

République algérienne démocratique et populaire
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

Thème

**Etude hydrochimique du Continental Intercalaire (CI)
de la région de Hassi El-Fhel MENIAA**

Présenté par :

BENKRIMA Ali

BENKRIMA Mohamed Islam

Soutenu publiquement le :

Devant le jury :

Président : Mr. Djidel Mohamed Pr. Univ. Ouargla

Examineur : Mme Hadj-Said Samia Pr. Univ. Ouargla

Promoteur : Mr. Guerradi Hocine MAA Univ. Ouargla

C- promoteur : Mr. Belaouer Abdelaziz MCB Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2020/2021

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 .M et Mr Sanjer, pour leurs aide et encouragements.
- Je remercie d'abord Mr Hacini, Mr Omar et Mr Zeddouri Aziez, 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 Mr Djidel et Mr Bousselsal 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 ;

BEN KRIMA ALI

BEN KRIMA MED ISLAM

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 :	Evolution de la population de Ghardaïa (DPSB, 2016).	5
Tableau 02 :	Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).	7
Tableau 03 :	Température moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).	8
Tableau 04 :	Humidité moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).	9
Tableau 05 :	Vitesse des vents moyens mensuels à la station de Ghardaïa (2007-2017).	9
Tableau 06 :	Évaporation moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).	10
Tableau 07 :	Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station de Ghardaïa (2007-2017).	11
Tableau 08 :	Nombre des forages et volumes d'exploitation de la zone d'étude : Hydraulique de Ghardaïa 2017	25
Tableau 09 :	Comparaison entre l'eau de la région et la réglementation nationale et de l'OMS.	26
Tableau 10 :	La conductivité électrique des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	34
Tableau 11 :	Le pH des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	34
Tableau 12 :	Le TAC et TH des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	35
Tableau 13 :	Concentration du Ca dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	36
Tableau 14 :	Concentration du Mg dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	36
Tableau 15 :	Concentration du Na dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	37
Tableau 16 :	Concentration du K dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	38
Tableau 17 :	Concentration des Cl dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	39
Tableau 18 :	Concentration des SO ₄ dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	39
Tableau 19 :	Concentration des HCO ₃ dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	40
Tableau 20 :	Valeurs de S.A.R des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	43

Liste des Figures

Fig.01 :	Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa	3
Fig.02 :	Géomorphologie de la région de Ghardaïa.	4
Fig.03 :	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).	8
Fig.04 :	Histogramme des températures moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).	8
Fig.05 :	Histogramme des humidités moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).	9
Fig.06 :	Histogramme des évaporations de vent moyennes mensuelles (Période : 2007-2017).	10
Fig.07 :	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN (Période : 2007- 2017).	11
Fig.08 :	Réseau hydrographique de la région de Hassi El-Fhel (Arc Gis).	13
Fig.09 :	Coupe géologique schématique de la région du M'Zab (source ANRH).	14
Fig.10 :	Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (Busson-1952).	16
Fig.11 :	Domaine du SASS (CI + CT).	19
Fig.12 :	Coupe-Hydrogeologique-du-systeme-aquifere-CI-et-CT-du-Sahara-septentrional.	20
Fig.13 :	La carte piézométrique de la nappe du (CT) (OSS, 2003).	21
Fig.14 :	La carte piézométrique de la nappe du (CI) (OSS, 2003).	23
Fig.15 :	Colonne litho stratigraphie du forage agricole 1 Hassi El-Fhel	26
Fig.16 :	Colonne litho stratigraphie du forage agricole 2 Hassi El-Fhel	27
Fig.17 :	Carte piézométrique de la nappe du CI (OSS, 2003)	29
Fig.18 :	La carte des emplacements des points d'échantillonnage d'eau	30
Fig.19 :	Les pourcentages des éléments chimiques de la région de Hassi El-Fhel	34
Fig.20 :	Variations de pH des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	35
Fig.21 :	Variation des concentrations de Ca dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	36
Fig.22 :	Variation des concentrations de Mg dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	37
Fig.23 :		37
Fig.24 :	Variation des concentrations de Na dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	38
Fig.25 :	Variation des concentrations de K dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	39
Fig.26 :	Concentration des Cl dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	40
Fig.27 :	Variation de concentration des SO4 dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	40
Fig.28 :	Variation de concentration des HCO3 dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel	42
Fig.29 :	Classification des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel selon Piper	43
Fig.30 :	Diagramme de classification des eaux d'irrigation (la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel)	

