

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE HASSI LAFHEL (GHARDAIA)

Présenté par :

ROUAS Ahmed

BENDANIA Mohammed Lahcene

Soutenu publiquement le : 24 /06/2018

Devant le jury :

Président : Mr. BOUSELSAL Boualem M.C. A Univ. Ouargla

Promoteur: Mr. GUERRADI Hocine M. A. A Univ. Ouargla

Examineur: Mme. BOUCHAGGOURA.L M. A. A Univ. Ouargla

:

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude et mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

- Je remercie, en premier lieu ALLAH qui m'a donné la bonne santé, la volonté et la patience tout au long de mes études.
- Je tiens à remercier avec gratitude mon encadreur Guerradi Hocine, de m'avoir guidé et suivi tout au long de ce travail, de m'avoir conseillé, encouragé et aussi, prodigué de précieux conseils. Ses critiques fructueuses ont été, pour moi, une source d'enrichissement. Son aide et sa disponibilité m'ont permis d'avancer dans le travail et de finaliser cette étude.
- Je remercie aussi l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H et Hydraulique de Ghardaïa : Mr Achour .Met Mr Sanjer, pour leurs aide et encouragements.
- Je remercie d'abord Mr Hacini, Mr Omar et Mr Zeddouri Azeiz, l'ensemble du personnel de laboratoire du Centre de Recherche Université KASDI MERBAH-Ouargla, pour son aide.
- Je remercie également tous les enseignants qui ont contribué à ma formation surtout et Mr Djidel et Mr Bousseal pour son soutien et son aide morale, qui m'a été très précieux.
- Sans oublier ma famille pour le soutien exemplaire moral et matériel continu tout au long de mon cycle.
- Je remercie vivement l'ensemble du personnel du département de science de la terre et l'univers.



Dédicace

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 tous mes enseignants qui m'ont aidé à terminer mon travail ;

A tous mes amis et collègues de ma promotion Master II ;

Rouas Ahmed



A decorative scroll with a green and yellow gradient background. The scroll is adorned with various floral and shell motifs. On the left side, there is a brown ribbon tied in a bow. On the right side, there is a vertical arrangement of red and white flowers. At the bottom left, there is a large, detailed illustration of a red scallop shell with two pearls inside, surrounded by more flowers and a pearl necklace. The scroll is unrolled, showing the text in the center.

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail
À ma très chère mère source de tendresse
À mon très cher père, qui m'encourage
Dans les instants délicats*

À mes chers frères

À mes chères sœurs

À toute ma famille

À tous mes amis

Bendania Med Lahcene

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydriques.

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe Terminal.

DA : Déficit Agricole.

DPAT : Direction de la planification et de l'Aménagement du Territoire.

ERESS : Etude de ressources en eau dans le Sahara septentrional.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

ETR : Evapotranspiration réelle.

OMS : Organisation Mondiale de la Sante.

ONM : Office National de la Météorologie.

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel.

RFU : Réserve Facilement Utilisable.

SAR : taux d'adsorption de sodium.

SASS : Système Aquifère du Sahara Septentrional.

TA: Titre Alcalimétrique.

TAC: Titre Alcalimétrique Complet.

TH : Titre Hydrotimétrique.

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Caractéristique Géographique de Station Climatologique.....	08
Tableau 02 :	Température Moyennes Mensuelles et annuelles de Ghardaïa (2007 - 2017).....	09
Tableau 03 :	Précipitations moyennes annuelle de Ghardaïa (2007- 2017).....	10
Tableau 04 :	Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (2007- 2017).....	10
Tableau 05 :	Les vitesses moyennes mensuelles des vents.....	11
Tableau 06 :	Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (2007 -2017)	12
Tableau 07 :	l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (2007 -2017)	13
Tableau 08 :	durée mensuelle de l'insolation totale (heures) station ONM Ghardaïa (Période 2007 a 2017)	13
Tableau 09 :	données de diagramme ombrothermique.....	14
Tableau 10 :	Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa dans la période (2007-2017)	15
Tableau 11 :	Nombre des forages et volumes d'exploitation par commune de la wilaya Ghardaïa.....	27
Tableau 12 :	Comparaison entre l'eau de la région et la réglementation nationale et de l'OMS.....	28
Tableau 13 :	classification d'une eau selon sa dureté.....	38
Tableau 14 :	les valeurs de TH (°F) et TAC (mg/l) pour les puits de la nappe phréatique.....	39
Tableau 15 :	les éléments chimique de la nappe phréatique et CI de Hassi Lafhel.....	39
Tableau 16 :	pourcentage d'erreur des analyses chimiques de la nappe phréatique.....	44
Tableau 17 :	classification des eaux selon stabler de la nappe phréatique.....	45
Tableau 18 :	classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R.....	47
Tableau 19 :	les valeurs de S.A.R pour les eaux de nappe phréatique.....	47
Tableau 20 :	les valeurs de TH (°F) et TAC (mg/l) pour les puits de la nappe Albien.	51
Tableau 21 :	pourcentage d'erreur des analyses chimiques de la nappe Albien.....	55
Tableau 22 :	classification des eaux selon stabler de la nappe Albien.....	56
Tableau 23 :	les valeurs de S.A.R pour les eaux de nappe CI.....	57

Liste des Figures

Fig.01 :	Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (Atlas. 2004).....	03
Fig.02 :	Carte géomorphologique de la région Ghardaïa (ANRH Ouargla. 2003)	05
Fig.03 :	Carte occupation de sol la région de Hassi Lafhel (logiciel surfer)	07
Fig.04 :	La Température Mensuelle de la région Ghardaïa.....	10
Fig.05 :	La précipitation mensuelle de la région de Ghardaïa.....	11
Fig.06 :	Les vitesses moyennes mensuelles des vents.....	11
Fig.07 :	L'Humidité mensuelles de la région de Ghardaïa.....	12
Fig.08 :	L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa.....	13
Fig.09 :	L'insolation mensuelle de la région de Ghardaïa.....	14
Fig.10 :	Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2007-2017).....	15
Fig.11 :	Les termes du bilan hydrique de la région de Ghardaïa.....	16
Fig.12 :	Réseau hydrographique de la région de Hassi Lafhel (Arc Gis	17
Fig.13 :	Coupe géologique schématique de la région du M'Zab.....	18
Fig.14 :	Carte géologique de la wilaya de Ghardaia.....	20
Fig.15 :	Limites du domaine SASS en Algérie.....	22
Fig.16 :	Coupe hydrogéologie NE-SW du bassin SASS (ERESS, 1972).....	23
Fig.17 :	Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003)	24
Fig.18 :	Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003)	25
Fig.19:	Les pourcentages des éléments chimique de la région de Hassi Lafhel.....	28
Fig.20 :	Colonne lithostratigraphie du forage agricole 1 Hassi Lafhel.....	30
Fig.21 :	Colonne lithostratigraphie du forage agricole 2 Hassi Lafhel.....	32
Fig.22 :	Carte piézométrique.....	33
Fig.23 :	Courbe des variations de la température des eaux dans la nappe phréatique..	36
Fig.24 :	Courbe des variations du pH des eaux dans la nappe phréatique.....	37
Fig.25 :	Courbe des variations de la conductivité des eaux dans la nappe phréatique.	37
Fig.26 :	Courbe des variations de résidu sec des eaux dans la nappe phréatique.....	38
Fig.27 :	Courbe des variations du Ca^{++} des eaux dans la nappe phréatique.....	40
Fig.28 :	Courbe des variations du Mg^{++} des eaux dans la nappe phréatique.....	40
Fig.29 :	Courbe des variations du Na^+ des eaux dans la nappe phréatique.....	41
Fig.30 :	Courbe des variations du K^+ des eaux dans la nappe phréatique.....	41
Fig.31 :	Courbe des variations du HCO_3^- des eaux dans la nappe phréatique.....	42
Fig.32 :	Courbe des variations du Cl^- des eaux dans la nappe phréatique.....	43
Fig.33 :	Courbe des variations du SO_4^{2-} des eaux dans la nappe phréatique.....	43
Fig.34 :	Classification des eaux par le diagramme de piper.....	45
Fig.35 :	Diagramme de classification des eau d'irrigation pour les puits de la nappe Phréatique.....	48
Fig.36 :	Courbe des variations de la température des eaux dans la nappe CI.....	49

Fig.37 :	Courbe des variations de la conductivité des eaux dans la nappe CI.....	50
Fig.38 :	Courbe des variations du pH des eaux dans la nappe CI.....	50
Fig.39 :	Courbe des variations de résidu sec des eaux dans la nappe CI.....	51
Fig.40 :	Courbe des variations du Ca^{++} des eaux dans la nappe CI.....	52
Fig.41 :	Courbe des variations du Mg^{++} des eaux dans la nappe CI.....	52
Fig.42 :	Courbe des variations du Na^+ des eaux dans la nappe CI.....	53
Fig.43 :	Courbe des variations du K^+ des eaux dans la nappe CI.....	53
Fig.44 :	Courbe des variations du HCO_3^- des eaux dans la nappe CI.....	54
Fig.45 :	Courbe des variations du Cl^- des eaux dans la nappe CI.....	54
Fig.46 :	Courbe des variations du SO_4^{2-} des eaux dans la nappe CI.....	55
Fig.47 :	Classification des eaux par le diagramme de piper.....	56
Fig.48 :	Diagramme de classification des eaux d'irrigation pour les forages de la nappe CI.....	57

SOMMAIRE

Introduction Générale	01
Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude.	
I- Présentation de la zone d'étude.....	02
I-1-1.Situation géographique	02
I-1-2. La géomorphologie	03
I-2.Contexte socio-économique	05
I-3- Occupation du sol.....	06
I-3.1. Structure des exploitations agricoles	06
I-3-1-1 Le système oasien de l'ancienne palmeraie.....	06
I-3-1-2 La mise en valeur.....	06
II- Contexte hydro-climatologique	08
II-1- Présentation de station climatologique.....	08
II-2- Analyse des paramètres climatiques.....	08
1-La température.....	08
2- Précipitation	10
2-1- Précipitations annuelles	10
2-2- Précipitations moyenne mensuelles.....	10
3- Le vent.....	11
4- Humidité	12
5- Evaporation	12
6 -L'insolation	13
7- Diagramme ombrothermique de Gaussen	14
8- Bilan hydrique	15
II-3- Hydrologie	16
III- Contexte Géologique	18
III-1- Géologie régionale.....	18
III-2- la géologie locale	19
1-Turonien	19
2- Cénomaniens	19
3- Albien	19
III-2-1- Tectonique	19
Conclusion	21
Chapitre II : Etude hydrogéologique	
II-1. Le système aquifère de Sahara septentrional (SASS)	22
1-Le Continental Intercalaire (CI)	23
Alimentation et zones d'exutoires de CI	24
2- Le Complexe Terminal (CT)	25
II-2. Présentation de système aquifère de la région de Ghardaïa	26
1- Les nappes phréatiques	26
2- La nappe du Continental Intercalaire (CI).....	26
II-3. L'interprétation des coupes hydrogéologiques dans la zone d'étude	26

II-3-1. La nappe phréatique	26
II-3-2. La nappe du Continental Intercalaire (CI)	27
II-4. Gestion des ressources hydrique de la région de Ghardaïa	27
II-4-1. Exploitation de la nappe CI	27
II-4-2- Qualité des eaux de la nappe du CI	27
II-5. logs lithostratigraphique des forages de la zone d'étude.....	30
II-5-1- le forage agricole 1 Hassi F'hel.....	30
II-5-2- le forage agricole 2 Hassi F'hel.....	30
II-6. Evolution piézométrique de CI de la zone d'étude	33
Conclusion	34

Chapitre III : Etude hydrochimique

III-Etude hydrochimique	35
III-1-Méthode d'échantillonnage	35
III-2 Etude hydrochimique de La nappe phréatique	36
III-2.1. les paramètres physicochimiques	36
III-2.1.1. les paramètres physiques	36
1-La température.....	36
2- Potentiel d'hydrogène (pH)	36
3-La conductivité électrique	37
4-Résidu sec	37
5-Dureté et alcalinité des eaux	38
III-2.1.2.Les Eléments chimique majeurs	39
a)Les cation	40
1-le Calcium (Ca^{++}).....	40
2- le Magnésium (Mg^{++}).....	40
3- le Sodium (Na^{+}).....	41
4- le Potassium (k^{+})	41
b) les anions	42
1- le Bicarbonate HCO_3^{-}	42
2- le chlorure cl^{-}	42
3- le sulfate SO_4^{-}	43
III-2-2 Balance ionique.....	44
III-2-3Les Facies Chimique	44
III-2-3-1Classification des eaux selon la formule caractéristique de STABLER	45
III-2-4. Qualités des eaux à l'irrigation	46
III-3. Etude hydrochimique de La nappe Albien.....	49
III-3-1. Les paramètres physico-chimiques	49
III-3-1-1.les paramètres physiques	49
1- Température	49
2 -conductivité	49
3 - Potentiel d'hydrogène (pH)	50
4-Résidu sec	50
5-Dureté et alcalinité des eaux	51

III-3-1-2. Les Eléments chimique majeurs.....	51
a) Les Cation	51
1-le Calcium (Ca^{++}).....	51
2- le Magnésium (Mg^{++}).....	52
3- le Sodium (Na^{+}).....	52
4- le Potassium (k^{+})	53
b) Les Anions	54
1- le Bicarbonate HCO_3^{-}	54
2- le chlorure cl^{-}	54
3- le sulfate SO_4^{-}	55
III-3-2 Balance ionique.....	55
III-3-3 Facies chimique	55
III-3-3-1Classification des eaux selon la formule caractéristique de STABLER	56
III-3-4. Qualités des eaux de la nappe CI à l'irrigation	57
Conclusion.....	58
CONCLUSION GENERALE	59
Référence Bibliographique	60

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est définie le facteur principale au développement de la région saharien. L'Algérie est contient la plus grande réserve d'eau dans le Nord d'Afrique, connue par le Continentale Intercalaire (Albien).

La région de Hassi Lafhel est une commune de la wilaya de Ghardaïa que situé au centre du Sahara Septentrional algérien, l'exploitation des eaux dans la zone d'étude est connue progression très important pendant les derniers années, a grande partie pour l'utilisation dans les domaines agricoles et pour la consommation.

L'objectif de ce travail est un étude hydrogéologique pour faire une approche sur cette exploitation et une synthèse sur l'importance de l'eau dans la région de Hassi Lafhel.

La méthode de ce travail est basé sur 3 chapitre qui sont :

- * Premier chapitre : généralités sur la zone d'étude (présentation de la zone d'étude, contexte hydro-climatologique et contexte géologique).
- * Deuxième chapitre : consiste à présenter les caractéristiques hydrogéologiques et de la nappe superficielle et la nappe de continental intercalaire de notre zone d'étude.
- * Troisième chapitre: Dans ce partie nous exposent les différentes méthodes et approches suivies pour étudier du chimisme des eaux en fonction Hydrochimie des eaux.

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE

I- Présentation de la zone d'étude :

I-1-1.Situation géographique:

La région de Ghardaïa est située au centre du Sahara Septentrional algérien à 600 Km au sud de la capitale Algérienne. Elle couvre une superficie de 86560 Km² et une population estimée à 387880 habitants répartie sur 13 communes (D.P.A.T .2009).

Ses coordonnées géographiques sont :

-Altitude 480 m.

-Latitude 32° 30' Nord.

-Longitude 3° 45' Est.

Elle est limitée :

- au Nord par la wilaya de Laghouat.
- au Nord-est par la wilaya de Djelfa.
- à l'Est par la wilaya d'Ouargla.
- au Sud par la wilaya de Tamanrasset.
- au Sud-ouest par la wilaya d'Adrar .
- à l'Ouest par la wilaya d'El-Bayad.

La zone d'étude (Hassi Lafhel) est une commune de daïra EL Mansoura de la wilaya de Ghardaïa en Algérie située à 113 km au sud de Ghardaïa (Fig.01). Elle est comprise entre latitude nord 31° 36' 19" et longitude Est 3° 40' 27". Elle couvre une superficie de 6715 km² (Consulté le 26/01/2011) et une population estimée à 3651 habitants.

Elle est limitée:

- Au Nord par daïra Mansourah.
- Au Sud par daïra d'El Meniaa.
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla.
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayad.

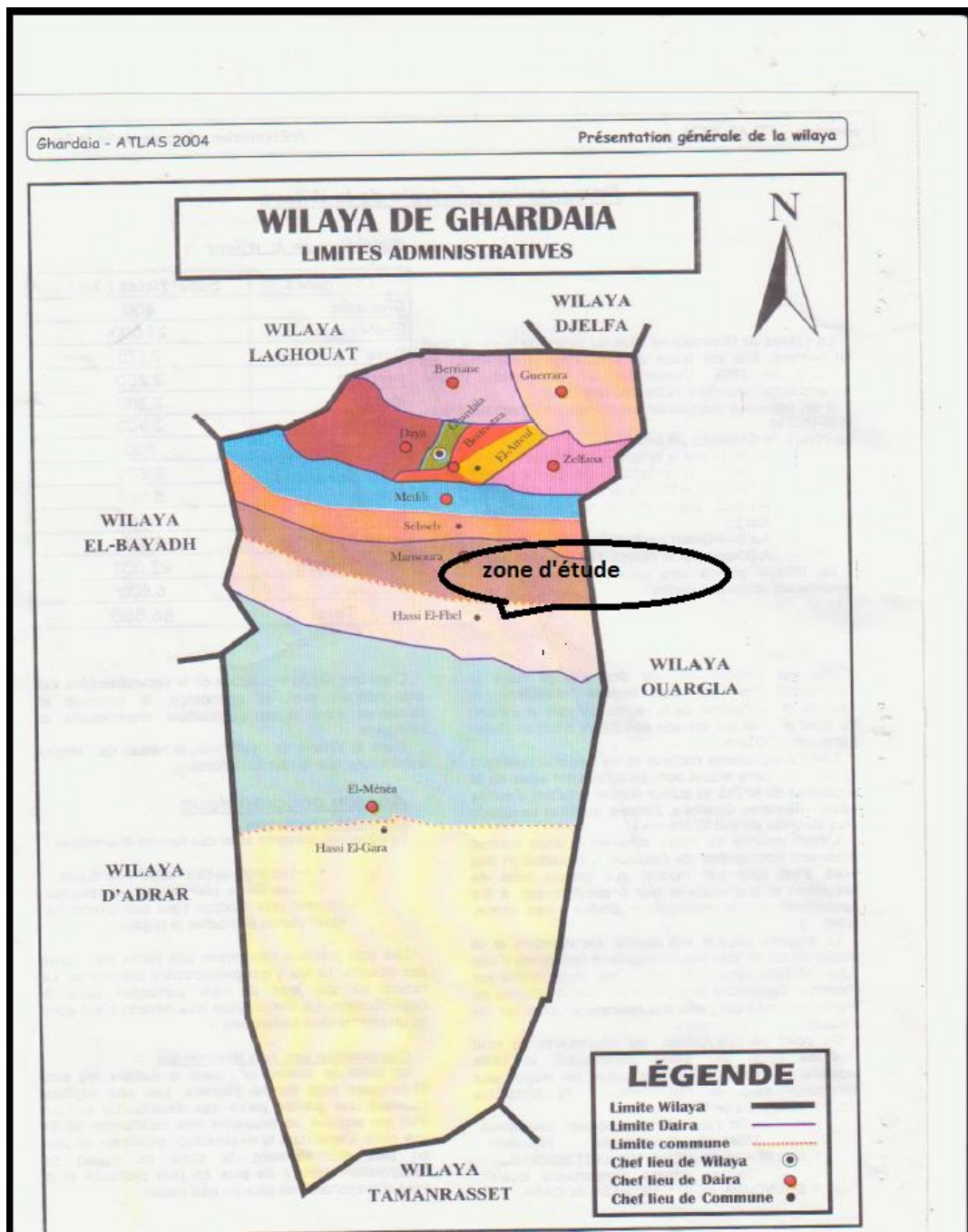


Fig.01 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (Atlas, 2004)

I-1-2. La géomorphologie :

Dans la région du Hassi Lafhel on peut distinguer quatre région géomorphologiques de Structures différentes : - Les Daïas.

- Les regs.
- Les garas.
- Les oueds.

Les Daias :

Les daias sont des dépressions de dimensions très variables, Grossièrement circulaires. Elles ont résulté des phénomènes karstiques de dissolution souterraine qui entraînent à la fois un approfondissement de la daïa et son extension par corrosion périphérique (Barry et Fauret 1971).

Actuellement. Elles fonctionnent comme de petites mares temporaires sur le pourtour Desquelles se développent les plantes de l'Acheb (Abonneau, 1983).

Il existe dans cette zone daïa ben Atala qui située a l'Est de Hassi Lafhel.

Les Regs :

Les regs forment des surfaces planes de graviers ou de débris de roches, où se mêlent sable, limon et argile. Sur le reg, la vie est concentrée dans les légères dépressions limoneuses où une certaine humidité permet le développement d'une végétation, quelque fois arbustive, Dispersée en îlots. Les problèmes d'eau et la dureté du sol qui rendent difficile son creusement font de cette zone un milieu de passage. Seules quelques buttes de sable et d'argile, apportées par le vent, servent de micro-habitat à toute une faune.

La région de Hassi Lafhel est caractérisée par l'abondance des regs. Qui sont des formations solides et caillouteuses.

Les garas :

Les garas sont des dépressions fermée, entièrement plate, des régions désertiques dont l'hydrologie dépend des crues des oueds périphériques, la région de Hassi Lafhel caractérisé par des garas de sénonien inférieur (calcaire marneux et argile gypseuse).

Les oueds :

Les oueds sont des ravinements ou des lits de fleuves asséchés et ensablés. Ils entaillent les regs ou les hamadas et sont épisodiquement alimentés par des pluies, locales ou lointaines, qui peuvent les transformer en torrents. Mais l'eau peut également leur arriver depuis les djebels environnants.

Un ruissellement violent résulte parfois des précipitations et des dépressions salées qui peuvent devenir des lacs temporaires. Il arrive alors que germent les millions de graines qui attendaient, depuis des années, les conditions favorables. Et l'on voit alors naître une végétation aussi éblouissante qu'éphémère.

