

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA
FACULTE DES HYDROCARBURES, DES ENERGIES RENOUVELABLES
ET DES SCIENCES LA TERRE ET DE L'UNIVERS
Département des Sciences de La Terre Et de L'univers



Mémoire de
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences de la terre et de l'univers
Filière : Géologie
Spécialité : Hydrogéologie
Thème

QUALITE DES EAUX DE L'AQUIFERE DU
CONTINENTAL INTERCALAIRE (CI) DE METLILI

Présenté par : BOUZID Assia

TARMOUNE Nour Elhouda

Soutenu publiquement

Le : 08/ 06 /2021

Devant le jury :

Président :	SATOUH Adel	MCB. Univ. Ouargla
Promoteur :	BOUSELSAL Boualem	MCA. Univ. Ouargla
Examineur :	HOUARI Idir Menad	MCB. Univ. Ouargla

Année universitaire : 2020/2021



Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste Travail :

A ma très chère mère qui m'a toujours soutenu.

Et à mon très cher père pour a votre prière pour moi le succès.

A tous mes chères sœurs hafosa, hadjora et à ma petite sœur choyée

Noussiba et la princesse roula.

A mon frère Moulay Slimane et Oussama.

A tous ma grande Famille particulièrement

A mes très chers amis Sara, Nour, Djamila, Chaima et Madjdi.

Pour leurs aides et encouragements.

A Tous ceux qu'a souhaités ma perte.

Assia

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A celle qui ma couverte de tendresse depuis ma naissance. Ma chère mère. A

mon cher père ;

A mes sœurs ; A toute ma famille ; A tous mes amis ;

A ma meilleure amie Salhi youssra et Assia.

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

de loin

Houda



Remerciements

Au nom d'Allah le Clément et le Miséricordieux nous remercions le Dieu tout puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté, la patience et les moyens afin que je puisse accomplir ce modeste travail.

*Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre gratitude envers Monsieur **BOUSELSAL Boualem**, Maître de Conférences A à l'université de Ouargla, notre promoteur, qui nous a fait confiance et nous a proposé ce sujet et a bien voulu nous encadrer. Nous le remercions de nous avoir fait bénéficier de ses connaissances et de ses critiques qui nous ont beaucoup aidés à l'amélioration de ce travail. Sa méthode rigoureuse sera pour nous un bon exemple à suivre.*

*Nous tenons à remercier L'ensemble des membres de jury **Satouh Adel** et **Houari Idir Menad** qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.*

*Nous tenons également à remercier Monsieur **ACHOUR M**, Chef de secteur de **l'A. N. R. H** de Ghardaïa, d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour le bon déroulement de nos travaux de terrain. Sans sa collaboration, ce travail n'aurait pu se réaliser.*

*Nous remercions également L'équipe de laboratoire et l'exploitation d'**ADE** de Ghardaïa d'avoir mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour le bon déroulement de notre travail. Sans leur collaboration, ce travail n'aurait pu se réaliser.*

Notamment l'ensemble des enseignants du Département des Sciences de la Terre, en particulier ceux de la filière hydrogéologie.

*Nous tenons aussi à remercier Mademoiselle **KHARROUBI Maha** en particulier pour leur soutien et leur assistance morale, qui nous ont été très précieux.*

الملخص:

تقع منطقة متليلي في الصحراء الجزائرية و تغطي مساحة 5010 كلم مربع و يقدر عدد سكانها بحوالي 54.041 نسمة. المياه الجوفية هي المصدر الوحيد لتلبية الاحتياجات المختلفة (AEP و الري و الصناعة). لا تزال جودة المياه الجوفية موضوع تساؤل بسبب تعمدنها الكبير و تركيز العناصر الغير مرغوب فيها مثل النترات. الهدف من عملنا هو دراسة الجودة الكيميائية لمياه الطبقة الجوفية القارية في منطقة متليلي. أظهرت الدراسة الهيدروكيميائية أن مياه CI تسودها ثلاثة أنواع من السحن : كبريتات الكالسيوم 27.28% وكبريتات الصوديوم 54.54% و كلوريد الصوديوم 18.18%. تركيز العناصر الكيميائية ضمن الحدود المقبولة لمياه الشرب بالرجوع إلى المواصفات الجزائرية لمياه الشرب. يوضح استخدام طريقة مؤشر جودة المياه (WQI) أن مياه هذا نوعية رديئة لإمدادات مياه الشرب. يعتمد تقييم جودة المياه لأغراض الري على أساليب ريتشارد و ويلكوكس، والتوصيل الكهربائي (EC) ومؤشر النفاذية (PI)، وكربونات الصوديوم المتبقية %Na، تقرير كيلي (KR)، إمكانات الملوحة (PS)، مخاطر المغنيزيوم (RM). تظهر دراسة هذه المعايير أن مياه CI هي نوعية مياه مقبولة في غالبية الآبار التي تم تحليلها.

الكلمات المفتاحية: متليلي، المتداخل القاري CI، المياه القارية، WQI، معايير مياه الشرب .

Résumé

La région de Metlili se trouve ou Sahara algérienne, Couvre une superficie de 5010 Km², sa populations est estimée d'environ de 54.041 habitants. L'eau souterraine représente la seul source pour satisfaire les différents besoins (AEP, irrigation et industrie). La qualité de ses eaux souterraines reste toujours en question à cause de sa minéralisation très importantes et la concentration des éléments indésirables comme les nitrates. L'objectif de notre travail est l'étude de la qualité chimique des eaux de la nappe de continentale intercalaire dans région de Metlili.

L'étude hydro-chimique montre que les eaux CI sont dominées par trois types de facies : sulfaté calcique 27.28%, sulfaté sodique 54.54 % et chloruré sodique 18.18%. La concentration des éléments chimique se trouvent dans les limité acceptable pour l'eau de consommation en référence aux normes algériennes de potabilité. L'utilisation de la méthode de l'indice de qualité d'eau (IQE) montre que ses eaux sont de qualité médiocre pour l'alimentation en eau potable. L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation est basée sur les méthodes de Richards et Wilcox, la conductivité électrique (CE) et l'indice de perméabilité (IP), Carbonate de sodium résiduel, %Na, Rapport de Kelly (KR), Potentiel de la salinité (PS), Risque du magnésium (RM). L'étude de ces paramètres montre que les eaux du CI sont qualité d'eaux est admissible dans la majorité des forages analysés.

Mots clés : Metlili, Continentale intercalaire, WQI, irrigation, normes d'eau potables.

Abstract:

The region of Metlili is located in the Algerian Sahara, covers an area of 5010 km², its population is estimated at around 54,041 inhabitants. Groundwater is the only source to meet the various needs (AEP, irrigation and industry).

The quality of its groundwater is still in question because of its very significant mineralization and the concentration of undesirable elements such as nitrates.

The hydro-chemical study shows that CI waters are dominated by three types of facies: calcium sulphate 27.28%, sodium sulphate 54.54% and sodium chloride 18.18%. the concentration of chemical elements are within the acceptable limits for drinking water with reference to Algerian standards for drinking water. The use of the Water Quality Index (WQI) method shows that its water is of poor quality for drinking water supply. the evaluation of water quality for irrigation is based on the methods of Richards and Wilcox, Electrical

conductivity (EC) and permeability index (PI), Residual sodium carbonate, % Na, Kelly report (KR), Salinity potential (PS), Magnesium risk (RM). The study of these parameters show that
Key words: Metlili, Inland Continental, WQI, Potability, Irrigation

Table des Métiers

Dédicaces.....	I
Dédicaces	II
Remerciements	III
Résumé	IV
Table des matières	V
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
LISTE DES ABREVIATIONS	IX
INTRODUCTION GENERALE	101
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I :Généralité sur la zone d'étude	2
1. Situation géographique	3
1.1. Situation géographique de Ghardaïa	3
1.2. Situation Géographique de la Commune de Metlili	4
2. Contexte socio-économique	5
3. Occupation du sol dans la région	5
3.1 Structure des exploitations agricoles :	6
4. Gestion des ressources hydrique dans la région de Metlili.....	7
5. Contexte climatique.....	7
5.1. Station météorologie de la région Metlili.....	7
5.2 : Analyse des paramètres climatique	8
6.Contexte géomorphologique et géologique	14
6.1. Contexte géomorphologique	14
6.2. Contexte géologique.....	15
7. Conclusion.....	18
Chapitre II :Étude hydrogéologique	19
1. Introduction	20
2. Définition de système aquifère (SASS)	20
2.1 Le continental intercalaire (CI).....	21
2.2 Le Complexe Terminal.....	22
3. Présentation de système aquifère de Metlili.....	23
3.1. Les nappes superficielles (phréatiques)	23
3.2. La nappe continentale intercalaire (CI)	24
4. Interprétation de log de forage de la région de Metlili	24
5. Coupe hydrogéologique dans la zone d'étude.....	26
6. piézométrie de Continental Intercalaire de Metlili.....	27
6.1. Piézométrie du CI de l'année 2010.....	27
6.2. Piézométrie du CI de l'année 2018.....	29
6.3. Evolution piézométrique entre l'année 2010 et 2018.....	30
7. Conclusion.....	31
Chapitre III :La qualité des eaux de CI de Metlili.....	32
1. Introduction	33

2. Inventaire des points d'eau échantillonnés	33
3. Etude des paramètres physico-chimiques des eaux du CI.....	34
3.1. Conductivité électrique (EC)	34
3.2. La température (°C)	35
3.3. Potentiel hydrogène pH.....	35
3.5. Le Calcium (Ca²⁺)	36
3.6. Le Magnésium (Mg⁺²)	37
3.7. Le Potassium (K⁺).....	38
3.8. Le Sodium (Na⁺).....	39
3.9. Les Chlorures (Cl⁻)	40
3.10. Les Sulfates (SO₄⁻)	41
3.11. Les bicarbonates (HCO₃⁻)	41
3.12. Les Nitrates (NO₃⁻).....	42
4. Facies chimique	43
4.1. Digramme de Piper.....	43
4.2. Diagramme de Schoeller Berkaloff	44
5. Aptitude de l'eau à la consommation humaine.....	44
5.1. La dureté totale TH	45
5.2. Application de la méthode de l'indice de qualité d'eau (WQI)	46
6. Qualité des eaux de la nappe de CI pour l'irrigation.....	50
6.1. Rapport d'adsorption du sodium (SAR):.:	52
6.2. Le pourcentage de Sodium (%Na)	51
6.3. Carbonate de sodium résiduel (RSBC).....	53
6.4. Rapport de Kelly (KR)	53
6.5. Indice de perméabilité (PI)	54
6.6. Potentiel de la salinité (PS)	54
6.7. Risque du magnésium (MR).....	55
7. Conclusion.....	55
Conclusion générale	57
Références bibliographiques :	60

Liste des figures

<i>Figure 1. Situation géographique de la région de Ghardaïa(ANRH 2004).....</i>	<i>3</i>
<i>Figure 2. Situation Géographique de la Commune de Metlili</i>	<i>5</i>
<i>Figure 3. Carte occupation du sol de la région de Metlili (logiciel surfer).</i>	<i>6</i>
<i>Figure 4. Température Mensuelle de la région Ghardaïa.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 5. Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 6. Les vitesses moyennes mensuelles des vents</i>	<i>10</i>
<i>Figure 7. Histogramme des humidités relatives moyennes en (%)</i>	<i>11</i>
<i>Figure 8. Courbe Pluvio-thermique de la station de Ghardaïa (1998-2018).....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 9. L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa</i>	<i>13</i>
<i>Figure 10. Carte géomorphologique de la région de Ghardaïa (ANRH Ouargla, 2003).....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 11. Carte géologique de la région de Ghardaïa (Busson, 1952)</i>	<i>17</i>
<i>Figure 12. Délimitation du système aquifère du Sahara septentrional (SASS)</i>	<i>20</i>
<i>Figure 13. Carte piézométrique du Continental Intercalaire (CI) en 2000</i>	<i>21</i>
<i>Figure 14. Carte piézométrique du Complexe Terminal (CT) en 2000.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 15. Les loges des forages de la région Metlili</i>	<i>27</i>
<i>Figure 16. Carte piézométrique de la nappe du Continental intercalaire dans la région de Ghardaïa (année 2010).....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 18. Carte piézométrique de la nappe du Continental intercalaire.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 19. Carte de l'évolution piézométrique de la nappe du Continental intercalaire dans la région de Ghardaïa (année 2018).....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 20. Histogramme de variation de la Conductivité des eaux de CI</i>	<i>34</i>
<i>Figure 21. Histogramme de variation de la température des eaux de CI</i>	<i>35</i>
<i>Figure 22. Histogramme de variation de Potentiel Hydrogène (pH) des eaux de CI.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 23. Histogramme de variation de la teneur en calcium des eaux de CI</i>	<i>37</i>
<i>Figure 24. Histogramme de variation de la teneur en Magnésium des eaux de CI.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 25. Histogramme de variation de la teneur en Potassium des eaux de CI</i>	<i>39</i>
<i>Figure 26. Histogramme de variation de la teneur en Sodium des eaux de CI.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 27. Histogramme de variation de la teneur en Chlorures des eaux de CI.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 28. Histogramme de variation de la teneur en Sulfates des eaux de CI.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 29. Histogramme de variation de la teneur en bicarbonates des eaux de CI</i>	<i>42</i>
<i>Figure 30. Histogramme de variation de la teneur Nitrates des eaux de CI</i>	<i>42</i>
<i>Figure 31. Facies chimique des eaux du CI selon le diagramme de Piper.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 32. Facies chimique des eaux du CI selon le diagramme de Schoeller Berkloff ..</i>	<i>44</i>
<i>Figure 33. Histogramme de variation de la dureté totale des eaux de CI.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 34. Evolution du SAR en fonction de la conductivité des eaux de l'aquifère de CI. 51</i>	
<i>Figure 35. Diagramme de Wilcox.....</i>	<i>52</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1. communes et superficies de la wilaya de Ghardaïa.....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 2. Nombre de forage et volume d'exploitation de la zone d'étude.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 3. Coordonnées géographique de la station de Ghardaïa (ONM).....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 4. Température Moyennes Mensuelles et annuelles de Ghardaïa (1998 -2018).....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau 5. Précipitations moyennes annuelle de Ghardaïa (1998- 2018).....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 6. Les précipitations moyennes mensuelles.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 7. Les vitesses moyennes mensuelles des vents.....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 8. Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018).....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 9. Courbe Pluvio-thermique de la station de Ghardaïa (1998-2018).....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 10. L'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018).....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 11. Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa dans la période (1998-2018).....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 13. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de l'aquifère CI.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 14. Tableau de la classification de la dureté.....</i>	<i>46</i>
<i>Tableau 15. Les poids relatifs des paramètres physico-chimiques.....</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 16. Classification des eaux souterraines selon la méthode WQI.....</i>	<i>50</i>
<i>Tableau 17. Variation de SAR.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau 18. Variation de pourcentage sodium.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 19. Variation de carbonate de sodium résiduel.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 20. Variation de Rapport de Kelly.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 21. Variation de Rapport d'Indice de perméabilité.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 22. Variation de Potentiel de la salinité.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 23. Variation de Risque du magnésium.....</i>	<i>55</i>

LISTE DES ABREVIATIONS

ADE : Algérienne des eaux

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

A.E.P : Alimentation en eau potable.

C.T : Complexe Terminal.

C.I : Continental Intercalaire.

CE : Conductivité électrique

DBSP : Direction de la programmation et du suivi budgétaires

S.A.S.S : Système Aquifère du Sahara Septentrional.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ETP : Evapotranspiration potentiel (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

F : Forage

IRR : Alimentation en Eau Irrigation.

RFU : Réserve facilement utilisable

PH : Potentiel d'Hydrogène.

TH : Titre Hydrométrie

ONM : Office National Météorologique

SAR: Sodium Absorption Ratio.

μS /cm : Micro Siemens par centimètre.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le Nord de l'Afrique contient des réserves souterraines importantes qui sont pour la plupart fossiles et donc non renouvelables, nous mentionne l'aquifère du continentale intercalaire (CI) qui c'est une structure géologique unique caractérisée par la présence de sable et de grès avec une épaisseur significative capable de stocker d'énormes quantités d'eau, et représenté source principale pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et aussi c'est utilisable pour les activités industrielles.

La région de Metlili est située au l'Est de Ghardaia en Algérie, caractérise par un climat saharien aride, à cause du l'accroissement démographique et le développement agro-industriel les besoins en eau ont augmenté d'une manière très rapide. Ils assurés par les ressources en eau souterraines représentés par nappe superficielle et la nappe de continentale intercalaire. La qualité de ses eaux souterraines reste toujours en question à cause de sa minéralisation très importantes et la concentration des éléments indésirables comme les nitrates et les phosphates.

L'objectif de notre travail est une contribution à l'étude de la qualité chimique des eaux de la nappe de continentale intercalaire dans région de Metlili.

Notre mémoire est structuré comme suite :

Chapitre 1 : Généralités sur la zone étudiée : c'est partie Concerne à la représentation de la situation géographique de la zone d'étude, le cadre socio-économique, à l'occupation de sol et gestion des ressources hydrique, ensuite nous avons étudié les paramètres climatiques et finalement le contexte géologique.

Chapitre 2 : Etude hydrogéologique : dans cette partie nous avons présenté le système aquifère (SASS) et les aquifères existants dans la zone, a travers analyses des logs de forage d'eau. L'interprétation des cartes piézométriques réalisées dans la région de Metlili ont permis de suivre l'évolution de niveau piézométrique et de déterminé les facteurs influençant la variation de son niveau d'eau.

Chapitre 3 : les qualités des eaux de CI de Metlili : ce chapitre comprend l'évaluation des paramètres physicochimiques par apport à la norme algérienne de l'eau potable, de déterminer les facies chimiques des eaux, de déterminé la qualité des eaux de CI par l'utilisation de la méthode de IQE et les standards internationaux pour l'eau d'irrigation.

Chapitre I :
Généralité sur la zone d'étude

1. Situation géographique

1.1. Situation géographique de Ghardaïa

La wilaya de Ghardaïa se situe au center de la partie Nord de Sahara. A environ 600 Km de la capitale Alger, elle couvre une superficie de 84.660,12 km² (DPSB 2020), Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude 530 m;
- Latitude 32° 30' Nord;
- Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa est limitée (figure n 1) ;

- Au Nord par la wilaya de Laghouat (200 km);
- Au Nord Est par la wilaya de Djelfa (300 km);
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla (190 km);
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset (1370 km);
- Au Sud-ouest par la wilaya d'Adrar (400 km);
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayad (350 km).

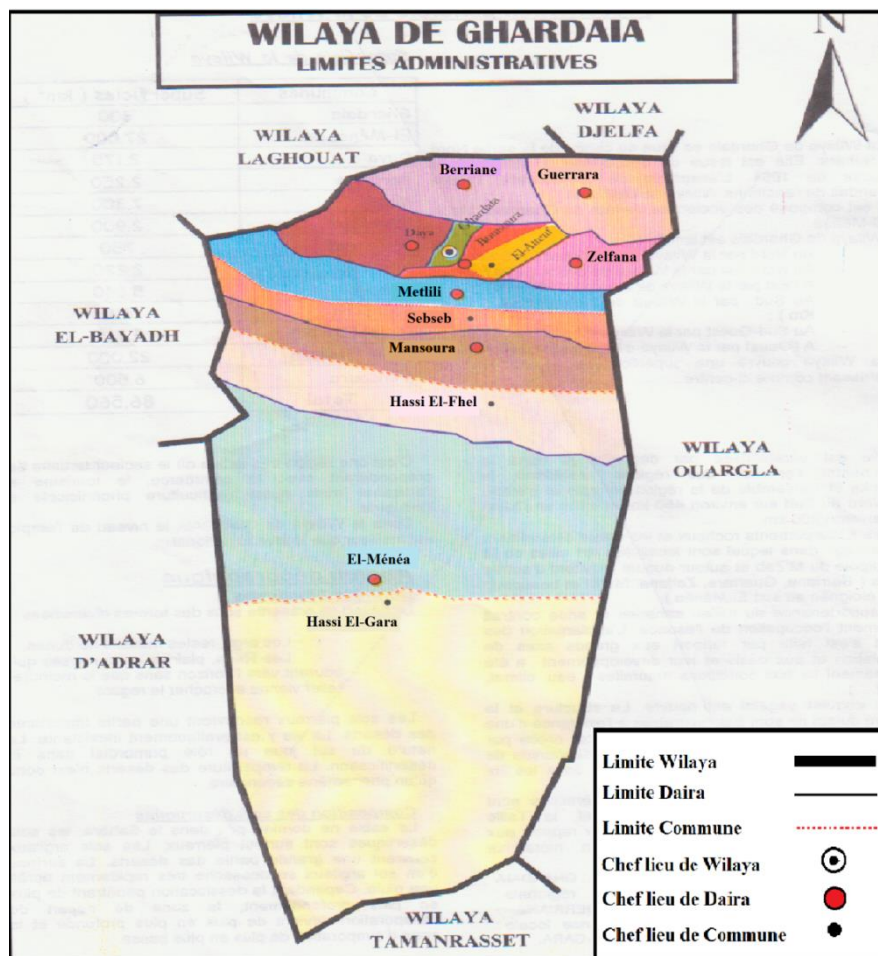


Figure 1. Situation géographique de la région de Ghardaïa (ANRH 2004).

Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude

La Wilaya comporte actuellement 10 communes regroupées en 08 daïra pour une population estimée à 487.156, ce dernier couvre une superficie de 84.660,12 km².

Tableau 1. Communes et superficies de la wilaya de Ghardaïa

communes	superficies km²
Ghardaia	306,47
El-Ménéa	23.920,68
Daya	2.234,94
Berriane	2.609,80
Metlili	5.010,12
Guerrara	3.382,27
El-Atteuf	717,01
Zelfana	1.946,23
Sebseb	4.366,82
Bounoura	778,92
Hassi-El-F'hel	6.875,39
Hassi-El-Gara	27.698,92
Mansoura	4.8112, 55
Total	84.660,12

1.2. Situation Géographique de la Commune de Metlili

Metlili est une commune au Sud de la wilaya de Ghardaïa à une distance de 45 km, elle couvre une superficie de 5010 Km² (DPSB 2020) ses coordonnées géographiques sont :

- Latitude 32° 16' Nord.
- Longitude 03° 38' Est.
- Altitude 455 m.

