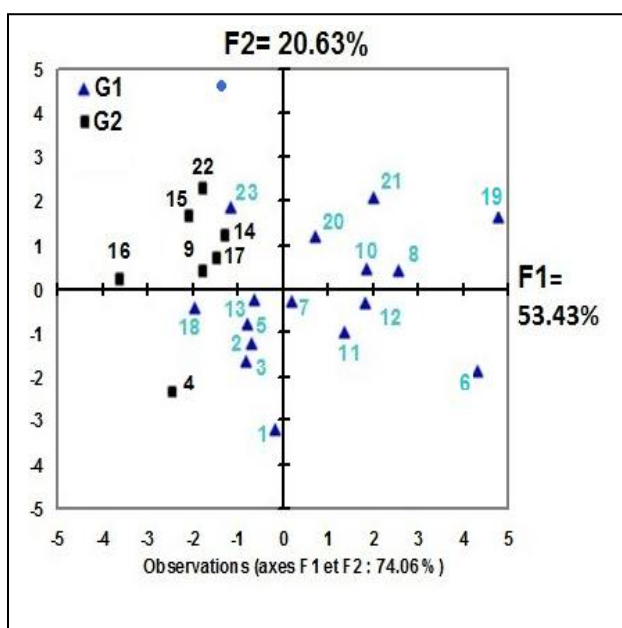


Figure. III.37: cercle des Individus (Compagne Juin 2017)

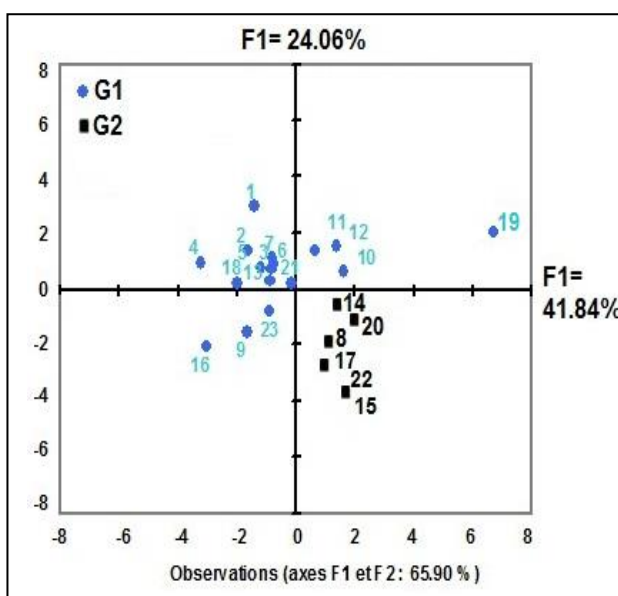


Figure. III.38: cercle des Individus (Compagne Juin 2017)

La projection des individus (observations) sur le plan des facteurs F1 et F2 (Figures : III.37 et III.38) montre l'existence de deux principaux groupes (G1, G2) Pour les ensembles de données durant les deux périodes (Mars 2015 et Juin 2017).

**Le groupe 1 :** Ce groupe clastre 65.22% et 74% respectivement pour les deux périodes du nombre total des échantillons d'eau, avec une valeur de conductivité moyenne de 3627.5 $\mu$ S/cm et 2424.78  $\mu$ S/cm; qui est la caractéristique d'eau moins saline a saline (CE >3000  $\mu$ S/cm); ce groupe est influencé par le contact des affleurements Aptiens de faciès carbonaté et gypsifères (Ca SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O), et par le lessivage des terrains argileux et marneux, ainsi par la pollution anthropique des nitrates provenant de la zone agricole.

**Le groupe 2 :** Le deuxième groupe déploie 34.78% et 26% respectivement pour les deux périodes du nombre total des échantillons d'eau, avec une valeur de conductivité moyenne de 3504.528 $\mu$ S/cm et 6750 $\mu$ S/cm. Ce groupe est influencé par la pollution des eaux usées et par la salinité élevée due à la dissolution des formations évaporitiques (halite : NaCl) et l'intrusion des eaux du lac salé.

### **III.5.2-L'analyse par la méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) :**

#### **III.5.2.1-Définition de la CAH:**

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) consiste à agréger progressivement les individus selon leur ressemblance mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de dissimilitude. Elle nécessite la définition d'une mesure de similarité ou de distance entre les objets à classifier (échantillons) et d'un critère d'agrégation des classes. Au départ, on a une partition en n classes, chaque classe étant composée d'un seul objet (partition la plus fine). L'algorithme de la suite à rassembler les couples d'individus qui se ressemblent plus, puis à agréger progressivement les autres individus ou groupes d'individus, jusqu'à ce que la totalité des individus ne forme plus qu'un seul groupe. La CHA produit un arbre binaire de classification appelé dendrogramme. [16]

#### **III.5.2.2.Principes de la classification ascendante hiérarchique**

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification itérative dont le principe est simple.

1. On commence par calculer la dissimilarité entre les N objets.
2. Puis on regroupe les deux objets dont le regroupement minimise un critère d'agrégation donné, créant ainsi une classe comprenant ces deux objets.

3. On calcule ensuite la dissimilarité entre cette classe et les N-2 autres objets en utilisant le critère d'agrégation. Puis on regroupe les deux objets ou classes d'objets dont le regroupement minimise le critère d'agrégation.

On continue ainsi jusqu'à ce que tous les objets soient regroupés.

Ces regroupements successifs produisent un arbre binaire de classification (dendrogramme), dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus. Ce dendrogramme représente une hiérarchie de partitions. On peut alors choisir une partition en tronquant l'arbre à un niveau donné, le niveau dépendant soit des contraintes de l'utilisateur (l'utilisateur sait combien de classes il veut obtenir), soit de critères plus objectifs.

### **III.5.2.3. Avantages de la classification ascendante hiérarchique**

La classification ascendante hiérarchique (CAH) est une méthode de classification qui présente les avantages suivants :

- On travaille à partir des dissimilarités entre les objets que l'on veut regrouper. On peut donc choisir un type de dissimilarité adapté au sujet étudié et à la nature des données.
- L'un des résultats est le dendrogramme, qui permet de visualiser le regroupement progressif des données. On peut alors se faire une idée d'un nombre adéquat de classes dans lesquelles les données peuvent être regroupées.