Les oueds sont évidemment les plus riches des milieux désertiques : c'est parce qu'ils conservent, en profondeur, un inféro-flux plus ou moins permanent. Leurs rives retiennent l'eau et accueillent une végétation, parfois dense et diversifiée, durable en général, tandis que

se développe une vie animale assez riche. Les espèces végétales et animales diffèrent en fonction du degré de salinité de l'eau et de la nature physique du sol (LEMIRE et al, 2003)
Cette zone d'étude reconnaît par Hassi Lafhel l'existence dans l'oued.

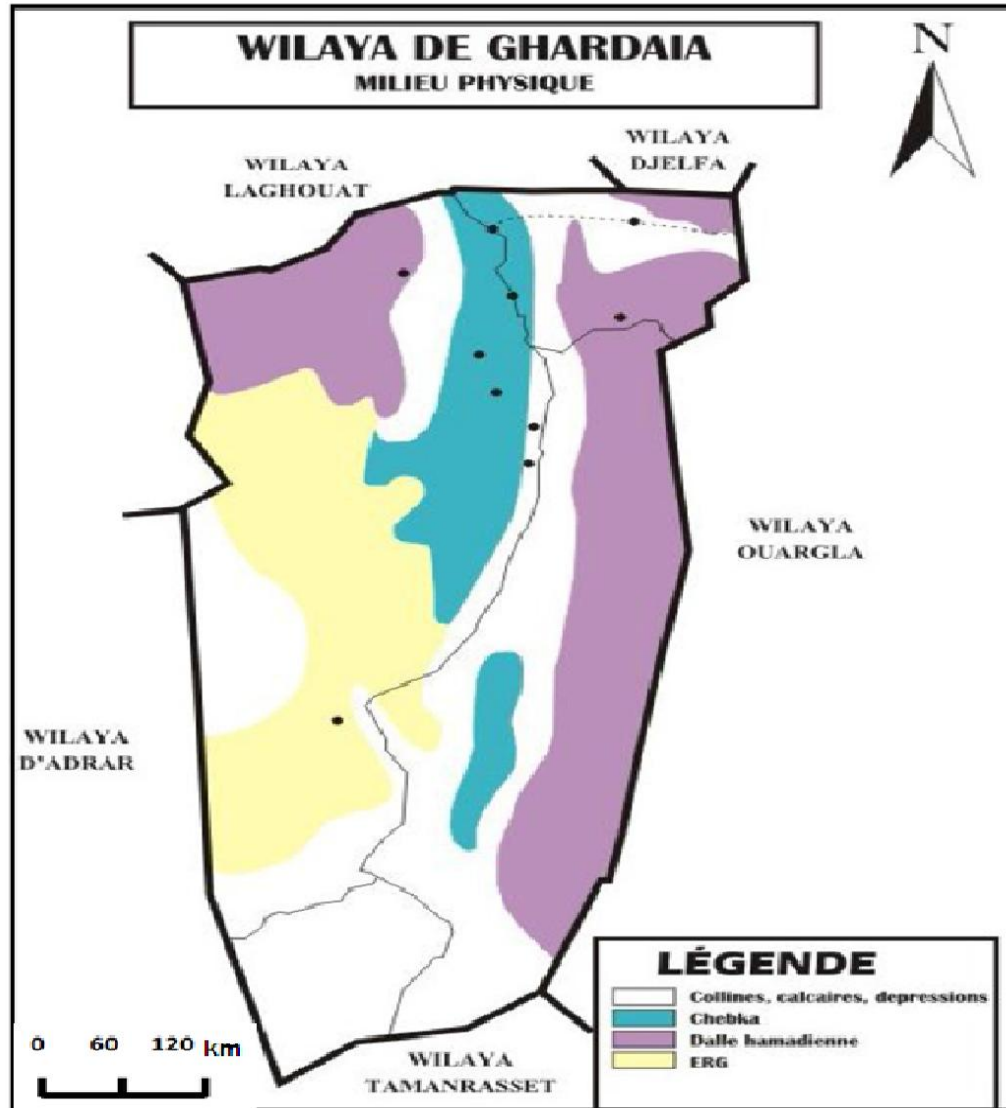


Fig.02 : Carte géomorphologique de la région Ghardaïa (ANRH Ouargla, 2003)

I-2.Contexte socio-économique :

Hassi Lafhel est l'une des municipalités de l'État de Ghardaïa en Algérie, située au bord de la route nationale. Ses revenus dépendent des dattes, ce qui est considéré comme l'une des meilleures dattes du monde (Deglet Nour), mais cela ne les a pas aidés: les marchands viennent de Biskra et dépendent des cultures agricoles de 6715 km². La municipalité connaît également récemment la culture de melons d'été ou ce qui est connu localement comme le spectacle et sa production pour la saison 2011 a couvert tous les marchés nationaux de haute qualité. Aussi il y a d'autres cultures plus importantes célèbres sont :

- culture des palmeraies.
- culture des légumes et arbres fruitiers.
- culture d'arachide.
- culture des Légumineuses et céréales.

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle (seguias). Rare sont ceux pratiquant le mode d'aspersion, la goutte à goutte et Pulvérisateur.

I-3- Occupation du sol :

La région de Hassi Lafhel connue que est une zone agricole, qui couvre une grande partie de la superficie de la zone, et la zone urbanisée couvre la petite partie de la superficie, votre population atteint 3651 habitants.

I-3.1. Structure des exploitations agricoles :

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

I-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 séguias et des exploitations mal structurées et fortement morcelées (0.5 à 1.5 ha) Ce système caractérisé par des cultures étagées de palmiers dattiers, arbres fruitiers, maraîchage et fourrages en intercalaire des activités d'élevages familiaux sont souvent pratiquées avec des cheptels de petites tailles.

I-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, une densité optimale, un alignement régulier, et une exploitation structurée. La taille moyenne est de 2 à 10 ha.

-2) Mise en valeur d'entreprise : c'est la grande mise en valeur mobilisant d'importants investissements, basée sur l'exploitation exclusive des eaux souterraines profondes et est caractérisée par: structure foncière importante (jusqu'à 500 ha), mécanisation plus importante, irrigation localisée et/ou par aspersion. Pratiquant des cultures de plein champs et vergers phoénicicoles et arboricoles. Les cheptels associés aux productions végétales sont importants notamment ovin et bovin.

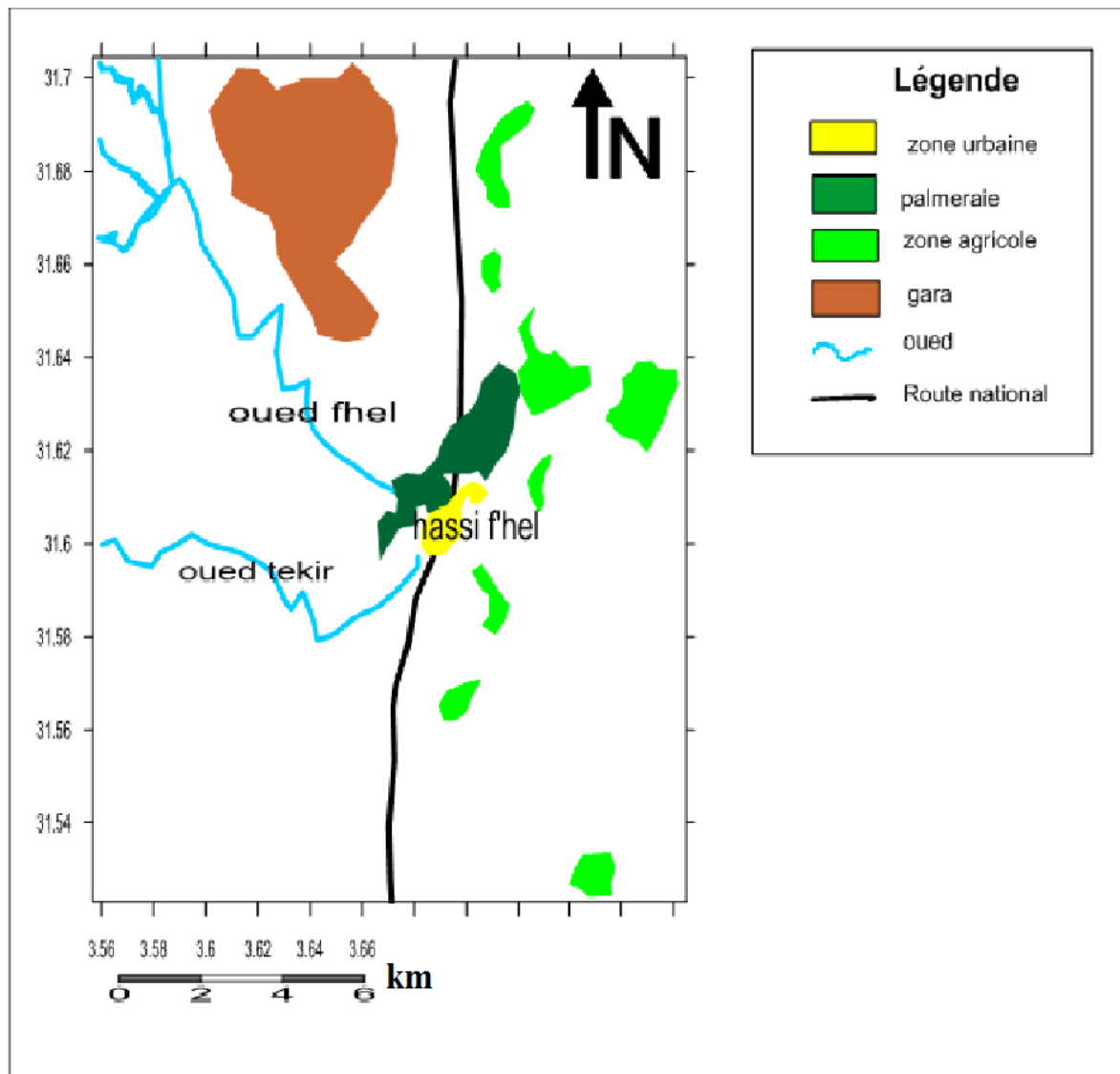


Fig.03. Carte occupation de sol la région de Hassi Lafhel (logiciel surfer).

II- Contexte hydro-climatologique :

La région de Ghardaïa est une région située dans le Sahara septentrional caractérisé par un climat chaud et sec en été et froid en hiver, L'étude climatique est très importante. Elle nous permet de déterminer les caractéristiques de climat de notre région et mettre en évidence la contribution des différents facteurs à la variation des ressources en eau souterrain tel que la température, L'humidité, La précipitation, Le vent, L'évaporation et l'évapotranspiration.

II-1- Présentation de station climatologique :

La seule station disponible à l'intérieur de notre bassin versant est celle de l'ONM située près de l'aéroport de Ghardaïa. Ses coordonnées sont :

Latitude: 32°23 N Longitude: 03°49 E Altitude: 450 m

Le tableau ci-dessous donne la caractéristique de station.

Tableau n°01 : Caractéristique Géographique de Station Climatologique.

Code de la station	Nom de la station	Altitude Z (m)	Coordonnée		Période d'observation
			Latitude	Longitude	
605660	GHARDAIA « Noumérat »	468	32°24 N	03°48 E	2007-2017

II-2- Analyse des paramètres climatiques :

1- La température :

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient Dans l'estimation du bilan hydrogéologique. C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région, le tableau ci-dessous montre les données de température.

Tableau n°02 : Température Moyennes Mensuelles et annuelles de Ghardaïa (2007 -2017).

Mois	T°C Min	T°C max	T°C moyenne mensuelle
Jan	3.89	20.94	11.95
Fév	5	23.46	13.75
Mar	7.06	28.36	16.92
Avri	11.62	33.6	21.6
Mai	16.1	38.12	26.36
Juin	21.43	41.7	31.12
Juill	25.08	42.3	33.92
Aout	25.14	43.24	34.19
Sept	19.8	39.78	29.37
Oct	14.44	33.84	23.54
Nov	8.08	26.63	17.35
Déc	4.11	21.66	12.28
Année	13.47	32.8	20.33

On observe a partir le tableau que :

- La température moyenne est atteinte en juillet avec une valeur de 33.92°C
- La température maximum est en Aout avec valeur de 43.24°C
- La température minimum est en janvier avec une valeur de 3.89°C

Le courbe représente des températures (min, moy et max) montrent pratiquement la même allure avec chacune. Un axe de symétrie (mois d'Aout). Ce qui nous laisse supposer la présence de deux périodes bien distinctes.

- Une phase allant du mois de février à juillet marquée par une nette progression des températures.
- Une période de stabilité maximale de mois de juillet à Aout.
- Une période qui débute au mois de Septembre où les températures baissent Pour atteindre leur minimum au janvier.

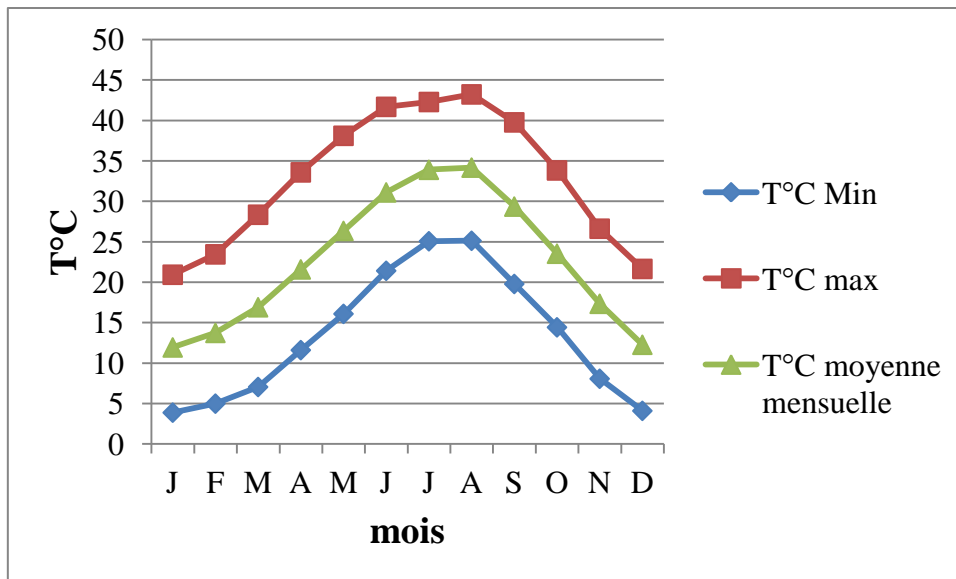


Fig.04 : Température Mensuelle de la région Ghardaïa.

2- Précipitation :

2-1- Précipitations annuelles :

Le tableau des variations annuelles des précipitations (Tableau 03) montre que l'année la Pluvieuse est l'année 2009 avec une hauteur annuelle de 14.96 mm et l'année la plus Sèche est celle de 2012 avec une hauteur annuelle de 3.54 mm.

Tableau n°03 : Précipitations moyennes annuelle de Ghardaïa (2007- 2017).

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Moyen annuel	8.76	11.04	14.96	5.23	10	3.54	7.51	4.25	8.83	4.31	3.78

2-2- Précipitations moyenne mensuelles :

Pour l'étude de la précipitation on a obtenu une série pluviométrique de l'ONM de Ghardaïa pour une période de 11 ans (2007-2017). Selon le (Tableau 04), on observe que le mois de Septembre est le pluvieux avec une moyenne de 19.23 mm (Fig.05). Par contre le mois de Juillet est le plus sec avec une moyenne de 1.35 mm.

Tableau n°04 : Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (2007- 2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P(mm)	9.04	3.18	7.45	5.22	2.6	3.44	1.35	3.98	19.23	6.12	4.05	4.65

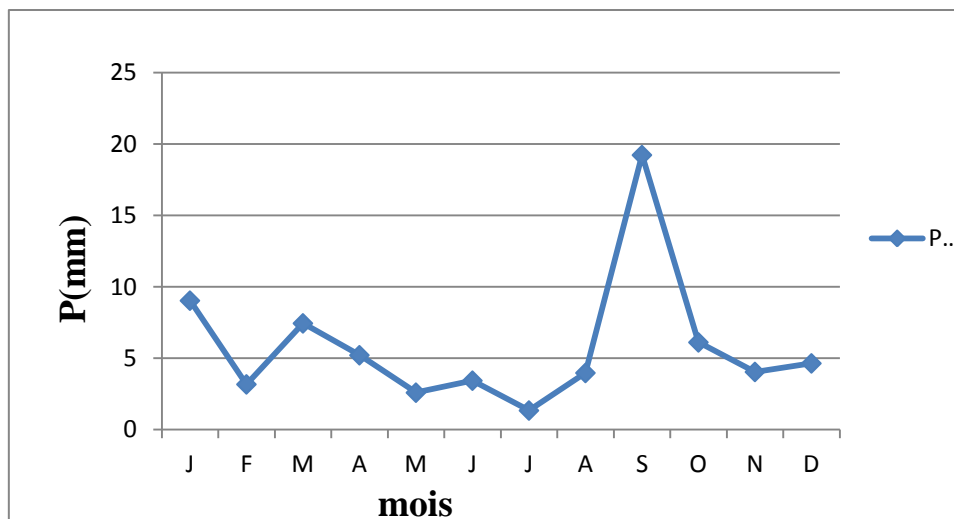


Fig.05: La précipitation mensuelle de la région de Ghardaïa.

3- Le vent :

Le vent est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région. Sa vitesse Régit l'évaporation à la surface du sol et de la végétation.

La région de Ghardaïa est traversée par des vents de direction générale N-O. Les vitesses Moyennes mensuelles des vents à la station ONM Ghardaïa. Sont illustrées dans le tableau Suivant :

Tableau 05 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vent (km/h)	13.82	13.27	17.64	17.27	18.36	17.73	15.45	15.73	16.18	13.64	12.55	12.27

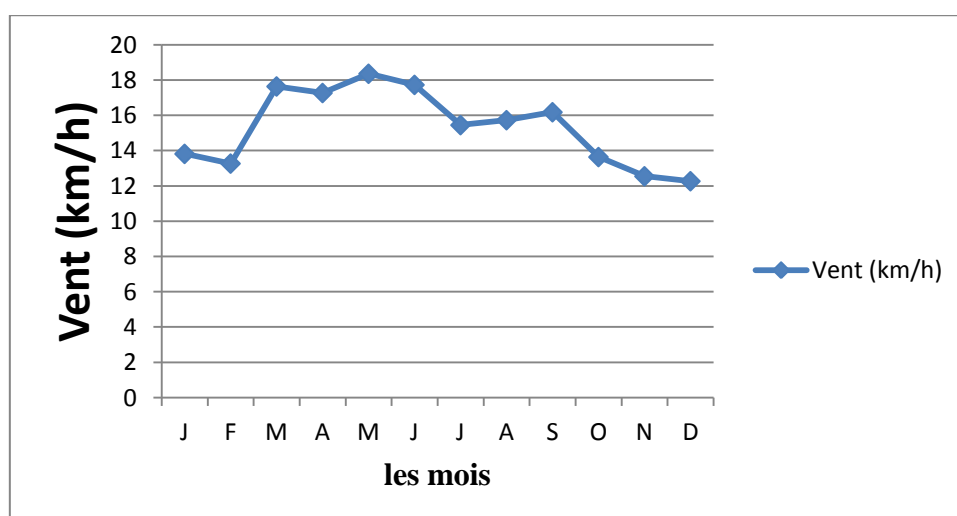


Fig.06 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents.

On remarque que le maximum des vitesses est enregistré au mois de Mai et le minimum Au mois de Décembre.

4- Humidité :

L'humidité représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère. L'humidité moyenne de la région est minimum pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 19.82% et maximum pendant le mois de décembre avec une valeur de 54.27 %. D'après le (Tableau06) et (Fig.07). On constate que l'humidité relative est très faible avec une moyenne annuelle de 35.38%. Pour le mois de Décembre (hiver) elle dépasse 50%.

Tableau n°06 : Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (2007 -2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Humidité (%)	45.18	40.36	33.18	31.09	26	23.91	19.82	25.91	35.36	42	47.45	54.27

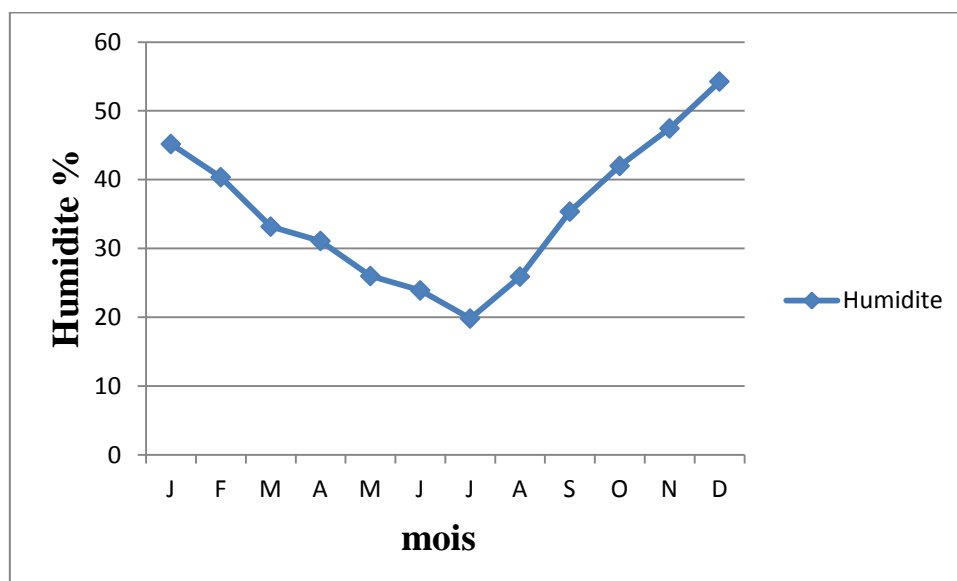


Fig.07 : L'Humidité mensuelles de la région de Ghardaïa.

5- Evaporation :

L'évaporation mesurée sous abri par l'évaporomètre de Piche est de l'ordre de 3110 mm/an À savoir 35 fois plus grande que la pluviométrie. Avec un maximum au mois de Juillet de L'ordre de 372 mm et un minimum de 95 mm obtenue au mois de Janvier (Fig.08). Ces valeurs élevées sont reliées à la forte température et aux vents violents.