Elle est limitée par :

- A l'Est par la wilaya d'Ouargla
- A l'Ouest par la wilaya d'El Bayadh

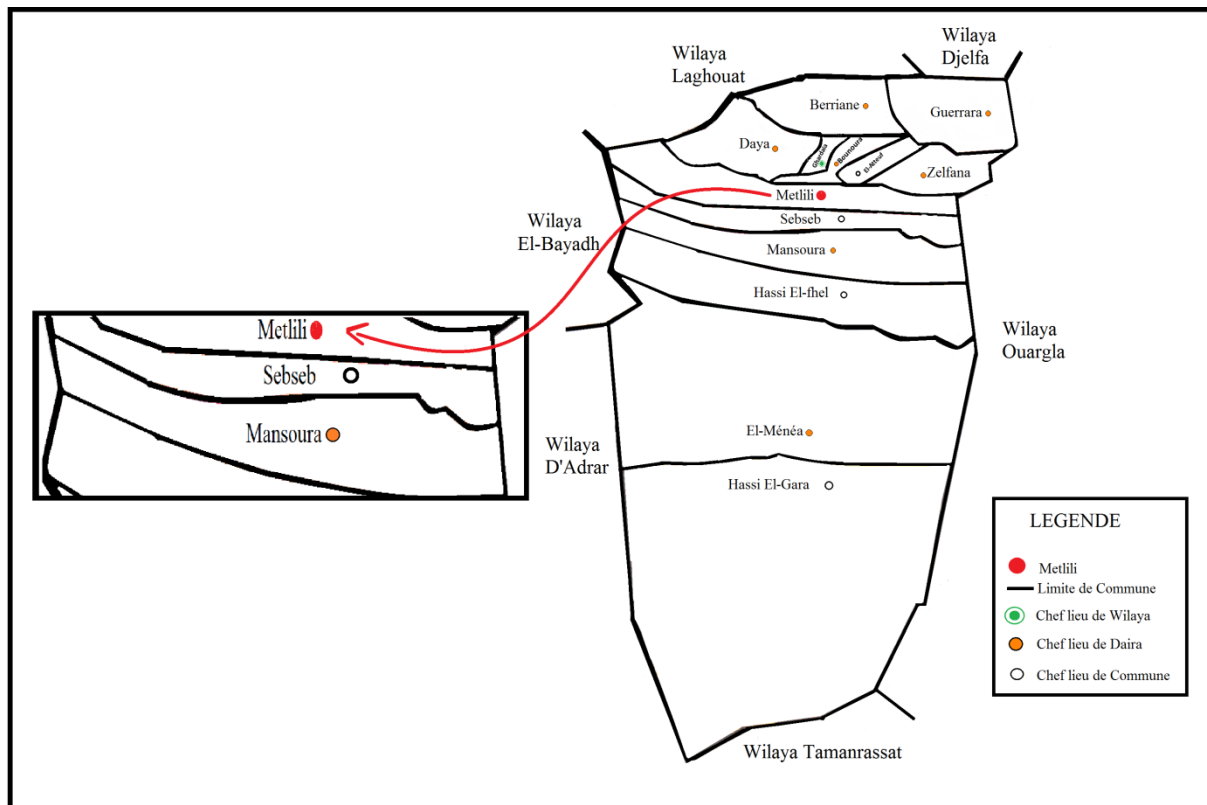


Figure 2. Situation Géographique de la Commune de Metlili

2. Contexte socio-économique

Metlili est une municipalité de l'Est de Ghardaïa en Algérie, Situé sur les rives de l'Oued qui coule au centre-ville partageant la ville en deux parties, Est et Ouest, La municipalité contaient également la culture oasienne qui représente la principale activité de la vallée, dont le sol est occupé en trois modes de :

- Culture des palmeraies en premier lieu.
- Culture des arabes fruitiers
- Culture maraîchère et fourragère en intercalaire.

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle à partir des seguias ; rare sont ceux pratiquantes d'aspersion et la goutte à goutte. D'autre activités portant notamment sur le négoce, l'artisanat des tapis, ainsi que des petites et moyennes industries (verres, agroalimentaires, textiles, cosmétiques ... etc.).

3. Occupation du sol dans la région

La région de Metlili connu qu'est une zone palmeraie, qui couvre une grande partie de la superficie de la région, par contre la zone urbanise couvre la petite partie de la superficie, vos populations est estimée d'environ de 54.041 habitants a la fin de 2020, soit une densité de peuplement de 10.79 hab. /Km², le tissu urbain de la ville est construit par des pôles d'évolution ou la ville est en voie de saturation.

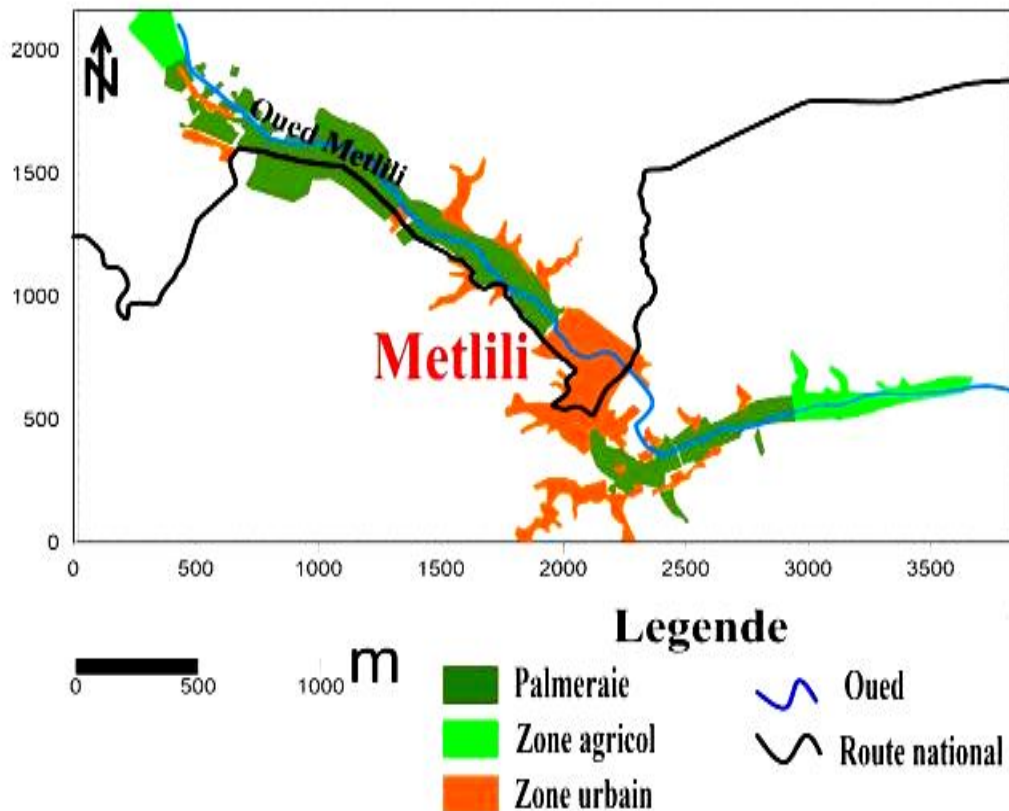


Figure 3. Carte occupation du sol de la région de Metlili (logiciel surfer).

3.1 Structure des exploitations agricoles :

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation ; le système oasien de l'ancienne palmeraie et la mise en valeur:

3.1.1. Le système oasien de l'ancienne palmeraie :

Le système oasien de l'ancienne palmeraie est caractérisé par une forte densité de plantation, palmiers âgés, une irrigation traditionnelle par séguis et des exploitations mal structurées et fortement morcelées (0.5 à 1.5 ha) ce système caractérise par des cultures étagées de palmiers dattiers, arbres fruitiers, maraichage et fourrages en intercalaire des activités d'élevages familiaux sont souvent pratiquées avec des cheptels de petites taille.

3.1.2. La mise en valeur :

Le système de mise en valeur se scinde en une :

1) Mise en valeur péri-oasienne

Il s'agit petite mise en valeur, basée sur l'extension des anciennes palmeraies selon un système oasien amélioré et caractérisé par une irrigation localisée, ne densité optimale, un alignement régulier, et une exploitation structurée. La taille moyenne et de 2 à 10 ha.

2) Mise en valeur d'entreprise

Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude

C'est la grande mise en valeur mobilisant d'importants investissements, basée sur l'exploitation exclusive des eaux souterraines profondes et est caractérisées par : structure foncière importante (jusqu'à 500 ha), mécanisation plus importants notamment ovin et bovin.

4. Gestion des ressources hydrique dans la région de Metlili

La gestion de l'eau se généralise en gestion du bassin versant vallée de Metlili avec les autres affections sous-systèmes AEP, irrigation, industries et humains.

L'inventaire à travers l'ensemble de la vallée du Metlili nous a permet de totaliser un nombre de 100 forage qui exploitent la nappedu CI pour différents usages a débit total de 34126 m³ /J que ce soit pour l'irrigation, l'industrie au l'alimentation en eau potable (AEP).

Le premier forage exploitant la nappe CI dans la région de Metlili en (1949), situe avec une profondeur de 490 m (ANRH de Ghardaïa 2018).

Selon ADE (2021). On compte actuellement eaux sous terrains mobilisées a un débit 40 (Hm³/ An).il y a 55 forage d'AEP et un 35 forage d'AEP et 10 forage pour IRR.

Tableau 2. Nombre de forage et volume d'exploitation de la zone d'étude

région	Forage réalisés		Forages		
	Nombre	Débit (l/s)	Mobilisés	Exploités	Débit (m ³ /j)
Metlili	35	1268	35	35	34126

5. Contexte climatique

5.1. Station météorologie de la région Metlili

La région de Metlili caractérisée par un climat chaud très sec la rareté des précipitations rend les terres très hostiles. L'étude climatique est très importante pour déterminer les caractéristiques du climat de la région et mettre en évidence la contribution des différents facteurs à la variation des ressources en eau souterrains (température, précipitation, le vent, l'évaporation ...etc.).

Pour traiter les paramètres climatiques de la région étude nous avons été obligés d'utiliser les données de la station de Ghardaïa le données utilisés se rapportent à la période allant de l'année (2018-1998) soit 20 ans d'observation (O.N.M 2021)

Cette station météorologie est localisée à 15 Km à l'Est de la ville de Ghardaïa.

Tableau 3. Coordonnées géographique de la station de Ghardaïa (ONM)

Station	Période	Altitude	Latitude	Longitude
Ghardaïa	1998 /2018	468m	32°24N	03°48E

5.2 : Analyse des paramètres climatique

5.2.1. La température :

La température est un paramètre fondamental du climat sa variation influe sur la transformation de l'eau en vapeur et le phénomène de condensation, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. Elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux.

Tableau 4. Température Moyennes Mensuelles et annuelles de Ghardaïa (1998 -2018)

Mois	sept	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juill	aout	Moyennue
T°C min	21,70	16,59	8,93	5,49	4,78	5,93	9,22	13,50	17,80	23,08	27,74	26,63	15,12
T°C max	38,79	34,38	26,96	21,29	21,05	23,02	28,29	33,67	37,69	42,58	45,65	43,60	33,08
T°C moy	30,88	25,02	17,54	12,86	12,01	13,87	18,24	31,73	28,31	32,93	34,70	35,63	24,48

Sur la figure ...ci-dessous, nous avons tracé les courbes des températures maximales, minimales et moyennes.

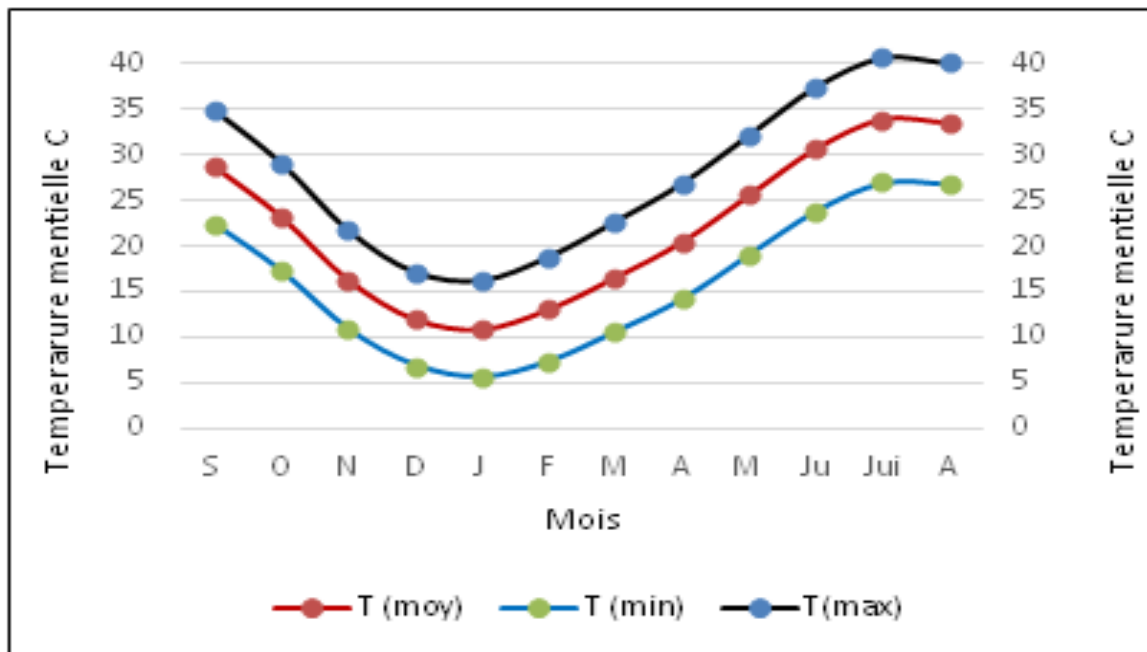


Figure 4. Température Mensuelle de la région Ghardaïa

On observe a partir le tableau que :

- La température minimale varient sont observé au cours de mois janvier (4.78°C) jusqu'a avril (13.18°C)
- La température maximas le plus faibles sont observé au mois de novembre (26.96°C) et les plus élevée au mois de juillet (45.65°C)

Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude

- La température moyen le plus forte au cours du mois du janvier (12.01°C) jusqu'au août (35.63°C)
- L'amplitude thermique entre le mois le plus froid (janvier) et le mois le plus chaud (juillet)

5.2.2. Les précipitations :

L'étude des précipitations entrent dans l'estimation des bilans hydrogéologique ; et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle, l'estimation de la recharge de l'aquifère et le régime des cours d'eau dans les bassins versants. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm).

Le tableau des variations annuelles des précipitations (Tableau 05) montre que l'année la Pluvieuse est l'année 2004 avec une hauteur annuelle de 171.3 mm et l'année la plus Sèche est celle de 2018 avec une hauteur annuelle de 22.4 mm.

Tableau 5. Précipitations moyennes annuelle de Ghardaïa (1998- 2018)

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Moyen annuel	25.2	103.9	56.7	48.6	59.6	96.0	171.3	101.9	72.2	61.3
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
110.4	134.6	41.8	154.8	38.9	47.6	45.9	53.0	30.2	42.3	22.4

5.2.2.1. Les précipitations moyennes mensuelles :

On observe généralement les précipitations sont faible parce que le climat arides, les valeurs maximales son enregistrées au mois de septembre (17mm), et les valeurs plus moins son enregistrées au mois de juillet (2,1mm).

Tableau 6. Les précipitations moyennes mensuelles

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	17	7,4	5,5	6	9,6	8,6	7,3	6,1	2,7	2,5	2,1	5,7

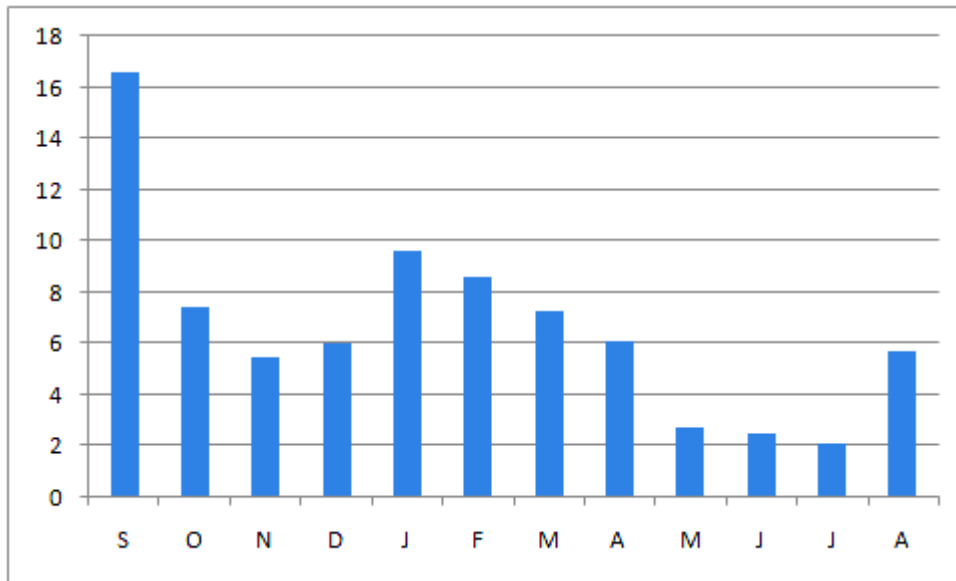


Figure 5. Hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation

5.2.3. Le vent :

Le vent est un paramètre principal de la topographie désertique. Elle influant directement sur le climat d'une région. La vitesse du vent influe sur l'évaporation des eaux par la surface de sol et des végétaux. La vitesse moyenne mensuelle des vents à la station de Ghardaïa pour la période (1998- -2018).

Tableau 7. Les vitesses moyennes mensuelles des vents

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vent (km/s)	21,03	27,34	17,27	17,77	17,18	19,29	19,68	21,36	22,27	22,15	21,27	22,71

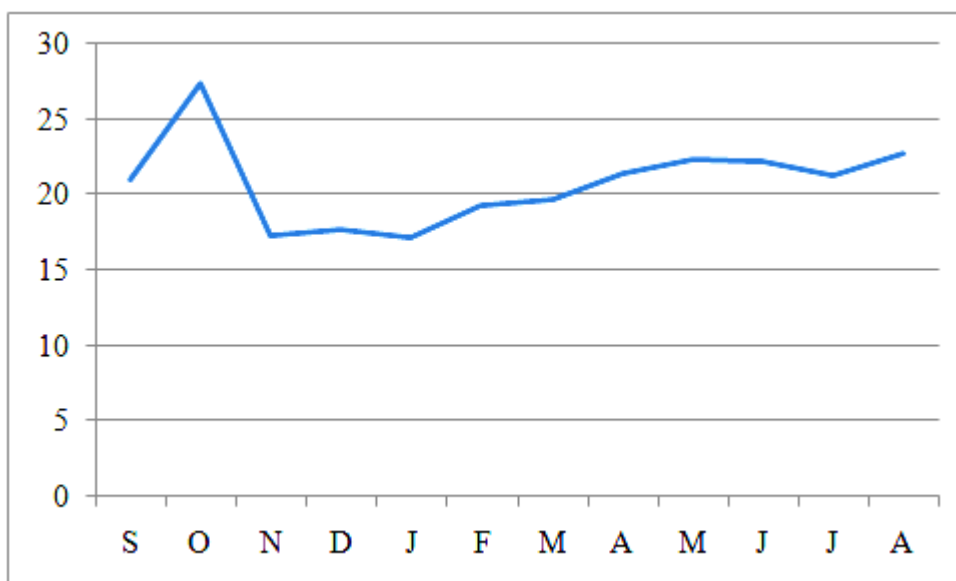


Figure 6. Les vitesses moyennes mensuelles des vents

Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude

Le sens dominant du vent est vers N-O une valeur maximum au mois d'octobre 27,34 km/s une valeur minimal au mois janvier 17,18 km/s

5.2.4. L'humidité :

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en (%) de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un paramètre climatique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère.

Tableau 8. Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité(%)	53,3	45,1	38,3	34,2	28,6	25,4	21,5	26,1	36,6	43,6	50,2	58,1

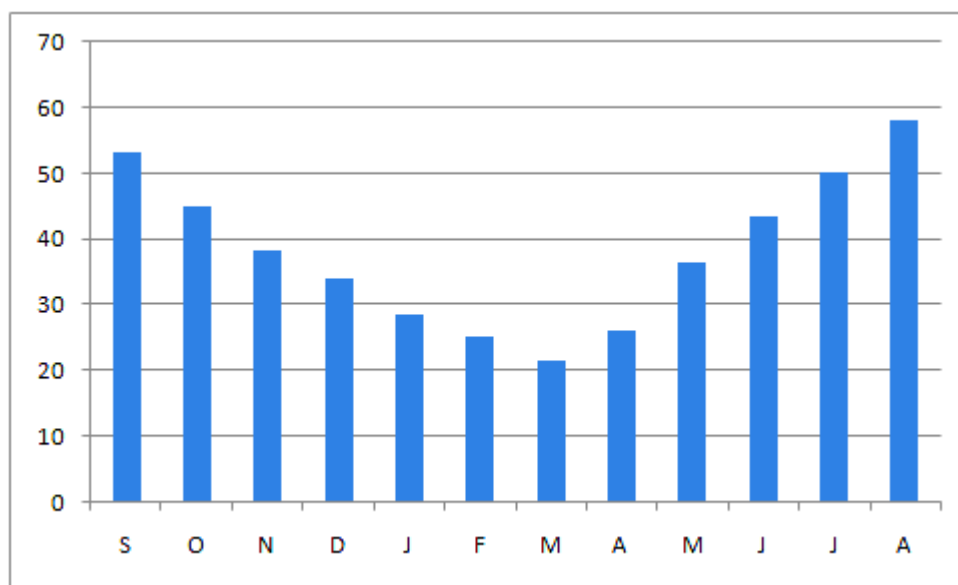


Figure 7. Histogramme des humidités relatives moyennes en (%)

A partir de histogramme nous peut remarquer il ya deux parties :

- ❖ Diminution du l'humidité pendant le mois de septembre avec une valeur 53,3% jusqu'a mars 21,5%.
- ❖ Augmentation du l'humidité pendant le mois de avril 26,1% jusqu'à août 58,1%.