### **III.5.2.4. Application de la méthode CAH sur des données chimiques de la zone d'étude -**

La Méthode CAH est appliquée avec 23 échantillons (individus) et 08 variables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ) à l'aide du logiciel *XLSTAT 2016*, pour classer en groupes composés les échantillons. Les dendrogrammes des faisceaux des variables et des échantillons analysés ((Figure. III.39), donnent une classification de trois (03) groupes pour les deux campagnes de Mars 2015 et Juin 2017.

#### **Groupe n ° 01 :**

Ce groupe est définie durant les deux périodes Mars 2015 et Juin 2017 par les éléments : (Mg, Na, K, et  $\text{NO}_3$ ) caractérisé par une minéralisation influencée d'une pollution par les nitrates, due à l'utilisation anarchique des fertilisants agricoles (engrais, fumiers...) et eaux usées. Comme il présentes des teneurs de conductivité électrique très élevées surtout en se rapprochant du lac salé (Garaet Ank Djemel), dû au lessivage et percolation des terrains salés.

**Groupe n° 02 :**

Ce groupe est caractérisé durant les deux périodes Mars 2015 et Juin 2017 par les éléments : (Ca, HCO<sub>3</sub> et Cl), expliqué par la dissolution des formations carbonatées (calcaires et dolomite) des massifs bordant la plaine (Djebels : Fedjoudj, Marhsel), ainsi du lessivage des terrains alcalino-terreux, salifères (argilo-sableux) et gypsifères.

**Groupe n° 03 :**

Ce groupe présente est influencé par des fortes concentrations en sulfates (SO<sub>4</sub>), durant les deux périodes Mars 2015 et Juin 2017, expliqué par la dissolution excessive du gypse (Ca SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O) et lessivage des terrains argileux marneux.

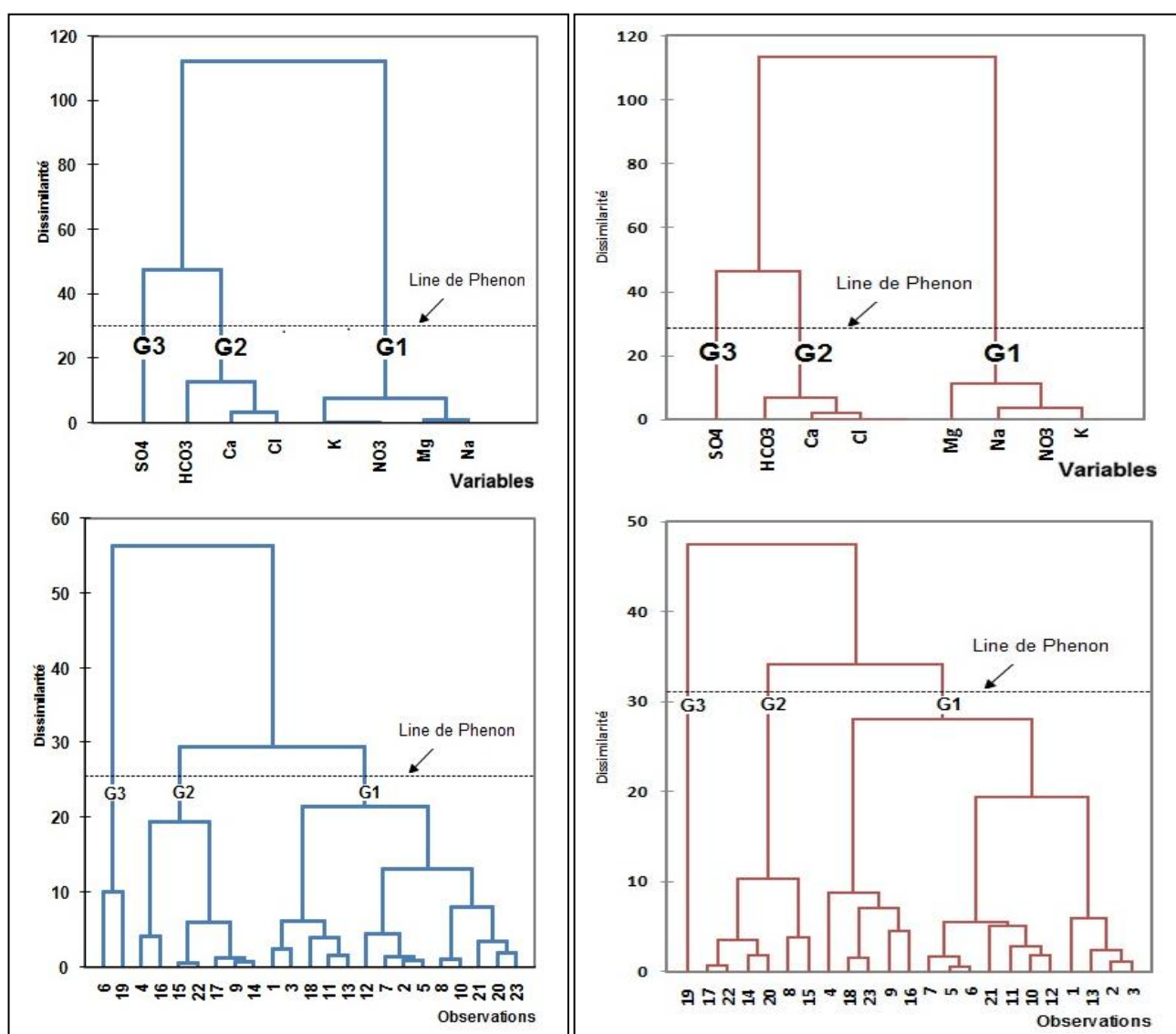


Fig. III.39. Dendrogrammes des faisceaux des variables et des échantillons analysés

L'ACP a donné deux groupes (G1 et G2). Tandis que la CAH a montré trois groupes (G1, G2, et G3) Pour les ensembles de données, le troisième groupe est une spécification précise par la CAH puisque ce groupe réellement découle du premier groupe classifié par L'ACP. Le troisième groupe G3 est caractérisé par le faciès Sulfate dominant est dû à la dissolution des formations carbonaté et gypsifères ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), et par le lessivage des terrains argileux et marneux.

On peut Conclure qu'il y a deux zones essentielles ; la première : zone (Sud, Sud-ouest) caractérisée par une minéralisation élevée et touchée par la pollution des nitrates, la deuxième zone (Nord-est) influencée par la salinité.