Tableau n°07 : l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (2007 -2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evap (mm)	95	118	168	228	281	342	372	346	254	166	117	146

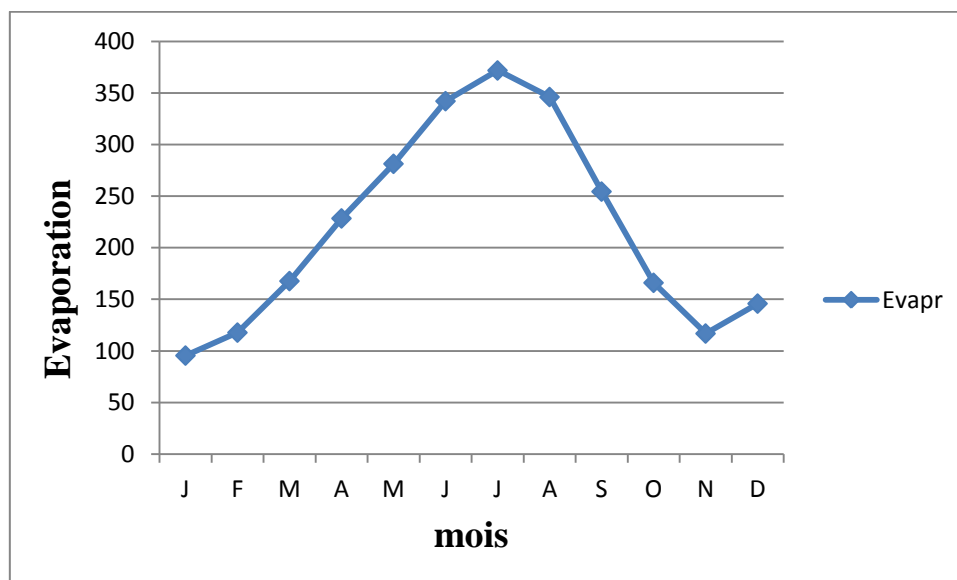


Fig.08: L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa.

6-L'insolation :

Le tableau ci-dessous montre les données de l'insolation.

Tableau n°08 : durée mensuelle de l'insolation totale (heures) station ONM Ghardaïa (Période 2007 a 2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Insol (h/mois)	256	240	281	297	337	344	352	327	265	278	259	241

En été : les valeurs moyennes maximales enregistrées pour le mois de Juillet. Sont de 352 (h/mois).

En hiver : les valeurs moyennes minimales enregistrées pendant le mois de février sont de 240 (h/mois).

La moyenne annuelle de l'insolation est 290 (h/mois).

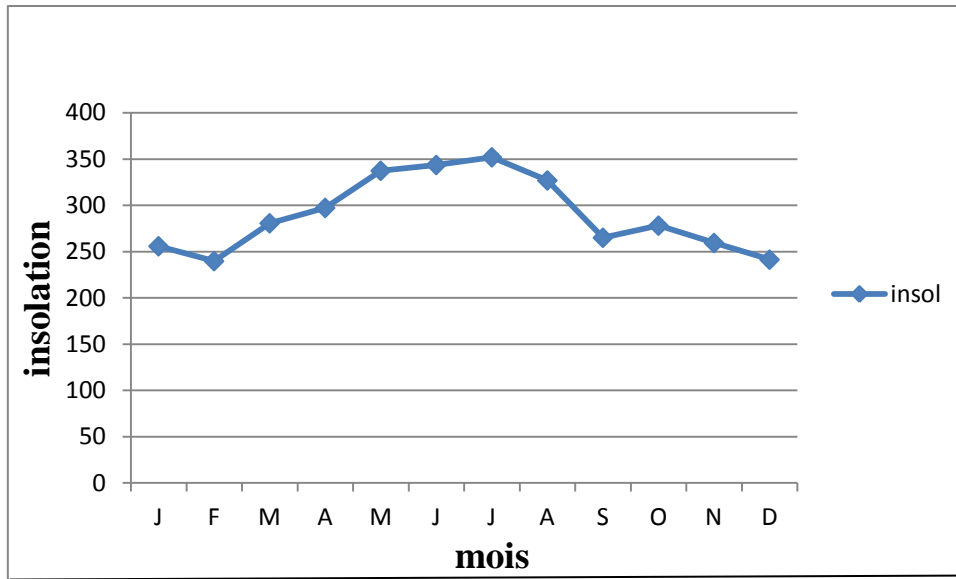


Fig.09: L'insolation mensuelle de la région de Ghardaïa.

7- Diagramme ombrothermique de Gausсен :

Le diagramme ombrothermique de Gausсен permet de définir les mois secs. Un mois est considéré sec lorsque les précipitations mensuelles correspondantes exprimées en Millimètres sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré Celsius (MUTIN, 1977).

Tableau n°09: données de diagramme ombrothermique.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P(mm)	9.04	3.18	7.45	5.22	2.6	3.44	1.35	3.98	19.23	6.12	4.05	4.65
2T°c	23.9	27.5	33.84	43.2	52.72	62.24	67.84	59.36	58.74	47.08	34.7	24.56

Selon le diagramme ombrothermique de Gausсен de la région d'étude, qu'il y a une période sèche qui s'étale sur toute l'année (12 mois) (Fig.10).

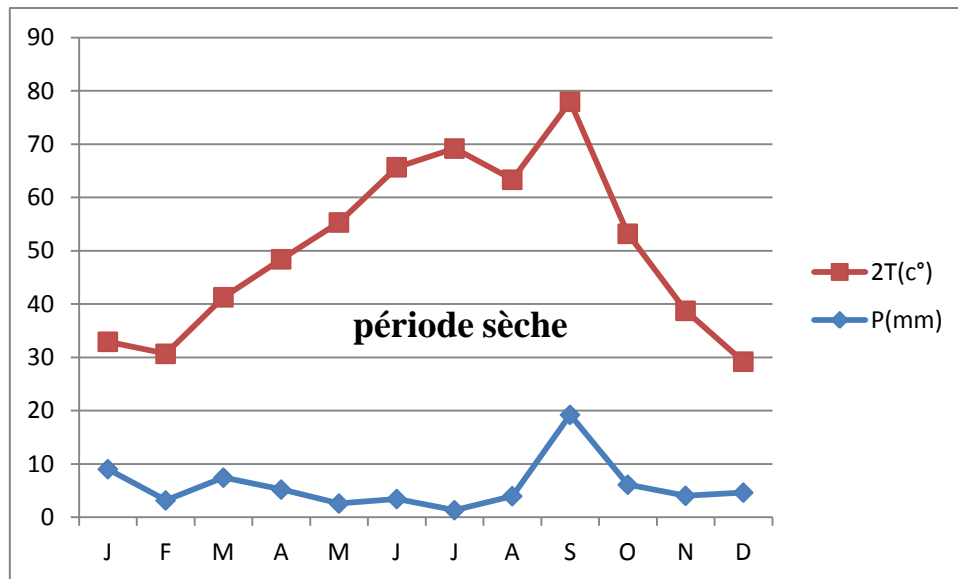


Fig.10: Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2007-2017).

8- Bilan hydrique :

Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa (Tab10) et (Fig.11). Dans la période (2007-2017) d'après la méthode de Thornthwaite et Turc est déficitaire ; la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée par ce que l'évapotranspiration potentielle (ETP) est plus importante que les précipitations, le ruissellement et la réserve facilement utilisable est nulle. Pendant les douze mois, le déficit (DA) agricole est présent pendant toute l'année. Elle atteindra son maximum au mois de juillet (243.14 mm).

Tableau n°10 : Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa dans la période (2007-2017).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°C	11.95	13.75	16.92	21.6	26.36	31.12	33.92	29.68	29.37	23.54	17.35	12.28
P(mm)	9.04	3.18	7.45	5.22	2.6	3.44	1.35	3.98	19.23	6.12	4.05	4.65
I	3.74	4.63	6.33	9.16	12.39	15.93	18.15	14.83	14.59	10.44	6.58	3.9
K	0.87	0.85	1.03	1.1	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84
ETP	15.62	21.97	36.38	65.85	106.84	156.93	197.17	142.53	138.94	81.16	38.67	16.7
ETPc	13.59	18.67	37.47	72.43	129.28	191.45	244.49	165.33	143.11	78.73	33.26	14.03
ETR	9.04	3.18	7.45	5.22	2.6	3.44	1.35	3.98	19.23	6.12	4.05	4.65
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DA	4.55	15.49	30.02	67.21	126.68	188.01	243.14	161.35	123.88	72.61	29.21	9.38

Avec : $I = 120.67$ et $a = 2.43$

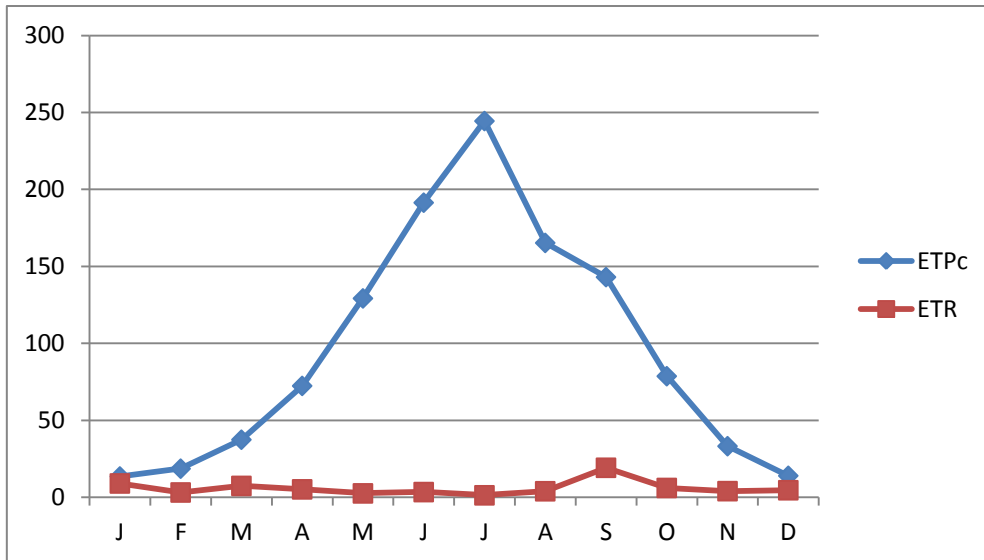


Fig.11 : Les termes du bilan hydrique de la région de Ghardaïa.

II-3- Hydrologie :

Oued Lafhel est limitée entre oued Touiel et oued Abiod au Nord, oued Terhir et oued Saheb el kasdir au Sud. Le sens d'écoulement de oued F'hel de Nord-Ouest vers Sud-est, l'origine de l'eau en amont au N-O de Hassi Lafhel (Brezina w-el Bayad) et vers l'aval au S-E (oued Mya Ouargla).

Les paramètres de bassin versant qui on couvre la zone d'étude :

- l'altitude en amont est (540-570 m).
- l'altitude en aval est (360-380 m)
- la surface est estimée 544.012 km².
- la périmètre est estimée 122.539 km.

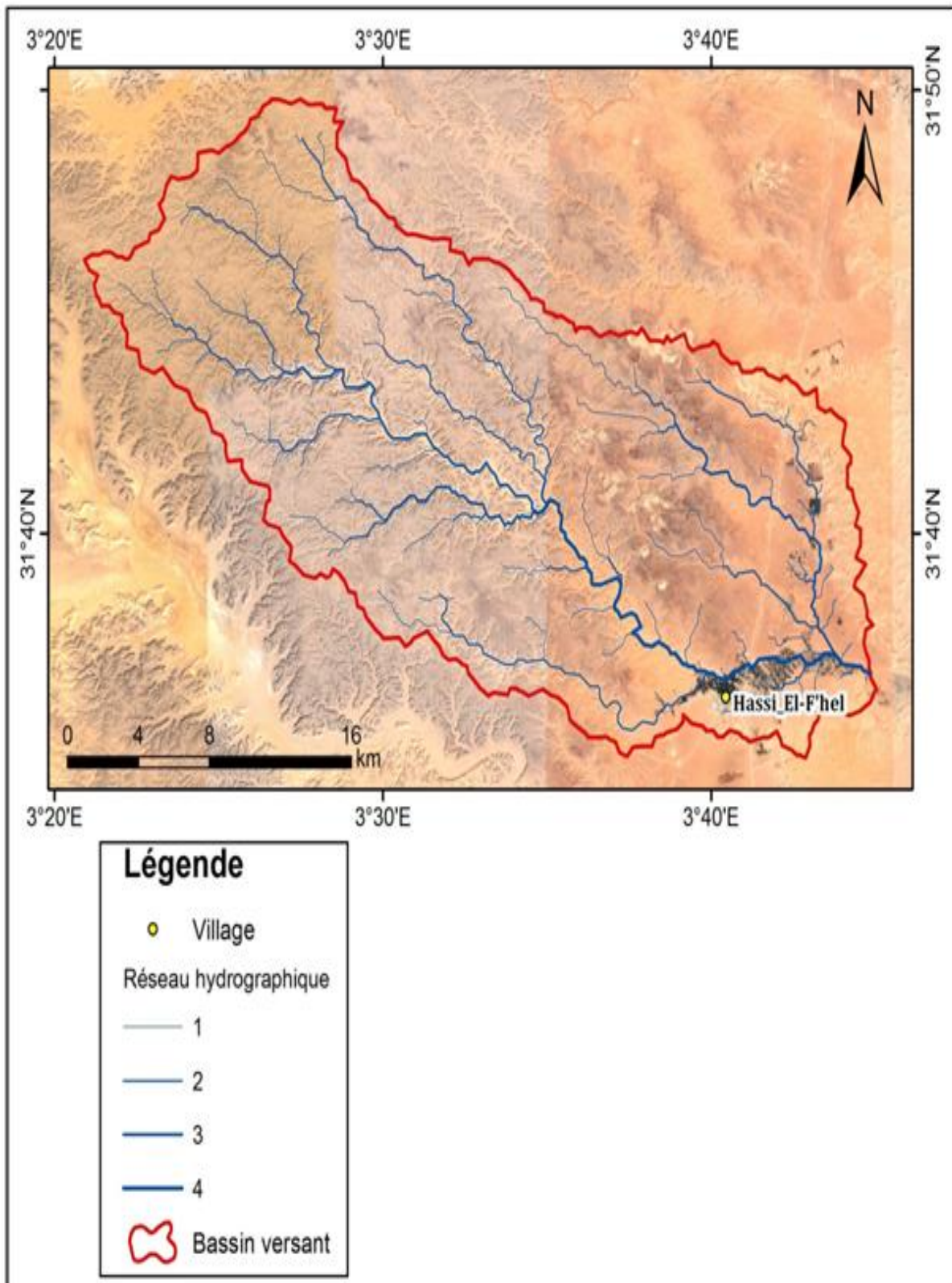


Fig.12 : Réseau hydrographique de la région de Hassi Lafhel (Arc Gis).

III- Contexte Géologique :

III-1- Géologie régionale :

La wilaya de Ghardaïa. Elle est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara. les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur. Composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau sub-horizontale appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

Du point de vue lithologique. Les affleurements sont de type (Figure 13) ;

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-ouest attribués au Cénomaniens.

En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental.

- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre. Attribués au Turonien.

- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est. Attribués au Sénonien.

- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-est attribués au Mio-pliocène.

- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

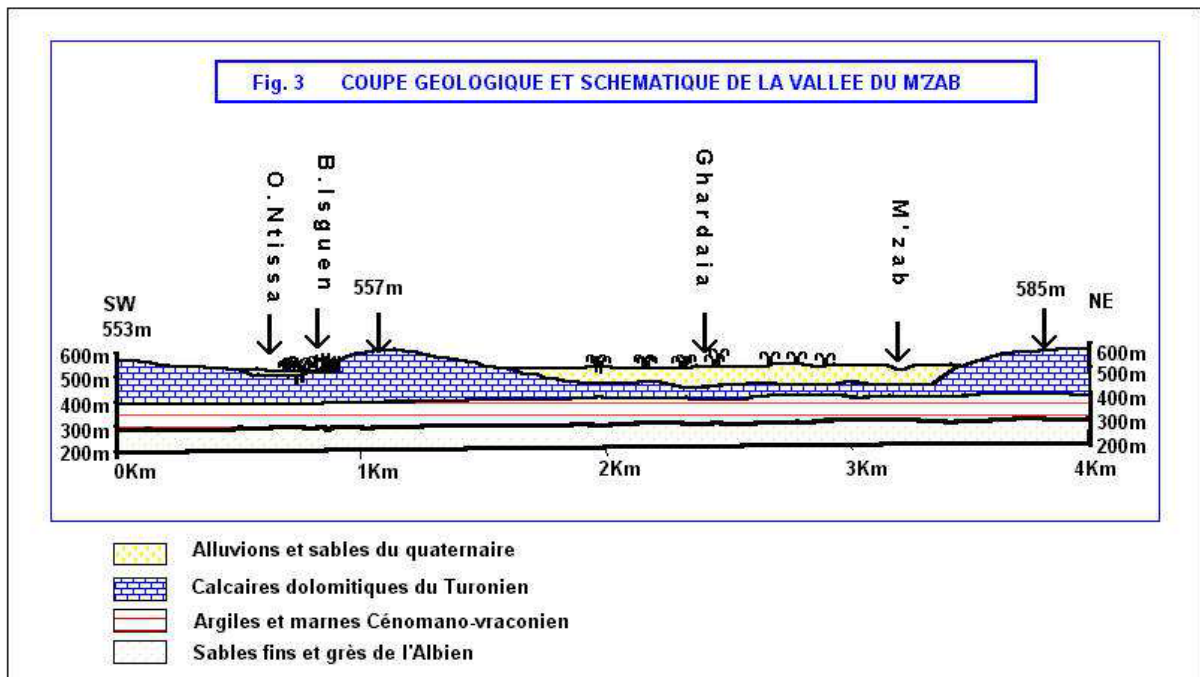


Fig.13 : Coupe géologique schématique de la région du M'Zab (source ANRH).

III-2- la géologie locale :

Les formations affleurant de la zone d'étude sont représentées par le Crétacé supérieur, qui sont :

1-Turonien :

Il est composé par des calcaires blancs, des marnes grisâtres et rougeâtres au sommet, blancs, grisâtre plus ou moins dur à marnes jaunâtres.

2- Céno manien :

Le Céno manien est composé par des argiles bariolées, marrons et grises à verdâtres plastiquées, à anhydrites, sableuse à la base avec la présence de gypse.

3- Albien :

Il s'agit de sables fin grés argileux au sommet, des sables fins à moyens jaunâtres à rougeâtres, des grés, des sables bruns fins argileux vers la base.

III-2-1 Tectonique :

Durant le secondaire. La partie centrale du Sahara septentrional a subi des mouvements verticaux d'ensemble qui se sont traduits par un effondrement progressif. Au début du Crétacé. Cet affaissement est comblé par un dépôt lagunaire. Accusant au centre de la cuvette des épaisseurs considérables. Le mouvement de descente se poursuit très lentement pendant le Turonien et une partie du Sénonien. Les deux étages présentent des épaisseurs et des faciès peu variables sur toute l'étendue de la cuvette saharienne (BOUDJEMA. 1987).

A l'Eocène moyen réapparaît un dépôt lagunaire qui correspond au comblement définitif de la cuvette saharienne. Par la suite. Les mouvements dans cette dernière se sont traduits par: Un exhaussement d'ensemble suivi d'un mouvement de descente qui a débuté au Miocène et qui dure encore actuellement correspondant à la sédimentation continentale du Mio-Pliocène et du Quaternaire (Fig.14).

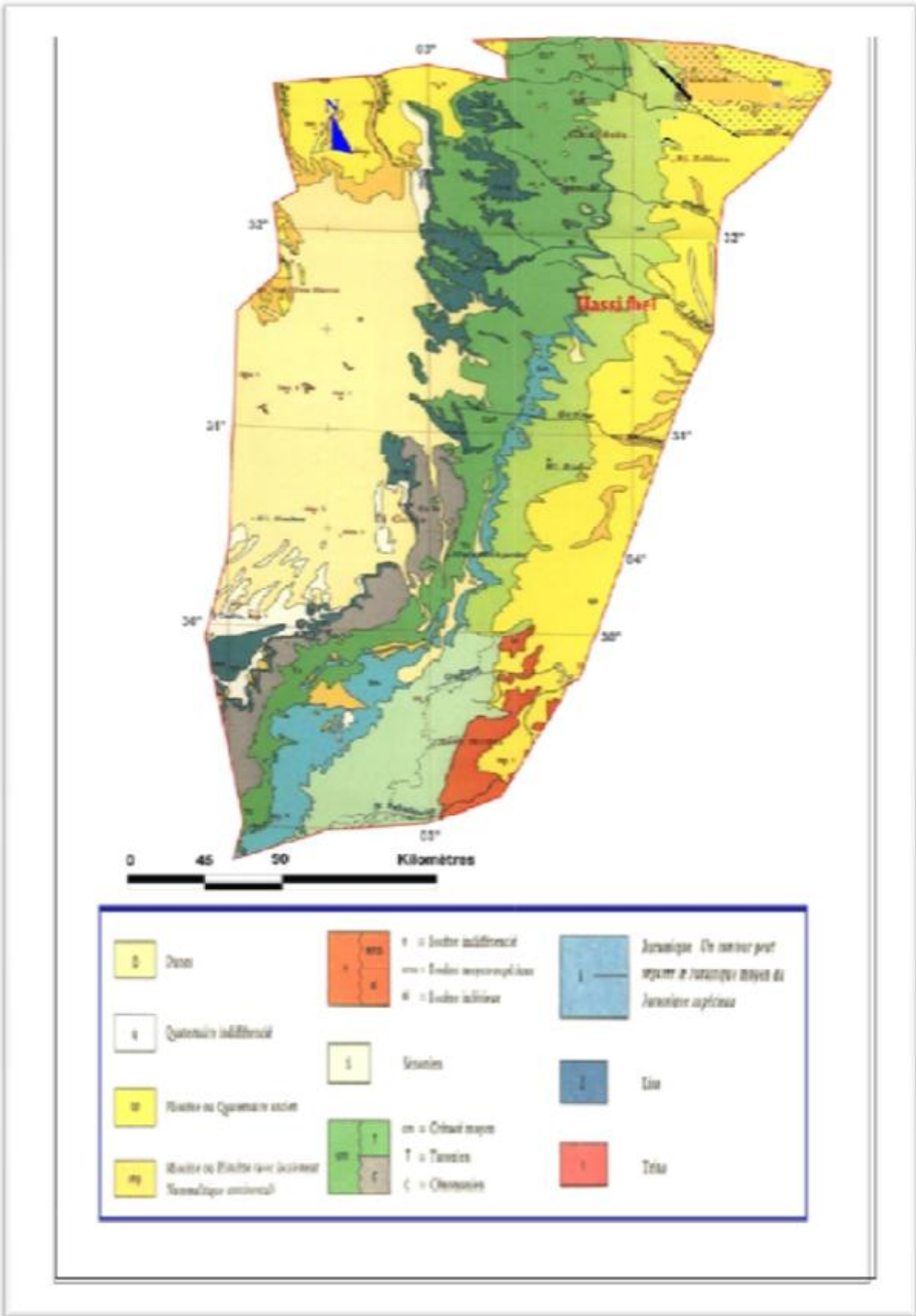


Fig.14 : Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (Busson-1952).