Nous peut interprétez ca par la présence d'une relation vulnérable entre la quantité de précipitation et la température.

5.2.5. Courbe Pluvio-thermique :

La courbe Pluvio-thermique permet de déterminer les périodes sèches et les humides. Selon Gaussen et Bagnouls : pour la période sèche, la courbe des doubles températures passe au-dessus de celle des précipitations et pour la période humide, la courbe des précipitations passe au-dessus des doubles températures.

Tableau 9. Courbe Pluvio-thermique de la station de Ghardaïa (1998-2018)

Mois	jan	fev	mars	avri	mai	jun	juillet	aout	sep	oct	nov	dec
P (mm)	9,73	2,47	7,42	6,23	1,98	2,3	2,15	5,85	16,58	7,21	5,56	6,31
2T°C	24,02	27,73	36,47	63,45	56,61	65,86	69,39	71,25	61,75	50,03	35,08	25,71

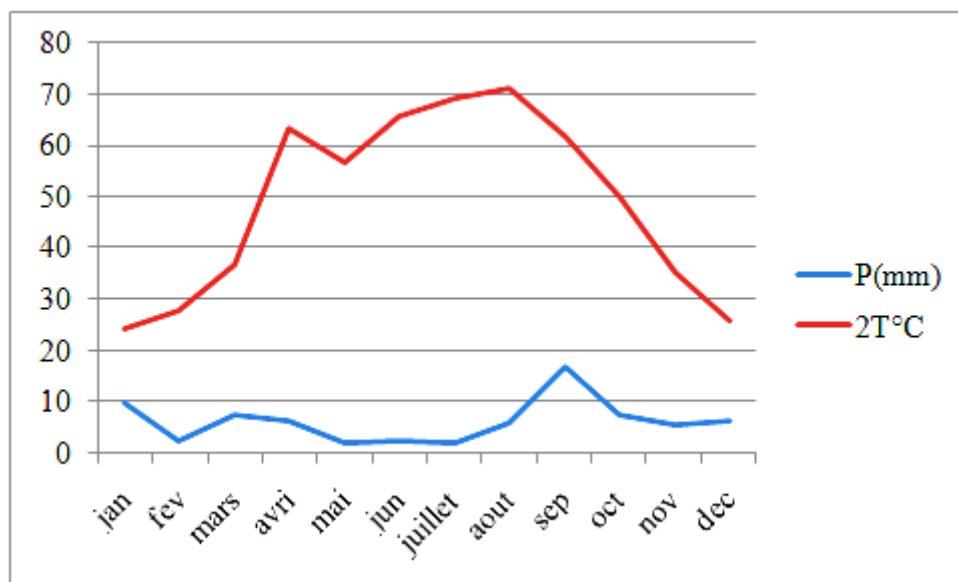


Figure 8. Courbe Pluvio-thermique de la station de Ghardaïa (1998-2018)

A partir de courbe nous pouvons remarque que la région assiste une période chaude de la plupart de année jusqu'à la valeur maximale a mois du juillet 69,39 et août 71,25. D'autre part, nous remarque une manque de la précipitation au cours d'année.

5.2.6. L'évaporation :

L'évaporation est le processus physique principal de la transformation de l'eau en vapeur ; car il représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrogéologique d'une région donnée. La température, la précipitation, la vitesse du vent, l'humidité de l'air, l'état du sol et la végétation tous ces facteurs sont essentiels pour mesure.

Tableau 10. L'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Evaporation (mm)	281	188	127	130	105	128	183	263	313	370	418	376

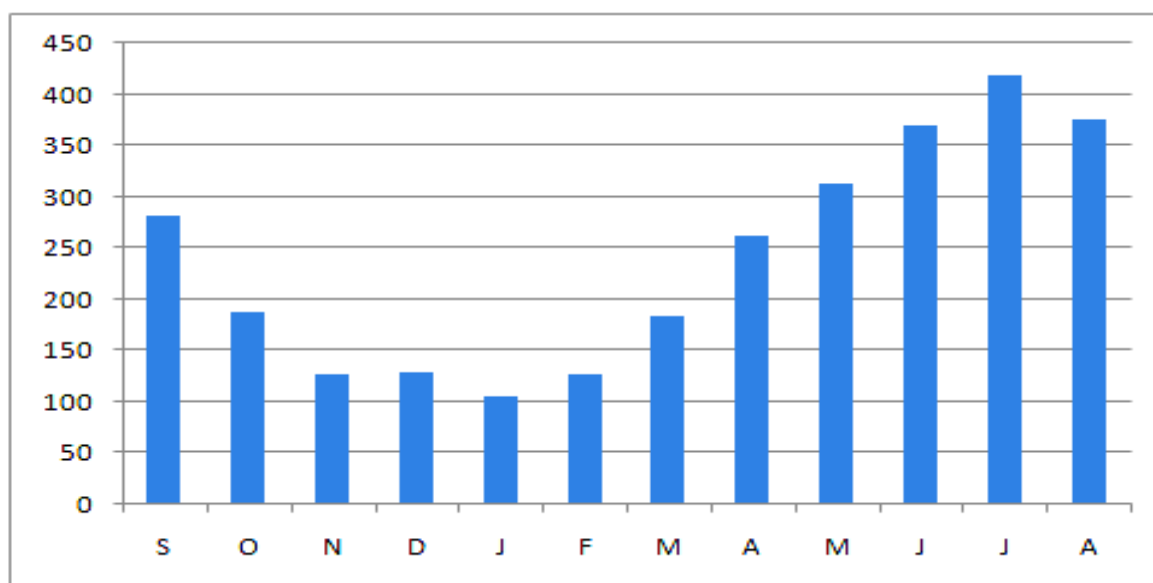


Figure 9.L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa

5.2.7. Bilan hydrique de la région de Ghardaïa :

Le bilan hydrique de Ghardaïa (tableau n°11), pour la période (1998- -2018) suivant la méthode de Thornthwait est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que l'évapotranspiration potentielle (ETP) est plus importante que la précipitation, le ruissellement et la réserve facilement utilisable est nulle pendant l'année sauf au moins de janvier. Le déficit agricole est présent pendant onze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet de 287.1mm.

Aussi, le bilan hydrique de la région montre que la recharge par la pluie efficace est négligeable. Dans la région, la recharge des nappes superficielles est faite par les eaux de la ré-infiltration due à l'irrigation, les eaux urbaines (les eaux usées domestiques), et principalement par les crues exceptionnelles des oueds.

Tableau 11. Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa dans la période (1998-2018)

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juill	août
P	16.6	7.2	5.6	6.3	9.7	2.5	7.4	6.2	2.0	2.3	2.1	5.9
T	30.9	25.0	17.5	12.9	12.0	13.9	18.2	31.7	28.3	32.9	34.7	35.6
K	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
ETP	14.02	78.9	29.9	12.8	10.6	15.7	33.3	151.0	110.6	167.2	192.8	207.3
ETR	16.6	7.2	5.6	6.3	9.7	2.5	7.4	6.2	2.0	2.3	2.1	5.9
ETP _c	196.3	110.5	38.9	16.6	13.8	22.0	46.6	226.5	154.8	250.8	289.3	29.2
RFU	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DA	179.7	103.3	33.3	10.3	4.1	19.6	39.2	220.3	152.8	248.5	287.1	284.4

Avec : $I=139.5$ et $a=2.7$

6. Contexte géomorphologique et géologique

6.1. Contexte géomorphologique

La géomorphologie du territoire de Metlili comprend essentiellement par un relief très accidenté formé par un relief très accidenté formé par un réseau serré de ravines séparées par des crêtes au des croupes, ce dernier est apparu en conséquence des actions de l'érosion pluviale a début du quaternaire. Selon la carte ci-dessous la région d'étude est caractérisée par la présence de 04 différentes formes géomorphologique qui sont :

- Les oueds : oued Metlili dont l'orientation est l'Est vers l'Ouest jusqu'au Ouargla.
- Hamadas : terre régulée qui existe à l'Est de la région de Metlili.
- Chebka: comme une terre rocheuse ou existe les linges des ensemble des oueds par exemple oued Metlili, oued Sebseb ou Oued N'sa.
- Aregs: est une formation des sable différents en volume soit mobiles ou stables, ils occupent une grande partie de la superficie totale de la wilaya de Ghardaïa.

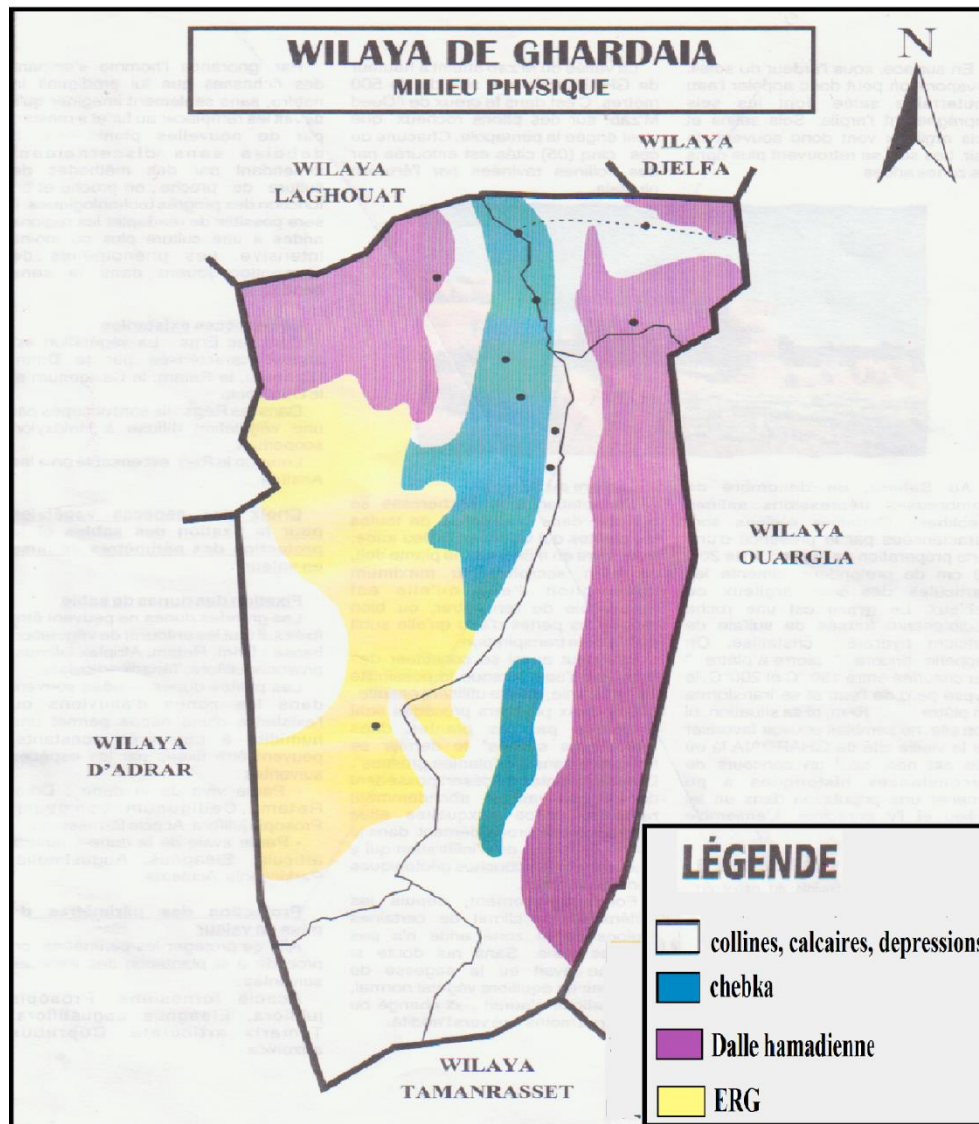


Figure 10. Carte géomorphologique de la région de Ghardaïa (ANRH Ouargla, 2003)

6.2. Contexte géologique

6.2.1. Stratigraphie générale

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment "la dorsale". Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite ; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables.

La nappe de cet étage est captée par des forages avec succès, elle constitue la principale ressource en eau dans la région

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques).

6.2.2. Géologie litho-stratigraphique de la zone :

La zone d'étude présente à l'affleurement une succession de formations géologiques allant du Cénomanién au Turonien. Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plus part de la vallée de l'oud de Metlili.

- **Albien**

Recoupé par les sondages sur une épaisseur peu atteinte de 500 mètres, il représente une grande importance hydrique pour la région. Il est composé de sables fins à moyes jaunâtres parfois rougeâtres à rose. Des intercalations d'argiles verdâtres à vertes sont fréquentes.

- **Cénomanién**

Cet étage présente un faciès argileux, formé essentiellement par des argiles grises et vertes à gypse et anhydrite avec intercalation au sommet de bancs de calcaire dolomitique, l'épaisseur varie du Cénomanién entre 300 à 500 mètres.

- **Turonien**

Constitue le plateau rocheux de la dorsale du M'zab(110); le plateau du Tinhert et du Tademaït. Il est composé d'assises calcaires dolomitiques massifs à patine ocre, souvent fossilifère, avec de nombreux nodules de silex.

- **Quaternaire**

Dans la région de Metlili le Quaternaire d'alluvions et des sables plus ou moins grossiers, argileux, remplissant les bas-fonds de la vallée de l'oued. De l'amont en aval, les épaisseurs varient entre 20 à 35 mètres.

Les alluvions quaternaires, jouent d'important rôle hydrogéologique en abritant la nappe phréatique.

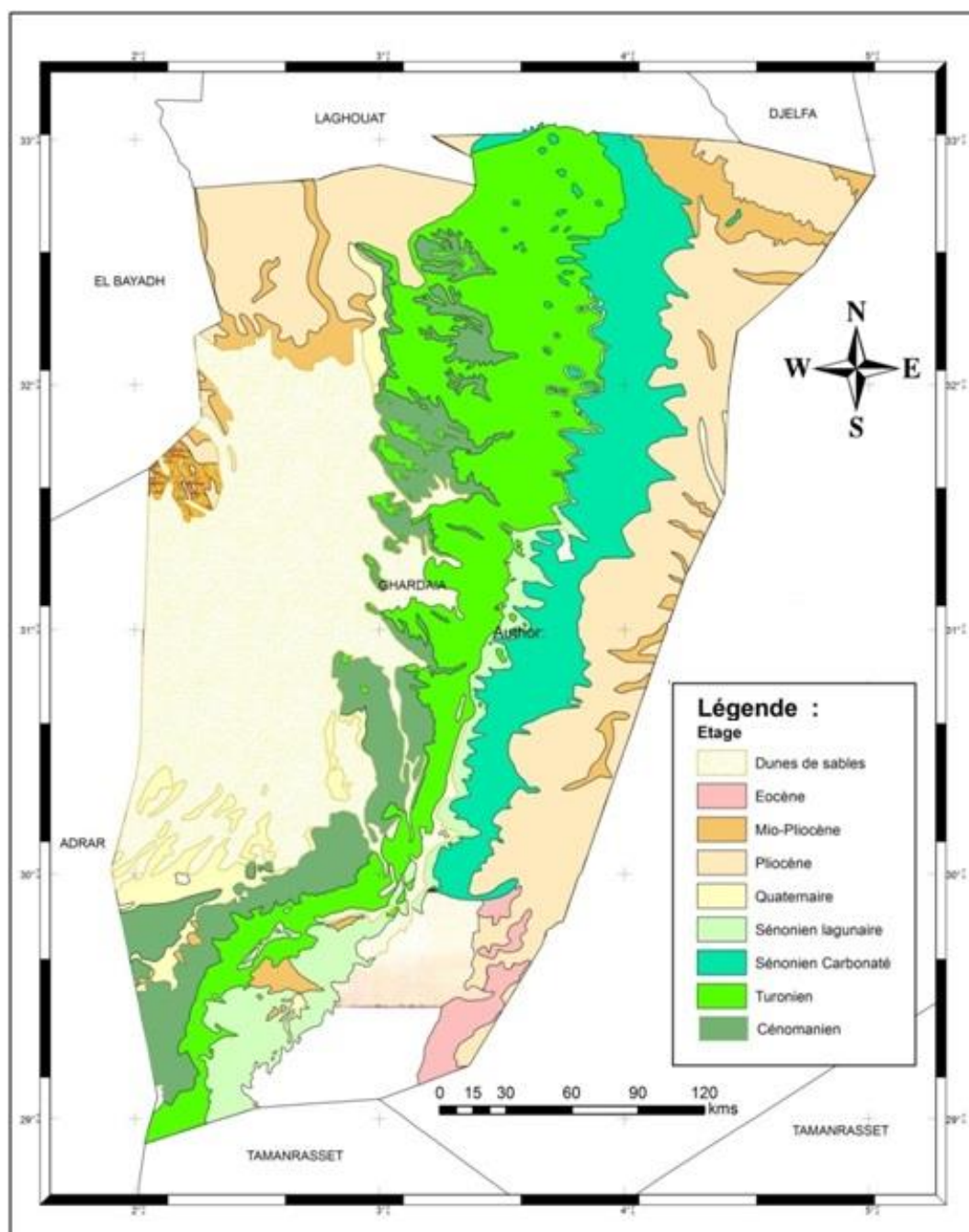


Figure 11. Carte géologique de la région de Ghardaïa (Busson, 1952)

7. Conclusion

La région de Metlili située au Sud du chef-lieu de Ghardaïa à une distance de 45 Km, étendue sur une superficie de 5010 Km², comprend du point de vue géomorphologique quatre parties différentes : Les oueds, hamada, Chebka et Arges.

L'agriculture oasienne représente la principale activité de la vallée, dont le sol est occupé en Trois modes de culture ; culture des palmeraies, culture des arbres fruitiers et culture maraichère et fourragère.

La région compte actuellement plus de 35 forages exploitant la nappe du CI dans la vallée du Metlili avec un débit total de 34126 m³/J, il y a 55 forage d'AEP, un 35 forage destinés à l'industrie et 10 forages pour irrigation.

La région d'étude est caractérisée par un climat est typiquement saharien aride, marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations et les températures très élevées. Le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire, conséquence d'une faible précipitation et d'une forte évapotranspiration, la réserve facilement utilisable est nulle durant les douze mois de l'année et la recharge par la pluie efficace est négligeable.

Le contexte géologique de la zone d'étude révèle la succession de quatre formations géologiques Albien, Cénomaniens, Turonien, Quaternaire. Ces formation présentent une grand importance de point de vu hydrogéologique, car elles abritant deux aquifères, ils s'agissant de l'aquifère superficiel (pendent dans des formations alluvionnaires du quaternaire et les carbonates du turonien) et l'aquifère du continental intercalaire (pendent dans les sables du l'albien).

Chapitre II :
Étude hydrogéologique

1. Introduction

La région de Metlili fait partie de système aquifère de Sahara septentrional (SASS), les principales ressources en eau dans la région sont d'origine souterraine. Elles sont comprises dans deux types d'aquifères : les aquifères superficiels qui sont abrités dans les calcaires du sénonien carbonaté, calcaires fissurés du turonien et dans les alluvions des vallées des oueds de la région, alimentée directement par les eaux des pluies, ainsi que les fréquents écoulements des oueds, et l'aquifère profonde souvent captif du continental intercalaire, qui est composé de sable, grès et d'argiles sableuses d'âge Albien.

2. Définition de système aquifère (SASS)

Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS) est partagé entre trois pays : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Il recouvre une étendue de plus d'un million de km², dont 70 % se trouvent en Algérie, 6 % en Tunisie, et 24 % en Libye. Le SASS est la superposition de deux principales couches aquifères profondes : i) la formation du Continental Intercalaire, CI, la plus profonde ; et ii) celle du Complexe Terminal, CT (figure 12). Étant donné les conditions du climat saharien, ces formations sont faiblement alimentées : un peu plus de 1 milliard de m³ par an, infiltrés essentiellement aux piedmonts de l'Atlas saharien en Algérie, ainsi que sur le Dahar et le Djebel Nefoussa en Tunisie et en Libye.