SOMMAIRE

Introduction Générale	01
Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude.	02
I- Présentation de la zone d'étude.....	03
I-1-1.Situation géographique	03
I-1-2. La géomorphologie	03
I-2.Contexte socio-économique	05
1.3. L'évolution de la population	05
I-3.1. Activité industrielle.....	06
I-3-1-1 Activité agricole	06
I-4-Gestion des ressources hydrique dans la région de Ghardaïa	06
1.4.1. Réseau hydrographique	06
1.4.2. Eaux souterraines	07
II- Contexte hydro-climatologique	07
II-1- Etude climatologique	07
II-2- Précipitation	07
I-1-1 –La température.....	08
II-1-3 -Humidité	09
4- II-1-4- Le vent	09
II-1-5 - Evaporation	10
II-2 - Régime climatique (Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN).....	10
II-3- Bilan hydrique	11
IV- Hydrologie	12
IV-1- Contexte Géologique	14
IV-2- Géologie régionale.....	14
IV-3- la géologie locale	15
IV-2-1-Turonien	15
IV2-2- Cénomanién	15
IV2-3- Albien	15
IV-3- Tectonique	15
Conclusion	17
Chapitre II : Etude hydrogéologique	
I-Le système aquifère de Sahara septentrional (SASS)	19
I-1- Extension de système aquifère de Sahara septentrional.....	19
I -.2. Définition des aquifères du SASS.....	20
I-2-1- Le Complexe Terminal (CT)	20
II - 1.2.2. Continental Intercalaire.....	22
II-Présentation de système aquifère de la région de Ghardaïa	24
II-1- La nappe du Continental Intercalaire (CI).....	24
II-2- La nappe phréatique.....	24
III-1. L'interprétation des coupes hydrogéologiques dans la zone d'étude	24

III-1-1. La nappe du Continental Intercalaire (CI).....	25
III-1-2. Gestion des ressources hydrique de la région de Ghardaïa	25
III-2-1. Exploitation de la nappe CI	25
II-4-2- Qualité des eaux de la nappe du CI	25
III-3. logs lithostratigraphique des forages de la zone d'étude.....	26
II-3-1- le forage agricole 1 Hassi El-Fhel	26
III-3-2- le forage agricole 2 Hassi El-Fhel	28
III-4. Evolution piézométrique de CI de la zone d'étude	30
Conclusion	31
Chapitre III : Etude hydrochimique	
III- Introduction	33
1-Méthode d'échantillonnage	33
2- Analyse des paramètres physico-chimiques	33
2-1- Température	33
2-2 -conductivité électrique	33
2-3 - Potentiel d'hydrogène (pH)	34
2-4-Dureté et alcalinité des eaux	35
3- Les Eléments chimique majeurs.....	35
3-1 Les Cation	35
3-2-le Calcium (Ca^{++}).....	35
3-3- le Magnésium (Mg^{++}).....	36
3-4 le Sodium (Na^+).....	37
3-5 le Potassium (k^+)	38
3-6 Les Anions	38
3-7- le chlorure cl^-	38
3-8- le sulfate SO_4^-	39
- le Bicarbonate HCO_3^-	40
4-Classification des eaux	41
5-1Classification des eaux selon Piper	41
6-. Qualités des eaux de la nappe CI à l'irrigation	42
Conclusion.....	44
CONCLUSION GENERALE	45
Référence Bibliographique	46
Résume	48

INTRODUCTION GENERALE

Partout où il y a de l'eau, il y a de la vie, même si c'est dans un désert aride reculé. Dans le passé, les centres de population étaient toujours concentrés près de n'importe quel plan d'eau pour irriguer leurs terres agricoles.