Conclusion :

La région de Hassi Lafhel est constituée des formations géologiques de crétacé supérieur (quaternaire, turonien, cénomanien et albien).

Cette région dépend de l'agriculture, La nappe albien présente un intérêt très important dans le domaine agricole.

Elle est caractérisée par des précipitations très faibles dans la période (2007-2017), la température maximale dépasse 30°C pendant juin (max_{moy}31.12°C) et juillet (max_{moy}33.92°C), la période sèche dure pendant toute l'année.

A partir de ces hautes températures et faibles précipitations acquièrent un climat saharien hyper aride de notre zone d'étude.

CHAPITRE II :
ETUDE
HYDROGEOLOGIQUE

II-1. Le système aquifère de Sahara septentrional (SASS) :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, en Tunisie et en Lybie.

Ce bassin renferme une série des couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Tinheret et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guire-Saoura jusqu'au graben de Hun en Lybie (Fig.15).

Ce bassin se subdivise en trois : deux sous-bassins du Grand Erg occidental et de Grand Erg oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées (chotts et sebkhas) et le plateau de la hamada El Hamra (Fig.16).

Nous rappelons ci-dessous les définitions des aquifères du « CI » et du « CT ».

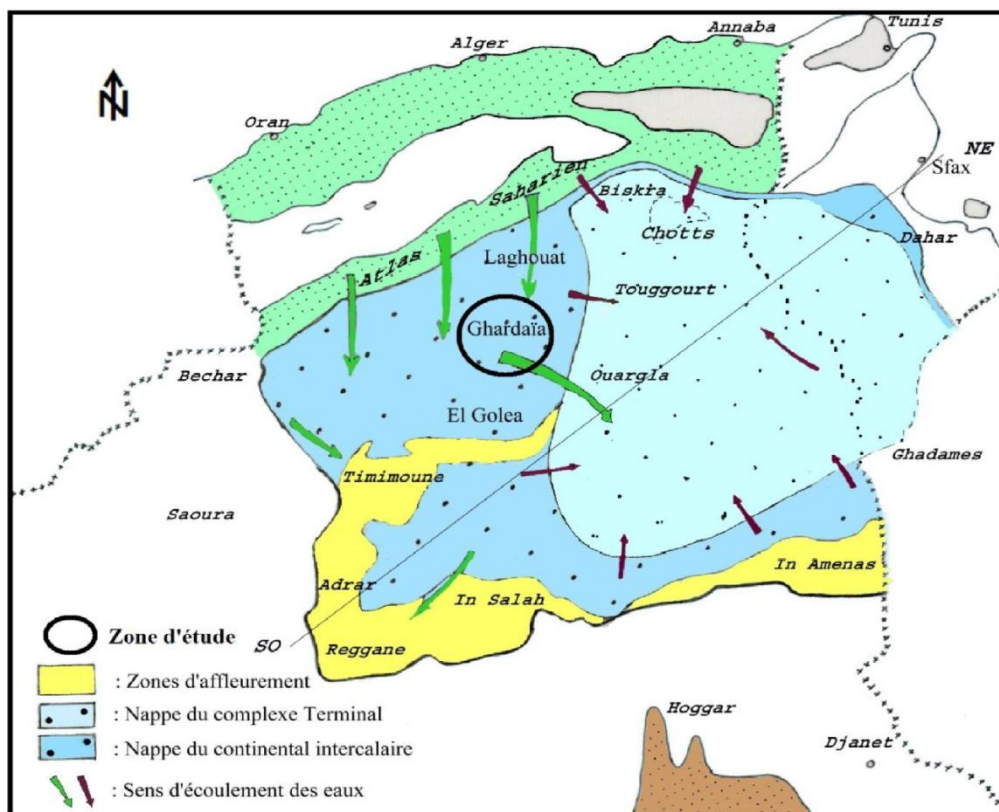


Fig.15 : Limites du domaine SASS en Algérie (UNESCO, 1972).

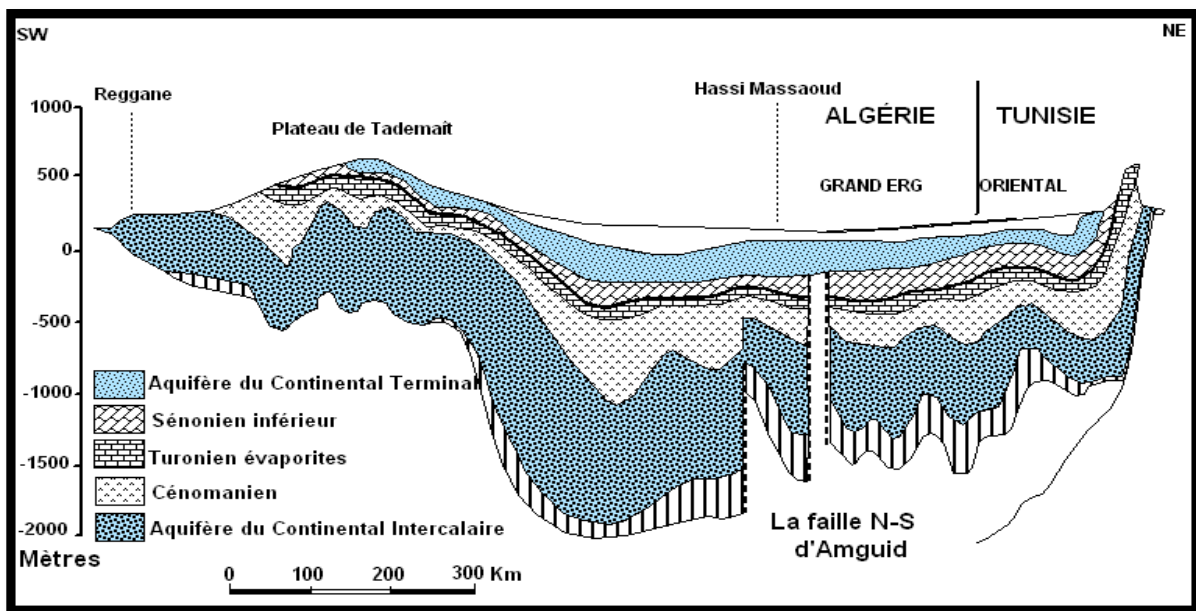


Fig.16 : Coupe hydrogéologique NE-SW du bassin SASS (ERESS, 1972).

1- Le Continental Intercalaire (CI) :

Le Continental Intercalaire est définie comme l'aquifère le plus étendu du bassin, ses extensions déterminent également les limites qui ont été attribuées au domaine du SASS. Majoritairement, il comprend toutes les formations sablo-gréseuses et argilo-sableuses du Crétacé inférieur. Les épaisses séries argilo-évaporitiques du Cénomaniens constituent un toit imperméable de l'aquifère.

Les limites du CI ont été déterminées, à la fois, par l'étude des affleurements géologiques et les sondages, se sont (OSS, 2003) ; l'Atlas saharien au Nord, les massifs paléozoïques de l'Ougarta à l'Ouest et des Tassilis au Sud, allant en continuité d'Adrar à Hun en Lybie, les affleurement sur le Djebel Nefussa et le Dahra au Nord-est, au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'El Hamma – Médenine, et enfin à l'Est, au niveau du méridien 16° qui a été adopté comme limite de la zone, et que correspond en fait, au passage des eaux douces aux eaux saumâtres dans le bassin de Syrte (OSS, 2003).

La dorsale du M'Zab, orientée approximativement Nord-Sud, divise le domaine du CI en deux sous-bassin hydrogéologiques: le bassin oriental et le bassin occidental. L'ensemble couvre une surface de 1100.000 de km², et une épaisseur moyenne de 358 mètres (Ould Baba-Sy, 2005). La partie Sud du réservoir du CI est largement affectée par les occidents Nord-Sud du d'Amguid El Boidqui se prolonge du socle primaire d'El Hoggar (Fig.16)

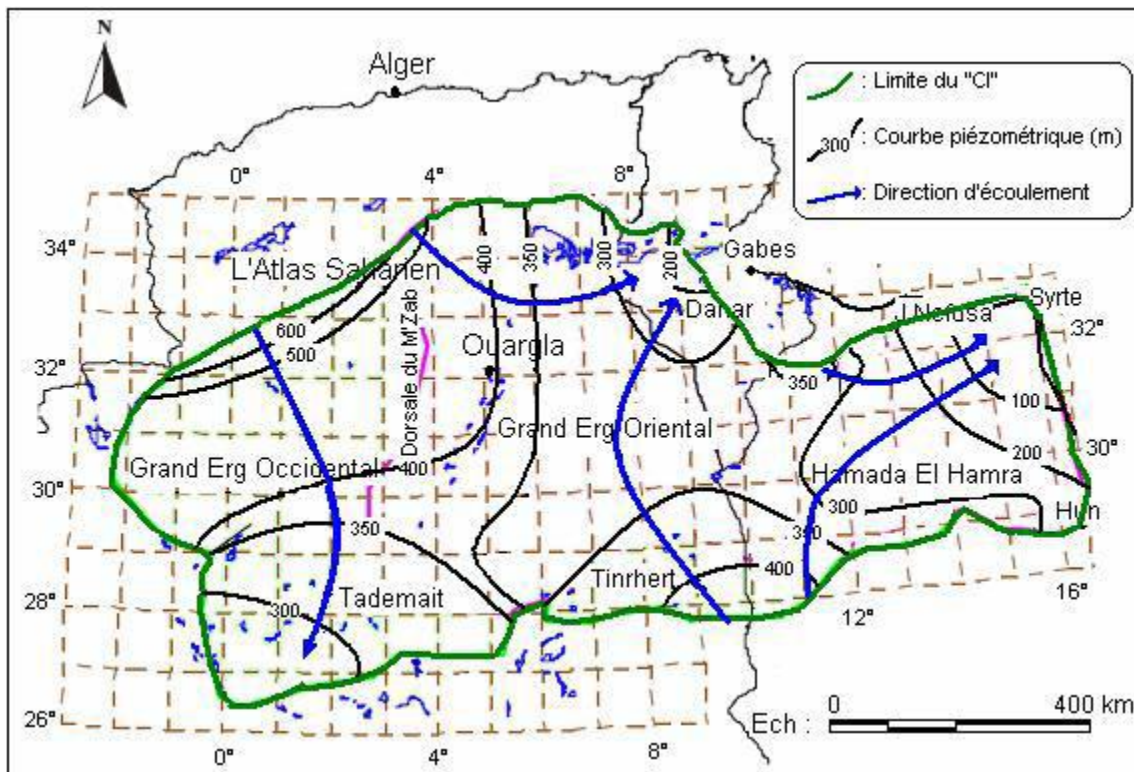


Fig. 17: Carte piézométrique de référence du "CI" (OSS, 2003).

Alimentation et zones d'exutoires de CI :

1-Alimentation

L'origine des eaux emmagasinées dans le grand aquifère "Albien" provient de l'infiltration durant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Les ressources de cet aquifère du Continental Intercalaire (CI) sont fossiles (non renouvelables), surtout qu'elles sont très faiblement alimentées, provenant essentiellement de :

- L'infiltration directe des piémonts de l'Atlas Saharien et du massif du Dahar (Tunisie), ainsi que des bordures Ouest de la zone du Touat, Gourara (Adrar) et du Sud de Tidikelt (In Salah). (Fig. 17)
- L'apport à partir des affleurements de la zone Sud-est de Tinrhert (Nord d'Ilizi).

2- Exutoires

Les principaux exutoires naturels sont :

- Au Sud-ouest : les bordures occidentales du Tadmait constituent une zone d'exutoire importante, c'est le Saoura et Foggara (dépression de la sebkha du Timimoune. Adrar).
- Au Nord-est : c'est le Golf de Gabs, et se fait par des remontées verticales par faille dans la zone du Chott Fedjej.

- Fuite à travers le toit de l'aquifère, une partie par la dorsale d'Amguid el Abiod et une autre partie à travers les Chotts.

2- Le Complexe Terminal (CT) :

Le complexe terminal couvre une superficie de 350000 km², il regroupe plusieurs aquifères à formation géologique différentes, d'âge Turonien, Sénonien, Eocène et Moi-pliocène. Interconnectés entre eux, l'ensemble forme un même système hydraulique. Ces limites d'affleurement sont :

- au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- à l'Est, le long du flanc oriental du Dahra et du j.Nafusa en Tunisie.
- au Sud, sur les plateaux de Tinhert et Tademaït.
- à l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab (calcaire du Turonien), considérée comme une zone d'alimentation du CT.

La nappe est jaillissante au centre du bassin et libre sur les bordures. Elle est alimentée essentiellement par infiltration des pluies exceptionnelles dans les sables moi-pliocènes, ainsi que par les fréquents ruissellements le long des oueds descendant de l'Atlas saharien au Nord, et de l'Ouest, par les écoulements des oueds de la chebka du M'Zab (Fig. 18).

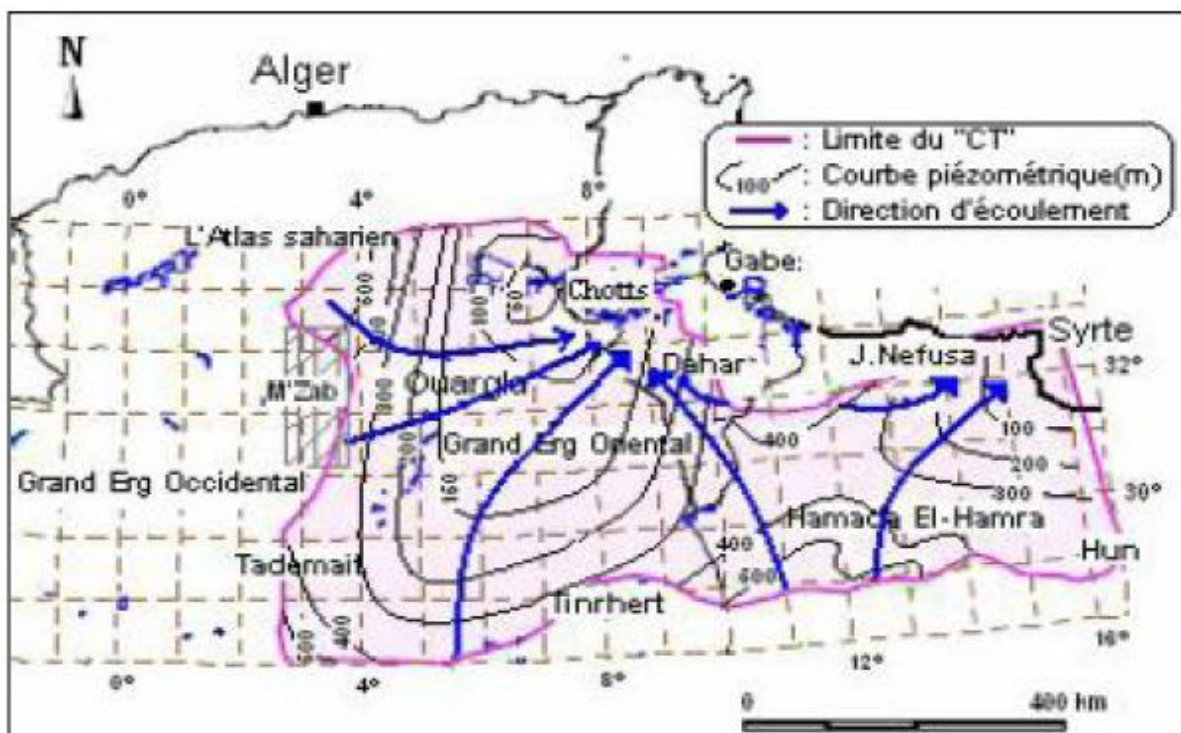


Fig. 18: Carte piézométrique de référence du "CT" (OSS, 2003).

II-2. Présentation de système aquifère de la région de Ghardaïa :

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères ; les nappes phréatiques superficielles d'inféro-flux (Phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albienne.

II-2-1. La nappe phréatique :

La nappe phréatique existe partout dans le Sahara algérien, elles sont abritées dans les alluvions des vallées des oueds de la région. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 30 m.

Alimentées notamment par les eaux de pluies, d'irrigations, les eaux domestiques, les crues, les eaux de drainages et les eaux souterraines (sources) en provenant des aquifères plus profondes.

Ces nappes sont captées par des centaines de puits traditionnels, et destinées essentiellement, pour irriguer les palmeraies des vallées.

La qualité chimique des eaux de la nappe de l'oued M'Zab et oued Metlili, est bonne à la consommation à l'amont, mauvaise et impropre à la consommation à l'aval suite à leur contamination par les eaux urbaines.

II-2-2. La nappe du Continental Intercalaire (CI):

Elle représente la principale Ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grès et d'argiles sableuses d'âge Albien. Selon la région, elle est captée à une profondeur allant de 80 à 1000 m.

Suivant l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, elle est jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage dans les zones de Zelfana, Guerrara, Hassi Lafhel et Hassi Gara, exploitée par pompage à des profondeurs variant de 0,5 m à 140 m dans les zones de Ghardaïa, Metlili, Berriane, Sebseb, Mansourah et certaines régions d'El Menia.

La profondeur de la couche exploitée est d'environ 200m à Goléa, 300m à Mansourah, 400 à 450 m dans la vallée du M'Zab et autour de 800m et plus à Guerrara et Zelfana.

II-3. L'interprétation des coupes hydrogéologiques dans la zone d'étude :

Il existe dans la région deux principales nappes qui sont:

II-3-1. La nappe phréatique :

Il s'agit de nappes superficielles ou alluviales, généralement exploitées par puits. Ce sont des nappes peu profondes, et variées selon la saison ; 10 à 50 m en période des basses eaux. La

nappe alluviale de Hassi Lafhel est alimentée par les crues d'Oued Lafhel et les eaux d'irrigation.

Les formations de cette nappe sont des calcaire-marneux d'âge Turonien. Ces nappes sont captées par des centaines de puits traditionnels, et destinées Essentiellement, pour irriguer les palmeraies.

.II-3-2. La nappe du Continental Intercalaire (CI) :

La nappe du Continental intercalaire représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grés, marne et d'argiles sableuses d'âge Albien. Elle est captée à une profondeur de 250 à 450 m.

Cette nappe est Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage, le réservoir principal de la zone d'étude se situe essentiellement dans l'Albien, constitue le principal objectif hydrologique des forages réalisés pour alimenter le village de Hassi Lafhel en eaux potable et pour l'irrigation. Le nombre de forage capte le CI est 40 forage, 33 forage est exploitable, a un débit moyen 20-70 l/s, (A.N.R.H, Ghardaïa 2011).

II-4. Gestion des ressources hydrique de la région d'étude:

II-4-1. Exploitation de la nappe CI :

Le premier forage exploitant la nappe CI dans la région de Hassi Lafhel en 1951, situe avec une profondeur de 407m (Hydraulique de Ghardaïa 2017).

Évolution rapide du nombre des forages captant la nappe de l'Albien. Le nombre qui était de 40 forages en 2011, est passé à 42 en 2016.

Il y a 5 forages d'AEP et 37 forages pour IRR.

Tableau n°11 : Nombre des forages et volumes d'exploitation de la zone d'étude :

Région	Nombre de Forages			Débit moyen (L/s)	Volume sourtire (hm ³ /an)	profondeur moyen (m)	Destination
	Total	Exploité	Non Exploité				
Hassi Lafhel	42	39	3	55	60	453	AEP+IRR

Hydraulique de Ghardaïa 2017

II-4-2. Qualité des eaux de la nappe du CI :

Du point de vue consommation, les analyses chimiques d'échantillons qui on a réalisé pendant les mois de Mars et Avril 2018 présentés dans le tableau comparatif avec les normes nationales et les normes de l'OMS, montrent que les eaux de Hassi Lafhel sont extrêmement douces, ne sont pas trop chargés et présentent un faciès chimique de type chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

La comparaison des quantités de minéraux contenus dans les eaux de la région et les normes nationales et celles de l'OMS montre que ces eaux sont bonnes pour la consommation

Tableau n°12 : Comparaison entre l'eau de la région et la réglementation nationale et de l'OMS.

Localités	Quantités (mg/l)								
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	R.S
Hassi Lafhel	67	41	83	4.8	93	201	197	20	767
Mansoura	60	110	132	7	230	305	163	21	987
El Goléa	39	13	63	7	40	45	210	7	370
Normes nationales	100	200	150	12	200	250		50	1500
Normes de l'OMS	100	250	200		250	400		44	2000

On observe a partir cette graphique que les anions sont les éléments dominants dans les eaux de Hassi Lafhel.

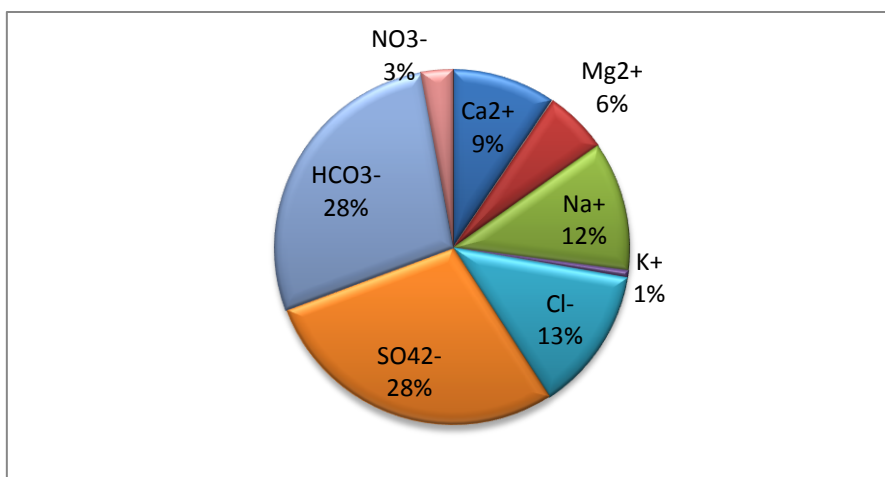


Fig.19 : Les pourcentages des éléments chimiques de la région de Hassi Lafhel.