### III.7- 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 :

$$i.e.b1 = \frac{rCl^- - r(Na^+ + K^+)}{rCl^-}$$

Si l'i.e.b est négatif, les ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  de l'eau sont échangés contre les ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  des formations encaissantes. Par contre si l'i.e.b est positif, les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de l'eau sont remplacés par les ions  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Ca}^{++}$  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 permetolites, 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.

**III.7.1 - Interprétation des résultats :**

L'interprétation des données des i.e.b calculés montre que la totalité des eaux souterraines de la plaine de Chemora ont un i.e.b positif ce qui signifie que les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  de l'eau sont remplacés par les ions  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{Ca}^{++}$  des formations encaissantes, ce qui explique le faciès calcique et magnésien.

**Tableau n° III.17 : Indices d'échanges de base (Mars 2015).**

échantillon	Mars 2015	échantillon	Mars 2015
	I.E.B 1		I.E.B 1
1	0,643	14	0,682
2	0,228	15	0,579
3	0,683	16	0,553
4	0,357	17	0,749
5	0,458	18	0,573
6	0,163	19	0,189
7	0,400	20	0,617
8	0,622	21	0,327
9	0,803	22	0,579
10	0,511	23	0,651
11	0,436		
12	0,232		
13	0,628		

Tableau n° III .18 : Indices d'échanges de base (JUIN 2017).

échantillon	JUIN 2017	échantillon	JUIN 2017
	I.E.B 1		I.E.B 1
1	0,667	14	0,779
2	0,534	15	0,794
3	0,712	16	0,756
4	0,458	17	0,750
5	0,544	18	0,607
6	0,561	19	0,272
7	0,402	20	0,636
8	0,650	21	0,322
9	0,807	22	0,811
10	0,496	23	0,665
11	0,652		
12	0,357		
13	0,705		

### III-8- Origine des éléments chimiques :

Les eaux souterraines qui circulent dans la nappe alluviale de Chemora proviennent des formations carbonatées qui bordent la plaine et aussi de l'infiltration des eaux pluviales. Ensuite, elles s'écoulent dans un milieu 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 trouvés, on va essayer de déterminer l'origine probable des ions de ces éléments en utilisant de la droite de pente (1 :1) ou ( droite d'équilibre ), a l'aide de l'origine 6.0.

#### III-8-1- Origine du calcium (Ca<sup>2+</sup>):

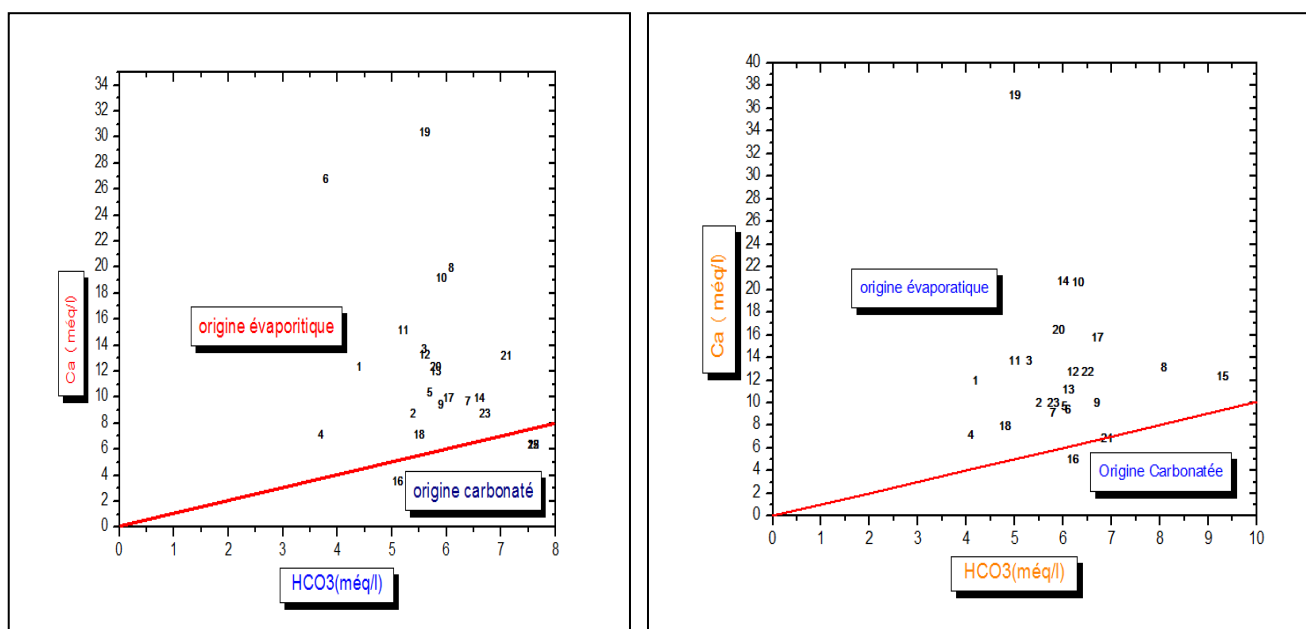
Le calcium tire son origine des carbonates et du gypse (carbonatée et évaporitique), comme il peut provenir des apports d'engrais azotés qui participent à la dissolution des carbonates

La détermination de l'origine de  $\text{Ca}^{2+}$  est nécessaire pour connaître les mécanismes du chimisme de la nappe. La (Fig.III.44) montre que la majorité des points d'eau pour les deux périodes se trouve dans le domaine évaporitique, cela dû à la dissolution du gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

**III-8-2- Origine de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ :**

Généralement dans les eaux naturelles, la présence des deux éléments  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  est attribuée à la dissolution de la halite ( $\text{NaCl}$ ). Cependant, ils peuvent avoir d'autres origines (naturelles ou anthropiques).

La représentation graphique de l'évolution du  $\text{Na}^+$  en fonction de  $\text{Cl}^-$  (Fig. III.45.) a montré que pour les deux périodes Mars 2015 et Juin 2017, la plus part des échantillons d'eau sont placés au- dessous de la droite de pente (1:1), indiquant l'abondance des chlorures dans les eaux. Cela due à la dissolution de l'halite contenue dans les marnes et au phénomène d'échange de base par la libération des ions  $\text{Cl}^-$  contenus dans les argiles. Le déficit en  $\text{Na}^+$  est traduit par le phénomène d'échange ionique inverse entre l'eau et l'aquifère et se traduit par une adsorption du Na et une libération du  $\text{Ca}^{2+}$ . Ces eaux sont contrôlées surtout par des réactions d'échange cationique de précipitation et de solubilisation du gypse et de la calcite.