Il y avait des entreprises qui se sont installées et se sont développées. Dans les déserts, bien que de vastes étendues de terres soient couvertes de sable, et où la chaleur est intense pendant la journée, certaines de ces communautés nomades vivent et se déplacent avec leur bétail.

La région de Hassi El-Fhel 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 une étude hydrochimique pour faire une approche sur cette exploitation et une synthèse sur l'importance de l'eau dans la région de Hassi El-Fhel.

La méthode de ce travail est basée sur 3 chapitres 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 de la nappe superficielle et la nappe de continental intercalaire de notre zone d'étude.
- Troisième chapitre : Dans cette partie on expose 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 wilaya de Ghardaïa est située dans le sud algérien, exactement dans la partie septentrionale et centrale du Sahara algérien (Fig. 01), elle s'étend sur 84 660,12 km² (DPSB, 2016).

Administrativement elle est limitée par les wilayas suivantes :

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

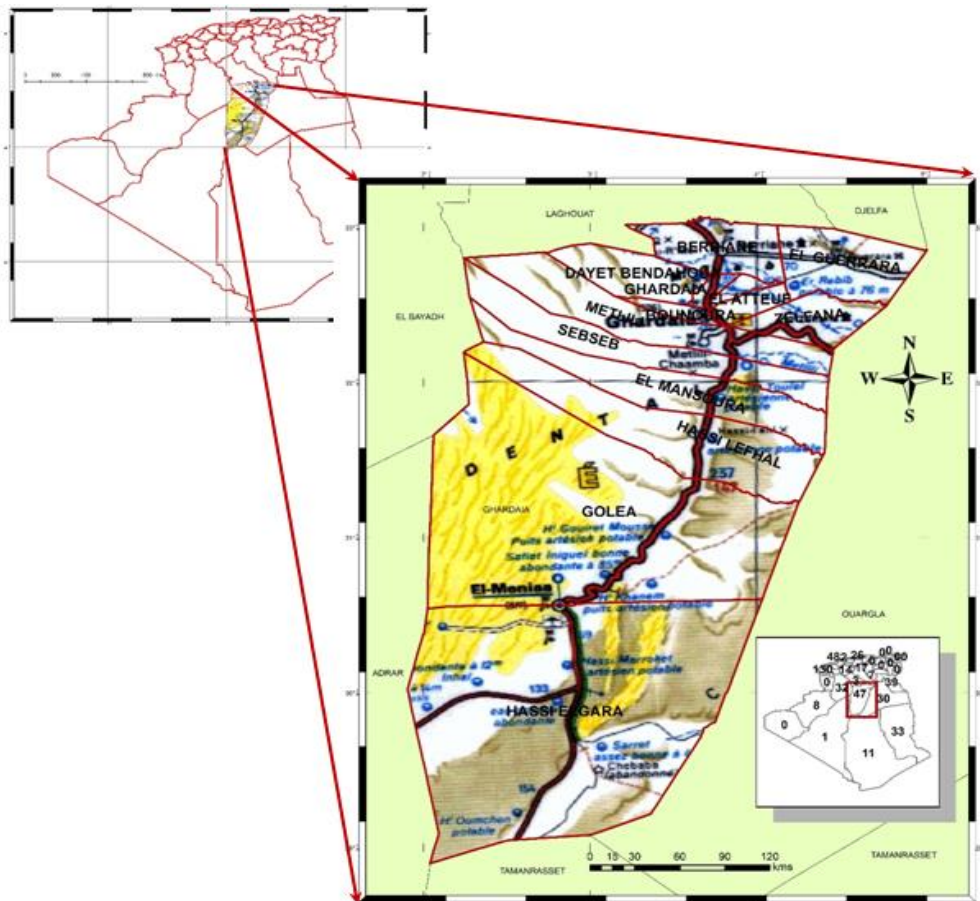


Fig. 01 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa. (Kebili & Bouziane, 2018)

I.1.2. La géomorphologie de Ghardaïa

La région de Ghardaïa se caractérise par un plateau rocheux, le "Hamada", et des zones d'accumulation des eaux et de dépôts alluvionnaires. Elle présente quatre principaux ensembles différents (Fig. 02).