II-5. Logs lithostratigraphique des forage de la zone d'étude:

II-5-1-le forage agricole 1 Hassi Lafhel:

Les coordonnées géographiques de ce forage :

X : 3°43'55'' Y : 31°37'55'' Z : 369 m

Description lithostratigraphique de ce forage :

-Le Quaternaire : De 0 à 3 mètres. Il est composé de sables rose moyen conglomératiques.

-Le Turonien : De 3 à 123 mètres. Calcaire grisâtre à blanc à passage de marne jaune à rose.

-Le Cénomaniens : De 123 à 242 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres à grises, brunes, parfois noirâtres. Compactes et bariolée à gypses vitreux à la base.

-L'Albien : A partir de 242 mètres.

242 à 260 m : argiles bariolées sableuses gréseuses ;

260 à 274 m : sables bruns moyen à fin argileux ;

274 à 380 m : Grès rose et gris, sables à argiles bariolées ;

380 à 400 m : sables jaunes à grès ;

400 à 420 m : sables fins roses gréseux, grès rouge, argile;

420 à 450 m : sables fins brun argileux.

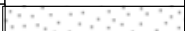
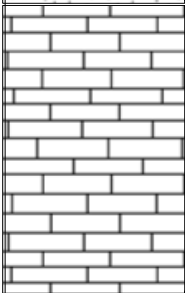
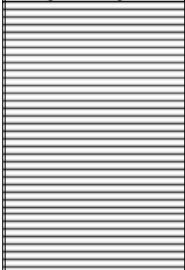

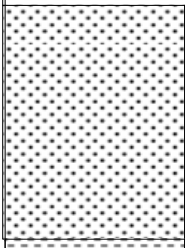

ETAGE	PROF (m)	LITHOLOGIE	DISCRIPTION
QUATERNAIRE	3		sable
TURONIEN	123		calcaire grésatre
CENOMANIEN	242		argiles verdâtres plastique à gypses
ALBIEN	242 250		argiles sableuse gréseuse
	380		sable et grés
	450		sable argileux

Fig.20 : Colonne litho stratigraphie du forage agricole 1 Hassi Lafhel.

II-5-2- le forage agricole 2 Hassi Lafhel:

Les coordonnées géographiques de ce forage :

X : 3°40'44'' Y: 31°36'23'' Z : 373 m

Description lithostratigraphique de ce forage :

-Le Turonien : De 0 à 100 mètres. Il s'agit :

0-50 m calcaire gris et rose.

50-75 m calcaire blanc.

75-100 m calcaire crayeux à marne jaunâtre.

-Le Cénomaniens : De 100 à 270 mètres. Il s'agit :

100-125 m argile grise à calcaire.

125-150 m argile grise et vert.

150-200 m argile verdâtre plastique à gypse.

200-225 m argile marron et grise.

225-250 m argile bariolée.

250-270 m sable à la base.

-L'Albien : A partir de 270 mètres.

270-325 m sable fin gris, argileux.

325-375 m sable fin argileux.

375-425 m sable fin, argile bariolée.

425-450 m sable fin et argile marron.

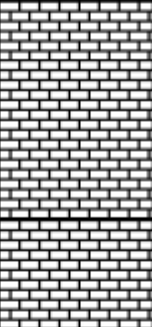
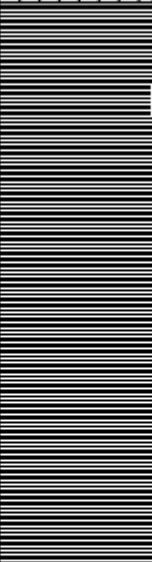
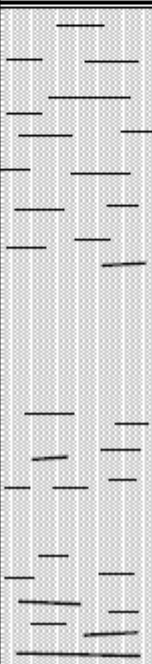
Prof (m)	Lithologie	Description	Etage
25		calcaire gris et rose	Turonien
50		calcaire blanc	
75		calcaire crayeux,	
100		à mames jaunâtres	
125		argile grise à calcaire	Cénomannien
150		argile grise et verte	
175		argile verdâtre plastique	
200		à gypse	
225		argile marron et grise	
250		argile bariolée, sableuse à la base	
275		sable fin gris argileux	Albien
300		sable fin argileux	
325		sable fin argileux	
350		sable fin, argile bariolée	
375		sable fin et argile marron	
400		sable fin et argile marron	
425		sable fin et argile marron	
450	sable fin et argile marron		

Fig.21 : Colonne litho stratigraphie du forage agricole 2 Hassi Lafhel.

II-6. Evolution piézométrique de CI de la zone d'étude :

La campagne piézométrique de la nappe CI de la région de Hassi Lafhel n'est pas réalisée à cause de certaines conditions qui ne permettent pas la cote propriétaire des forages et les outils nécessaires pour faire cette campagne. Donc, on a fait la carte à partir des données des forages (l'A.N.R.H de Ghardaïa).

À partir de cette carte (Fig.22), nous remarquons qu'il y a un sens d'écoulement dans la région d'étude est de Nord-Ouest vers l'Est. On remarque aussi que les courbes isopièzes sont bien espacées presque dans toute la région d'étude. Ceci traduit un faible gradient hydraulique.

En outre, la carte met en évidence une dépression piézométrique dans les années dernières, à cause de la surexploitation des forages d'IRR dans la zone.

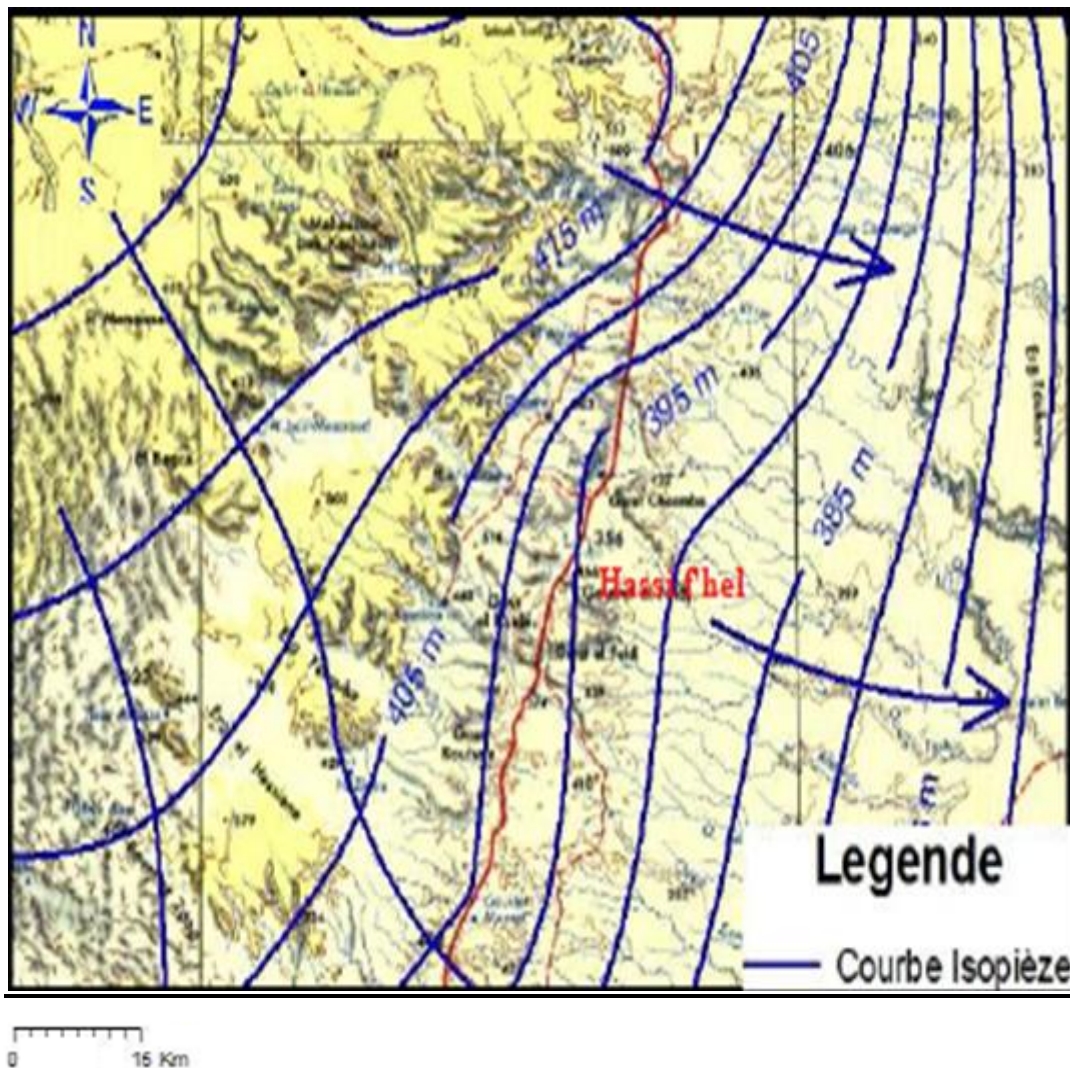


Fig.22: Carte piézométrique de la nappe du CI dans la région du Hassi Lafhel.

Conclusion :

La région de Hassi Lafhel caractérisé par deux nappes, la nappe phréatique (Turonien) a 40 m et la nappe continental intercalaire (Albien) a 250 -450 m.

la plupart des forages utilisé pour l'irrigation sont captent la nappe Albien a un débit moyen de 55 l/s et ces eaux de la nappe du CI sont bonnes pour la consommation humaines.

La nappe Albien de la région est jaillissant, mais en dernier année l'exploitation de CI plus important, donc chute de pression de certains forages.

CHAPITRE III : ETUDE HYDROCHIMIQUE

III-Etude hydrochimique :

Avant d'exposer les résultats des mesures et d'analyse physico-chimique obtenus dans les eaux de la nappe phréatique et la nappe continentale Intercalaire. On a jugé utile de présenter les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse de nos échantillons. Des outils informatiques (logiciels), employés pour le traitement de nos résultats. Nécessitent d'être brièvement présentés.

On a pris des prélèvements en 27/02/2018 à partir de (03) puits de la nappe phréatique et de (05) forages de la nappe CI, pour faire les analyses physico-chimiques pour couvrir la région de Hassi Lafhel.

III-1-Méthode d'échantillonnage

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de la géologie du Sahara au Centre de Recherche Université KASDI MERBAH-Ouargla. Trois (03) échantillons de la nappe phréatique et cinq (05) de la nappe CI, ont été prélevés dans des flacons en plastiques. Les flacons ont été rincés à l'eau de puits ou forage avant de prélèvement, Vu du nombre important de puits étant confronté à l'impossibilité d'analyser les eaux de l'ensemble de ces puits, nous avons procédé à la sélection d'un nombre restreint de points d'eau éparpillés d'une façon à couvrir une partie de la région étudiée.

Dans le souci de rapporter au mieux les propriétés caractérisant les eaux de la nappe superficielle et la nappe de CI de Hassi Lafhel, la collecte des échantillons s'est déroulée dans le respect des étapes, et consignes suivantes :

- Faire des mesures sur terrain (T°, PH et conductivité).
- Remplissage des flacons destinés aux analyses physico-chimiques.
- Étiquetage des flacons, afin de faciliter leur identification.
- Transmission des échantillons d'eau ainsi prélevés et transportés au laboratoire.

III-2 Etude hydrochimique de La nappe phréatique:

III-2.1.Les Paramètres Physicochimiques :

III-2.1.1.Les paramètres physiques :

1- Température :

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz, donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface. A partir la courbe on remarque que la température de l'eau varie entre 24.3°C au puits GA1 et 24.9°C au puits JJ1.

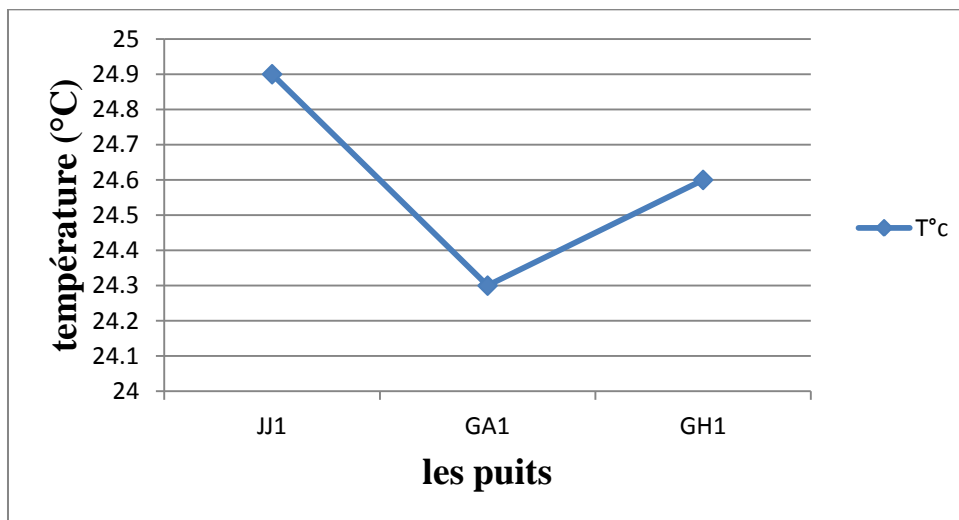


Fig.23 : Courbe des variations de la température des eaux dans la nappe phréatique.

2- Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH exprime le module de représentation en ion $[H^+]$ d'une solution. En générale c'est le cologarithme de la concentration des ions H^+ dont il mesure l'activité dans L'eau. A partir cette courbe On remarque que le pH varie entre (7.5 et 7.83).

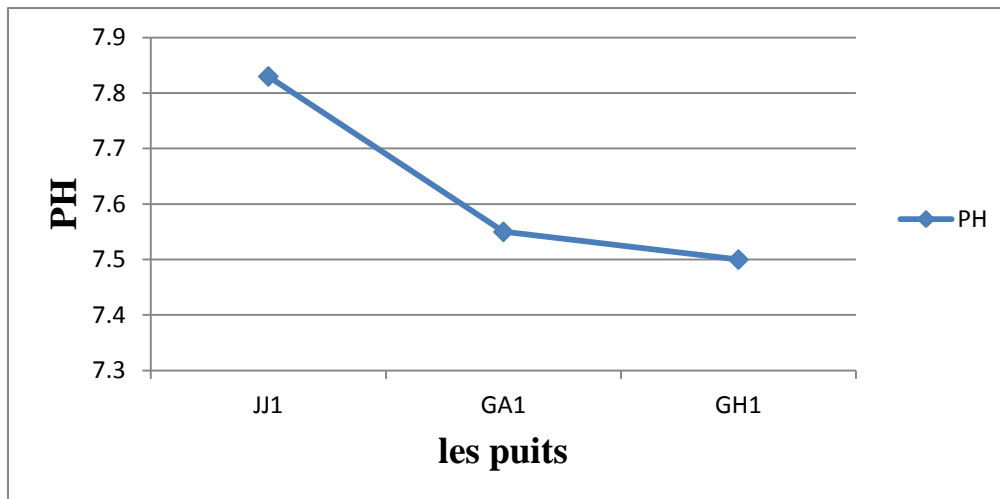


Fig.24: Courbe des variations du pH des eaux dans la nappe phréatique.

3- Conductivité électrique :

La conductivité électrique on peut évaluer le degré de la salinité de l'eau, elle est fonction de la température, elle augmente avec concentration des ions en solution et la température. On remarque a partir la courbe suivant que les valeurs de la conductivité électrique sont comprise entre (1165 – 1461 us/cm).

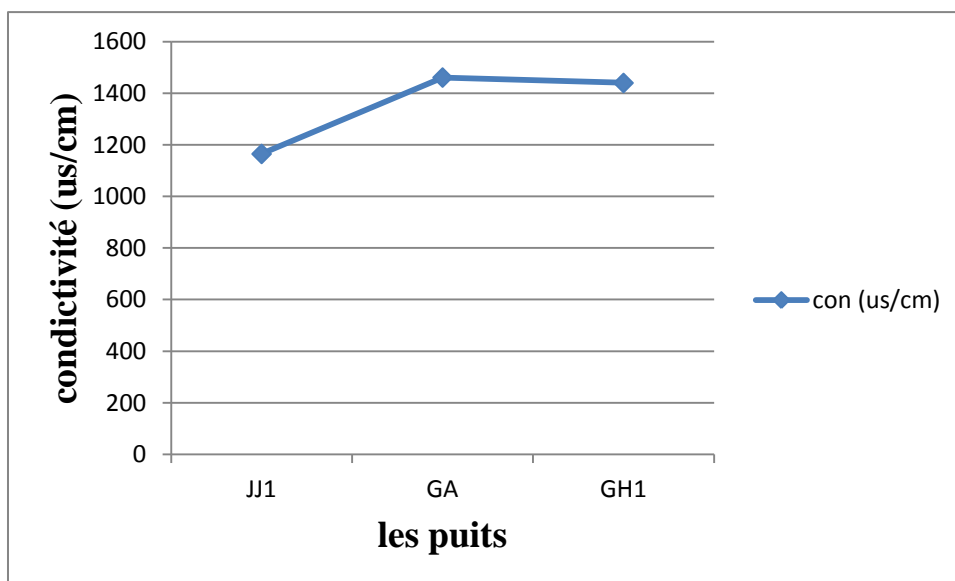


Fig.25: Courbe des variations de la conductivité des eaux dans la nappe phréatique.

4-Résidu sec :

Le résidu sec représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et les matières organiques contenus dans l'eau. Ses valeurs peuvent être mesurées à partir de la mesure de la conductivité.

Pour des raisons de saveur, l'O.M.S. recommande une valeur limite de 1000mg/l dans l'eau

Destinée à la consommation humaine. Dans les pays à climat semi aride et aride cette valeur est souvent largement dépassée. On remarque à partir la courbe suivant que les valeurs du résidu sec sont comprise entre (600-1000mg/l).

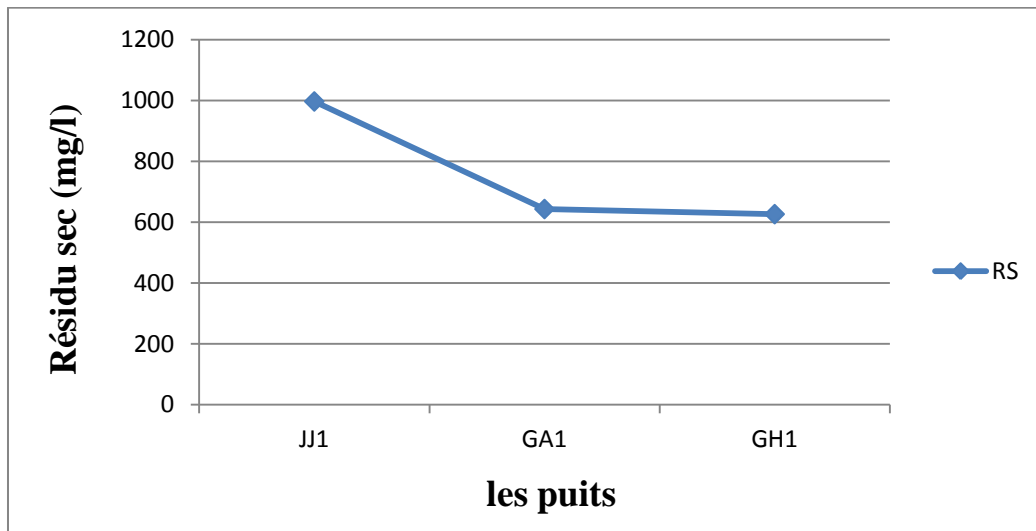


Fig.26 : Courbe des variations de résidu sec des eaux dans la nappe phréatique.

5-Dureté et alcalinité des eaux :

La dureté correspond à la présence des ions alcalino-terreux : Calcium et Magnésium dans l'eau, en fonction de cette dureté, on définit le Titre Hydrotimétrique (TH), avec :

$$\text{TH (}^\circ\text{F)} = ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]) * 5$$

Avec : $[\text{Ca}^{2+}]$ et $[\text{Mg}^{2+}]$ en méq/l

Ainsi, on peut classer les eaux comme suit :

Tableau n°13 : Classification d'une eau selon sa dureté (Norme Algérien)

TH (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 et plus	Eau très dure

Le Titre Alcalimétrique (TA) et Le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) traduisent l'alcalinité d'une eau. L'alcalinité correspond à la présence d'ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- :

$$\text{TAC} = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]; \text{ en méq/l}$$

Si le pH de l'eau est : $< 4.5 \rightarrow \text{TAC} = 0$

$$> 8.3 \rightarrow \text{TAC} = (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-)$$

$$< 8.3 \rightarrow \text{TA} = 0 \text{ et } \text{TAC} = \text{HCO}_3^-$$

Tableau n°14 : Les valeurs de TH (°F) et TAC (mg/l) pour les puits de la nappe phréatique.

les puits	TH (°F)	TAC (mg/l)
JJ1	8.8	3.9
GA1	9.6	3.9
GH1	10	5.6

A partir le tableau on remarque que la dureté totale calculée pour les eaux des puits varie entre 8,8 et 10°F. Donc on déduire que la classification des eaux des puits est des Eaux douce.

III-2.1.2. Les Eléments Chimique Majeurs :

Tableau n° 15 : les éléments chimique de la nappe phréatique et CI de Hassi Lafhel.