**Fig. III.44. L'évolution du  $\text{Ca}^{2+}$  en fonction de  $\text{HCO}_3$  selon la droite de pente (1**

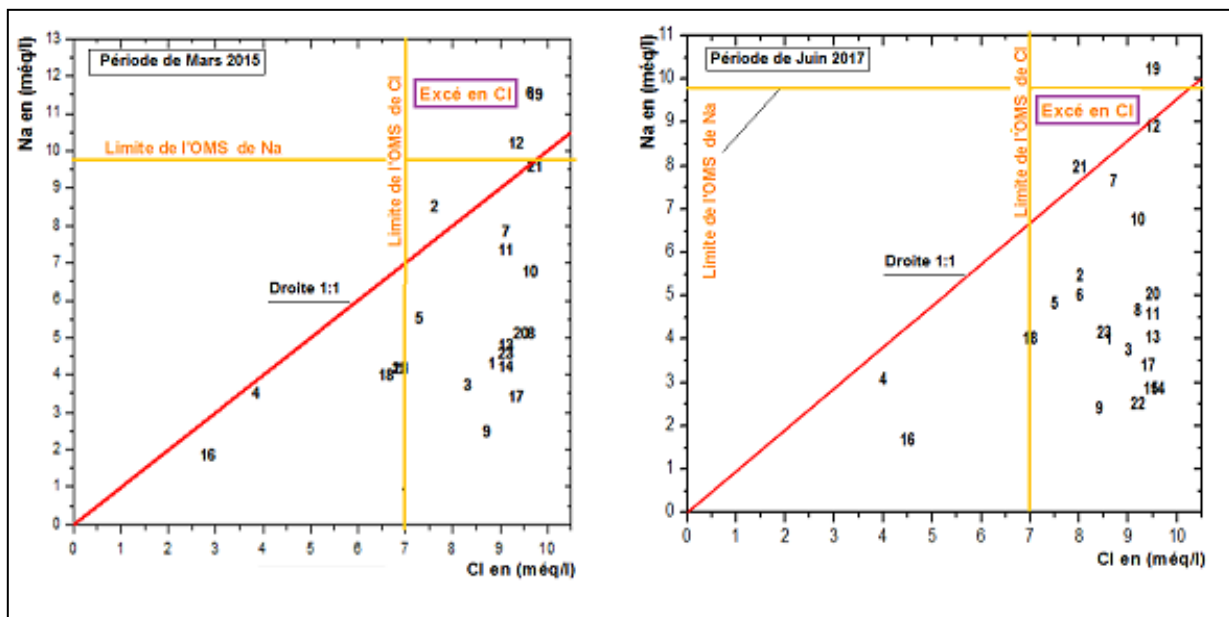


Fig. III.45. L'évolution du  $\text{Na}^+$  en fonction de  $\text{Cl}^-$  selon la droite de pente (1 :1)

### III.9 - Qualité chimique des eaux:

#### III.9.1- Convenabilité de la qualité des eaux pour la potabilité :

Pour la détermination de la qualité chimique des eaux pour la potabilité on utilise d'une part les normes fixées par l'organisation mondiale de la santé (O.M.S) et d'autre part par le degré hydrothémétrique D.H.T.

##### III.9.1.1- Selon l'O.M.S :

Ces normes définissent deux types de concentrations maximales (Tableau n°III.19) 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.

Les échantillons analysés ont des teneurs en chlorures et les nitrates inférieures à la norme maximale admissible pour la totalité des eaux durant les deux périodes.

Les sulfates ne représentent que 39,13% inférieures à la norme pour les deux périodes. Pour le calcium on a de % 30,43 à 26,08% des eaux qui ont des teneurs inférieures à la norme. Et pour le magnésium respectivement pour les deux périodes, on a 65,21% et 52,17%, qui ont des teneurs inférieures à la norme maximale admissible.

Tableau n° III .19: 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	
			Mars 2015	Juin 2017
Calcium	75	200	30,43	26,08
Magnésium	50	150	65,21	52,17
Sulfates	200	400	39,13	39,13
Chlorures	200	600	100	100
Nitrates	50	100	100	100

### III.9.1.2- Degré hydrotimétrique total (D.H.T) :

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

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

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

Le tableau n° III.20 montre que la majorité des eaux analysées sont très dure (95,65%) et (4,35%) dure pour les deux périodes, avec un D.H.T inférieur à 54 °F pour les deux périodes (Mars 2015, Juin 2017)

Tableau n° III 20: Dureté des eaux en (W. THEOBALD et A. GAMA, 1969)

D.H.T (en °F)		0 - 7	7 - 22	22 - 32	32 - 54	> 54
Qualification de l'eau		Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure
Pourcentage des points	Mars 2015	0	0	0	4,35	95,65
	Juin 2017	0	0	0	4,35	95,65

### III.9.2-Aptitude à l'irrigation:

Les eaux de sénonien sont utilisées pour l'irrigation des périmètres agricoles, l'évolution des Paramètres physico-chimiques des eaux influent sur les caractéristiques du sol ce qui aura des répercussions sur le rendement de l'activité agricole. L'étude chimique des eaux pour L'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments Chimiques, 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- La 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 électrique en  $\mu\text{S} / \text{cm}$  est inférieure à 700, il n'y aucune restriction pour l'irrigation ;
- ❖ Si, la conductivité électrique 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 III.n° 21 montres que presque 50% des points d'eau de la zone Nord de Chemora représentent une restriction forte. En cas d'irrigation avec ces eaux chargées en sels.