- **Chebka du M'Zab**

C'est un plateau crétaé rocheux et découpé par de petites vallées de sens chevauchés dirigées en général vers l'Est, qui peuvent atteindre quelques kilomètres de largeur. Les formations encaissantes comprennent des calcaires généralement dolomitiques au-dessus de couches de marnes. Ce plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 km² (COYNE, 1989).

- **Région des dayas**

De substratum géologique Miopliocène, les daïas sont des dépressions de dimensions très variables. Seule la commune de Guerrara, située au Nord-Est, occupe une petite partie de ce plateau (BENSAHA, 2011).

- **Région des Regs**

Ils se présentent sous forme d'étendues de sols solides caillouteuses sans relief apparent localisés à l'Est (Zelfana, Bounoura et El Atteuf), et de substratum géologique du pliocène (KHENE, 2013).

- **Région de l'Erg**

Dominée par l'erg occidental, massif de dunaire. Il constitue une source d'ensablement des périmètres agricoles, dans l'axe Mansoura – El Menéa (KHENE, 2013).

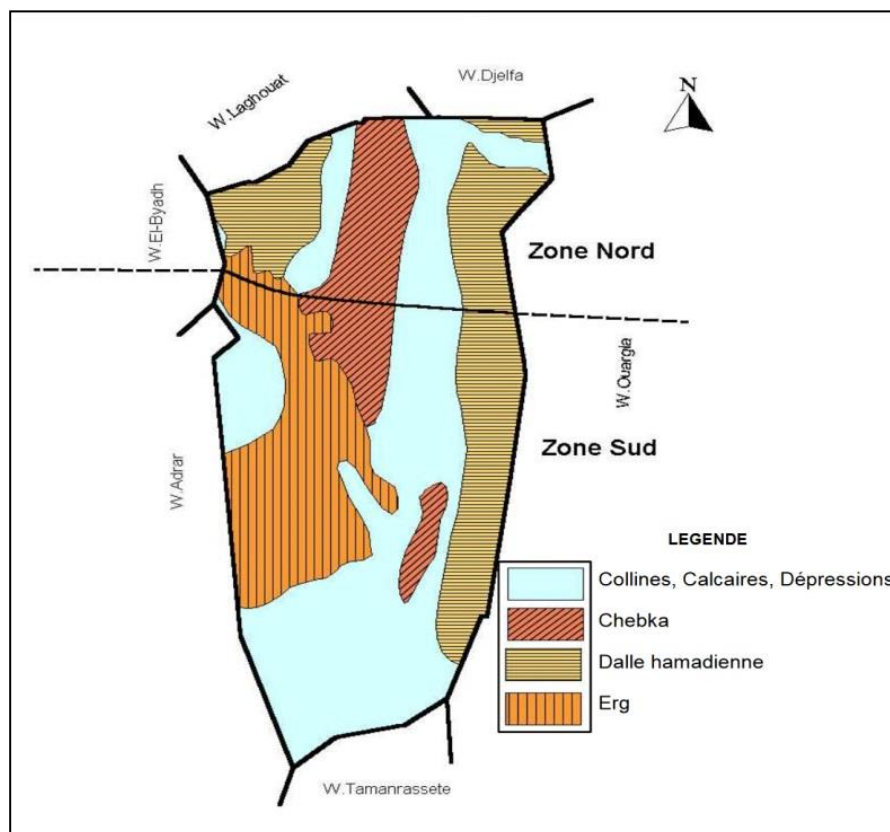


Fig. 02 : Géomorphologie de la région de Ghardaïa. (Kebili & Bouziane .2018)

1.2. Contexte socio-économique

Du découpage administratif du territoire de l'année 1984, regroupe 13 communes et 9 daïra.