Forage	Mg ²⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Hco ₃ ⁻	cl ⁻
JJ1	56	77	88.2	4.87	230	237.9	90
GA1	62.28	93.6	88.2	4.29	275	237.9	124.25
GH1	52.68	79.4	112.2	5.39	250	334.16	106.5
FAK	26.28	85.6	52.2	3.91	190	164.7	71
AEPA	33.48	91.9	52.2	4.1	160	146.4	100
FAC	35.88	66	60.2	3.59	150	128.1	110
AEPT	31.08	81	37	4.29	155	140.3	90
FAD	28.8	88.4	48	3.71	200	183	53.25

a) Les cations :

1- Calcium (Ca⁺⁺):

Le calcium se trouve en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires Se forme de carbonate, la teneur du calcium varie entre (88.2 et 112.2mg/l).

Dans la région d'étude le Ca⁺⁺ provient essentiellement de la dissolution des calcaires.

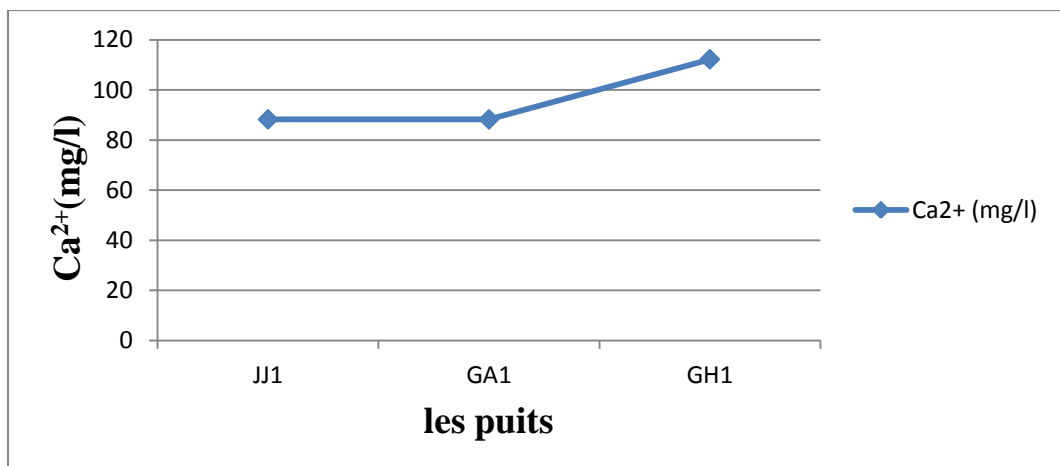


Fig.27: Courbe des variations du Ca⁺⁺ des eaux dans la nappe phréatique.

2- Magnésium (Mg^{++}):

C'est un élément accompagne souvent le calcium, Provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques, des minéraux ferromagnésiens. On remarque que la variation des concentrations du Mg^{++} similaire de celle du Ca^{++} . La teneur minimal du Mg^{++} est enregistré dans le puits GH1 avec une valeur de 52.68mg/l, et la teneur maximal est enregistré dans le puits GA1 avec une valeur de 62.28mg/l.

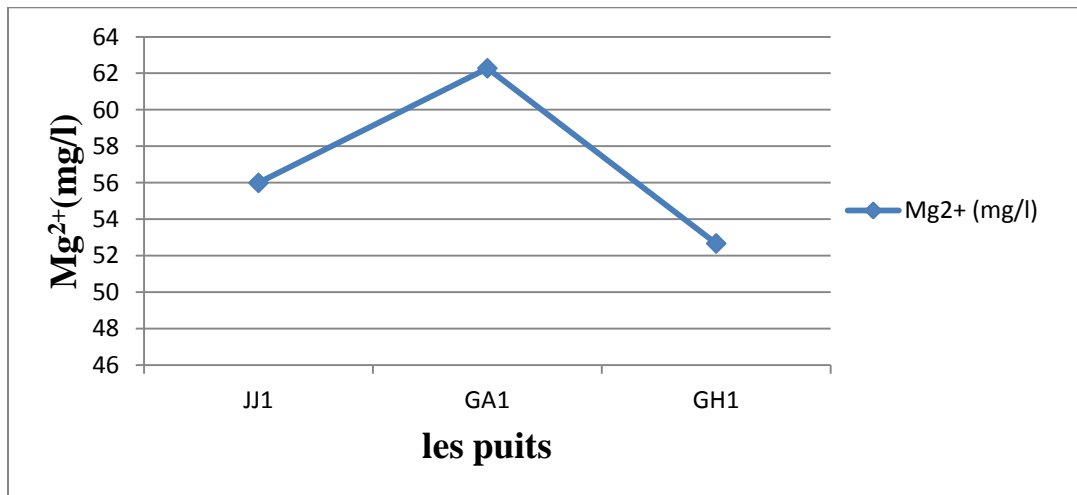


Fig.28 : Courbe des variations du Mg^{++} des eaux dans la nappe phréatique.

3- Sodium Na^+ :

C'est un élément qui existe dans la totalité des eaux car la solubilité de ses sels est très élevée en agriculture, le composé du sodium le plus important est le chlorure de sodium. Le sodium constitue un élément de maintien de la perméabilité du sol. Les teneurs du Na^+ varient entre (77 et 93.6mg/l).

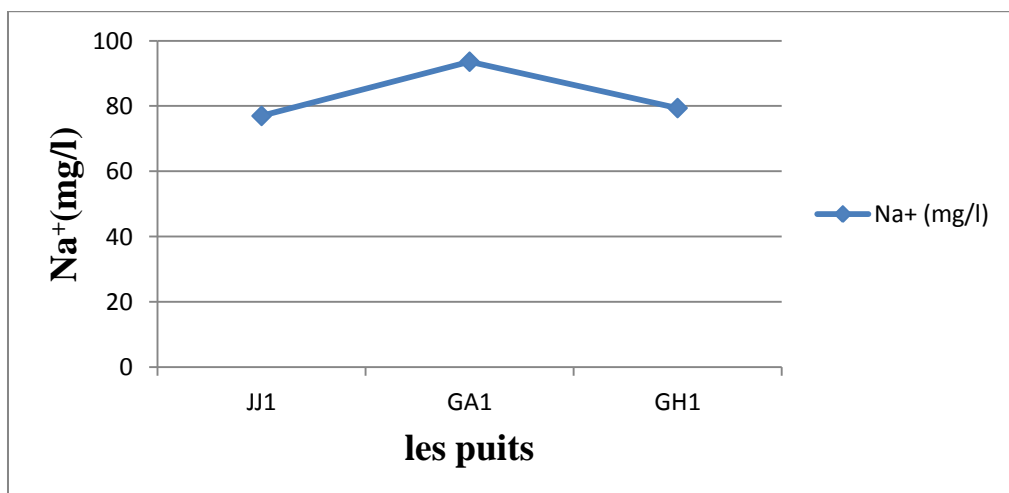


Fig.29 : Courbe des variations du Na^+ des eaux dans la nappe phréatique.

4- Potassium (K^+):

C'est un élément alcalin, très réactif avec l'eau, on le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais. Il se trouve aussi dans la végétation sous forme de carbonate. Les teneurs du K^+ varient entre (4.29 et 5.39 mg/l).

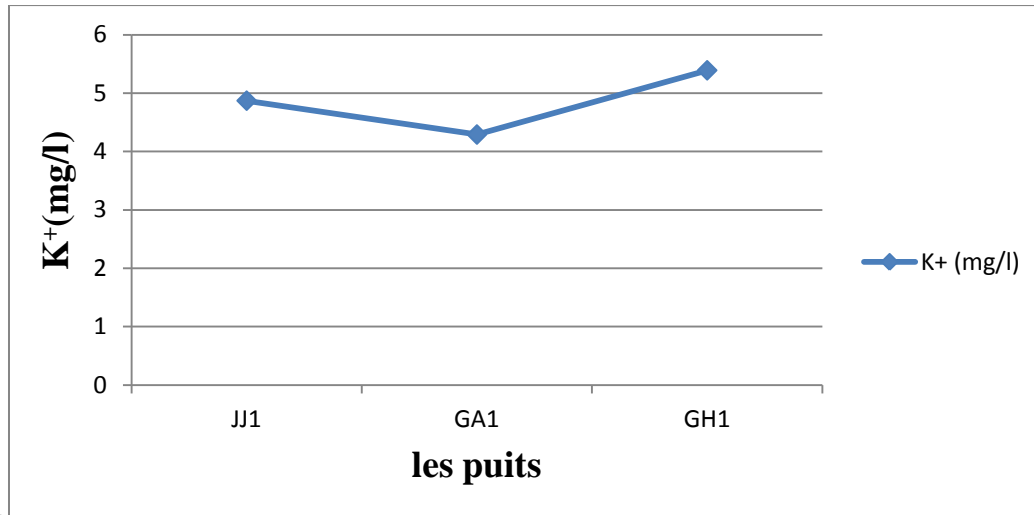


Fig30 : Courbe des variations du K^+ des eaux dans la nappe phréatique.

b) Les anions :

1- Bicarbonate (HCO_3^-):

Le Bicarbonate se trouve dans les eaux naturelles, leur présence dans l'eau est due à la dissolution de la formation carbonatée tel que les calcaires et les dolomies. On remarque a partir la courbe que Les teneurs du HCO_3^- varient entre (237.9 et 334.16 mg/l).

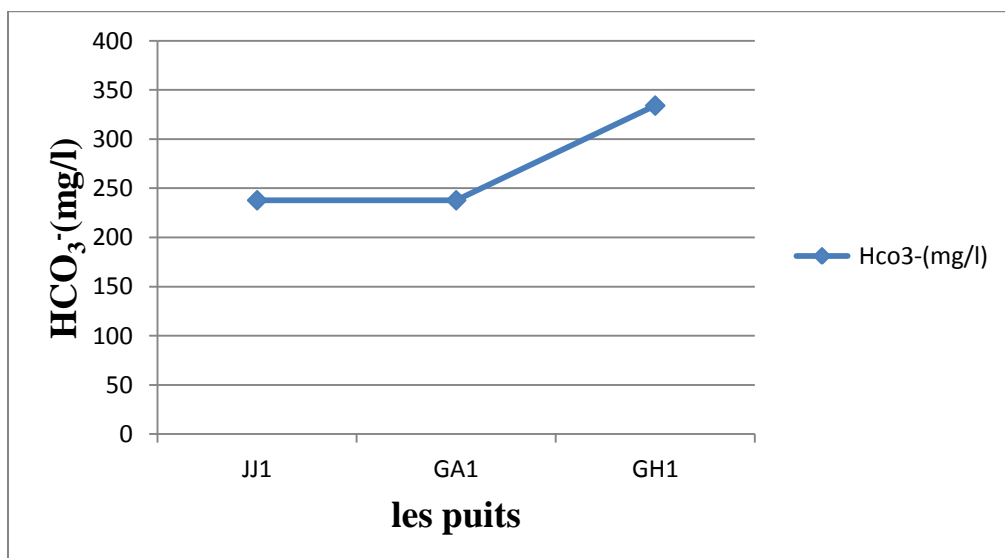


Fig.31: Courbe des variations du HCO_3^- des eaux dans la nappe phréatique.

2- Chlorure (Cl⁻) :

Le Chlorure peuvent avoir plusieurs origines, et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine à partir du soulage des routes, ou par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût Désagréable et posent le problème de la corrosion dans la canalisation et les réservoirs.

A partir la courbe on remarque que les teneurs en chlorures sont en amont de 90 mg/l et au niveau de puits (GA1) au centre à 124.25 mg/l jusqu'à 106.5 mg/l au niveau du puits situé en aval (GH1).

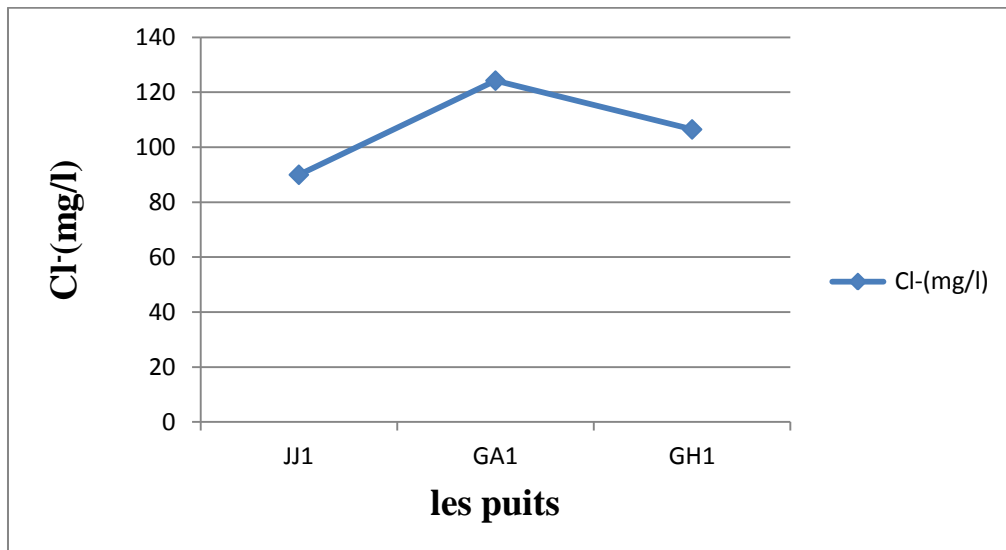


Fig.32 : Courbe des variations du Cl⁻ des eaux dans la nappe phréatique.

3- Sulfates (SO₄²⁻):

Les sulfates sont le composant naturel des eaux à des teneurs très variable et ils proviennent essentiellement de la dissolution de gypse (CaSO₄, 2H₂O). Ils dépendent aussi des rejets industriels. On remarque a partir les analyse chimique les teneurs maximale de sulfate au niveau de puits GA1 avec une valeur de 275 mg/l et les teneurs minimale au niveau de puits JJ1 avec une valeur de 230mg/l.

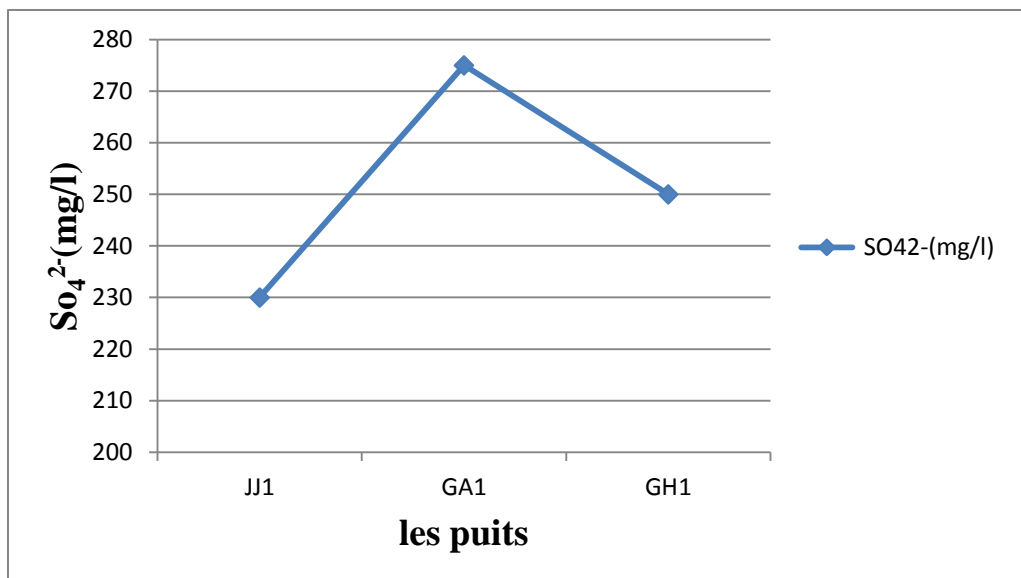


Fig.33 : Courbe des variations du SO_4^{2-} des eaux dans la nappe phréatique.

III-2.2. Balance ionique :

La qualité des analyses testée par la balance ionique, permet de déterminer le Pourcentage d'erreur à l'aide de la relation suivante :



A partir du calcul du pourcentage d'erreur nous distinguons :

$E\% < 2\%$ bonne analyse

$2\% < E\% < 6\%$ analyse acceptable

$E\% > 6\%$ mauvaise analyse

Les résultats obtenus sont données dans ce tableau :

Tableau n°16 : pourcentage d'erreur des analyses chimiques de la nappe phréatique.

Nom de puits	E%	analyse
JJ1	5.4	analyse acceptable
GA1	2.2	analyse acceptable
GH1	-0.5	bonne analyse

Ce tableau montre un pourcentage d'erreur relativement inférieur à 6% pour l'ensemble des échantillons.

III-2-3. Les Facies Chimique :

A partir des résultats des analyse chimique des différentes puits, le diagramme de Piper permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux de la nappe phréatique de la région de Hassi Lafhel. Il montre que les eaux pour toutes les stations présentent une seule famille : chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

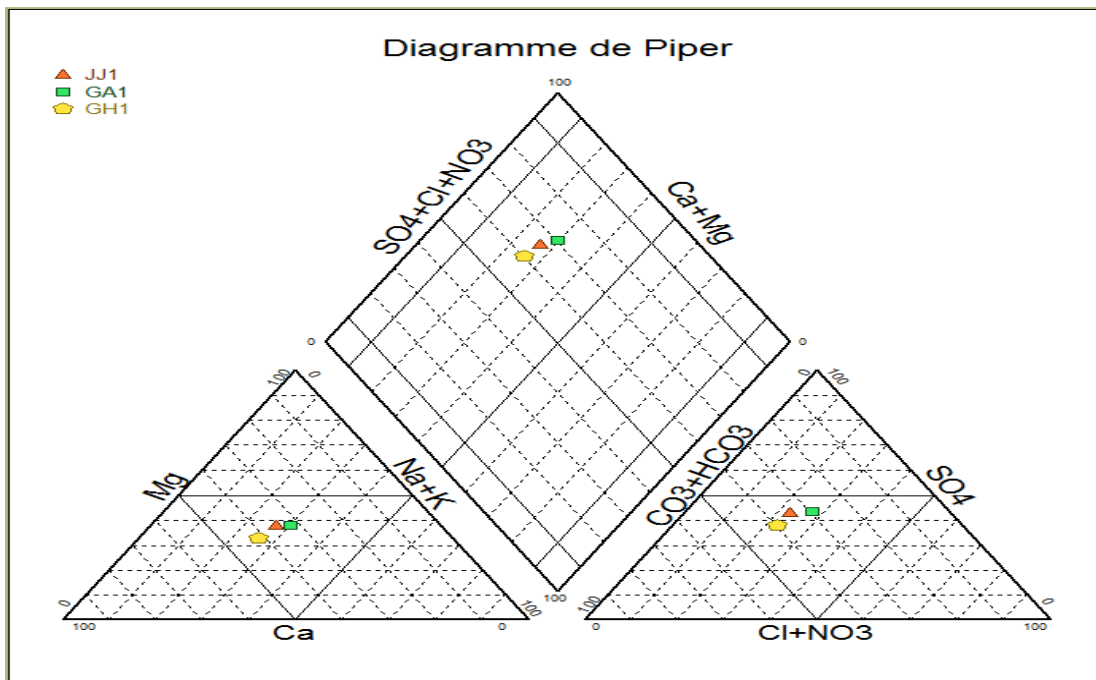


Fig.34 : Classification des eaux par le diagramme de piper.

Selon le diagramme de piper, la distribution des points d'eau analysée, d'après leurs composition chimiques dans la région étudiée montre que :

-Il n'y a pas aucun cation ou anion dominants pour tous les échantillons (JJ1, GA1 et GH1).

III-2-3-1 Classification des eaux selon la formule caractéristique de STABLER :

Tableau n°17 : Classification des eaux selon stabler :

Les familles de facies chimique	La formule caractéristique de Stabler	Les puits
Sulfaté magnésien	$SO_4^- > HCO_3^- > Cl^-$ et $Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+$	JJ1
Sulfaté magnésien	$SO_4^- > HCO_3^- > Cl^-$ et $Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+$	GA1
Bicarbonaté calcique	$HCO_3^- > SO_4^- > Cl^-$ et $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$	GH1

Le facies chimique selon la classification de Stabler on montre que :

- ✓ Les puits (JJ1, GA1) ont un faciès sulfaté magnésien.
- ✓ Le puits (GH1) a un faciès Bicarbonaté calcique

III-2-4. Qualités des eaux à l'irrigation :

Ce fait une étude chimique détaillée des eaux pour l'irrigation s'avère nécessaire pour mettre en évidence le danger que présentent certains éléments chimiques pour les plantes et le sol. Les normes de qualité de l'eau destinée à l'irrigation tiennent compte des caractères chimiques de l'eau, en particulier sa salinité, de la nature des cations mais également de la nature des cultures, du type de sol, du climat, de la méthode d'irrigation et les propriétés du drainage du sol.

L'aptitude des eaux à l'irrigation peut être évaluée par un certain nombre de coefficients plus ou moins faible et parmi lesquels nous retenons le S.A.R.

Le S.A.R (Sodium Adsorption Ration) est un indice qui mesure le danger qui représente l'existence d'une teneur donnée en sodium de l'eau. Il s'obtient par la formule suivant :

$$\text{S.A.R} = r \text{Na}^+ / (r \text{Ca}^{++} + r \text{Mg}^{++})^{1/2}$$

Où :

Na : la concentration de Na^+ en méq/l ;

Ca : la concentration de Ca^{++} en méq/l ;

Mg : la concentration de Mg^{++} en méq/l ;

Les valeurs du S.A.R et les conductivités exprimées en us/cm à 25°C sont placées sur le diagramme de WILCOX. Ce diagramme de classification des eaux d'irrigation comporte les subdivisions suivantes :

-S.A.R<10 : eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation.

-10< S.A.R<18 : eaux utilisées avec un danger appréciables d'alcalinisation.

- 18< S.A.R<26 : eaux utilisées peu provoque un danger d'alcalinisation.

-S.A.R>26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.

Tableau n°18 : Classification de l'eau par degrés d'aptitude à l'irrigation par la méthode du S.A.R.

Degré	Qualité	Classe	L'état d'utilisation
1	Excellente	C1-S2	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart du sol.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En générale, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C2-S3	En générale, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En générale, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions. Sol très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel

Tableau n°19 : Les valeurs de S.A.R pour les eaux de nappe phréatique.

Les puits	S.A.R	Conductivité ($\mu\text{s/cm}$)
JJ1	1.13	1165
GA1	1.31	1461
GH1	1.09	1440

A partir ce tableau on remarque que tous les puits de prélèvement ont un S.A.R inférieure a 10 donc elles sont des eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation.