Tableau n° III.21 l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation

Restriction pour l'irrigation	CE en $\mu\text{S/cm}$	Pourcentage des échantillons (%)	
		Mars 2015	Juin 2017
Aucune	< 700	0	0
Légère à modéré	700 – 3000	60,87	47,82
Forte	> 3000	39,13	52,18

**b- Classification de Richards :**

Les eaux de Chemora sont utilisées pour l'irrigation des périmètres agricoles, l'évolution des paramètres physico-chimiques des eaux influent sur les caractéristiques du sol ce qui aura des répercussions sur le rendement de l'activité agricole. L'étude chimique des eaux pour l'irrigation est nécessaire pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments chimiques, pour les plantes qui supportent mal les sols saturés en sodium, une classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards) Permet de bien classer les eaux en fonction de la conductivité électrique et le SAR (Sodium Adsorption Ratio) dans l'eau, défini par la formule suivante

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

Tous les éléments sont exprimés en méq/l et les résultats de calcul sont enregistrés dans le tableau III.

Tableau III.22: calcul de SAR.

Classes	SAR	Pourcentage (%)	
		Mars 2015	Juin 2017
S1	<13	100	100
S2	13-23	0	0
S3	>23	0	0

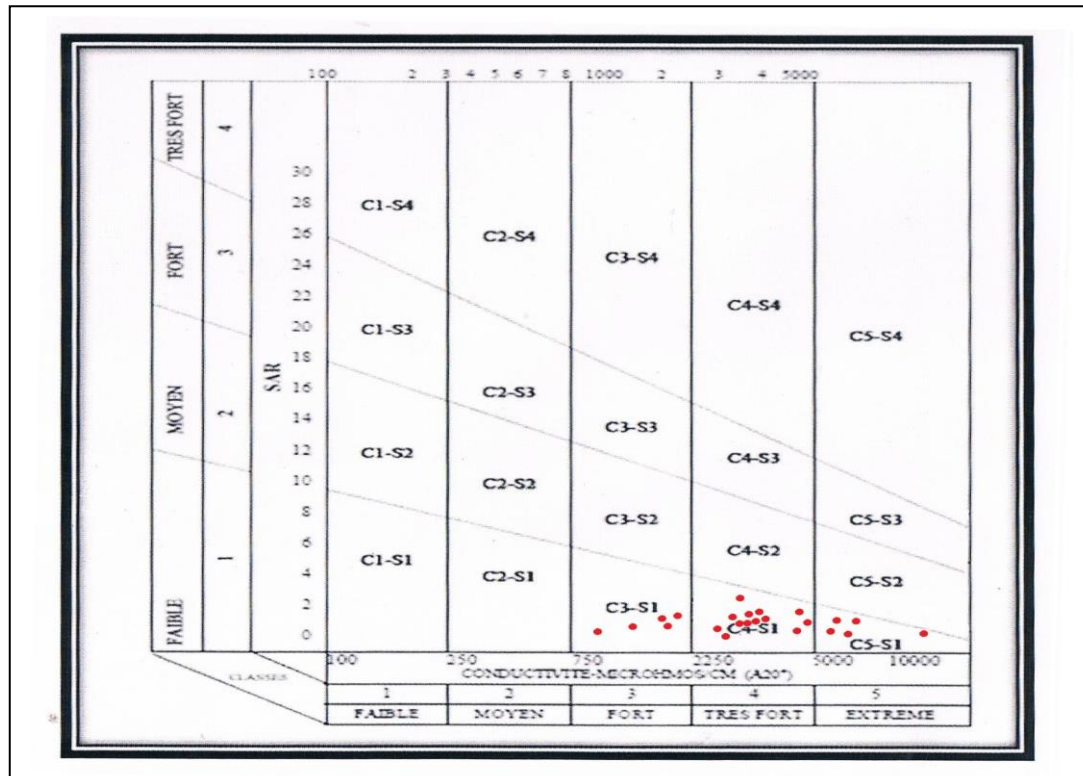


Fig. n° III.40: Diagramme de Richard de classification des eaux pour l'irrigation (Mars 2015)

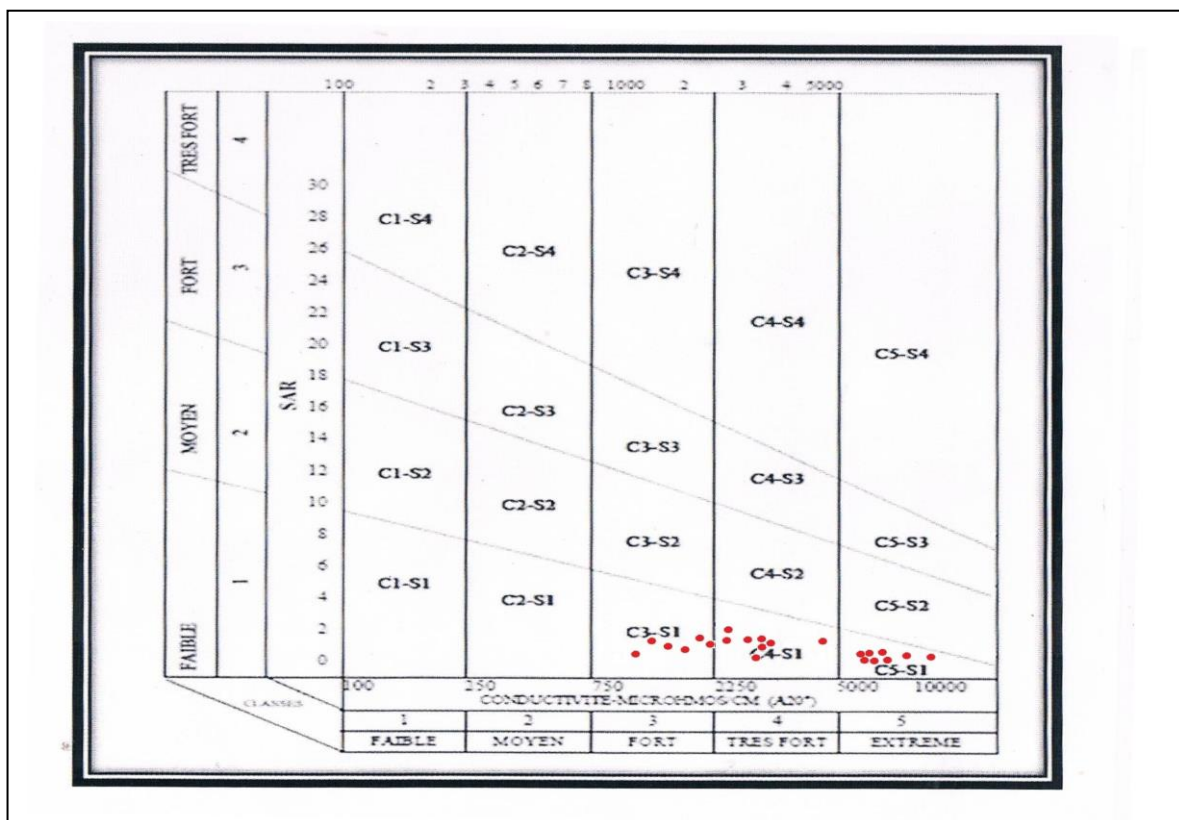


Fig. n°III.41: Diagramme de Richard de classification des eaux pour l'irrigation (Juin 2017)

Les résultats des analyses portés sur le diagramme de Richards (fig.III.40 et Fig.III.41) montrent la répartition des forages dans différentes classes.