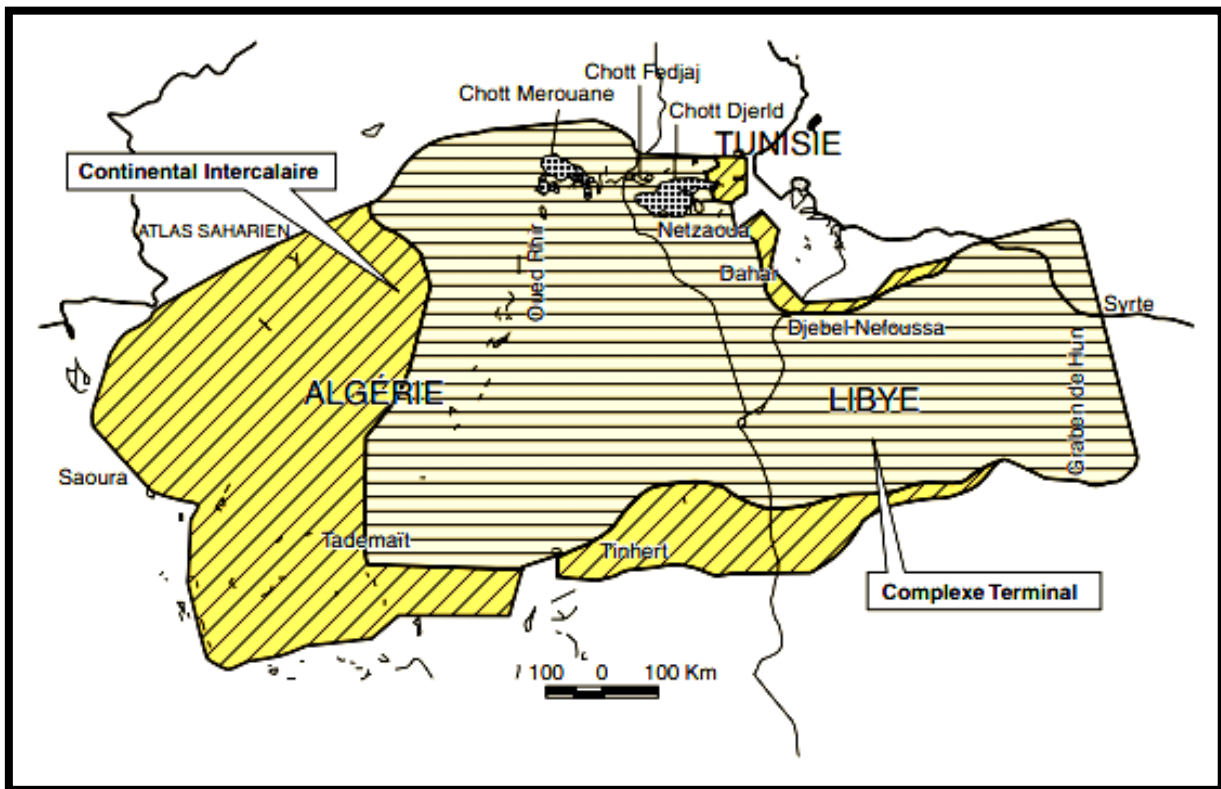


Figure 12. Délimitation du système aquifère du Sahara septentrional (SASS)

2.1 Le continental intercalaire (CI)

Le Continental Intercalaire est limité à l'ouest par la vallée de la Saoura, et à l'est par la limite orientale du Graben de Hun. L'écoulement de la nappe du CI se produit du piedmont de l'Atlas vers les zones des Foggaras au sud du Tihert et du Djebel Hassaouna vers le golfe de Syrte vers l'exutoire tunisien du golfe de Gabès (figure 12). La nappe du CI est libre sur les zones d'affleurement, captive sous le M'Zab, le Tademaït, le Grand Sud tunisien et la Hamada Al Hamra, et artésienne dans l'oued Rhir-Souf-Djerid-Fedjej. Les exutoires naturels du CI sont formés par les bordures occidentales et méridionales du Tademaït où se trouvent les foggaras du Gourara, du Touat et du Tidikelt les remontées dans la zone du Chott Fedjaj, qui alimentent la nappe de la Djeffara tunisienne par l'intermédiaire des failles d'El Hamma et de Medenine l'exutoire libyen du golfe de Syrte, qui se manifeste en surface par les sources de Ain Taourgha. L'exploitation du Continental Intercalaire s'est d'abord effectuée par le système traditionnel des foggaras, dont le débit total est resté constant - de l'ordre de 3,6 m³ /s jusqu'aux années 1970. Actuellement, le débit total exploité (Algérie, Tunisie et Libye) au travers des 700 foggaras et des 1 200 forages atteint 30 m³ /s, soit 950 millions de m³ /an. Le niveau d'artésianisme a régressé dans les régions exploitées mais reste important dans le secteur central du bassin, où il atteint encore 200 m localement.

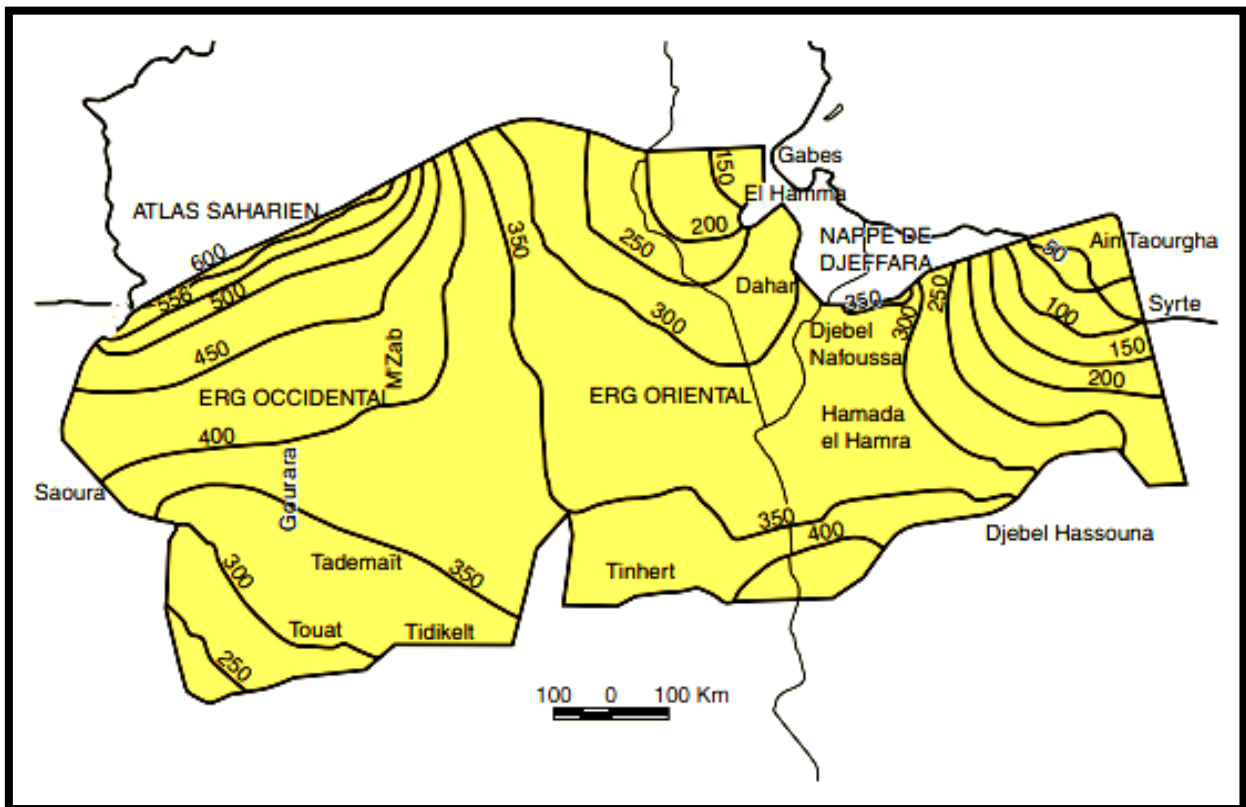


Figure 13. Carte piézométrique du Continental Intercalaire (CI) en 2000

2.1.1 Limites du Continental Intercalaire

Les limites du CI ont été basées à la fois sur l'étude des affleurements géologiques et sur l'étude des sondages, elles sont :

- Au Nord-Ouest, le versant Sud de l'Atlas saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomaniens ;
- Au Sud-ouest, la limite des affleurements paléozoïques de l'Ougarta, marqués par le cours des oueds Zousfana et Saoura ;
- Au Sud, la limite des affleurements du CI sur le Paléozoïque, allant en continuité d'Adrar à Hun, décrivant les limites septentrionales des Tassilis ;
- Au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'EL Hamma – Médenine ;
- Au Nord-Est, les affleurements du CI au pied de la falaise du Dahar; à l'Est, les formations aquifères du Crétacé inférieur se prolongent bien au-delà du graben de Hun, mais à l'Est du méridien 16° et en passant au bassin de Syrte, les eaux du CI deviennent saumâtres : c'est ce passage qui a été adopté comme limite de la zone d'étude de la nappe d'eau douce du CI (OSS 2003).

La dorsale du M'Zab, divise le domaine du CI en deux sous-bassins hydrogéologiques : le bassin oriental et le bassin occidental. L'ensemble couvre une surface de 1100.000 de km², et une épaisseur moyenne de 358mètres (OULD BABA SY 2005). La partie Sud du réservoir du CI est largement affectée par les accidents Nord-Sud d'Amguid El Biod qui se prolonge du socle primaire d'El Hoggar.

2.2 Le Complexe Terminal

Le Complexe Terminal regroupe l'ensemble des formations les plus récentes allant du Sénonien supérieur au Mio-Pliocène. Ces formations aquifères sont : le Sénonien et l'Éocène carbonatés. Le Mio-Pliocène sableux (Continental Terminal au sens strict). La réalité d'une alimentation du réservoir a été établie :

- sur les bordures relativement arrosées du bassin, par infiltration directe sur les affleurements calcaires ou au travers des écoulements d'inféro-flux des oueds.
 - sur le Grand Erg occidental et le Grand Erg oriental, par infiltration des pluies exceptionnelles.
 - enfin d'une manière indirecte par drainance de l'aquifère des dolomies turoniennes.
- Au total, ces apports représentent une alimentation équivalente à 750 millions de m³ /an. À l'est de la dorsale du M'Zab (figure 13), autant que dans le Sud tunisien et en

Libye, l'essentiel de l'écoulement converge vers la zone des Chotts. Le débit exploité était de l'ordre de 8 m³ /s en 1900 dans l'oued Rhir, la cuvette de Ouargla, les sources du Djerid, Nefzaoua et Ain Taourgha. Ce débit n'a cessé de croître, pour atteindre, au travers de quelque 2 000 forages et d'Ain Taourgha, 45 m³ /s ou 1,4 milliard de m³ /an en 2000. Quant à la partie artésienne du débit exploité, elle est passée de 100 % en 1900, à 60 % en 1970 et à près de 3 % aujourd'hui.

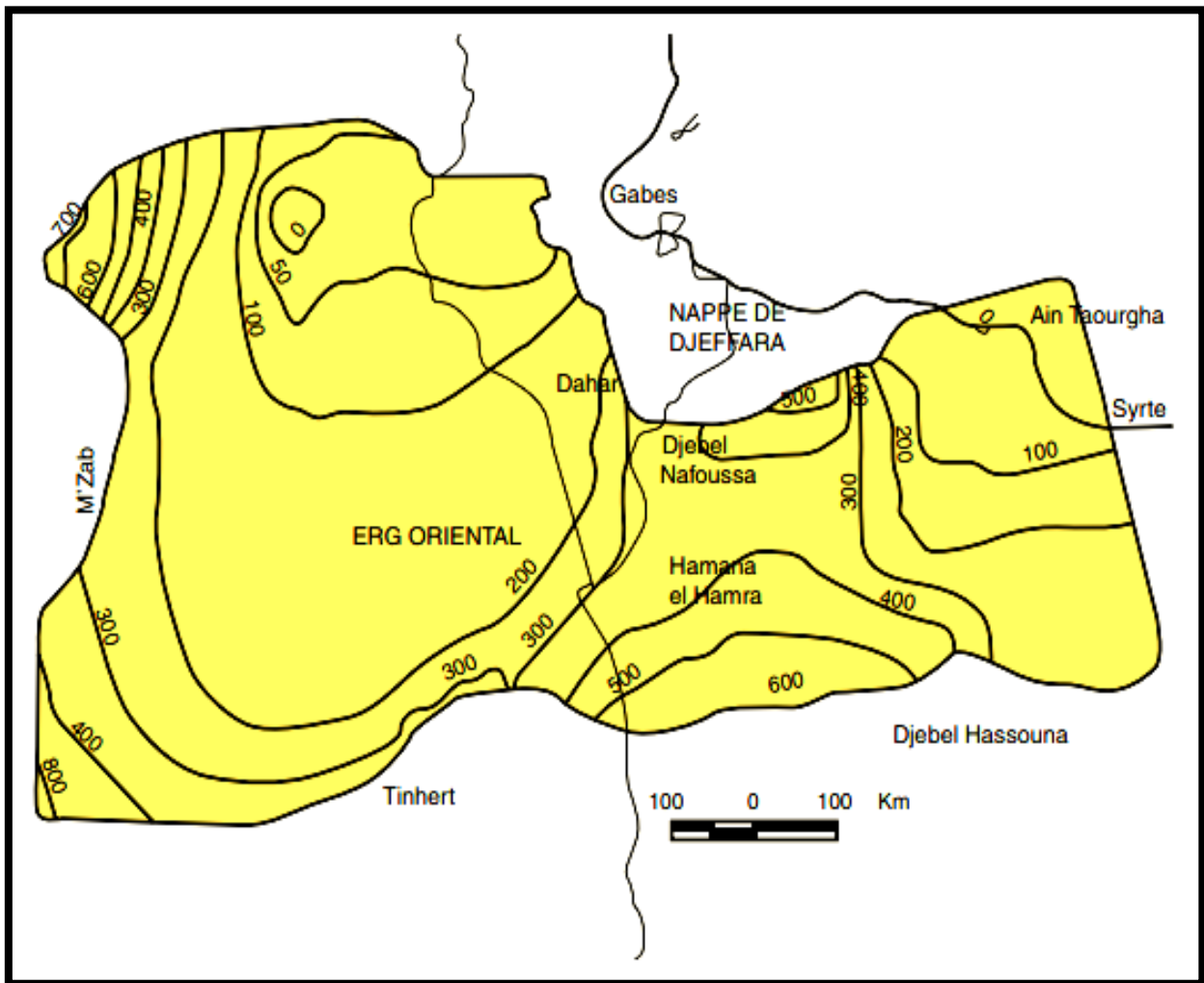


Figure 14. Carte piézométrique du Complexe Terminal (CT) en 2000

3. Présentation de système aquifère de Metlili

3.1. Les nappes superficielles (phréatiques)

La région de Metlili renferme deux nappes superficielles :

La nappe du Turonien : les affleurements des couches calcaires du Turonien dans la région de Metlili, peuvent contenir des nappes d'eau de faibles importance (ANRH, 2012). Ces assises calcaires d'une épaisseur moyenne de 110 m, présentent parfois des fissures et des karsts dans lesquels l'eau peut s'infiltrer (ACHOUR 2014).

La nappes alluvionnaire : Elle est formée d'alluvions, de sables, de galets et de poudingues du Quaternaire, qui tapissent les lits des oueds. Les alluvions reposent sur les couches calcaires dures du turonien. L'épaisseur de ces alluvions peut atteindre 25 à 30 mètres. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 20m. Ces nappes présentent un intérêt très important dans le domaine agricole, elles servent comme une source vitale pour l'irrigation des oasis implantées dans les vallées des oueds et elles servent également pour l'alimentation en eau potable à l'amont de la vallée de Metlili.

La nappe phréatique dernière est exploitée dans les palmeraies par des puits ordinaires. Le niveau hydrostatique dans ces puits est caractérisé par l'instabilité, bas pendant les périodes sèches et remonte pendant la saison humide (Mansour Achour et Ouaissi Sekouti, 2003).

3.2. La nappe continentale intercalaire (CI)

Dans la région de Metlili, l'étage principal exploité est de l'âge Albien. Il est composé de sables fins et de grès jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Cette masse grés-sableuse est exploitée avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa.

La profondeur du toit de l'aquifère albien varie une région à l'autre dans la wilaya de Ghardaïa, elle varie entre 60 et 150 m dans les zones sud-ouest exemple (Hassi fhal et El-Menia) ce que explique le nombre important des forages dans ces zones notamment à usage agricoles. Cependant la profondeur du toit est plus élevée dans les zones nord est Guerrara et Zelfana elle varie entre 650 et 700 m ce qui explique le nombre modéré des forages albiens dans ces régions. Dans les communes entourant le chef-lieu, comme Metlili, Daya, Bonoura, Atteuf, Berriane, Sebseb et Mansoura la variation des profondeurs du toit est de 250 à 320 m.

4. Interprétation de log de forage de la région de Metlili

Forage N01 : Le forage est situé en aval de la vallée de Metlili dans la zone de Zone de Hachana, Le forage est situé en amont de la vallée de l'oued Metlili. A environ de 20 km au Nord-est de la commune de Metlili, Daïra de Metlili, il a pour coordonnées géographiques : Latitude : 03° 32' 32'' N, Longitude : 32° 19' 13'' E et Altitude : 543m

Le Turonien : de 2 à 50 mètres. Calcaire dolomitique grisâtre à blanc massif, Marne jaune à calcaire a la base.

Le Cénomaniens : de 50 à 165 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes. Argiles bariolée marrons et verdâtres à gypses fibreux, argiles grisâtres claires sableuses à la base.

L'Albien : A partir de 165 mètres. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes, gris, , sables fins bruns et roses, sables, sables fins brun, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rouge, sables fins roses gréseux, grès rouge, argile rouge plastique à la base.

Chapitre II : étude hydrogéologique

Forage N02 : Le forage est situé en aval de la vallée de Metlili dans la zone de Zone de L'adjadja. A environ de 15 km au Sud de la commune de Metlili, Daïra de Metlili, il a pour coordonnées géographiques : Latitude : 03° 34' 58'' N, Longitude : 32° 17' 35'' E et Altitude : 523 m.

Le Quaternaire : de 1 à 5 mètres. Il est composé de graviers, galées alluvionnaires et sables grossiers.

Le Turonien : de 5 à 45 mètres. Calcaire dolomitique grisâtre à blanc massif, Marne jaune à calcaire à la base.

Le Cénomaniens : de 45 à 275 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes. Argiles bariolée marrons et verdâtres à gypses fibreux, argiles grisâtres claires sableuses à la base.

L'Albien : A partir de 275 mètres. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes à grès, argiles grises sableuses, à vertes, sables fins bruns et roses, argiles grises sableuses, sables fins brun argileux, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rouge, sables fins roses gréseux, grès rouge, argile rouge plastique à la base

Forage N03 : le forage est situé en aval de la vallée de Metlili dans la zone de Souareg, destiné pour renforcer l'irrigation du périmètre agricole du Souareg, il a pour coordonnées géographiques : latitude : 32°15'43"N, longitude : 03°40'16"E et altitude Z : 470m.

- Le Turonien : De 0 à 85 mètres. Calcaire dur riche en dolomie, grisâtre à blanc massif, karstiques, Marneux jaunâtre carbonaté à la base.
- Le Cénomaniens : de 85 à 230 mètres. Argiles verdâtres grises, brunes. Argiles grises et verdâtres à gypses fibreux blanc, argiles grisâtres claires.
- Le Vraconien : de 230 à 270 mètres. Il s'agit d'argiles bariolées, verdâtres à gypses fibreux, riche de sables fins à la base.
- L'Albien : A partir de 270 mètres. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes, gris, sables fins bruns et roses, sables, sables fins brun, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rouge, sables fins roses gréseux, grès rouge, argile rouge plastique à la base.

Forage N04 : Le forage est situé en aval de la vallée de Metlili dans la zone d'Oued Metlili 03 son profondeur 500 ml est situé à proximité de la RN1, menant vers la Daïra du Mansourah, dans l'ancien périmètre agricole d'oued Metlili. Le forage est destiné pour renforcer l'irrigation du périmètre agricole d'Oued Metlili 2. , il a pour coordonnées géographiques : Latitude : 03° 49' 45" N ; Longitude : 32° 15' 23" E et Altitude : 419m

Le Sénonien : de 0 à 25 mètres. Marnes rougeâtres carbonatées

Chapitre II : étude hydrogéologique

Le Turonien :de 25 à 131 mètres. Calcaire +/- dur riche en dolomie, grisâtre à blanc massif, marneux jaunâtre à calcaire à la base.

Le Cénomaniens :de 131 à 280 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes. Argiles bariolée marrons et verdâtres à gypses massif et fibreux blanc, argiles grisâtres claires sableuses à la base.

L'Albien : A partir de 280 mètres. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes, gris, sables fins bruns argileux, sables fins brun argileux, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rougeâtres, sables fins, argile rouge sableuse plastique à la base.

5. Coupe hydrogéologique dans la zone d'étude

La coupe hydrogéologique établie dans la zone d'étude montre la succession des couches suivantes :

Alluvions : En trouve la formation des alluvions dans les forages 01, 03 et 04. C'est une formation géologique perméable qui constituée la nappe alluviale leur épaisseur varie entre 0 et 25m, elle est d'âge quaternaire.

Turonien : il est présent dans les quatre forages, il est représenté par une formation de calcaire fissuré qui constituée la nappe du turonien, leur épaisseur varie entre 60 et 125m.

Marne : C'est une formation géologique imperméable d'âge cénomaniens, elle est détectée dans les forages N°03 et N°04, leur épaisseur est environ 25 m et la profondeur son toit est 125m.

Argile : C'est formation géologique perméable d'âge cénomaniens, elle est représenté dans les quater forages ; dans le forage N°01, la profondeur du toit est 75m et son épaisseur 125m, dans le forage N°02 elle se trouve à partir d'une profondeur de 60m et son épaisseur est 223m, et en fin dans les deux derniers forages (03 et 04), la profondeur du toit d'environ 150m et son épaisseur est 125m.

Argile sableux : Cette formation marque la transition entre l'argile de cénomaniens et le sable de l'albien. On remarque que dans le forage N°01, la profondeur du toit est environ 290m et son épaisseur est 10m. Pour le forage N°02, la profondeur du toit est 283m et son épaisseur est 13m. Pour les deux derniers forages (N°03 et N°04), cette formation détectée a partir de 275m et son épaisseur 45m.

Sable : C'est une formation géologique d'âge albien, constitue le réservoir de l'aquifère du continental intercalaire (CI). D'après les données issues des quatre forages, cette formation est localisée à une profondeur de 300m et son épaisseur est d'environ 200m.