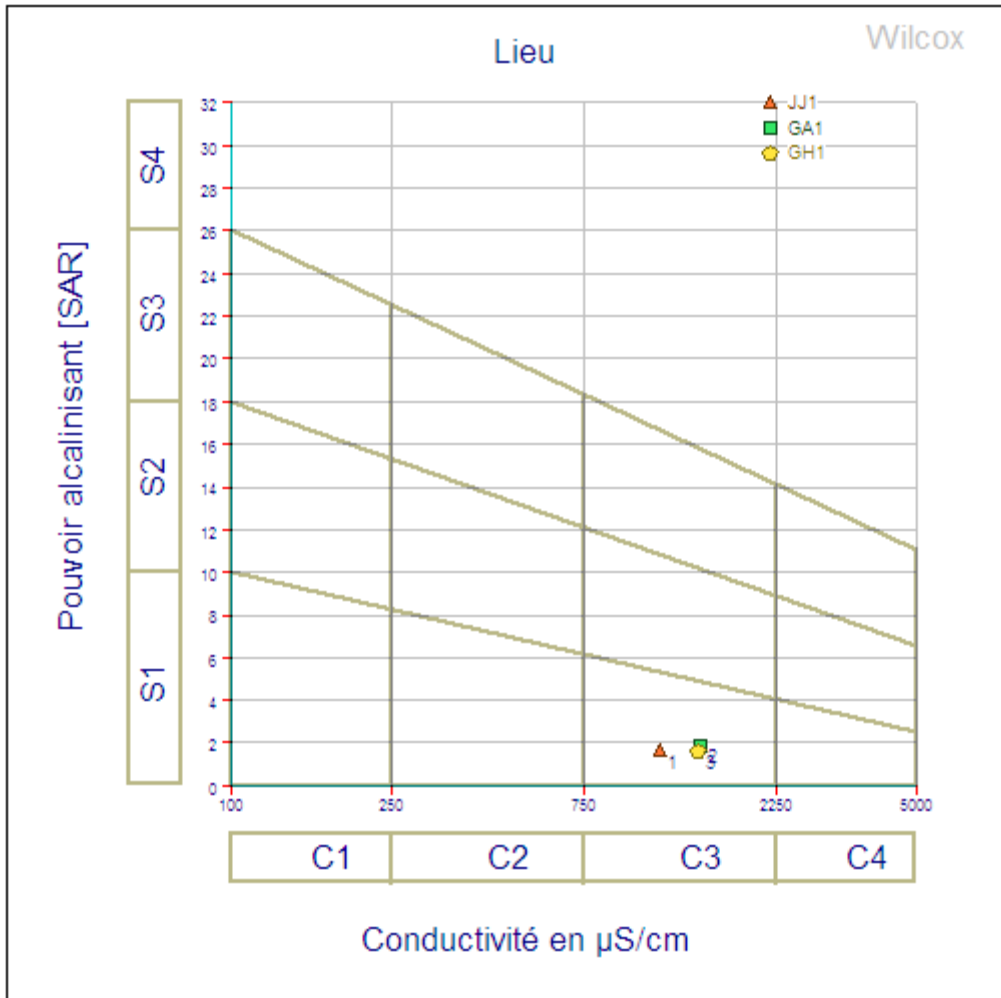


Fig.35: Diagramme de classification de l'eau d'irrigation pour les puits de la nappe phréatique.

On remarque sur le diagramme que les eaux sont situées dans les classes C3-S1 :

Les eaux des puits (JJ1, GA1 et GH1) ces classes sont de qualité Admissible eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

III-3. Etude hydrochimique de La nappe Albien :

III-3-1. Les paramètres physico-chimiques :

III-3-1-1. Les paramètres physiques :

1- Température :

La température de l'eau varie avec la profondeur et ses fluctuations peuvent marquer un mélange des différents niveaux. Elle varie entre 23.7°C au puits AEPA et 33.2°C au Puits FAC situé au centre.

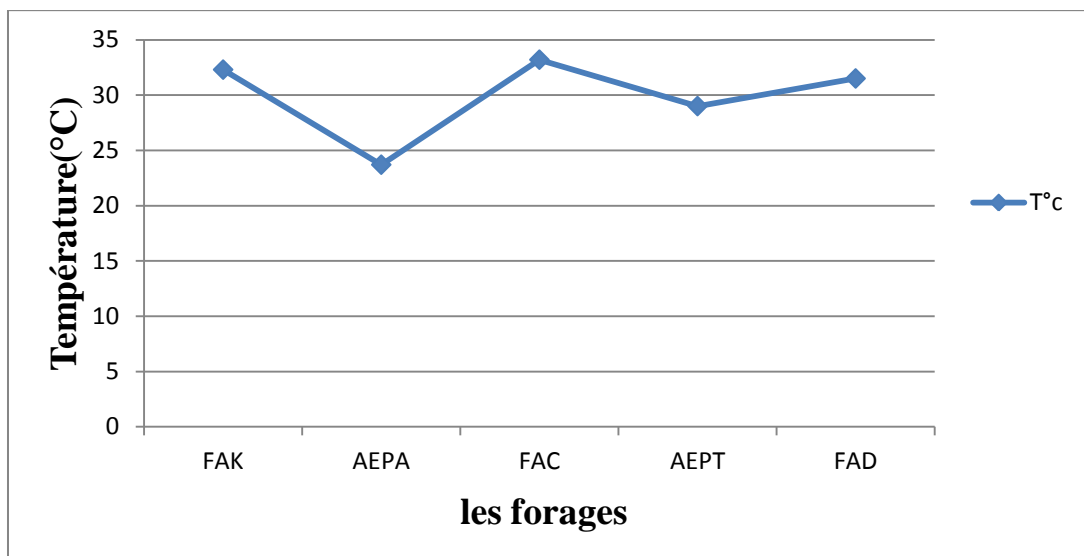


Fig.36 : Courbe des variations de la température des eaux dans la nappe CI.

2- Conductivité :

On remarque à partir de la courbe suivante que les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre une teneur minimale de 623 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits FAK avec une valeur maximale de 950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au puits AEPT.

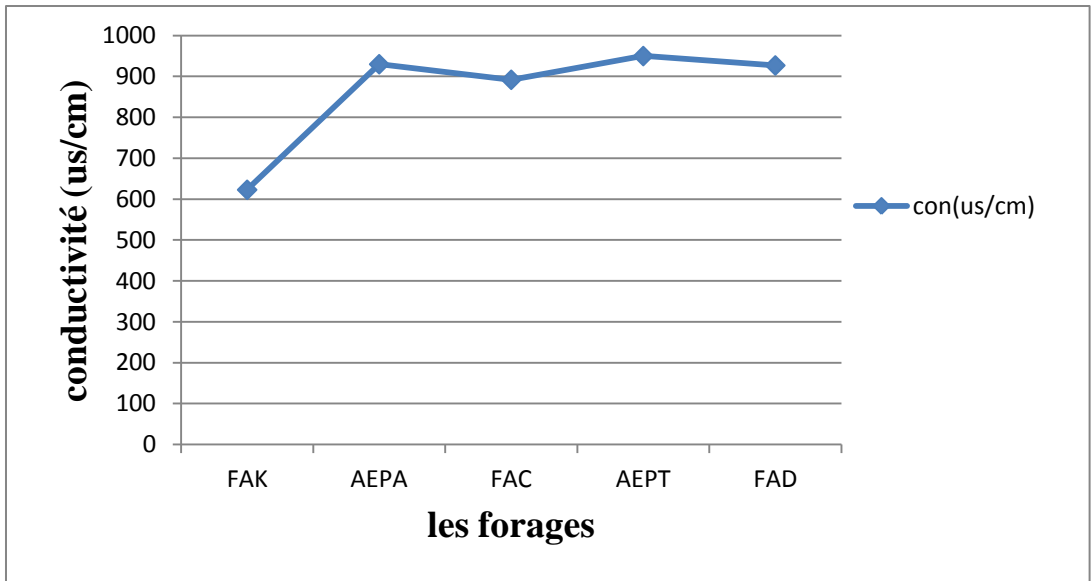


Fig.37 : Courbe des variations de la conductivité des eaux dans la nappe CI.

3- Potentiel d'hydrogène (pH) :

On remarque que le pH varie entre une valeur minimale de 7.82 au puits FAC situé au centre et une valeur maximale de 7.9 au puits FAK et FAD.

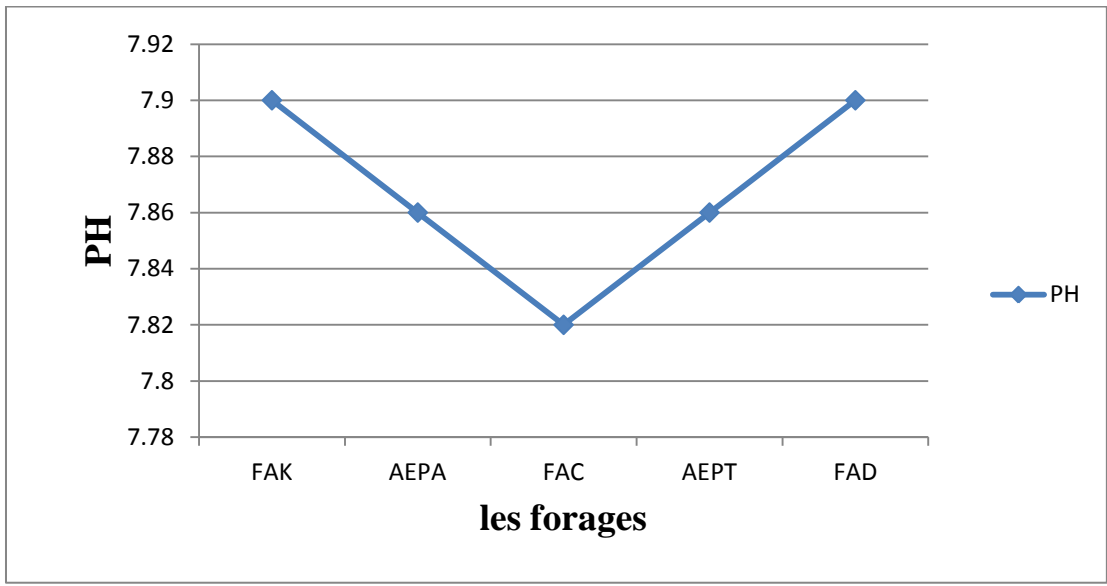


Fig.38 : Courbe des variations du pH des eaux dans la nappe CI.

4-Résidu sec :

On remarque a partir la courbe suivant que les valeurs du résidu sec sont comprise entre (400-700 mg/l).

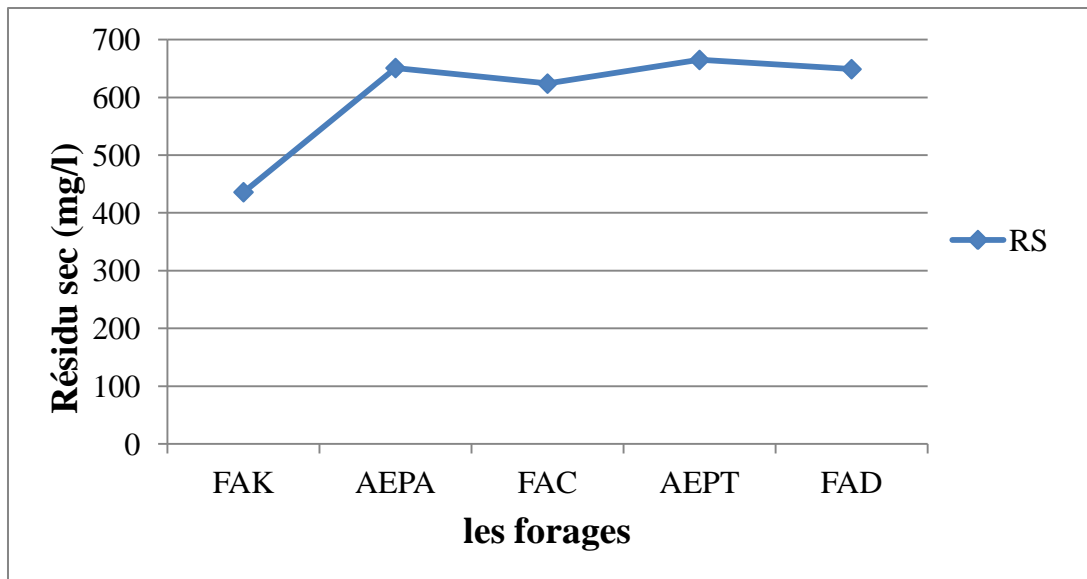


Fig.39: Courbe des variations de résidu sec des eaux dans la nappe CI.

5- Dureté et alcalinité des eaux :

Tableau n°20 : Les valeurs de TH (°F) et TAC (mg/l) pour les puits de la nappe Albien.

les puits	TH (°F)	TAC (mg/l)
FAK	4.8	2.7
AEPA	5.4	2.4
FAC	6	2.1
AEPT	5.2	2.3
FAD	4.8	3

A partir le tableau on remarque que la dureté totale calculée pour les eaux des forages varie entre 4.8 et 6 °F. Donc on déduire que la classification des eaux des forages est des Eaux très douce.

III-3-1-2. Les Eléments Chimique Majeurs :

a) Les cations :

1- Calcium (Ca⁺⁺):

A partir la courbe on remarque que la teneur du calcium maximale est enregistrée dans le puits FAC avec une valeur de 60.2 mg/l et la teneur minimale est enregistrée dans le puits AEPT avec une valeur de 37 mg/l.

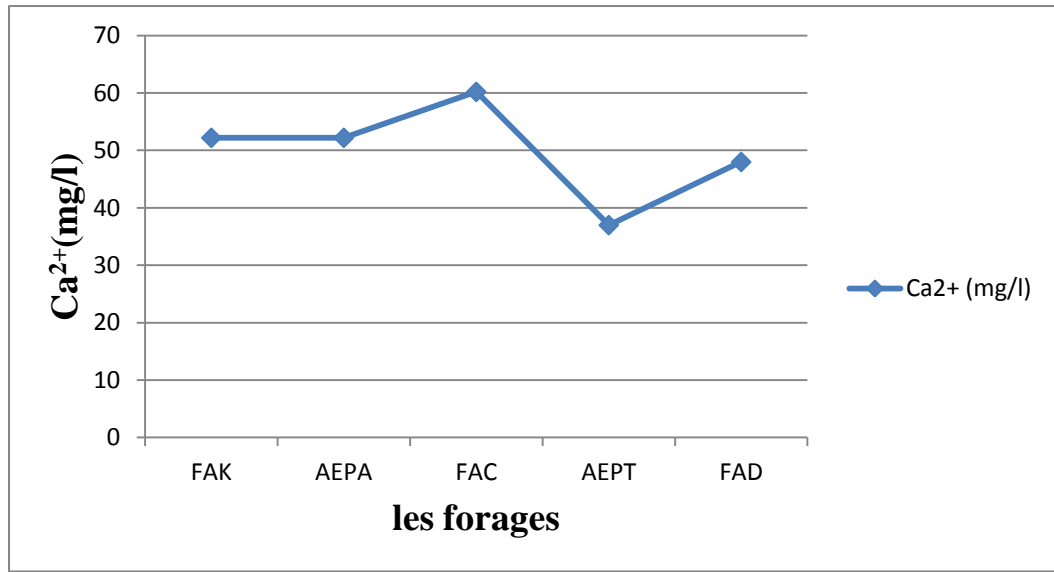


Fig.40: Courbe des variations du Ca⁺⁺ des eaux dans la nappe CI.

2- Magnésium (Mg⁺⁺):

On remarque que la variation des concentrations du Mg⁺⁺ similaire de celle du Ca⁺⁺. La teneur minimal du Mg⁺⁺ est enregistré dans le puits FAK avec une valeur de 26.28 mg/l et la teneur maximal est enregistré dans le puits FAC avec une valeur de 35.88 mg/l.

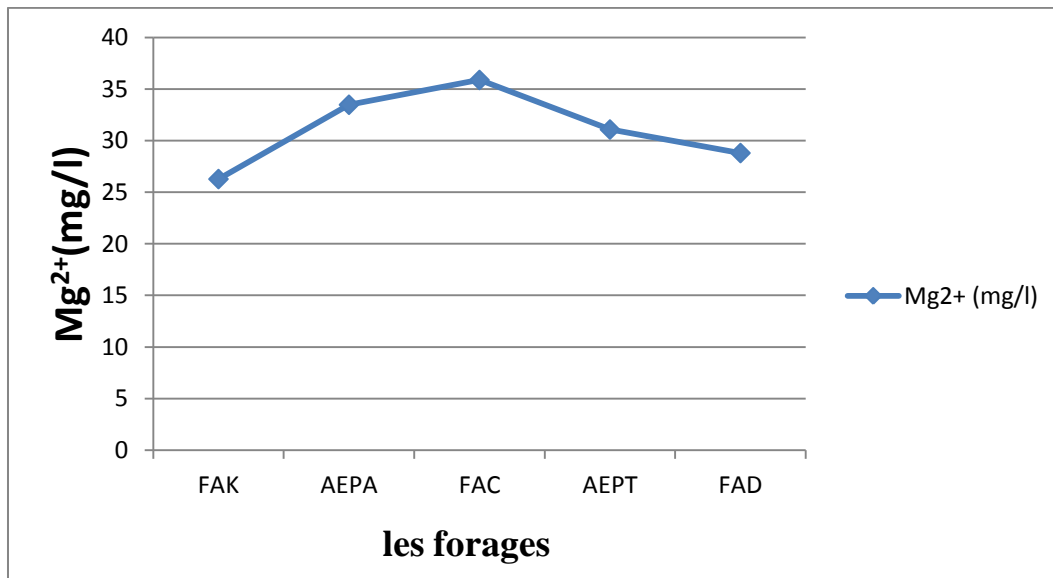


Fig.41 : Courbe des variations du Mg⁺⁺ des eaux dans la nappe CI.

3- Sodium Na⁺ :

A partir la courbe on remarque que la teneur minimal du Na⁺ est enregistrée dans le puits FAC avec une valeur de 66 mg/l, et la teneur maximal est enregistrée dans le puits AEPA avec une valeur de 91.9 mg/l.

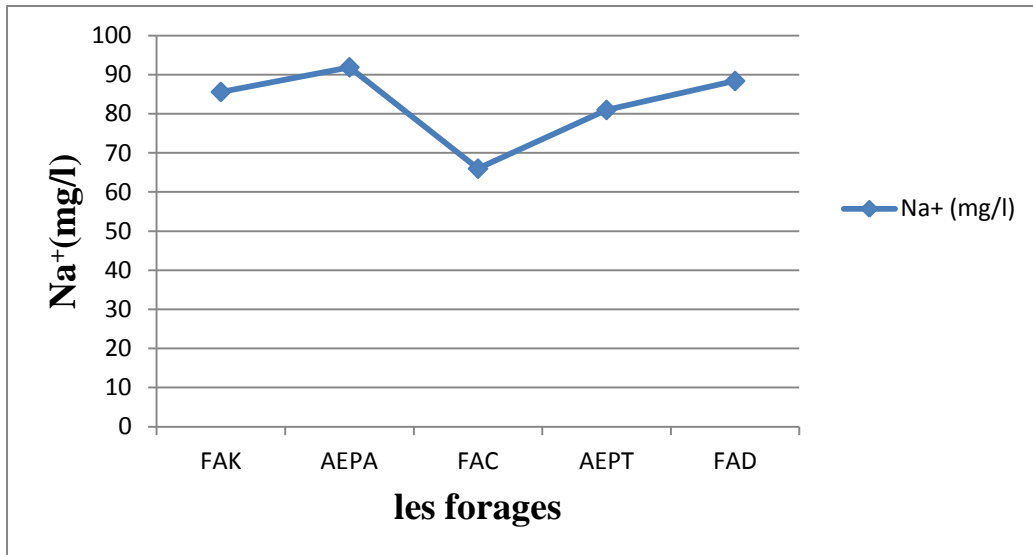


Fig.42 : Courbe des variations du Na⁺ des eaux dans la nappe CI.

4- Potassium (k⁺):

A partir la courbe on remarque que la teneur minimal du k⁺ est enregistrée dans le puits FAC avec une valeur de 3.59 mg/l, et la teneur maximal est enregistrée dans le puits AEPT avec une valeur de 4.29 mg/l.

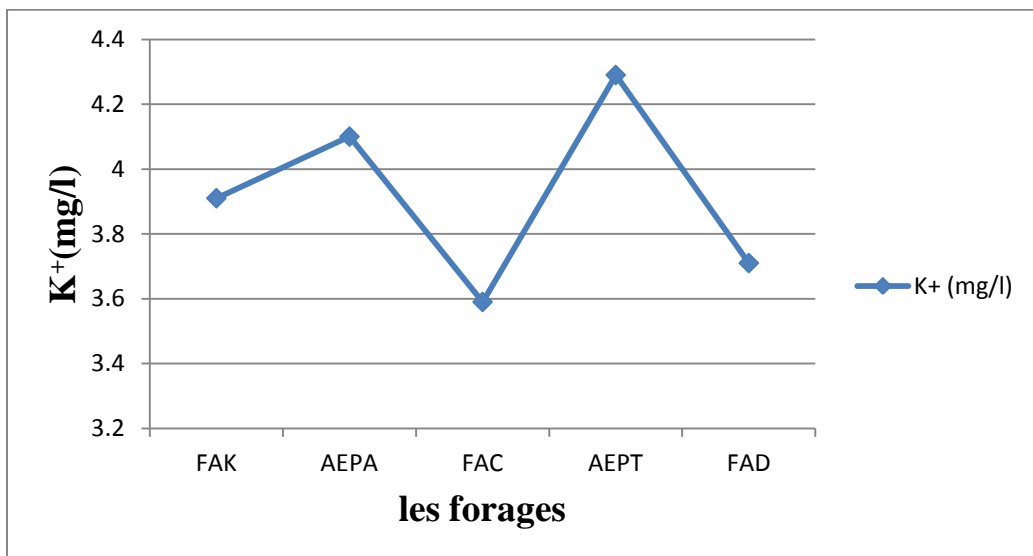


Fig.43 : Courbe des variations du K⁺ des eaux dans la nappe CI.

b) les anions :

1- Bicarbonate HCO₃⁻ :

On remarque a partir la courbe que La teneurs minimal du HCO₃⁻ est enregistrée dans le puits FAC avec une valeur de 128.1 mg/l et la teneur maximal est enregistrée dans le puits FAD avec une valeur de 183 mg/l .