Les (03) classes trouvées représentent les caractéristiques suivantes :

- ❖ **Classe C3S1**: représente des eaux de qualité admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité.
- ❖ **Classes C4S1**: 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
- ❖ **Classes (C5 S1)** : représente des eaux de qualité Mauvaise pour l'irrigation, 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.

Nous constatons que la majorité des points d'eau sont représentés par les classes C<sub>3</sub> S<sub>1</sub> et C<sub>4</sub> S<sub>1</sub>. Ce qui déduit que presque 50% des points d'eau pour les deux périodes présentent un danger de salinité élevée, cela peut être dû au lessivage des terrains salés.

### c- 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 :

$$\% Na^+ = \frac{Na^+}{Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+} \times 100, [\text{méq/l}]$$

Cette classification définit cinq classes d'eau : Excellente – Bonne – Admissible- Médiocre – Mauvaise (Fig. n°III.42 et Fig. n°III.43).

D'après le diagramme de Classification de Wilcox, les résultats rapportés dans le tableau n°III.23 montre que la majorité des points d'eau sont représentés par la classe mauvaise et médiocre et des conductivités très élevées ce qui traduit que la majorité des échantillons analysés prélevés des points d'eau situés dans une zone salée (près du Garaet).

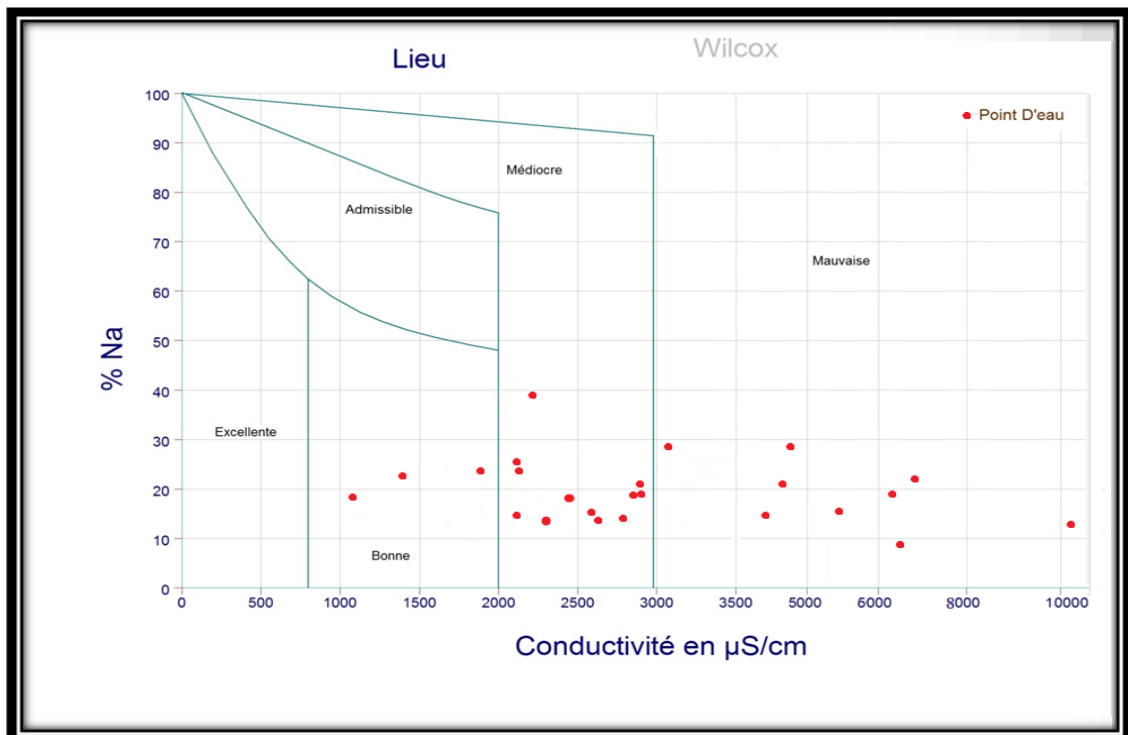


Figure n° III.42: DIAGRAMME DE WILCOX (Mars 2015)