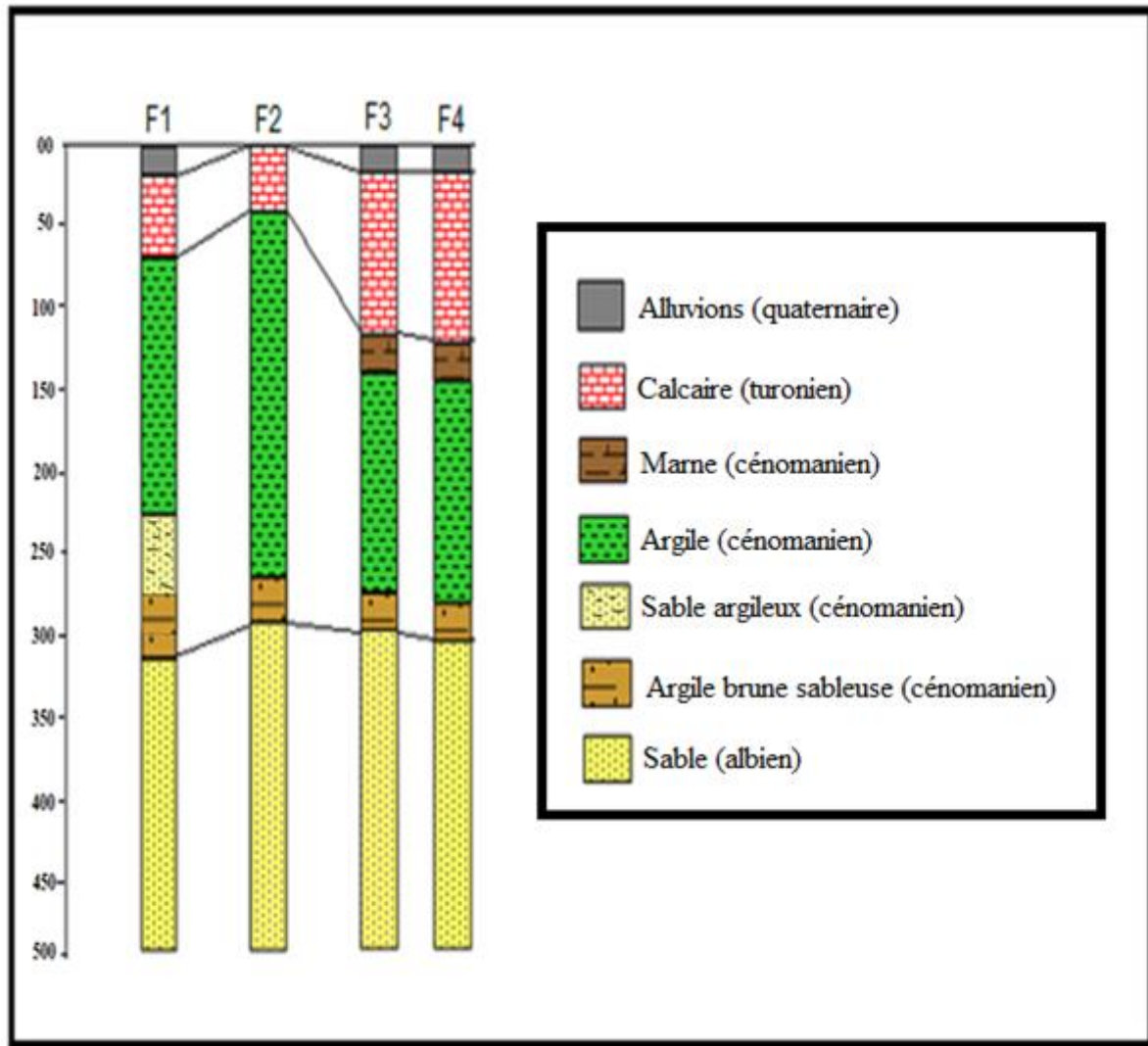


Figure 15. Les loges des forages de la région Metlili

6. piézométrie de Continental Intercalaire de Metlili

L'étude piézométrique d'une nappe fournit des renseignements très importants sur les caractéristiques de l'aquifère. Elle permet, de comprendre l'écoulement de la nappe, de déterminer les conditions et les aires d'alimentation et de drainage, et de connaître la variation des réserves. Dans ce travail, des cartes piézométriques ont été établies à partir de données de deux campagnes réalisées par l'ANRH en 2010 et en 2018.

6.1. Piézométrie du CI de l'année 2010

La carte piézométrique réalisée en 2010 confirme très bien, l'écoulement général de la nappe du continentale intercalaire déjà connu dans tout le bassin du Sahara septentrional, elle est de direction Nord-Ouest vers le Sud-est, mais parfois elle est perturbée par dépressions piézométriques. Ces dernières sont situées dans les centres urbains et les zones agricoles de la région de Metlili, causées par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation.

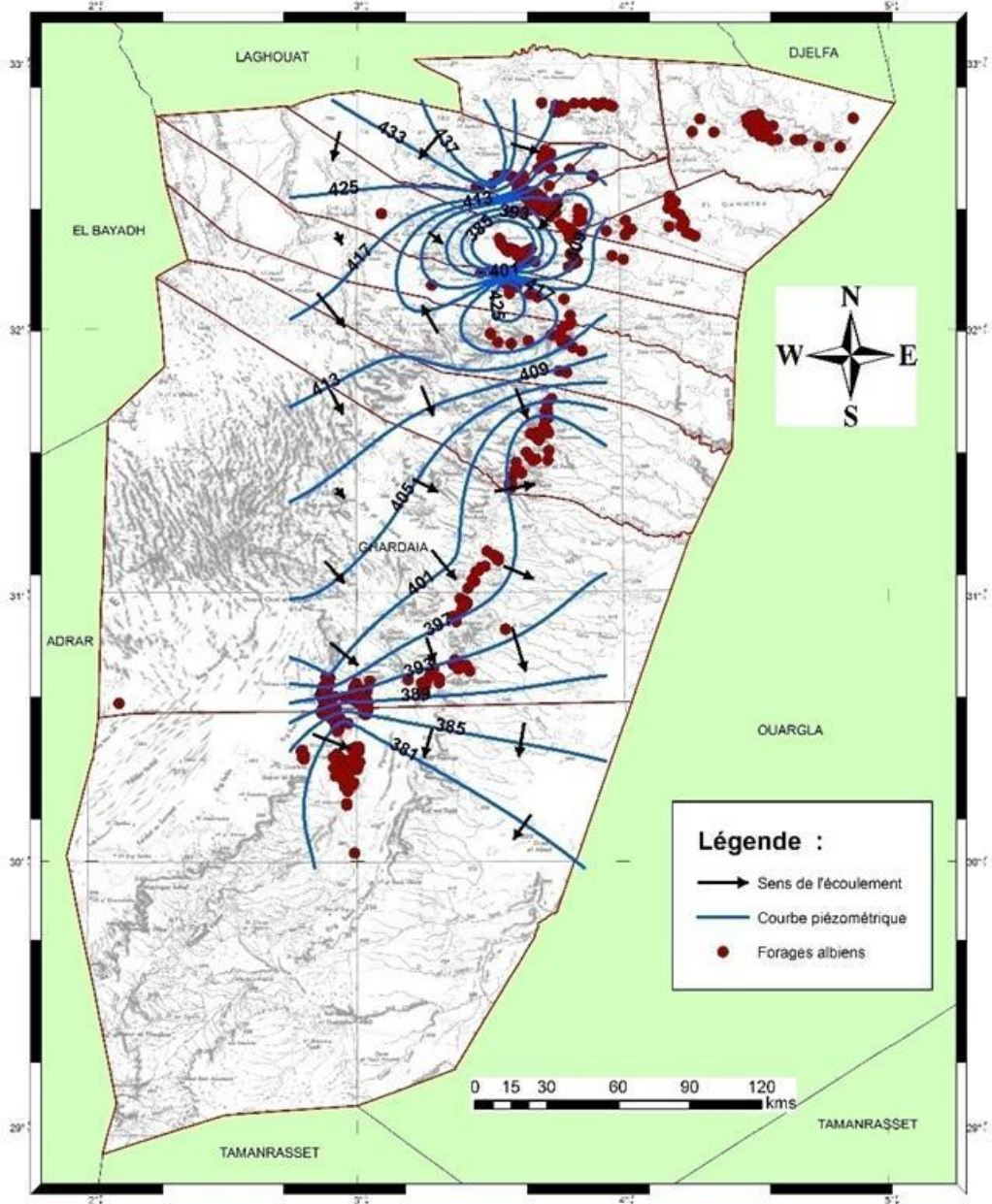


Figure 16. Carte piézométrique de la nappe du Continental intercalaire dans la région de Ghardaïa (année 2010)

6.2. Piézométrie du CI de l'année 2018

Nous avons réalisé la carte sur la base de la campagne piézométrique effectuée avec par l'ANRH en mois de mars 2018.

Cette carte piézométrique montre la même allure que la carte piézométrique de 2010, le sens d'écoulement est de direction Nord-Ouest vers le Sud-est, avec des perturbations de l'écoulement au niveau des centres urbains et les zones agricoles, causée par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation. On remarque aussi que le niveau piézométrique a diminué dans toute la région de Metlili avec la création des nouveaux périmètres irrigués.

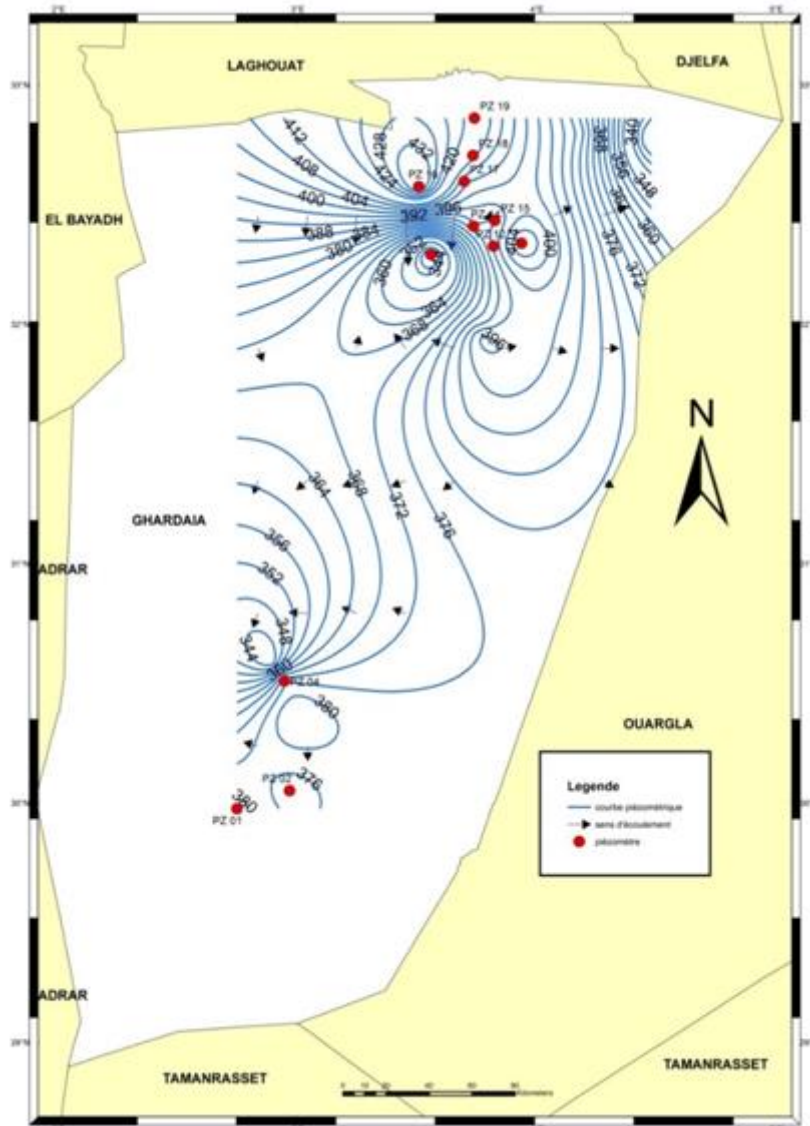


Figure 17. Carte piézométrique de la nappe du Continentalintercalaire dans la région de Ghardaïa (année 2018)

6.3. Evolution piézométrique entre l'année 2010 et 2018

La carte de différence piézométrique entre les périodes 2010 et 2018. Montre que le niveau a baissé sur l'ensemble de la région de Ghardaïa, avec une moyenne de 9.5 mètres, surtout dans la partie Nord de Ghardaïa où elle peut atteindre 18 mètres, elle est provoquée par une forte exploitation. Dans la région de Metlili, les forages de l'AEP sont exploités pendant 20 heures par jour sur toute l'année pour satisfaire la demande sur l'eau par population. On remarque que la diminution du niveau piézométrique dans la région de Metlili oscille entre 4.5m dans les endroits isolés et atteindre 16m dans la ville de Metlili, où concentre un grand nombre de forage de CI.

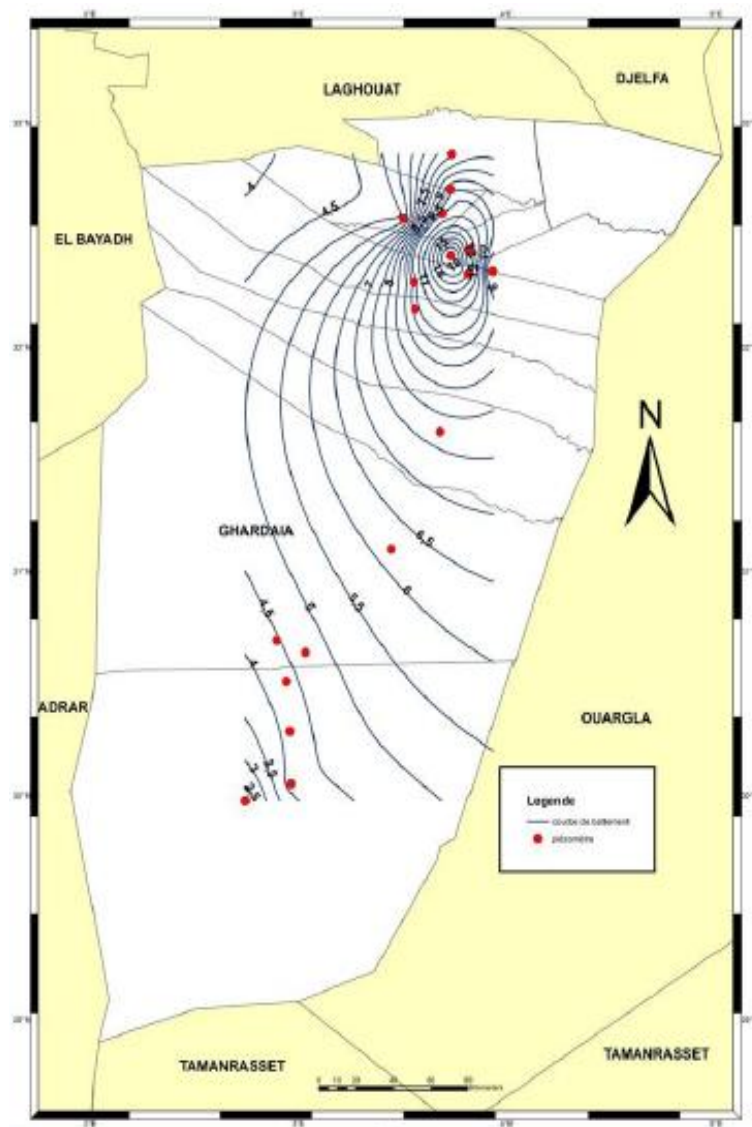


Figure 18. Carte de l'évolution piézométrique de la nappe du Continental intercalaire dans la région de Ghardaïa (année 2018)

7. Conclusion

La région de Metlili caractérisé par la superposition de deux nappes :

La nappe superficielle formée des alluvions et de sables d'âge Quaternaire d'épaisseur peut atteindre 25 à 30 mètres reposent sur les couches calcaires du Turonien fissurés d'épaisseur oscille entre 40 et 100m. Cette nappe est exploitée par des puits traditionnels, présente un intérêt très important dans le domaine agricole.

La nappe continentale intercalaire constituée de sables d'âge Albien. Cette nappe est localisée à une profondeur de 300m et son épaisseur est d'environ 200m. Elle est fortement exploitée dans notre zone d'étude pour l'AEP et pour l'irrigation. Les forages captant cette nappe donnant un débit d'environ 80 l/s.

Les cartes piézométriques de la continentale intercalaire montrent que l'écoulement de la nappe est de Nord-Ouest vers l'Est. Les courbes isopièzes sont déformés au niveau de la ville de Metlili à cause de la surexploitation de la nappe. La comparaison des cartes piézométriques de 2010 et 2018 montres une diminution du niveau piézométrique au cours des dernières années oscille entre 4.5m et 16m.

Chapitre III :
La qualité des eaux de CI de Metlili

1. Introduction

L'eau souterraine est une ressource naturelle importante dans le monde d'entier, c'est la principale source des besoins en eau potable, domestiques et agro-industriels.

L'étude hydro-chimique est une approche pour comprendre la circulation de l'eau dans les aquifères, permettant une meilleure compréhension de l'évolution de la chimie de l'eau qui dépend principalement de la nature rocheuse des strates géologiques qui se croisent et qui affecte la valeur des ions majeurs, De plus, ses concentrations sont influencées par les paramètres climatiques, les activités humaines et les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Le but de l'étude hydrochimique est de déterminer la qualité chimique de l'eau de l'aquifère de continental intercalaire dans la zone d'étude qui est basée sur l'étude des paramètres physicochimiques et les éléments indésirables. Pour cette raison, nous allons représenter la variance des paramètres physicochimiques pour suivre la concentration des principaux éléments chimiques analysés et comparer leurs concentrations avec les normes de consommation algériennes et également déterminer les caractéristiques chimiques, et enfin calculer les paramètres spécifiques de l'eau à partir de l'eau, l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation par la méthode WQI.

2. Inventaire des points d'eau échantillonnés

La campagne d'échantillonnage a touché 11 forages repartis sur l'ensemble de notre secteur d'étude selon le tableau n°12. Les différentes analyses des paramètres physicochimiques ont été effectuées au laboratoire de l'ADE de Ghardaïa en 2020.

Les analyses concernent les paramètres physiques : potentiel d'Hydrogène (pH), Conductivité Électrique, les éléments majeurs (Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ et Anions : Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , NO_3^-).

Tableau 12. Le prélèvement des échantillons d'eau

N° forage	Localisation
F01	Ch. sid chikh
F02	lagfoul
F03	Gouta
F04	Ch. ahmed
F05	Timkrat
F06	El Hadika
F07	Gangouma
F08	Meguisem
F09	L'adjadja
F10	Al djdid
F11	Fonad

3. Etude des paramètres physico-chimiques des eaux du CI

3.1. Conductivité électrique (EC)

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes et son l'inverse est la résistivité qui nous permet d'estimation de la minéralisation des eaux. On sait qu'une eau salée est très conductrice par contre une eau pure qu'elle est très résistante.

Dans notre secteur d'étude la conductivité maximale est mesurée au niveau du forage 08 (2410 $\mu\text{s}/\text{cm}$) et la valeur minimale au niveau du forage 03 (1399 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Les valeurs mesurées sont conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

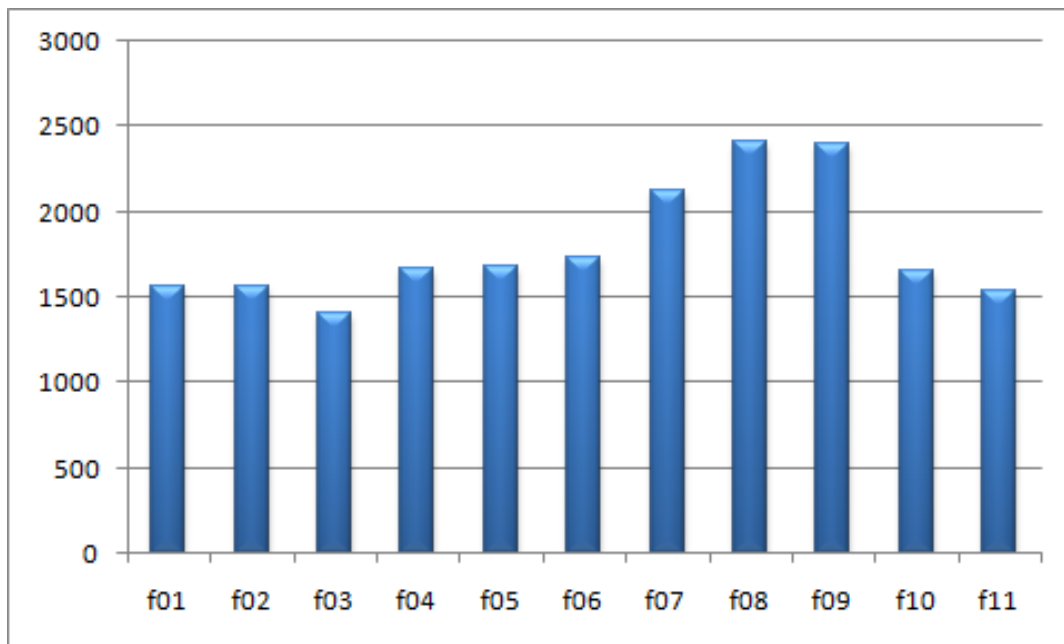


Figure 19. Histogramme de variation de la Conductivité des eaux de CI

3.2. La température (°C)

La température est le facteur cinétique le plus important de toutes les réactions chimiques et biologiques dans les milieux aquatiques, elle joue aussi un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz des eaux est variable selon différents facteurs; il s'agit essentiellement de les saisons, la nature géologique des aquifères, la température extérieure et également de la profondeur des eaux.

Dans notre secteur leur valeur maximale est 23°C au niveau du forage 11 et la valeur minimale est 17.7°C au niveau du forage 01, 02,03. Les valeurs mesurées sont presque conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est entre 18 et 25°C.