1.3. L'évolution de la population

Plus de 451.456 habitants sont réparties dans neuf communes. La commune de Ghardaïa, capitale de la wilaya qui s'étend sur une petite superficie par rapport à d'autres communes, regroupe la concentration la plus forte en population (Tableau 01).

Tableau 01 : Evolution de la population de Ghardaïa (DPSB, 2016).

Commune	Population	Superficies (Km ²)	Taux brut (en ‰)		Taux brut (en ‰)
			Natalité	Natalité	
Ghardaïa	127.076	306,47	41,53	2,82	414.6442
El-Menia	46.162	23920,68	36,39	5,55	1.929795
Daya	14.423	2234,94	13,64	1,46	6.453417
Berriane	36.430	2609,80	21,41	2,06	1.395892
Metlili	50.082	5010,12	34,16	4,81	9.996168
Guerrara	72.228	3382,27	23,13	3,22	21.35489
El-Atteuf	18.681	717,01	18,74	1,18	26.05403
Zelfana	11.798	1946,23	17,80	1,61	6.061976
Sebseb	3.550	4366,82	0,84	0,56	0.081295
Bounoura	41.867	778,92	17,44	8,48	53.75006
Hassi El-F'Hel	4.679	6875,39	11,11	2,14	0.680543
Hassi El-Gara	20.977	27698,92	17,73	1,95	0.757322
Mansoura	3.503	4812,55	3,14	1,99	0.727889
Total	451.456	84660,12	28,90	3,63	5.33257

1.3.1. Activité industrielle

Selon (DPSB, 2016), La wilaya de Ghardaïa elle possède deux zones industrielles : Guerrara (créée 1969) et Bounoura (créée 1970), spécialisée dans plusieurs branches

- Industrie Sidérurgique, Métallique, Mécanique et électrique (ISMME) : Principaux produits fabriqués : mobilier métallique, fil électrique, serrures, tubes en cuivre.
- Industrie des Matériaux de Construction, Céramique et Verre
- Branche d'Activité des Industries Textiles : Les activités principales sont : boutonnerie, filature de laine, impression sur tissu.
- Branche d'Activité Économique des Industries Agro-alimentaires : Production d'eau minérale, lait-yaourtière, semoule, farine et pâtes, raffinerie d'huile d'olives.
- Branche d'Activité Économique du Bois, Liège, Papier et Impression : Les principaux produits fabriqués sont : articles scolaires (cahiers, carnets, etc...), emballages divers, transformation de papier, articles en bois.
- Branche d'Activité des Industries de la Chimie, Caoutchouc et Plastique : Les principaux produits fabriqués par ces unités : produits de blanchissage, sachets en plastique, emballage, gaine et tube PVC.

1.3.2. Activité agricole

Plusieurs facteurs caractérisent l'activité agricole de la région : l'agressivité du climat (précipitations faibles, évapotranspiration excessive...), la nature du sol dans les zones de production agricole, le système oasien, les vastes zones agricoles, le réservoir hydrogéologique (DPSB, 2016).

L'exploitation du milieu : Il y a deux façons principales d'exploiter cet environnement :

- L'ancienne oasis : s'appuyer entièrement sur l'exploitation des eaux souterraines peu profondes ou des crues d'oueds.
- La mise en valeur de vastes zones agricoles la création des nouveaux périmètres irrigués par les forages profonds dans la nappe albienne, qui donnent un débit très important.

Productions agricole : Les cultures pratiquées au niveau de la Wilaya de Ghardaïa sont : fourrages 119.945 t, cultures maraîchères 76.412 t, phoeniculture 57.500 t, céréales 13.640 t, agrumes 6.628 t, cultures industrielles 675 t.