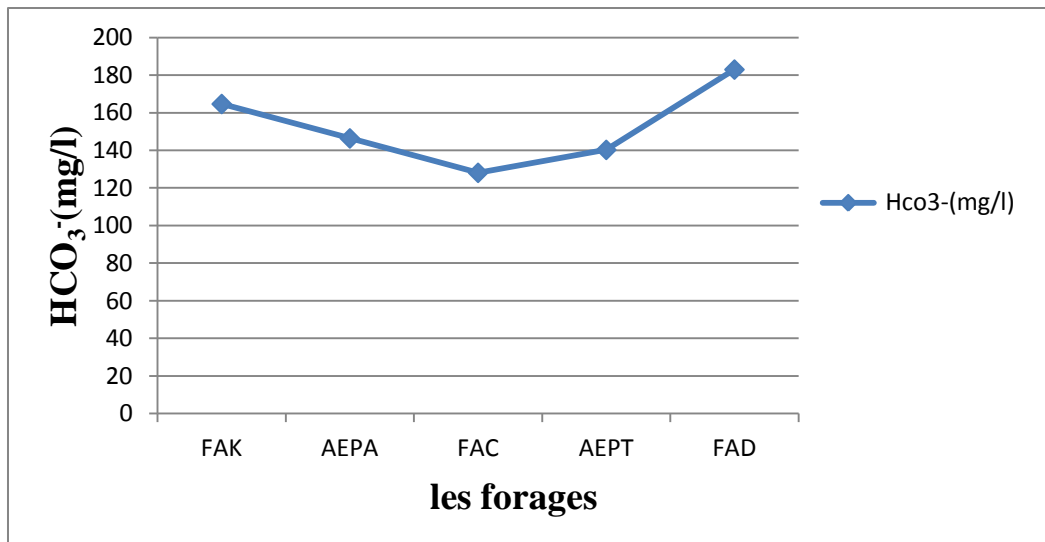


Fig.44 : Courbe des variations du HCO₃⁻ des eaux dans la nappe CI.

2- Chlorures Cl⁻ :

On remarque a partir la courbe que La teneurs maximal du Cl⁻ est enregistrée dans le puits FAC avec une valeur de 110 mg/l, et les teneurs minimal est enregistrée dans les puits situé en amont et aval avec des valeurs de (FAD : 53.25 mg/l) et (FAK : 71 mg/l).

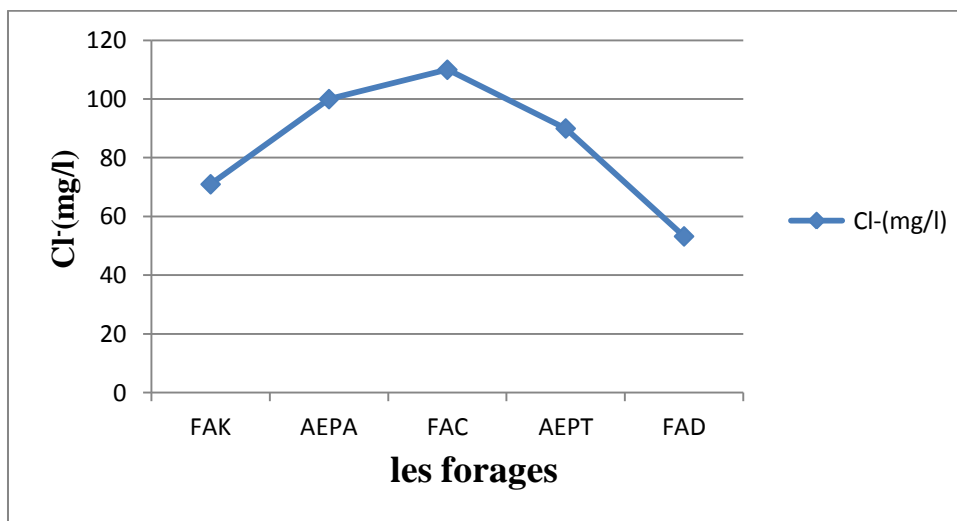


Fig.45 : Courbe des variations du Cl⁻ des eaux dans la nappe CI.

3- Sulfate SO₄²⁻ :

On remarque a partir les analyse chimique les teneurs maximale de sulfate est enregistrée dans les puits situé en amont et aval avec des valeurs de (FAD : 200 mg/l) et (FAK : 190 mg/l), la teneur minimale au niveau de puits FAC avec une valeur de 150 mg/l.

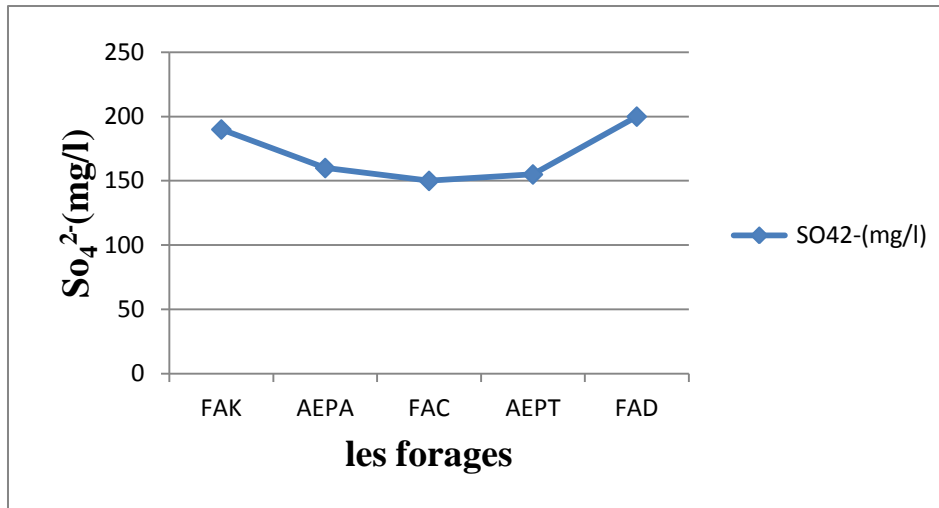


Fig.46 : Courbe des variations du SO_4^{2-} des eaux dans la nappe CI.

III-3.2. Balance ionique :

Les résultats obtenus sont données dans ce tableau :

Tableau n°21 : Pourcentage d'erreur des analyses chimiques de la nappe Albien.

Nom de puits	E%	Analyse
FAK	-0.4	bonne analyse
AEPA	5	analyse acceptable
FAC	3.4	analyse acceptable
AEPT	-0.2	bonne analyse
FAD	0.3	bonne analyse

Ce tableau montre un pourcentage d'erreur relativement inférieur à 6% pour l'ensemble des échantillons.

III-3-3. Facies Chimique :

A partir des résultats des analyse chimique des différentes puits, le diagramme de Piper permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux de la nappe phréatique de la région de Hassi Lafhel. Il montre que les eaux pour toutes les stations présentent une seule famille : chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne.

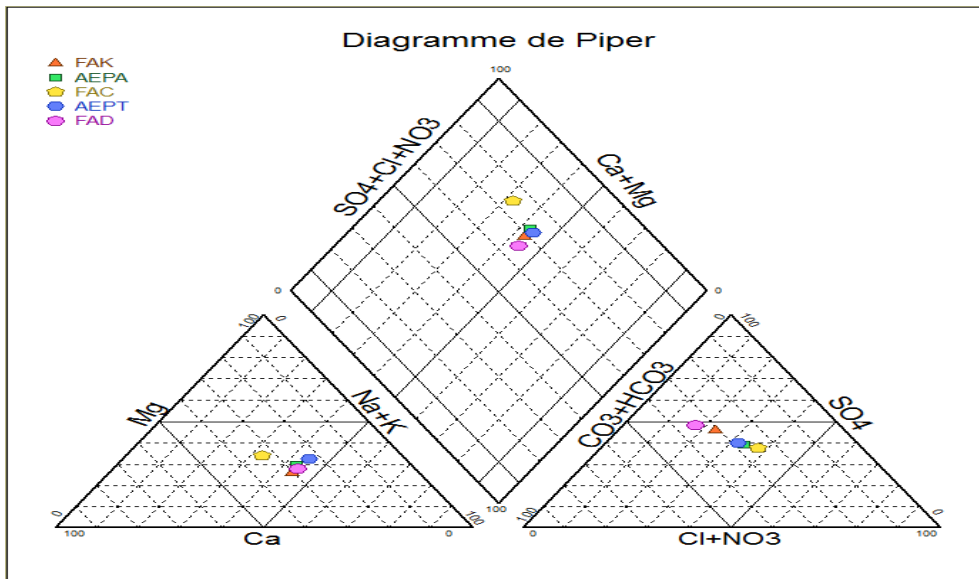


Fig. 47: Classification des eaux par le diagramme de piper.

Selon le diagramme de piper, la distribution des points d'eau analysée, d'après leurs composition chimiques dans la région étudiée montre que :

-Il n'y a pas aucun cation ou anion dominants pour tous les échantillons.

III-3-3.1. Classification des eaux selon la formule caractéristique de STABLER :

Tableau n°22 : Classification des eaux selon stabler

Les familles de facies chimique	La formule caractéristique de Stabler	Les puits
Sulfaté Sodique	$SO_4^{--} > HCO_3^- > Cl^-$ et $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	FAK, AEPA, AEPT, FAD.
Chloruré Calcique	$Cl^- > SO_4^{--} > HCO_3^-$ et $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+$	FAC

Le facies chimique selon la classification de Stabler montre que :

- ✓ Les forages (FAK, AEPA, AEPT et FAD) ont un faciès sulfaté sodique.
- ✓ le forage (FAC) a un faciès chloruré calcique.

III-3-4. Qualités des eaux de la nappe CI à l'irrigation :

Tableau n°23 : Les valeurs de S.A.R pour les eaux de nappe CI.

Les puits	S.A.R	Conductivité (µs/cm)
FAK	1.70	623
AEPA	1.72	930
FAC	1.17	892
AEPT	1.54	950
FAD	1.75	927

A partir ce tableau on remarque que tous les puits de prélèvement de la nappe CI ont un S.A.R inférieure a 10 donc elles sont des eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation.

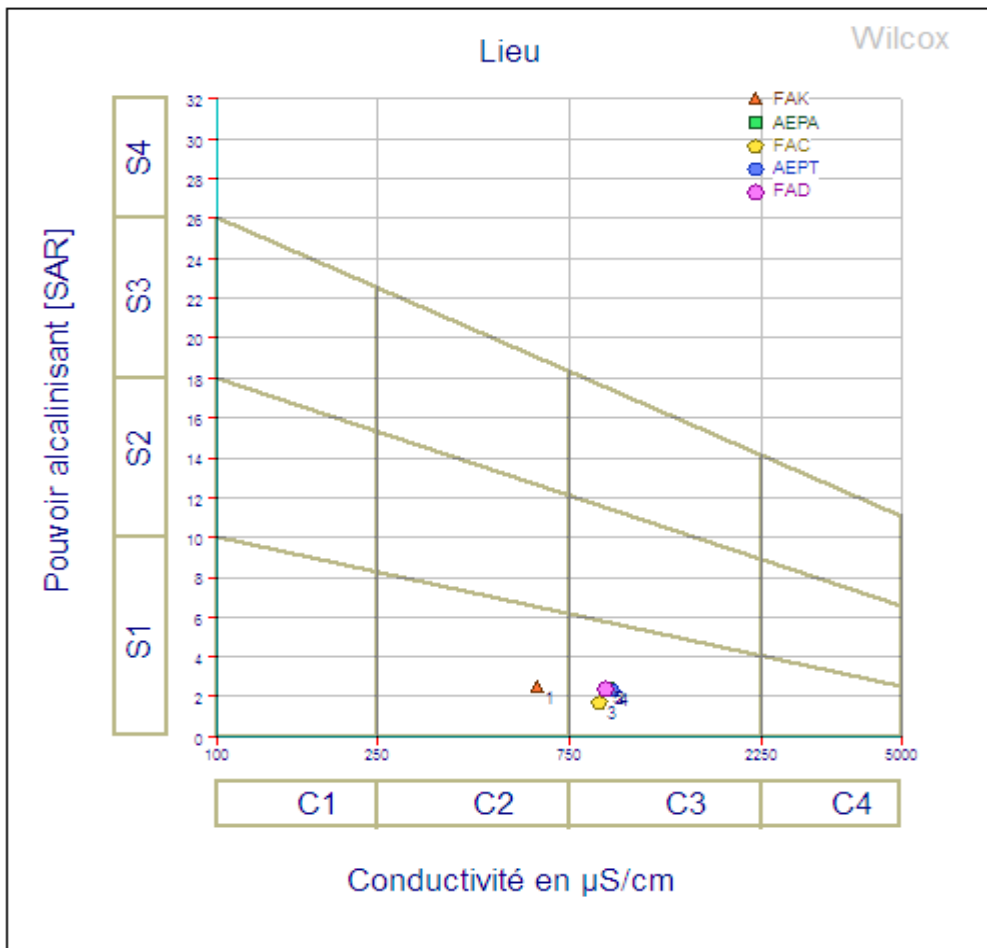


Fig.48 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation pour les forages de la nappe CI.

On observe sur le diagramme que les eaux de :

- les forages (AEPA, FAC, AEPT et FAD) situés dans la classe C3-S1 sont de qualité Admissible eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.
- le forage FAK situé dans la classe C2-S1 : En générale, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité.

Conclusion :

Les eaux de la nappe superficielle de la région de Hassi Lafhel sont douces (ne dépassent pas les normes de l'OMS), car elles sont minéralisées et douces. Leurs faciès chimiques selon le diagramme de Piper est chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne, selon la classification de Stabler est sulfaté magnésien et Bicarbonaté calcique, elles sont des eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation car a un SAR inférieure à 10. La représentation de ces eaux sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation montre qu'elles sont de qualité Admissible eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée car elles se trouvent dans les classes C3-S1

Les eaux de continental intercalaire sont des Eaux très douces. Leurs faciès chimiques selon le diagramme de Piper est chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne. Selon la classification de Sabler est chloruré calcique. La représentation de ces eaux sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation montre qu'elles sont de qualité Admissible eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée et aussi pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel sur sols ayant une bonne perméabilité. car elles se trouvent dans les classes C3-S1 et C2-S1.

conclusion générale

La région de Hassi Lafhel est située à 113 km au Sud de la wilaya de Ghardaïa. Elle couvre une superficie de 6715 km² et une population estimée à 3651 habitants. L'agriculture représente la principale activité de la région.

Le climat de la zone d'étude est hyper aride de type saharien, la période sèche dure pendant toute l'année, Le bilan est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année. Elle caractérisé par des précipitations très faibles dans la période (2007-2017), la température maximale dépasse 30°C pendant les mois de juin et juillet.

Le sous bassin versant du Hassi Lafhel est un bassin allongée d'une superficie de 544.012 km², son altitude moyenne en amont est égal à 550 m et en avale est 370 m.

Cette région caractérisée par deux nappes, la nappe phréatique (Turonien) a 40 m et la nappe continental intercalaire (Albien) a 250-450 m. les formation géologique de la nappe phréatique sont des calcaires, des marnes au sommet, et la nappe de CI composé par de sables fin grés argileux au sommet, des sables fins, des grés et des sables fins argileux vers la base. la plupart des forages dans la zone d'étude capte la nappe de CI et sont réalisé pour l'irrigation. La profondeur moyenne de ces forages est 453 m avec un débit moyen de 55 l/s. le sens d'écoulement est de Nord-Ouest vers l'Est.

Les eaux de la région de Hassi Lafhel sont potables pour la consommation humaine (ne dépasse pas les normes de l'OMS et les normes algériennes), car elles sont très douce et la minéralisation est moyenne. Leurs faciès chimiques selon le diagramme de piper est chlorurée, sulfatée calcique et magnésienne.

Selon le diagramme de classification des eau d'irrigation montre qu'elles sont de qualité Admissible eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACHOUR M. (2010) : Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du CI ; ANRH ; Ghardaïa, Algérie ; 14p.

ACHOUR M. (2011) : inventaire des forages d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ghardaïa, Algérie ; 16p.

ACHOUR M. (2014) : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride -cas la vallée de M'Zab (Ghardaïa, Algérie), mémoire Magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 126p.

A.N.R.H Ghardaïa 2011 : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe Albienne dans la wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressource Hydraulique. DRS. Ouargla : Algérie.

A.N.R.H Ghardaïa 2011 : Rapport de fin du sondage (forages de renforcement Sebseb-Hassi Lafhel) Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa, 17p.

A.N.R.H Ghardaïa 2016 : Rapport de fin du sondage (Coopérative agricole du Chahid CHENTIR commune de Hassi F'hel daïra de Mansourah) Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa, 8p.

A.N.R.H Ghardaïa 2017 : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe Albienne dans la wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressource Hydraulique, 2p.

BELDJANI K et BEDIR R et TOUAMRIA M, 2013 : Etude Géologique et Géophysique de l'effondrement : cas de Saheb-EL-Bir (Mansourah) région de Ghardaïa, mémoire Ingénieur, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA,

BENDRISSOU R et DEJDELL Y ,2011 : Approche qualitative des eaux souterraines de la nappe phréatique de la région de Ghardaïa cas de la palmeraie Est de la ville de Ghardaïa, mémoire Master UNIVERSITE HOUARI BOUMEDIENNE, 45p.

BEN SEMAOUNE Y, 2008 : Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale : contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace (S.A.G.E.) - cas de la région de Ghardaïa, mémoire Magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 96p.

BOUDJEMA A, 1987. Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord oriental (Algérie). Thèse Universitaire Paris XI Orsay, 290p.

D.P.A.T., Direction de la planification et de l'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Ghardaïa, 2009 - Atlas de Ghardaïa, 164 p.

ERESSE, (1972) : Etude de ressources en eau dans le Sahara septentrional. UNESCO Rapport final, annexe7.paris.

FENNICHE A. 2016 : Qualité chimique des ressources hydriques de la région du M'Zab, mémoire de master UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 53p.

HASSANI A et DJOUALIL I, 2014 : Contribution a l'étude hydrogéologique de la nappe du continental intercalaire de la région de Gourara (Timimoune, Tinerkouk) , mémoire Ingénieur , UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 58p.

GUESSOM H et LAOUAR F .2011 : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la commune de Ghardaïa, mémoire Licence académique Université de Ghardaïa, 74p.

GUETTAF H. 2011 : Portée et limites du système d'élevage laitier spécialisé dans la région de Ghardaïa Mémoire Ingénieur, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 113p.

LEMIRE M, MEURGUES G et PETTER F.(2003): Désert saharien. Muséum de l'histoire naturelle.

MUTIN G, 1977. La Mitidja, décolonisation et espace géographique. Ed Office Publ. Univ., Algeria, 606 p.

OULD BABA Sy, M. (2005). "Recharge et paléo-recharge du système aquifère du Sahara septentrional", thèse de Doctorat, université de Tunis El Manar, 261p.

OULED SIDI AMOR T, 2016 : Vulnérabilité des eaux de l'aquifère superficiel de la vallée de M'Zab, mémoire de master UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 56p.

ONM Ghardaïa, 2017. Données climatiques de la région de Ghardaïa. Ed. Office national de Météo, Ghardaïa, 3 p.

OSS, (2003). "Système aquifère du Sahara septentrional - gestion commune d'un bassin transfrontière".

ملخص :

حاسي لفحل هي منطقة في ولاية غرداية، في جنوب الجزائر، وتعرف بالمنطقة الزراعية. يعتمد إمداد المياه للسكان بشكل أساسي على موارد المياه الجوفية للمتدخل القاري. أدى التطور الأخير للزراعة في المنطقة إلى الاستخدام المتزايد للمياه القارية الداخلية. تمتاز الهيدروجيولوجيا في حاسي لفحل بطبقتين، طبقة المياه الجوفية عند 40 م والطبقة المائية القارية (المتدخل القاري) على عمق 250 م. وتظهر الدراسة الهيدروكيميائية للمنطقة المدروسة ان المياه لديها سحنة الكلور والكبريت الكلسي والمغنزيوم لطبقة المتدخل القاري وتمعدن المياه في المتوسط وهذه المياه ملائمة للزراعة. الاستهلاك مرتفع للغاية في السنوات الأخيرة يؤدي إلى انخفاض ضغط المياه الجوفية في بعض الحفر. **الكلمات المفتاحية :** ، حاسي لفحل ، الزراعة ، المياه الجوفية ، المتدخل القاري ، موارد مائية .

Résumé:

Hassi Lafhel est une région de l'État de Ghardaïa, au sud de l'Algérie, connue comme une zone agricole. L'approvisionnement en eau de la population dépend principalement des ressources en eaux souterraines de la couche continentale intercalaire. Le développement récent de l'agriculture dans la région a conduit à l'utilisation croissante de l'eau du continental intercalaire.

L'hydrogéologie de Hassi Lafhel caractérisé par deux nappes, la nappe phréatique (Turonien) a 40 m et la nappe continental intercalaire (Albien) a 250 m.

Les caractéristiques hydrochimique de la zone d'étude montre des eau chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne pour les deux nappes, la minéralisation des eaux sont moyenne, ces eaux sont très douce favorable a l'agriculture.

la consommation est très élevée dans les dernière Années conduire à chute de pression de la nappe dans certaine forage.

Mots-clés: Hassi Lafhel, Agriculture, Eaux Souterraines, Continentale Intercalaire, Ressource en eaux .

Abstract :

Hassi Lafhel is a region of the state of Ghardaïa, in the south of Algeria, known as an agricultural zone. The water supply of the population depends mainly on the groundwater resources of the intermediate continental layer. The recent development of agriculture in the region has led to the increasing use of intercalary continental water.

The hydrogeology of Hassi Lafhel characterized, by two layers, the aquifer (Turonian) at 40 m and the continental aquifer (Albien) at 250 m.

The hydrochemical characteristics of the study area shows chlorinated and sulfated calcium and magnesium water for both aquifer, the mineralization of the waters are average, these waters are very mild favorable to agriculture. the consumption is very high in the last years lead to fall of the pressure of the water table in some drilling.

Keywords: Hassi Lafhel ,Agricultural , Groundwater, Continental Interaction, the groundwater resources.