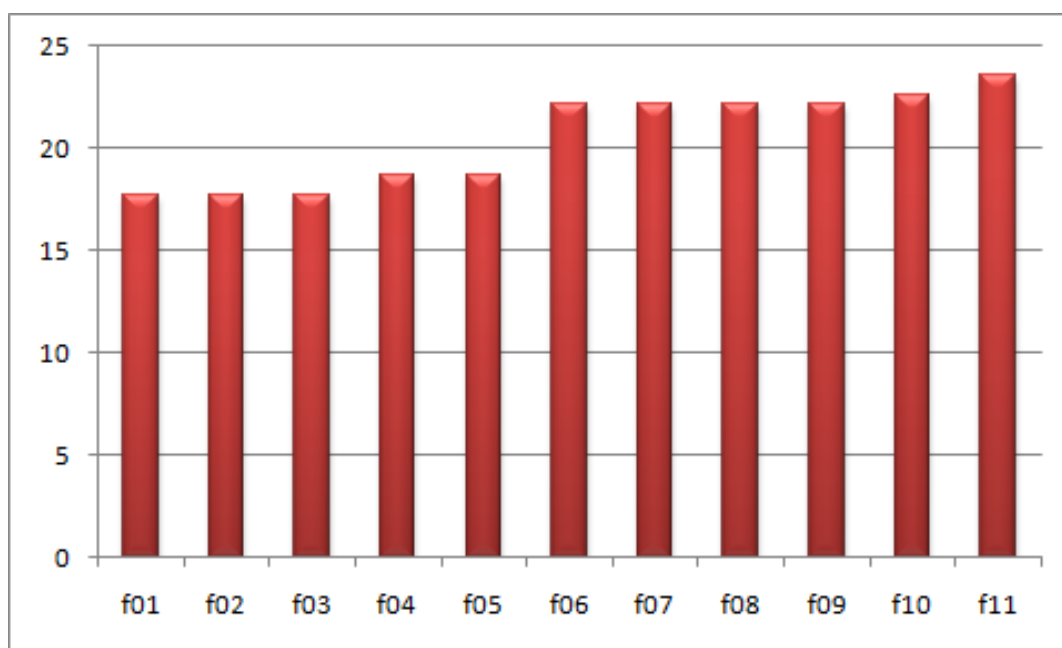


Figure 20. Histogramme de variation de la température des eaux de CI

3.3. Potentiel hydrogène pH

Le pH dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique des terrains traversés (Dussart, 1966 Bermond et Vuichard, 1973). Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques entre l'eau, le gaz carbonique dissous, les carbonates et les bicarbonates qui constituent des solutions tamponnées conférant à la vie aquatique un développement favorable. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris habituellement entre 6 et 8,5 (Hamlaoui Nadia en 2019).

Dans notre secteur leur valeur maximale est 8.05 au niveau du forage 10 et sa valeur minimale oscille 7.38 au niveau du forage 03. Les valeurs mesurées sont conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est 6.5 et 8.5.

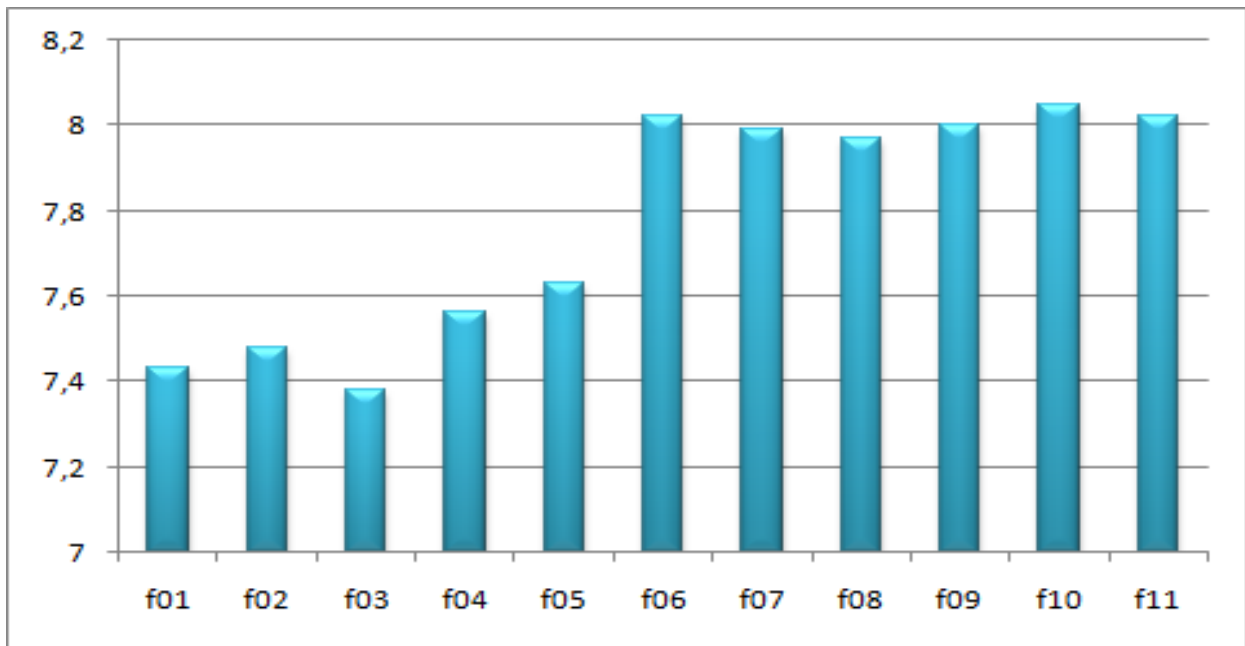


Figure 21. Histogramme de variation de Potentiel Hydrogène (pH) des eaux de CI

3.5. Le Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux).

La présence des ions Ca^{++} dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO_3), dolomie [$(\text{Ca}, \text{Mg}) \text{CO}_3$] ou bien la dissolution des formations évaporitiques comme le gypse [$\text{CaSO}_4, 2(\text{H}_2\text{O})$] et l'anhydrite (CaSO_4).

Les teneurs de Calcium (Ca^{2+}) dans les eaux de Continental Intercalaire de la vallée du Metlili varie entre 140.28 mg/l qui représente la forte concentration du calcium au niveau du forage 10 et la faible valeur est mesurée au niveau du forage 03 (99.39 mg /l). Les valeurs mesurées sont conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est 200 mg/l.

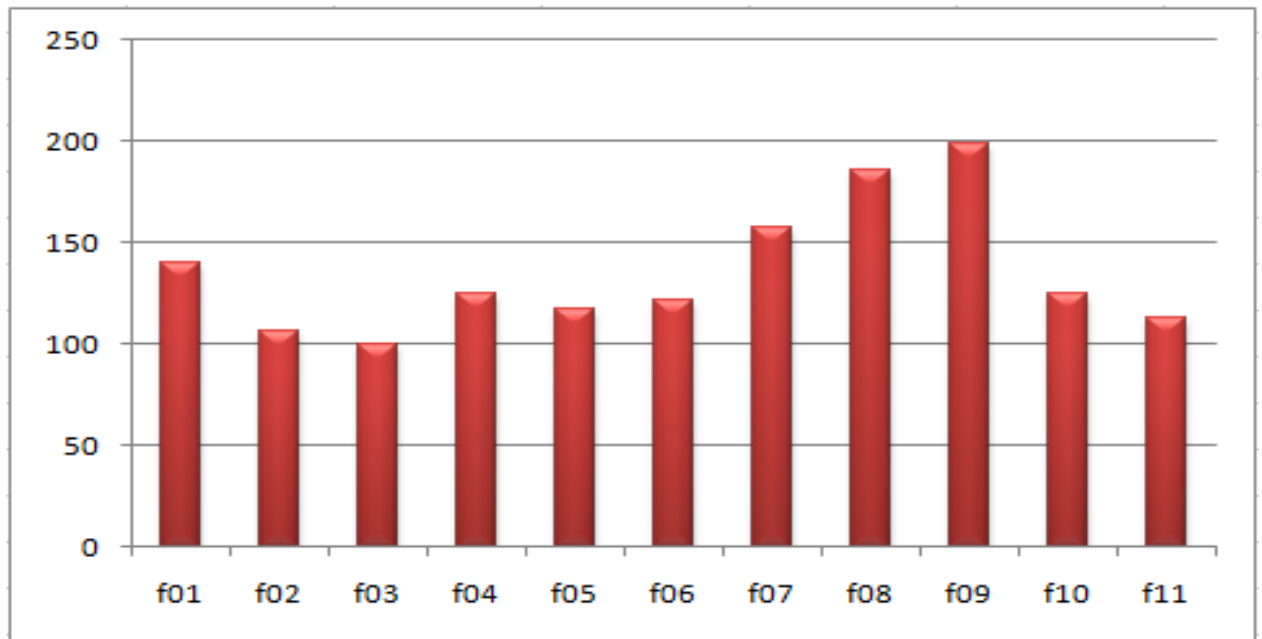


Figure 22. Histogramme de variation de la teneur en calcium des eaux de CI

3.6. Le Magnésium (Mg^{+2})

Le magnésium est un élément très abondant dans les eaux souterraines, Il est souvent présent dans les roches évaporitiques (sel de Mg), la carnallite ($KMgCl_3, 6H_2O$), la kiesérite ($MgSO_4, H_2O$), et carbonatés, la dolomie [$(Ca, Mg) CO_3$]. Le teneur forte du magnésium est varié dans le forage 08 (65.124 mg/l), et la plus faible est mesurée au forage 11 (40.824 mg/l).

L'insuffisance magnésique entraine des troubles neuromusculaires, l'intérêt du magnésium dans thérapeutique de la spasmophilie est bien connu, A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau, s'ils ne provoquent pas des Phénomènes toxiques, les sels de magnésium et surtout les sulfates ont un effet laxatif à partir de 400 à 500 mg/l (taux de magnésium dans l'eau doit se faire en liaison avec les sulfates), élément essentiel de la nutrition chez l'homme et l'animale, la concentration maximale admissible est 150mg/l. Les valeurs mesurées sont conformes avec la norme algérienne de l'eau potable.

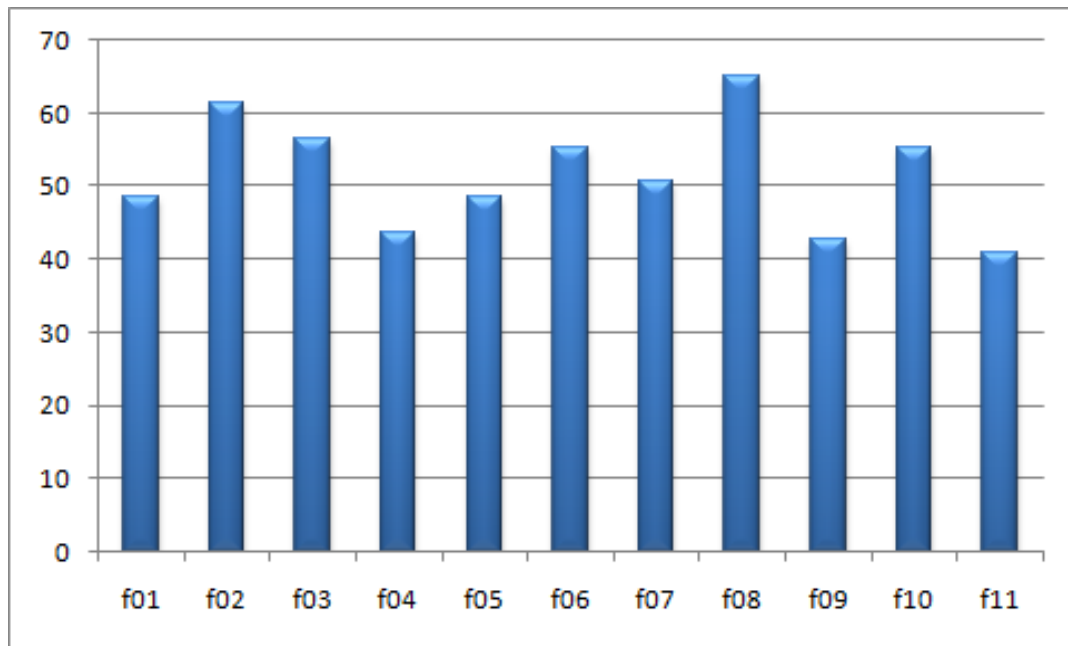


Figure 23. Histogramme de variation de la teneur en Magnésium des eaux de CI

3.7. Le Potassium (K⁺)

Le potassium peut être observé dans les eaux des formations argileuses et dans les eaux ayant traversées des formations évaporitiques riches en sylvite (KCl), et carnallite.

La teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l. Le potassium à faibles doses ne présente pas de risque significatif. Mais il est à signaler que l'excès du potassium dans le corps humain provoque une hyperkaliémie. Ses symptômes sont principalement une défaillance du cœur et du système nerveux central qui finit par un arrêt cardiaque.

La concentration de cet élément oscille entre 11.81 mg/l dans les forages 01 et 03, et 6.66 mg/l au niveau de forage 07. Les valeurs mesurées sont donc conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est 12 mg/l.

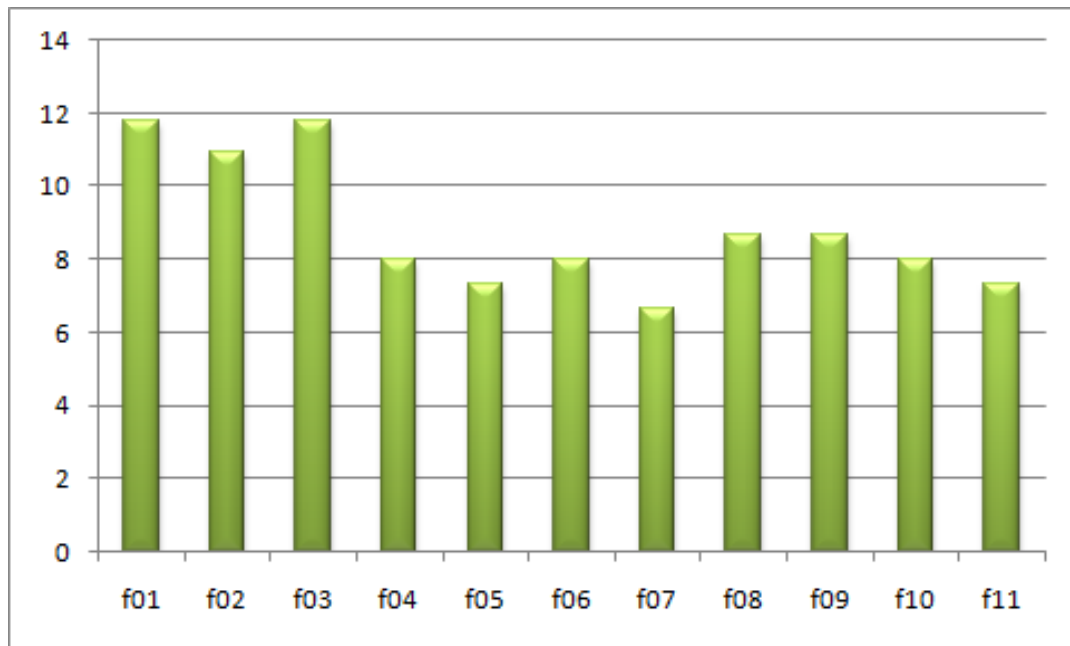


Figure 24. Histogramme de variation de la teneur en Potassium des eaux de CI

3.8. Le Sodium (Na^+)

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations géologiques riches en (NaCl), sont toujours présents dans les eaux naturelles en valeurs variables.

Le sodium peut prévenir du lessivage des formations NaCl ; le potassium et le sodium sont nécessaires pour le fonctionnement des muscles et des nerfs. Mais trop de sodium peut augmenter le risque d'hypertension artérielle. Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau, il n'a pas de valeur limite standard, cependant les eaux trop chargées en sodium devient saumâtre prennent un goût désagréables.

La concentration de sodium mesurées sont dans la majorité conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est 200mg/l. elles oscillent entre 222.22 mg/l (forage 08) et 112.5 mg/l (forage 01).

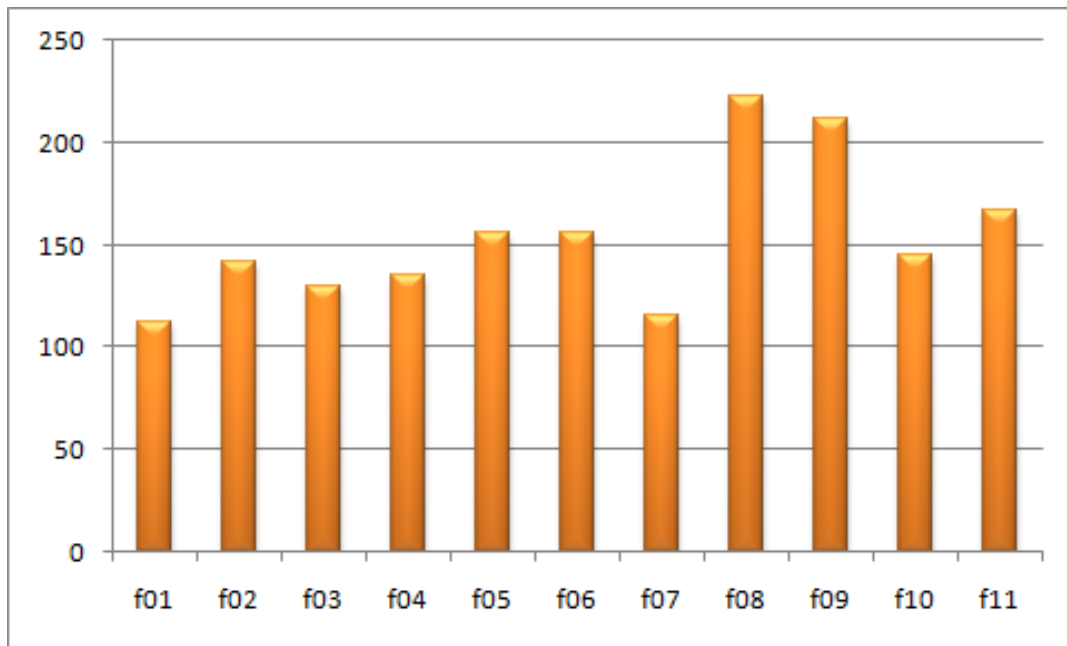


Figure 25. Histogramme de variation de la teneur en Sodium des eaux de CI

3.9. Les Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles. Leurs origines de cet élément sont liées principalement à la dissolution de la sylvite (KCl) et de l'halite (NaCl). Ces éléments toujours présentent dans les eaux naturelles en proportions très variables.

Le teneur en chlorures est élevé dans les forages 09 et 10 (472.233mg/l) et la valeur plus faible est mesurée au niveau du forage 03 (170,174mg/l). Les valeurs mesurées sont conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est 500 mg/l.

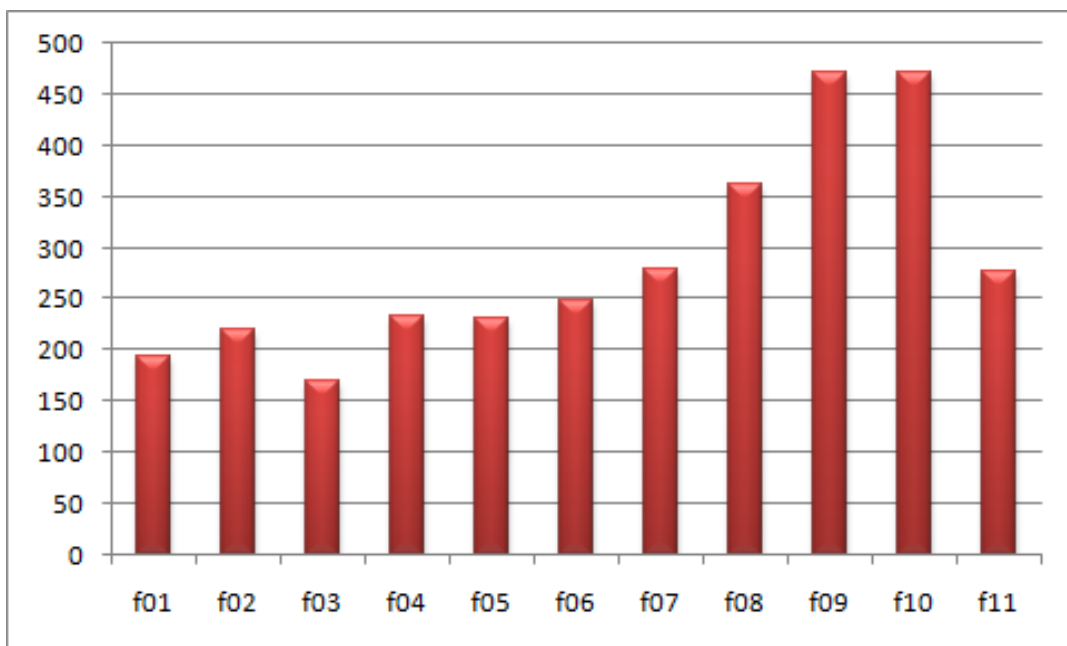


Figure 26. Histogramme de variation de la teneur en Chlorures des eaux de CI

3.10. Les Sulfates (SO₄⁻)

Dans les conditions naturelles, les sulfates, forme de soufre dissous la plus répandue dans les eaux, ont essentiellement deux origines : géochimique et atmosphérique

Le teneur de sulfate dans les eaux de la région varient entre 569.58 mg/l au niveau du forage 09 à 310.72 mg/l au niveau du forage 10. Les valeurs mesurées sont conformes avec la norme algérienne de l'eau potable qui est 500 mg/l, sauf trois forages (07, 08 et 09).