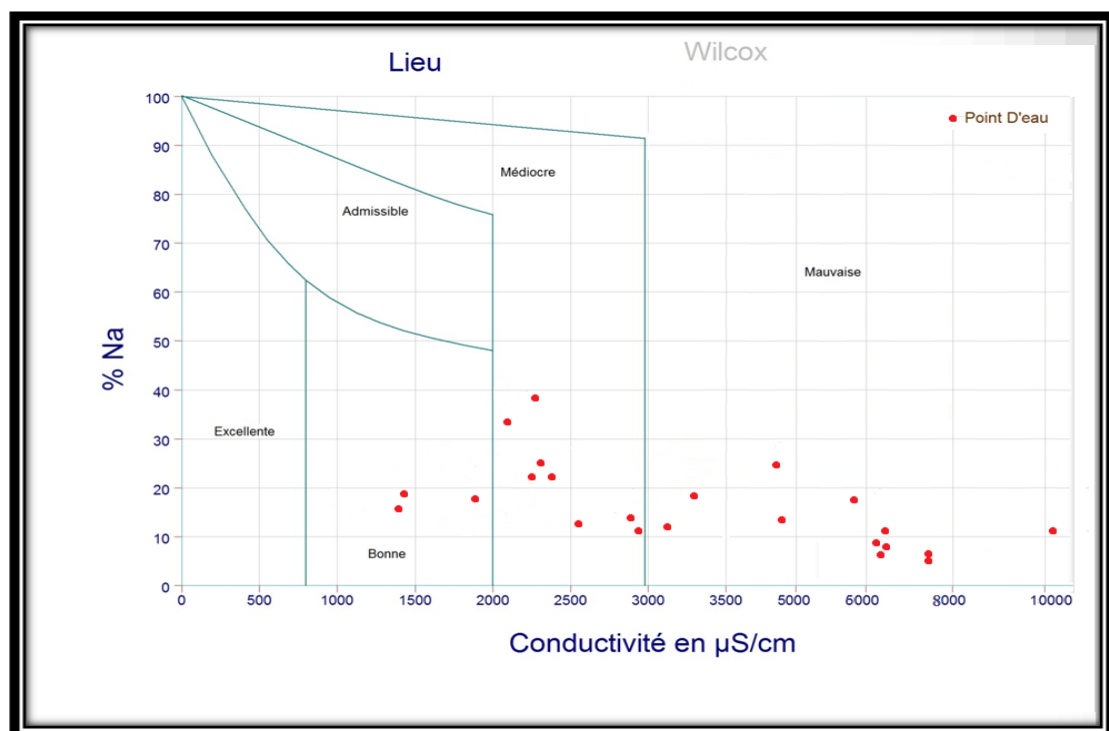


Figure n°III.43: DIAGRAMME DE WILCOX (Juin 2017)

Tableau n° 23: Résultats de l'interprétation du diagramme de Wilcox

Qualité	Pourcentage des points d'eau (%)	
	Mars 2015	Juin 2017
Excellente	/	/
Bonne	13,04	13,04
Médiocre	47,83	34,79
Mauvaise	39,13	52,17

D'après l'analyse des résultats du Tableau n °III.23 on constate que les puits d'eau de bonne qualité représentent 13,04% pour les deux campagnes (mars 2015 et Juin 2017) par rapport à la totalité des puits. Leurs eaux seront exploitées pour l'irrigation et le reste des puits leurs eaux nécessitent un traitement pour les rendre exploitables.

### Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait une étude Hydrogéochimique des eaux souterraines de la plaine de Chemora.

❖ D'après l'analyse la cartographie des éléments chimique on remarque que les teneurs des éléments (calcium, magnésium, sulfate) sont élevées et dépassent la norme de l'OMS du centre de la zone d'étude à l'Est (Dj. Fedjoudj). Cette augmentation des calciums et magnésiums est due à l'influence des formations géologiques par la dissolution des roches carbonatées et dolomitiques. Tandis que les teneurs élevées des sulfates résultent d'une origine marneux et argileux appartenant à la série des alternances calcaires et marnes de la zone d'étude ainsi en présence des terrains agricoles d'où l'utilisation des engrais et les fumiers.

La présence des nitrates sont en liaison avec la répartition des terrains agricoles d'où l'utilisation des engrais, les fumiers et le rejet des eaux usées.

D'après l'analyse des diagrammes de PIPER on constate que la tendance de la majorité des eaux souterraines de Chemora est (sulfaté et bicarbonaté).

Les méthodes statistiques multivariées (ACP, CAH) sont été utilisées pour caractériser la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude en fonction de leurs propriétés physico-

chimiques. Ceci est utilisé pour comprendre les processus géochimiques qui dépendent des réactions chimiques qui ont lieu dans les eaux souterraines de la zone d'étude.

A travers les méthodes statistiques multivariées (ACP et CAH) nous pouvons distinguer :

L'ACP a donné deux groupes principaux (G1 : minéralisées et polluées par les nitrates et G2 : Carbonaté). Tandis que la CAH a montré trois groupes (G1, G2, et G3) Pour les ensembles de données, le troisième groupe est une spécification précise par la CAH puisque ce groupe réellement découle du premier groupe classifié par L'ACP. Le troisième groupe G3 est caractérisé par le faciès Sulfate dominant est dû à la dissolution des formations carbonaté et gypsifères ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), et par le lessivage des terrains argileux et marneux.

La comparaison des résultats des analyses des échantillons des 23 points d'eau avec l'O.M.S, montre que tous les points ont une eau de mauvaise qualité et ne peuvent pas être utilisés vers pour l'AEP

L'aptitude de la qualité des eaux à l'irrigation par la méthode de Richards et Wilcox a montré que les eaux de la nappe du Chemora sont :

➤ Pour la campagne Mars 2015 :

- Les eaux de bonne qualité pour l'irrigation sont localisées aux points : P4, P16, P18.
- Les eaux de qualité admissible à médiocre sont localisées aux points : P1, P2, P5, P9, P13, P14, P15, P17, P22, P 23.
- Les eaux de qualité mauvaise sont localisées aux points : P6, P7, P8, P10, P11, P 12, P19, P 20, P 21.

➤ Pour la campagne Juin 2017 :

- Les eaux de bonne qualité pour l'irrigation sont localisées aux points : P4, P16, P18.
- Les eaux de qualité admissible à médiocre sont localisées aux points : P1, P 2, P 5, P6, P 7, P 9, P21, P23.
- Les eaux de qualité mauvaise sont localisées aux points : P3, P8, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P17, P19, P20, P22.

***Conclusion  
générale***

### **Conclusion Générale :**

Les études et les analyses de la présente étude, qui a porté sur la connaissance et l'identification de la qualité hydrogéochimique des eaux souterraines de la région Nord-est de Chemora faisant ressortir les principaux résultats suivants:

L'étude morphologique a montré que la région Nord-est de Chemora correspond à un sous bassin versant allongé limité par un reliefs modéré et présente un réseau hydrographique très peu développé.

La région Nord-est de Chemora est caractérisée par un climat méditerranéen semi-aride, avec une température et précipitation moyenne annuelle de 13°C et 200mm.

L'étude géologique nous a permis de mettre en évidence des principales formations géologique:

Le premier ensemble représenté par la Crétacé représenté au sein de Djebel Fedjoudj et Djebel Annk Djemel et sebkha.

Le deuxième représenté par le Quaternaire au sein de terrain délimité par l'oued de Boulhilet et Djebel Fedjoudj.

L'étude hydrogéologique montre les zones correspondantes à des horizons de fort écoulement avec les directions de l'écoulement de S-N et SO-NE toutes 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 ou les axes d'écoulement prennent naissance et se dirigent vers la dépression (Garaet Annk Djemel), qui présente une zone d'alimentation ce qui influe sur la qualité des eaux souterraines.