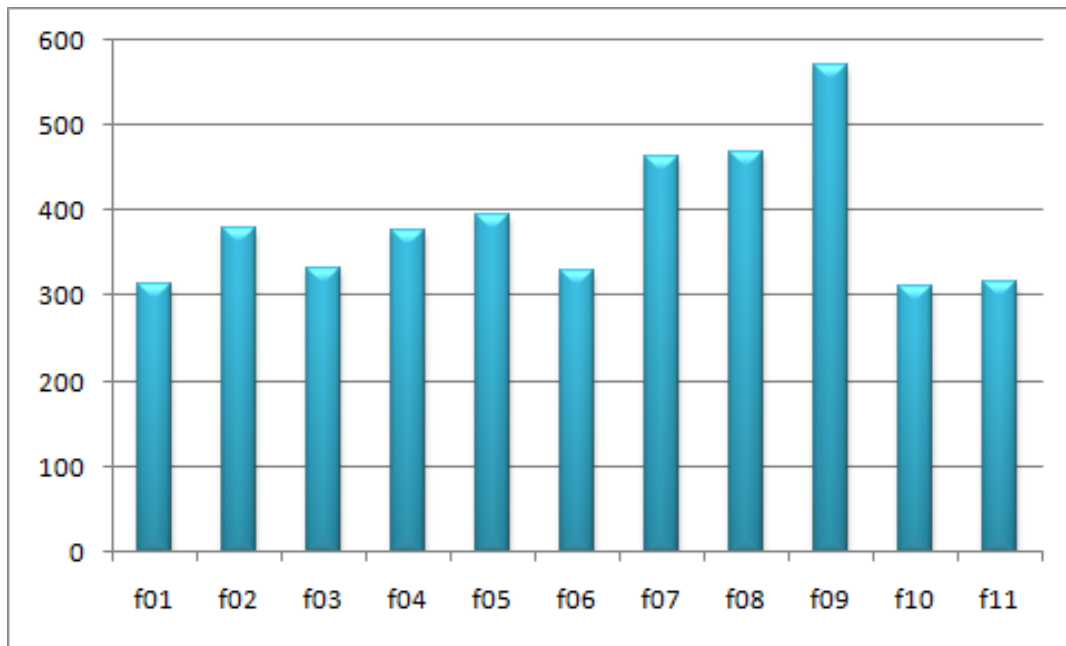


Figure 27. Histogramme de variation de la teneur en Sulfates des eaux de CI

3.11. Les bicarbonates (HCO₃⁻)

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère, ainsi que la teneur en CO₂ de l'air et du sol dans le bassin d'alimentation

Les ions bicarbonates se forment à partir de la dissolution des minéraux carbonatés par des eaux chargées en gaz carbonique. son équation générale est donnée comme suit :



Le teneur en bicarbonates mesurée dans le secteur d'étude varie entre 156.16 mg/l (forage 07) et 302.56 mg/l au niveau du forage 09. Pour l'ion de bicarbonate il n'existe pas une valeur limite dans les normes Algérienne d'eau potable.

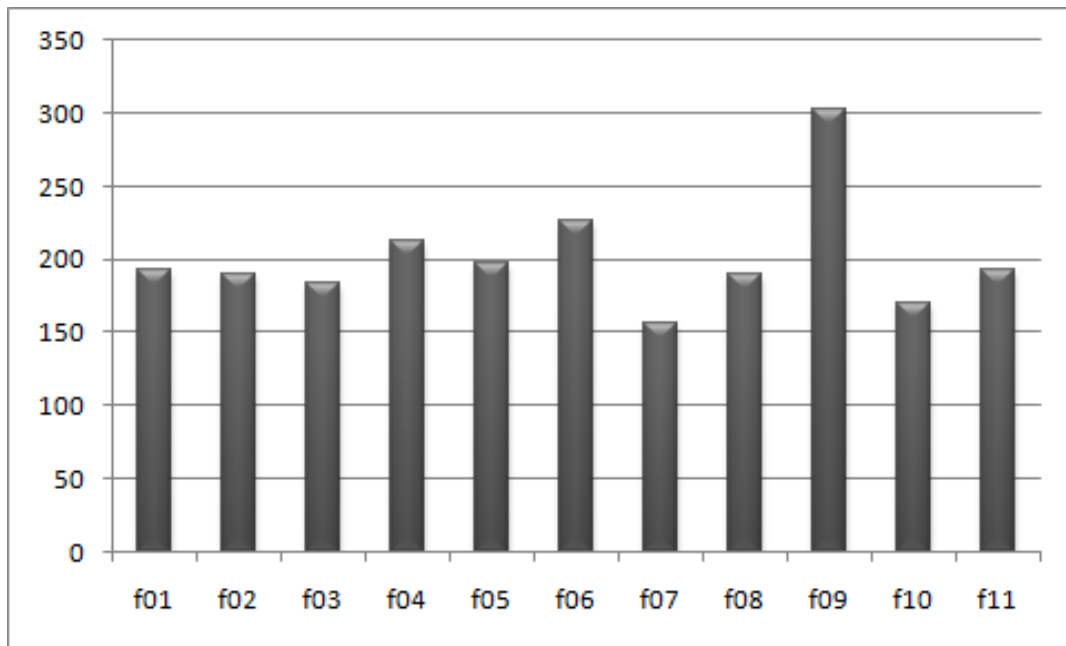


Figure 28. Histogramme de variation de la teneur en bicarbonates des eaux de CI

3.12. Les Nitrates (NO_3^-)

L'ion de nitrate est la forme oxydée de l'azote, les sources naturelles de nitrate sont principalement la pluie et les interactions avec le sol et la végétation, l'origine anthropiques des nitrates sont les engrais et les rejets domestiques.

La concentration des nitrates dans les eaux du CI du secteur d'étude sont faibles, varient entre 9.00 et 23.00 mg/l. Elles sont inférieures à la valeur limite de la norme algérienne d'eau potable (50 mg/l).

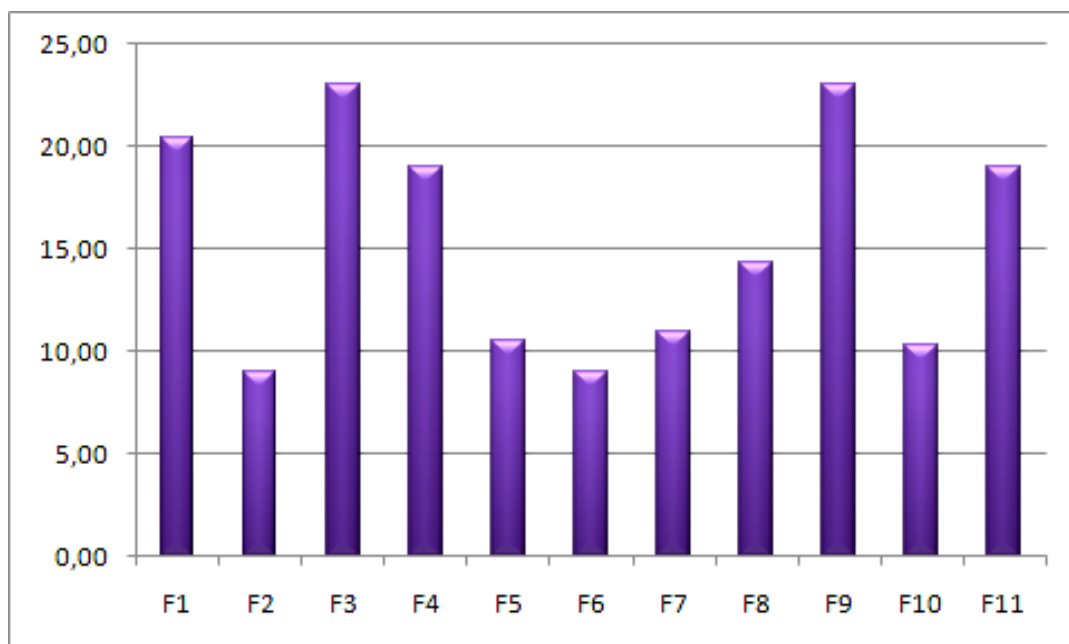


Figure 29. Histogramme de variation de la teneur Nitrates des eaux de CI

4. Faciès chimique

Le but principal de la représentation graphique de Schöeller-Berkaloff et Piper est de permettre une analyse rapide des résultats pour caractériser facilement l'eau et son faciès.

4.1. Digramme de Piper

Ce diagramme nous permet de représenter des anions et des cations sur deux triangles plus précisément, son côté témoin des teneurs relatives de chaque ion principal par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative des résultats d'analyse sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. Le losange associé à ces deux triangles est reportée par l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Le point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon et sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

La représentation graphique des résultats d'analyses chimiques des eaux du CI sur le diagramme de piper donne trois faciès chimiques : sulfaté calcique 27.28%, sulfaté sodique 54.54% et chloruré sodique 18.18%.

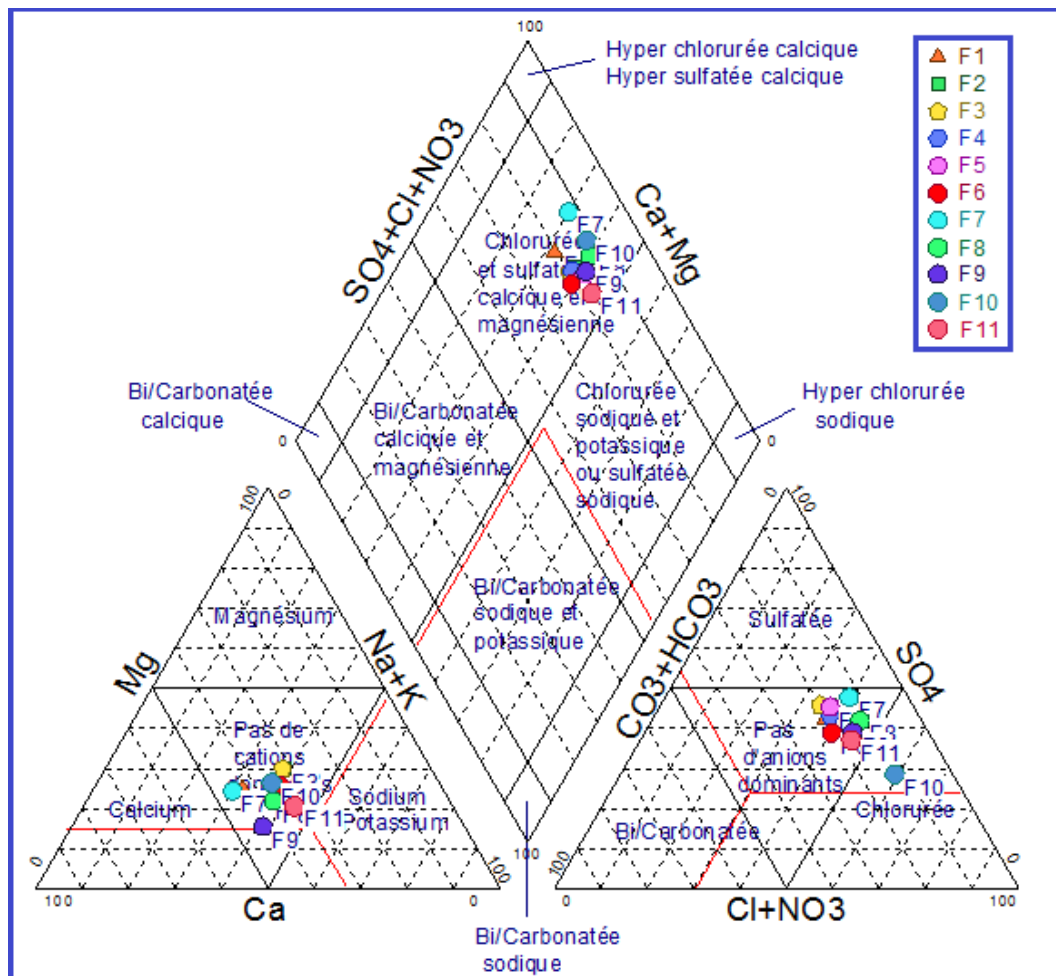


Figure 30. Faciès chimique des eaux du CI selon le diagramme de Piper

4.2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff permet de représenter les faciès chimiques de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est représentée par une ligne verticale sur une échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points représentant les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau à teneur variable en minéraux, mais dont les proportions d'éléments dissous sont les mêmes, donnera une famille des lignes brisées parallèles entre elles. Quand les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

Le diagramme suivant représente trois faciès chimiques : sulfaté calcique sulfaté sodique et chloruré sodique. On remarque bien que les 11 forages présentant presque la même signature hydro-chimique.

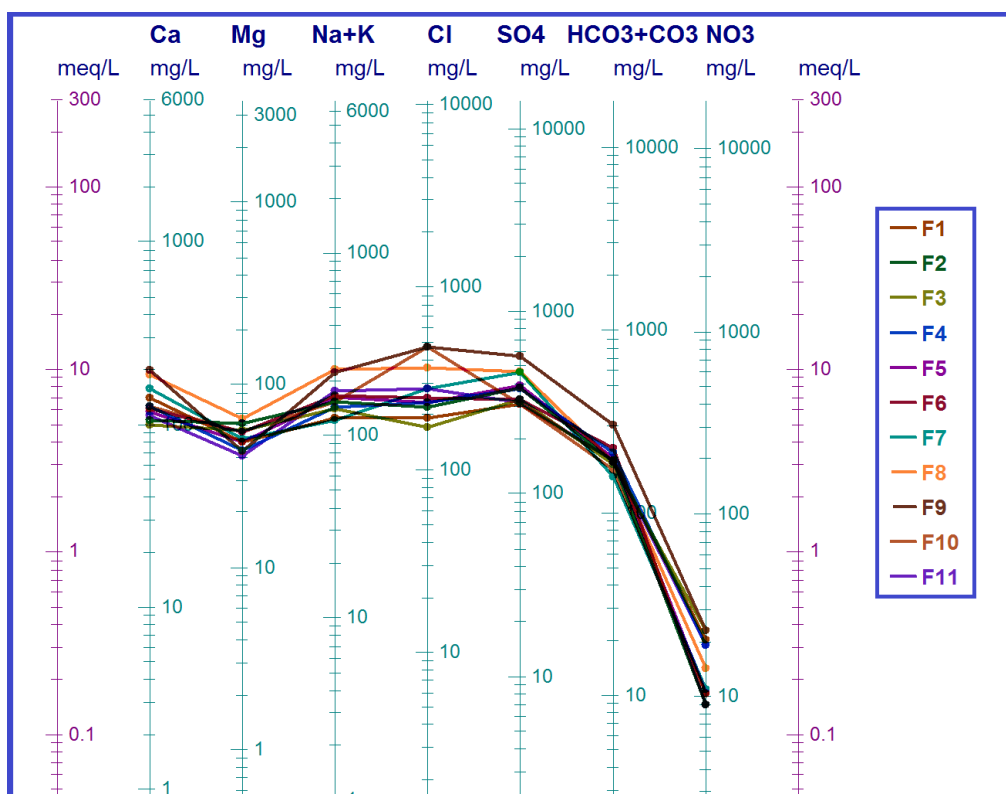


Figure 31. Faciès chimique des eaux du CI selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff

5. Aptitude de l'eau à la consommation humaine

Les eaux de la nappe de Continentale Intercalaire de la région de Metlili sont destinées à l'alimentation en eau potable de la ville de Ghardaïa. Pour cette raison nous avons utilisé la méthode l'indice de qualité d'eau (WQI) pour évaluer l'aptitude des eaux de CI à la consommation humaine.

Tableau 13. Statistiques élémentaires des paramètres physico-chimiques mesurées pour les eaux de l'aquifère CI

Paramètre	N.Alg 2011	Min	Max	Moy	Ecart-type
Ca ⁺² (mg/l)	75-200	99,398	198,796	135,325	32,428335
Mg ⁺² (mg/l)	30-150	28.188	40,824	65,124	7,7616276
Na ⁺ (mg/l)	200	112.5	222.22	153,58273	35,402312
K ⁺ (mg/l)	12	6.66	11.81	8,8327273	1,8269926
Cl ⁻ (mg/l)	250-500	170.174	472.233	286,97546	104,50329
SO ₄ ⁻² (mg/l)	250-400	310.72	569.585	386,48267	82,888118
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	120	156.16	302.56	201,41091	38,384289
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	9.00	23.00	15.13	5.65463607
pH	6.5-8.5	7.38	8.05	7,7754545	0,2756579
CE (µS /cm)	2800	1399	2410	1792,4545	351,63088

5.1. La dureté totale TH

Elle traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium exprimée en degré français (°F), Pour la région d'étude il est compris entre 448 °F c'est la valeur minimale au niveau du forage 11 et sont valeur maximale sont 732 au niveau de forage 08. A partir du tableau 14 de la classification de dureté de l'eau, on remarque que les eaux de continental intercalaire sont très dures.

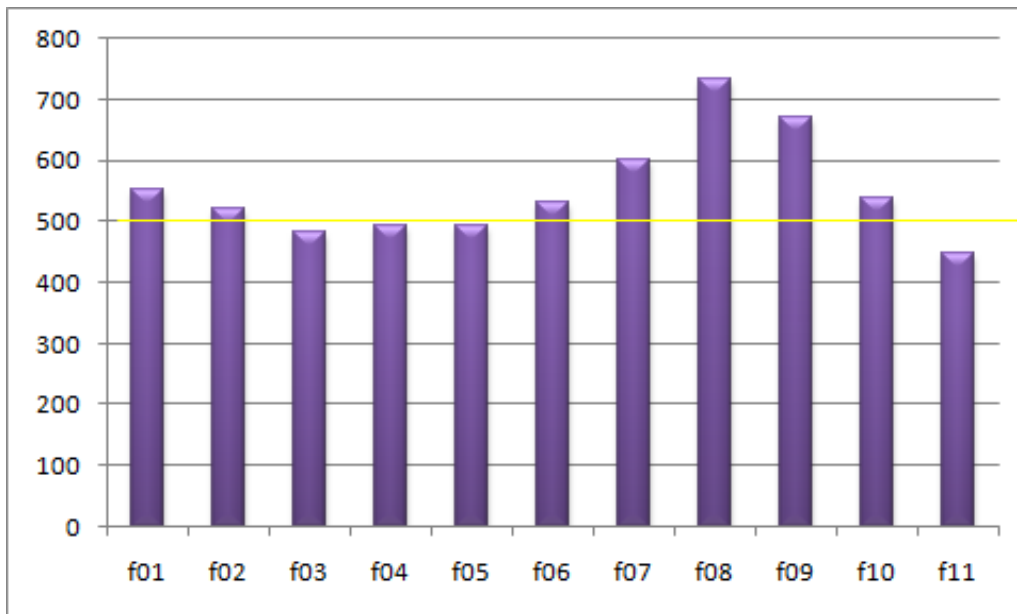


Figure 32. Histogramme de variation de la dureté totale des eaux de CI

Tableau 14. Tableau de la classification de la dureté

TH	Classification
0_75°F	douce
75_10°F	Moyennement douce
150_300°F	dure
>300°F	Très dure

5.2. Application de la méthode de l'indice de qualité d'eau (WQI)

5.2.1 Définition de la méthode WQI

C'est une technique mathématique importante utilisée pour évaluer la qualité de l'eau et délimiter de son aptitude en fonction des usages de consommation aussi est le transformer de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en un nombre unique qui représente un niveau de qualité de l'eau. Qui a été calculé pour évaluer l'influence des activités naturelles et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres chimiques des eaux souterraines.

5.2.2. Historique de la méthode WQI

L'un des premiers indices de qualité de l'eau était l'indice saprophytes (SI) en Royaume- Uni (Snow, 1854) qui est définie comme un degré de préciser le chargement de la matière organique facilement dégradable dans des eaux). Le SI comme une mesure du niveau de la pollution organique a donc été utilisé pour classer la qualité de l'eau par divers pays européens. En 1945 Horton fait un développement numérique pour évaluer la qualité de l'eau par un indice de qualité de l'eau IQE basé sur huit paramètres (Hounslow.A.W, 1995), IQE à été exprimé en :

$$IQE = \left(\frac{w_1 S_1 + w_2 S_2 + w_3 S_3 + \dots + w_n S_n}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_n} \right) m_1 m_2$$

- **S** : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique allant de 0 à 100.
- **w** : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.
- **n** : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.
- **m₁** : est un facteur de correction de température (0,5 lorsque la température est inférieure à 34 ° C, sinon 1).
- **m₂** : est le facteur de correction de la pollution (0,5 ou 1).

⇒ **Modèle IQE d'Amérique du Nord (1970)**

C'est une autre version a été proposée et améliorée par (**Brown et al, 1970**) en collaboration avec l'institut de la National Sanitation Fondation (NSF) des Etats-Unis. Cet indice appelée IQENFS, en se basant sur 11 paramètres qu'il est exprimé sous forme une équation mathématique suivante :

$$IQE = \sum_{i=1}^n w_i S_i$$

- **S** : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique ou allant de 0 à 100.
- **w** : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.
- **n** : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

⇒ **Modèles IQE d'Europe (1970)**

L'indice a été encore amélioré sous la forme d'un modèle additif pondéré qui a été préconisé pour une utilisation en Angleterre (Tyson JM, House MA, 1989). Le modèle additif pondérée prend la forme :

$$IQE = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (w_i S_i)^2$$

- **S** : le nombre de notes affectées à un paramètre caractéristique ou allant de 0 à 100.
- **w** : sont des facteurs de pondération de 1 à 4.
- **n** : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

L'autre contribution européenne importante pour le calcul d'une IQE est venue de l'Espagne (Bascaron, 1979) l'équation suivante a été utilisée :

$$IQE = \frac{(\sum_{i=1}^n C_i \times P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

- **C_i** : est la valeur d'indice de paramètres assigné après normalisation.
- **P_i** : est le poids affecté à des paramètres (son importance pour utilisation de l'eau).
- **n** : représente un nombre de paramètres utilisés pour évaluer l'IQE.

⇒ **Modèle d'IQE (1980)**

Ce modèle a été dérivé par (Bhargava, 1985) alors que les idées de la notion d'évaluation de l'IQE sont avancées par (Brown et al, 1970) pour classer la qualité de l'eau à l'alimentation en eau potable, cependant il a utilisé la forme d'un modèle multiplicatif qui suit :

$$IQE = \left[\prod_{i=1}^n f_i \right]^{1/n}$$

- f_i : c'est la valeur de la fonction de sensibilité de la variable (paramètre) qui comprend l'effet de la concentration et du poids de la variable i dans l'utilisation, varie entre 0 et 1.
- n : c'est le nombre de variables prises en compte.

⇒ **Modèle d'IQE (1990-2000):**

La structure mathématique de l'indice de qualité de l'eau proposée par Brown et al. Durant les années 1970 a été développée en continuant l'apport supplémentaire de (Dojlido et al, 1994). Sous la forme d'une formule harmonique de la racine quadratique moyenne, ou simplement appelée la formule du modèle harmonique, qui a été exprimé en tant que :

5.2.3. Application numérique et interprétation

La méthode de l'WQI est le plus efficace et le plus utile pour décrire l'état d'une eau souterraine en utilisant seulement quelques paramètres physico-chimiques de qualité de l'eau. La méthode implique trois étapes simples :

L'évaluation de la potabilité des eaux du CT a été effectuée par la méthode de l'indice de la qualité d'eau potable (WQI) qui classe les eaux souterraines selon des paramètres standards. A travers le calcul de WQI, Dans la première étape, chacun des 11 paramètres (pH, TDS, Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) a un poids (W_i) en fonction de son importance relative dans la qualité globale de l'eau pour à des fins de consommation.

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i$$

- w_i : le poids de chaque paramètres selon son importance relative dans la qualité des eaux de boisson.
- W_i : le poids relatif.

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} * 100 \right)$$

- C_i : concentration de chaque paramètre.

Chapitre III : La qualité des eaux de CI de Metlili

- S_i : valeur limite de chaque paramètre fixé par les normes OMS.

La deuxième étape est une échelle d'évaluation de la qualité (q_i) pour chaque paramètre est attribué en divisant son concentration dans chaque échantillon d'eau par son norme selon les recommandations de WHO et le résultat est multiplié.

$$SI_i = w_i * q_i$$

lors de la troisième étape, SI est déterminé pour chaque paramètre chimique.

- W_i : le poids de chaque paramètres selon son importance relative ;
- q_i : notation de qualité pour chaque paramètres ;
- SI_i : le sous-indice du paramètre i.

$$WQI = \sum SI_i$$

Tableau 15. Les poids relatifs des paramètres physico-chimiques

Paramètre	N-Alg 2011	Poids (wi)	Poids relatif
Ca^{++}	100	2	0.0571
Mg^{++}	50	1	0.0285
Na^+	200	2	0.0571
K^+	12	2	0.0571
Cl^-	250	3	0.0857
SO_4^-	250	4	0.1142
HCO_3^-	120	3	0.0857
NO_3^-	50	5	0.1428
<i>Cond</i>	1500	4	0.1142
<i>pH</i>	8.5	4	0.1142
<i>TDS</i>	500	5	0.1428
NO_3^-	50	5	0.114285
<i>Somme</i>	/	35	1

Chapitre III : La qualité des eaux de CI de Metlili

Les calculs de l'indice de qualité des eaux des échantillons d'eau selon le tableau 16 sont variés entre 100.05 à 158.34. Les résultats montrent que les eaux de l'aquifère de continental intercalaire appartiennent de la catégorie Médiocre à consommation d'eau potable.

Tableau 16. Classification des eaux souterraines selon la méthode WQI

Classes de l'indice DWQI	Nombre d'échantillon	Pourcentage d'échantillon (%)
Excellente (<50)	0	0
Bonne (50 – 100)	0	0
Médiocre (100 – 200)	11	100
Très Médiocre (200 – 300)	0	0
Non potable (>300)	0	0

6. Qualité des eaux de la nappe de CI pour l'irrigation

Aptitude de l'eau à l'utilisation agricole est déterminée par l'étude chimique des eaux pour l'irrigation afin de connaître le danger qui représentent certains éléments chimique pour les plantes et le sol saturés en sodium, la classification des eaux en fonction du pourcentage du sodium absorbé par l'eau (méthode de Richards).

La conductivité électrique mesurée dans les échantillons des eaux de continental intercalaire varie entre 1399 et 2410 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Selon le diagramme de Richards, les eaux du CI dans notre secteur d'étude sont situées dans deux classes :

- **Classe C₃S₁** : Concerne les forages 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 et 09 ,10 ,11. La qualité d'eaux est admissible, l'eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes, la salinité doit être contrôlée.
- **Classe C₄S₁** : Concerne le forage 08, La qualité est médiocre, les eaux sont fortement minéralisées pouvant convenir à l'irrigation des certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

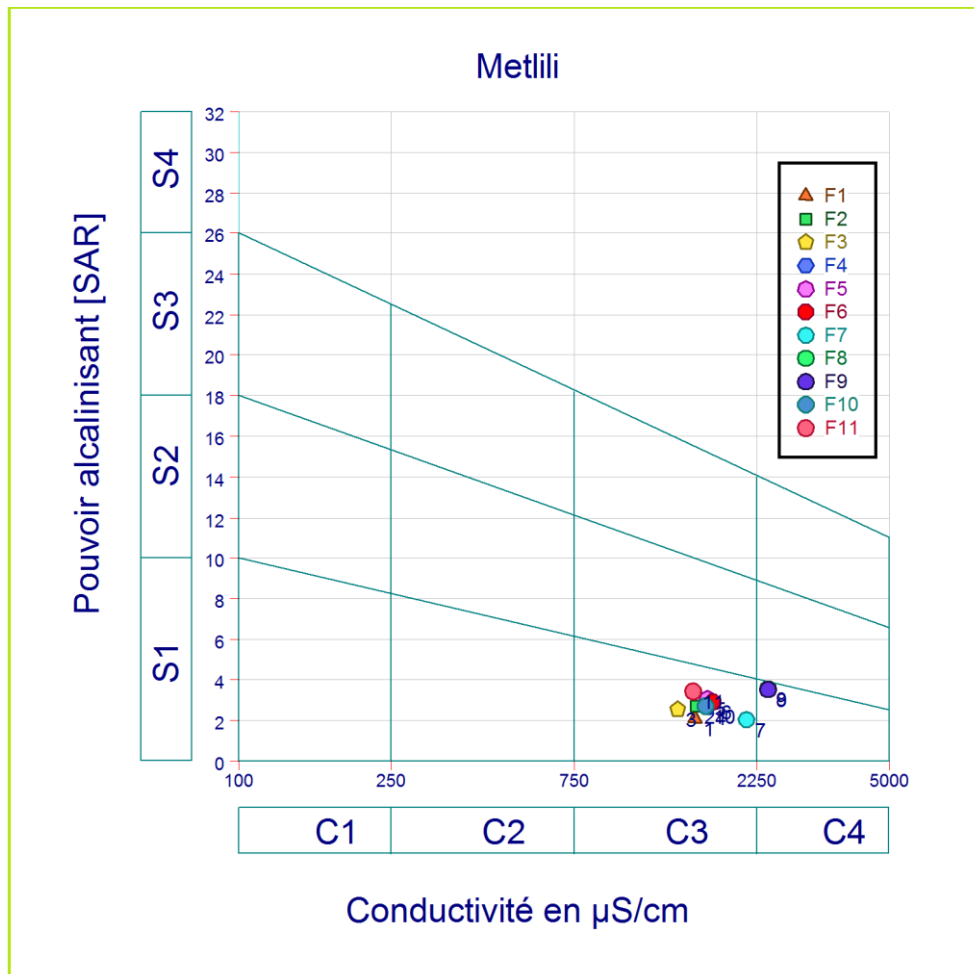


Figure 33. Evolution du SAR en fonction de la conductivité des eaux de l'aquifère de CI

D'après le diagramme, nous ne concluons que les eaux du CI dans notre secteur d'étude des forages (01 02 03 04 05 06 et 11) sont bonnes pour l'irrigation. Par contre les eaux du CI dans les forages 07 et 08 ; 11 sont médiocres.

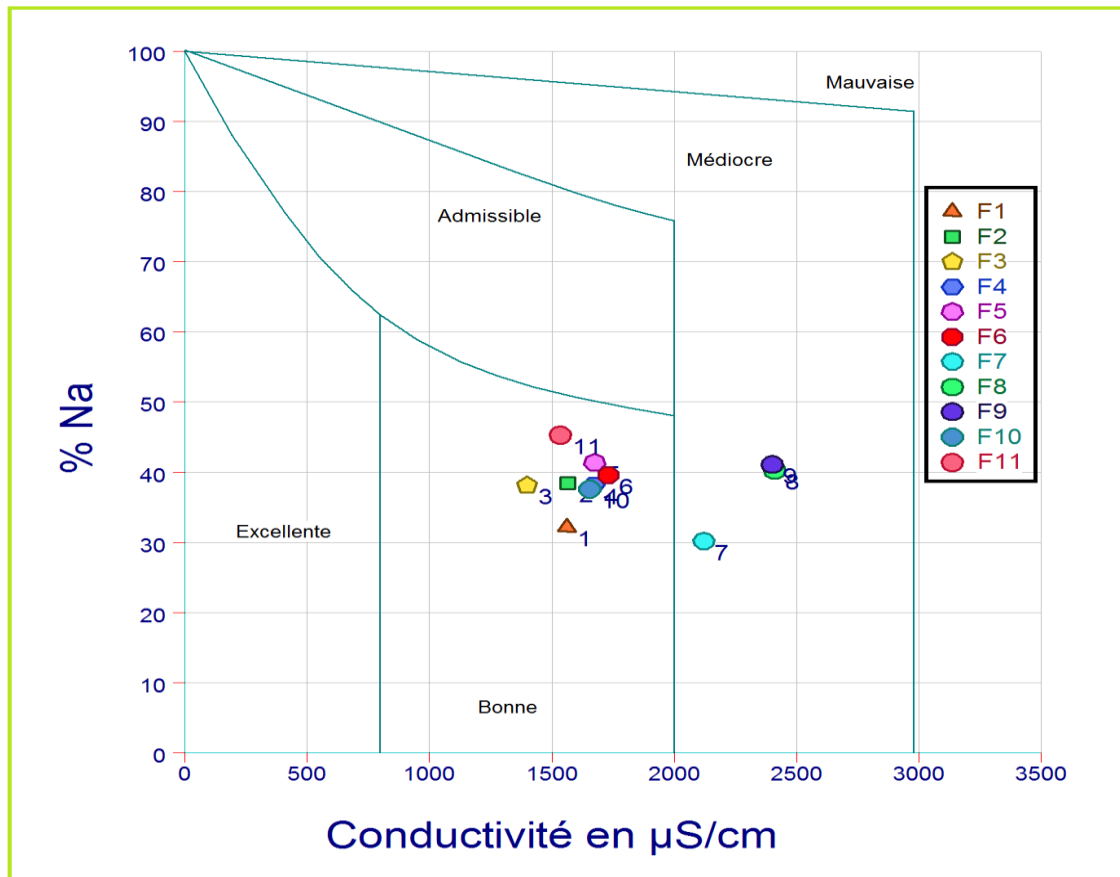


Figure 34. Diagramme de Wilcox

6.1. Rapport d'adsorption du sodium (SAR)

L'indice (SAR) est le rapport d'adsorption du sodium qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. La relation est donnée sous la forme :

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

Tableau 17. Variation de SAR

SAR	Qualité	Nombre d'échantillon
<10	Excellente	11
10 –18	Médiocre	0
>26	Mauvaise	0

6.2. Le pourcentage de Sodium (%Na)

C'est un paramètre très utile dans l'irrigation, il est calculé à l'aide du pourcentage de sodium. L'existence de sodium a des effets extrêmement néfastes sur le sol qu'il permet d'écraser la

perméabilité des sols, La teneur du Sodium des eaux de CI sont exprimés en méq/l par l'équation suivante de (Eaton 1950), il se range dans la catégorie sans risque avec un pourcentage 100%.

$$\text{Na\%} = \frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{(\text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})} \times 100$$

Tableau 18.

Tableau 18. Variation de pourcentage sodium

Na	Qualité	Nombre d'échantillon
<60	Sana risque	11
>60	Douteux	0

6.3. Carbonate de sodium résiduel (RSBC)

Le carbonate de sodium résiduel RSC est l'une des méthodes les plus importantes et les plus utilisées pour calculer la pertinence des eaux souterraines. L'effet dangereux des carbonates et des bicarbonates a été calculé à l'aide de l'équation de Gupta (1987) suivante, détectant les attributs des eaux souterraines pour l'usage agricole. Tous les échantillons sont inférieure de 5 méq/l qui sont classés de catégorie satisfaisant :

RSBC = HCO_3^- - Ca en méq/l.

Tableau 19. Variation de carbonate de sodium résiduel

RSCB	Qualité	Nombre d'échantillon
<5	satisfaisant	11
5 - 10	Médiocres	0
>10	insatisfaisant	0

6.4. Rapport de Kelly (KR)

Le KR (rapport de Kelley), c'est un rapport estimé pour évaluer la qualité des eaux vers l'irrigation Kelley (1963), tous les échantillons des eaux du CT sont classée de catégorie adapté avec pourcentage de 100 %, il est calculé en méq/l par cette formule :

$$\text{KR} = \frac{\text{Na}^+}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}$$

Tableau 20. Variation de Rapport de Kelly

KR	Qualité	Nombre d'échantillon
<1	Adapté	11
1 – 2	Peu adapté	0
>2	Inappropriée	0

6.5. Indice de perméabilité (PI)

La perméabilité du sol dépend de plusieurs paramètres tels que: la nature du sol, le sodium et le bicarbonate, ces paramètres défini par la formule du PI (Indice de perméabilité), elle est développé par le Doneen (1962) comme un indicateur de qualité agriculture, selon le tableau les eaux sont rangées de catégorie excellente avec 100%.

$$PI = \frac{[Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}]}{[Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}]} \times 100$$

Tableau 21. Variation de Rapport d'Indice de perméabilité

PI	Qualité	Nombre d'échantillon
> 75	Excellente	11
75-25	bonne	0
< 25	Inappropriée	0

6.6. Potentiel de la salinité (PS)

La perméabilité du sol dépend de plusieurs paramètres tels que: la nature du sol , le sodium et le bicarbonate, ces paramètres défini par la formule du PI (indice de perméabilité), elle est développé par le Doneen (1962) comme un indicateur de qualité agriculture, selon le tableau 60 % des eaux sont rangées dans la catégorie bonne et 40 % sont inappropriées pour la consommation.

$$PS = Cl^- + \sqrt{SO_4^{2-}}$$

Tableau 22. Variation de Potentiel de la salinité

PS	Qualité	Nombre d'échantillon
> 5	Excellente	0
5-10	bonne	6
< 10	Inappropriée	5

6.7. Risque du magnésium (MR)

Le MR (risque du magnésium), c'est un rapport estimer l'existence des forte teneurs du magnésium dans l'eau qui sont dégradés la qualité du sol par l'alcalinité, il est exprimé par l'équation du Raghunath (1987), donc les eaux du CI sont caractérisées par une catégorie convenable pour l'irrigation avec aucun risque.

$$MR = \frac{Mg^{2+}}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})} \times 100$$

Tableau 23. Variation de Risque du magnésium

MR	Qualité	Nombre d'échantillon
<50	Convenable	11
>50	Inconvenable	0

7. Conclusion

L'étude hydro-chimique des eaux de la nappe du continental Intercalaire (CI) sont dominées par trois types de facies : sulfaté calcique 27.28%, sulfaté sodique 54.54 % et chloruré sodique 18.18%. La concentration des éléments chimique se trouvent dans les limité acceptable pour l'eau de consommation en référence aux normes algériennes de potabilité. L'utilisation de la méthode de l'indice de qualité d'eau (IQE) montre que ses eaux sont de qualité médiocre pour l'alimentation en eau potable.

L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation est basée sur les méthodes de Richards et Wilcox, la conductivité électrique (CE) et l'indice de perméabilité (IP), Carbonate de sodium résiduel, %Na, Rapport de Kelly (KR), Potentiel de la salinité (PS), Risque du magnésium (RM). L'étude de ces paramètres montre que les eaux du CI sont qualité d'eaux est admissible dans la majorité des forages analysés.

Conclusion générale

Conclusion générale

La région de Metlili fait partie de la wilaya de Ghardaïa et s'étend sur une superficie totale de 5010 Km². C'est une zone où la culture oasienne représente la principale activité de ses habitants estimée à 54.041 h. La surface de la zone d'étude présente les éléments géomorphologiques suivants ; les oueds, les Hamadas, la Chebka et les Aregs.

L'étude climatique montre que la région est soumise à un climat typiquement saharien, caractérisé par son aridité, marqué notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, par une grande amplitude thermique et des températures très élevées.

La zone d'étude présente la succession de formations géologiques suivants, de bas en haut, on trouve ; l'Albien à une profondeur de 500 mètres qui représente le réservoir de l'aquifère de CI, Cénomaniens leur épaisseur varie entre 300 à 500 mètres et Turonien qui constitue le plateau rocheux de la dorsale du M'zab. Le Quaternaire avec une épaisseur variant entre 20 à 35 mètres. Les deux dernières formations abritant la nappe phréatique.

L'approvisionnement en eau dans la région de Metlili est assuré par les eaux souterraines. L'aquifère de continental intercalaire est le principal réservoir exploité, on compte l'existence de 100 forages donnent un débit de 34126 m³/j. Ce débit est orienté à la satisfaction de l'alimentation en eau potable (AEP), de l'irrigation et l'alimentation en eau pour l'industrie.

La région de Metlili fait partie de système aquifère de Sahara septentrional (SASS). L'étude des données de forages d'eau montre l'existence de deux aquifères, à savoir ; l'aquifère superficiel constitué de calcaires Turonien et les alluvions de quaternaire et l'aquifère du continental intercalaire (CI), composé de sables fins à intercalations d'argiles d'âge Albien. Les cartes piézométriques de la continentale intercalaire montrent que l'écoulement de la nappe est de Nord-Ouest vers l'Est. Les courbes isopièzes sont déformées au niveau de la ville de Metlili à cause de la surexploitation de la nappe. La comparaison des cartes piézométriques de 2010 et 2018 montre une diminution du niveau piézométrique au cours des dernières années oscille entre 4.5m et 16m.

L'étude hydro-chimique des eaux de la nappe du continental Intercalaire (CI) sont dominées par trois types de faciès : sulfaté calcique 27.28%, sulfaté sodique 54.54 % et chloruré sodique 18.18%. La concentration des éléments chimiques se trouvent dans les limites acceptables pour l'eau de consommation en référence aux normes algériennes de potabilité. L'utilisation de la méthode de l'indice de qualité d'eau (IQE) montre que ses eaux sont de qualité médiocre pour l'alimentation en eau potable.

L'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation est basée sur les méthodes de Richards et Wilcox, la conductivité électrique (CE) et l'indice de perméabilité (IP), Carbonate de sodium

Conclusion générale

résiduel, %Na, Rapport de Kelly (KR), Potentiel de la salinité (PS), Risque du magnésium (RM). L'étude de ces paramètres montre que les eaux du CI sont de qualité admissible dans la majorité des forages analysés.

Les eaux de CI nécessitant un traitement adoucissant avant l'utilisation pour AEP.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

1. **ACHOUR 2014** : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : Cas de la vallée du M'zab (Ghardaia - Algérie). Département des Sciences de la terre, université d'Oran. Magister.155.
2. **ADE 2020** : Algérienne des eaux, rapport interne d'analyse des eaux, willaya de Ghardaïa.
3. **ANRH de Ghardaïa 2018** : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe Albienne dans la wilaya de Ghardaïa.
4. **ANRH de Ghardaïa** : Gestion des ressources en eau souterraine dans la région de Ghardaïa.
5. **ANRH, 2012** : Agence nationale des ressources hydrauliques, Inventaire des points d'eaux de la wilaya de Ghardaïa, Algérie.
6. **Bascaron M., (1979)**, Establishment of a methodology for the determination of water quality,
7. **BENGUELIA Rabie et HADJ BRAHIM Abla en 2018** : étude hydrogéologique de continental intercalaire dans la région de Ghardaïa. Département des Sciences de la terre université d'Ouargla, 86p.
8. **Bhargava, 1985** (pollution Control), Div. Of Environmental Engrg, Département Of Civ. Engrg. Univ. Of rookee, Rookree 247667 U.P .India.
9. **Brown, R. M:** McClelland, N.I., Deininger, R.A., and Tozer, R.Z. 1970. A water quality index-do we dare? Water & Sewage Works. 117, 339-343.
10. **Bulletin Information Medio Ambiente, 9, 30-51** : Département des Sciences Géologiques. Univ l'Université de Batna 2.p137+ réf 148.
11. **Busson, G. (1972)**. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Paris: 464.
12. **Dojlido, J., Raniszewski, J. and Woyciechowska, J. (1994)**. Water quality index. Application for rivers in Vistula River Basin in Poland. Water Science and Technology, 30(10), 57-64
13. **Doneen L D (1964):**"Water Quality for Agriculture", Department of Irrigation, University of California, Davis, 48 p.
14. **DPSB 2018:** Monographie De la wilaya de Ghardaia 2018, Ghardaia.
15. **Dussart, 1966Bermond et Vuichard, 1973:**

Références bibliographiques

16. **Gupta SK, Gupta IC (1987)**: Management of Saline Soils and Water. Oxford and IBH Publ. Co., New Delhi, India, 399p.
17. **Hamlaoui Nadia en 2019**: étude des ressources hydriques de la région d'Adrar (Sahara Algérien univ Ouargla p 69).
18. **Horton, R. K. (1965)**: An index number system for rating water quality. Journal of Water Pollution Control Federation, 37, 300–306.
19. **Kelly WP (1940)**: Permissible composition and concentration of irrigation waters. Proc Amer Soc Civ Engin 66:607–613
20. **Mansour Achour et Ouaisi Sekouti, 2003**: Etude hydrologique de la nappe phréatique de la vallée de Metlili –Ghardaïa.
21. **O.N.M 2021** : bulletins de météorologie, Station Ghardaïa.
22. **OSS (Observatoire Sahara et Sahel). (2003)** : Système aquifère du Sahara septentrional: gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie, 322p.
23. **OULD BABA SY, M. (2005)** : Recharge et pale-recharge du système aquifère du Sahara septentrional. Département de géologie, université de Tunis el Manar. Doctorat: 271.
24. **Piper AM (1944)**: Graphical interpretation of water analysis. Transactions of the American Geophysical Union. 25:914 -923.
25. **Raghunath HM (1987)**:Groundwater. Wiley Eastern Ltd. Delhi.
26. **Richards LA (1954)**: Diagnosis and improvement of saline alkali soils. Washington, DC: US Department of Agriculture, Handbook no. 60.
27. **RODIER, 1984**:l'Analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires eau de mer)..Ed, 7. 1383p
28. **Rodier., J, 2009** : L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. 1579.
29. **Schöeller H (1962)** : Les eaux souterraines : Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Masson et Cie. Editions, 642p.
30. ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage, Forage d'Oued 03 (2010), Metlili.
31. ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage, Forage de L'adjadja (2009), Metlili.
32. ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage, Forage de Souareg (2010), Metlili.
33. ANRH Ghardaïa Rapport de fin de sondage, Forage de Hachana (2009), Metlili.
34. Article scientifique: Sécheresse 2007; 18(1):13-22