Le niveau piézométrique varie entre les deux périodes de 0.15 a 3.5 m et ce changement est dû au manque de précipitations et l'exploitation intensive par les agriculteurs en raison de la température élevée et de la sécheresse en été.

L'analyse cartographique durant les deux périodes fait ressortir que le calcium, le magnésium, et les sulfates ont des concentrations élevées et dépassent les normes l'OMS. La présence de ces éléments à fortes concentrations est due à la nature géologique (dissolution des roches carbonatées et lessivages des terrains argileux et marneux).

L'interprétation de diagramme de Piper montre deux faciès chimiques pour la majorité des eaux souterraines de région nord-est de Chemora : sulfaté et bicarbonaté.

Les méthodes statistiques multivariées (ACP, CAH) sont été utilisées pour caractériser la qualité des eaux souterraines de la zone d'étude en fonction de leurs propriétés physico-

## *Conclusion générale*

---

chimiques. Ceci est utilisé pour comprendre les processus géochimiques qui dépendent des réactions chimiques qui ont lieu dans les eaux souterraines de la zone d'étude.

L'analyse par les méthodes statistiques multivariées montre deux groupes principaux par la méthode de l'ACP ( G1 : minéralisées et polluées par les nitrates et G2 : Carbonaté). Tandis que la CAH a montrée trois groupes (G1, G2, et G3) Pour les ensembles de données, le troisième groupe est une spécification précise par la CAH découle du premier groupe classifié par L'ACP et caractérisé par le faciès Sulfate dominant dû à la dissolution des formations carbonaté et gypsifères au lessivage des terrains argileux et marneux.

La qualité de l'eau est mauvaise pour l'AEP et de bonne à moyenne pour l'irrigation.

## ***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

- [1] **www.google earth.com** Figure de la situation géographique de la zone d'étude
- [2] **Wikipedia l'encyclopédie libre** (Figure de Communes limitrophes de Chemora).
- [3] [4] **GHACHI.AZ (1986)**: Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, OPU,508p.
- [4] **GUERBAS ASMA 2014** Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme MASTER 2: évaluation de la salinité des eaux souterraines de la zone de Chemora wilaya de Batna leur aptitude a l'irrigation ; université de M'sila .
- [5] **ABID MOULOUD 2015** Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme MASTER 2: analyse statistique multi variée des eaux souterraines de la zone de Chemora wilaya de Batna; université de M'sila promotion .
- [6] **Cours hydrologie Mr. Ben Kadja** université de M'sila promotion 2006/2007
- [7] **www.futura-sciences.com** définitions la géologie
- [8] **www.jurassicworld.com**
- [9] **BOUDOUKHA .A (1998)** : Etude hydrogéologique des hautes plaines sétifiennes et qualité des eaux souterraines. Thèse de Doctorat. Institut de chimie, Université de Annaba -230 p.
- [10] **GHACHI.AZ (1986)**: Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie, OPU,508p.
- [11] **MARGAT.J (1981)**: Les eaux souterraines dans le bassin méditerranéen. Ressources et utilisation. Edition BRGM, France.110 p.
- [12] **BOUDOUKHA .A (1988)** : Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère Ferme d'El Eulma - Ain Lahdjar (région Est de Sétif –Algérie) Diplôme de docteur de l'université de Franche – Comté Besançon -France-p87.
- [13] **MEGUELLATI. S (2005)** : Etude hydrogéologique de la plaine de Boumia (W. Batna). Mémoire de Magister –Département d'hydraulique. Université de Batna. 85 pages.

[14] **BADR EDDINE RAHMANI 2016** Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER : Ressources et essai de gestion intégrée des eaux du bassin d'elmalabiod W de Tebessa ; université de L'arbi tbessi

[15] **A.M. Piper:** A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses, Am. Geophys. Uni. Trans.25 (1994) 914–923

[16] **DJABRI. L (1996):** Pollution Des Eaux De La Vallée De La Seybouse - Régions Guelma – Bouchegouf - Annaba, ses origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat d'état. Université de Annaba 247 p.

## RESUME:

L'étude hydrogéochimique et l'analyse statistique, qui ont été réalisées sur 23 points d'eau dans la zone nord de Chemora, situé au l'Est de Batna montrent clairement les paramètres dominants (majors) et leur influence sur la qualité des eaux souterraines, ainsi que le faciès chimique des eaux et sa relation avec les types des roches traversés et la comparaison entre les résultats obtenus pour les périodes étudiées (Mars 2015 et Juin 2017).

La qualité de l'eau est mauvaise pour l'AEP Dans toute la zone d'étude et de bonne à moyenne pour l'irrigation aux parties Sud et Sud-ouest. Les eaux de la partie Nord-est sont mauvaises pour l'irrigation vu la salinité excessive des terrains qui entourent le lac salé (Garaet Ank Djemel).

## ABSTRACT:

Hydrogeochemical studies and statistical analysis That was carried out on 23 water points in North Chemora, north of Batna clearly show the dominant parameters (major) and their influence in the quality of the groundwater as well as the chemical facies of the waters and its relation with the types of rocks that crossed and the comparison of the results obtained for the periods studied (March 2015 and June 2017).

The quality of water is bad for the AEP In all the zone of study and good to medium for the irrigation in the Southern and South-western parts. Water of the North-eastern part is bad for the irrigation considering the excessive salinity of the grounds which surround the salted lake (Garaet Ank Djemel).

## ملخص:

أجريت الدراسة الهيدروجيوكيميائية و التحليل الإحصائي على (23) بئر تقع في الشمال الشرقي من منطقة الشمره الواقعة شمال ولاية باتنة حيث أظهرت العوامل الجيولوجية و الهيدروجيولوجية و نوعية الصخور التي أثرت على نوعية الماء كيميائيا بعد مقارنة النتائج المتحصل عليها في فترتين زمنيتين مختلفتين (مارس 2015 و جوان 2017) أن نوعية المياه رديئة بالنسبة لإمكانية الشرب في جميع أنحاء منطقة الدراسة و جيدة إلى متوسطة للسقي خاصة بالنسبة للجزء الجنوبي ومياه الشمال الشرقي سيئة للسقي بالنظر إلى ملوحة الأرض المفرطة المحيطة بالبحيرة المالحة ( سبخة عنق الجمل).