1.4. Gestion des ressources hydrique dans la région de Ghardaïa

Les ressources hydriques dans cette région divisée en deux principaux types

1.4.1. Réseau hydrographique

Ressource instable, dépend principalement de forage de puits peu profonds, et de petite barrages pour diriger les crues de oueds. Furent longtemps, les oueds étaient la seule ressource hydrique des oasis jusqu'à la réalisation des premiers forages dans le continental intercalaire.

1.4.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont souvent stockées dans un très grand réservoir "Aquifère", pour l'exploitation de cette ressource, les puits doivent être forés à un niveau profond. Les ressources hydriques souterraines sont constituées de trois nappes caractéristiques :

- Nappe superficielle
- Nappe du complexe terminal (CT)
- Nappe du continental intercalaire (CI)

II - Contexte hydro-climatologique

2.1. Etude climatologique

Le but de cette étude est de donner un aperçu sur les caractéristiques climatiques de la région et de déterminer les différents paramètres qui conditionnent l'écoulement superficiel et souterrain. Les paramètres étudiés sont : les précipitations, la température, l'humidité et l'évaporation pour une série d'observation qui s'étale de 2007 à 2017 prises au niveau de la station de Ghardaïa(ONM).

2.1.1. Précipitations

La principale source d'alimentation des réserves d'eau souterraines se les précipitations, elles permettent une appréciation indirecte de l'état des réserves en eau du sol, la recharge et le régime des cours d'eau dans les bassins versants. En vue de suivre la répartition des précipitations au cours de l'année hydrologique, on a calculé la moyenne mensuelle entre les années (2007-2017) enregistrés (Tableau 02). Ainsi, le taux des précipitations annuelles recueillies est (71.4mm).

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Fig. 03), montre que le mois le plus pluvieux est le mois de Septembre avec une lame d'eau maximale enregistrée au mois de Septembre de l'ordre de (19.23mm) tandis que le mois le plus sec est le mois de Juillet avec une lame d'eau de (1.35mm).

Tableau 02 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	Juill	aout	sept	oct	nov	Déc	Annuelles
P (mm)	9.04	3.18	8.6	5.22	2.60	3.44	1.35	3.98	19.23	6.12	4.05	4.65	71.4

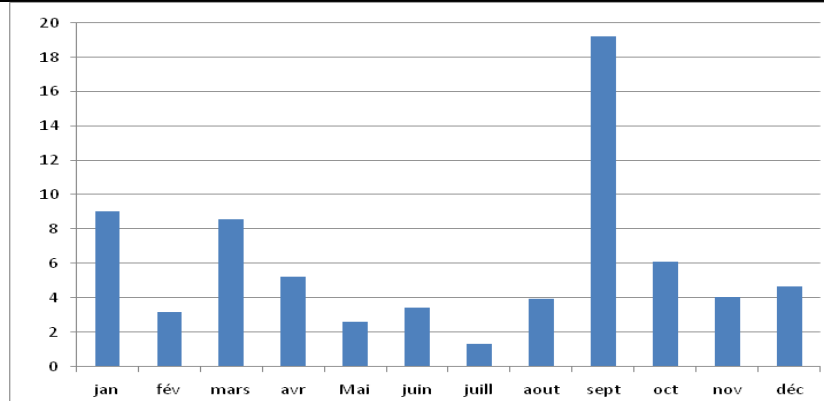


Fig. 03 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.1.2. Température

La température est un paramètre très important dans la caractérisation du régime climatique d'une région donnée. Le tableau suivant montre les moyennes mensuelles des températures. On remarque ainsi que la température moyenne annuelle est de (22.21°C).

Tableau 03 : Température moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	Sept	oct	nov	déc	M. An.
T de c°	11.95	13.39	16.92	21.6	26.36	31.12	33.59	29.68	29.71	23.54	16.44	12.28	22.21

L'histogramme (Fig. 04) montre que les températures moyennes mensuelles présentent leurs maxima aux mois de Juin, Juillet et Aout avec un maximum de 33.59°C au mois de Juillet.

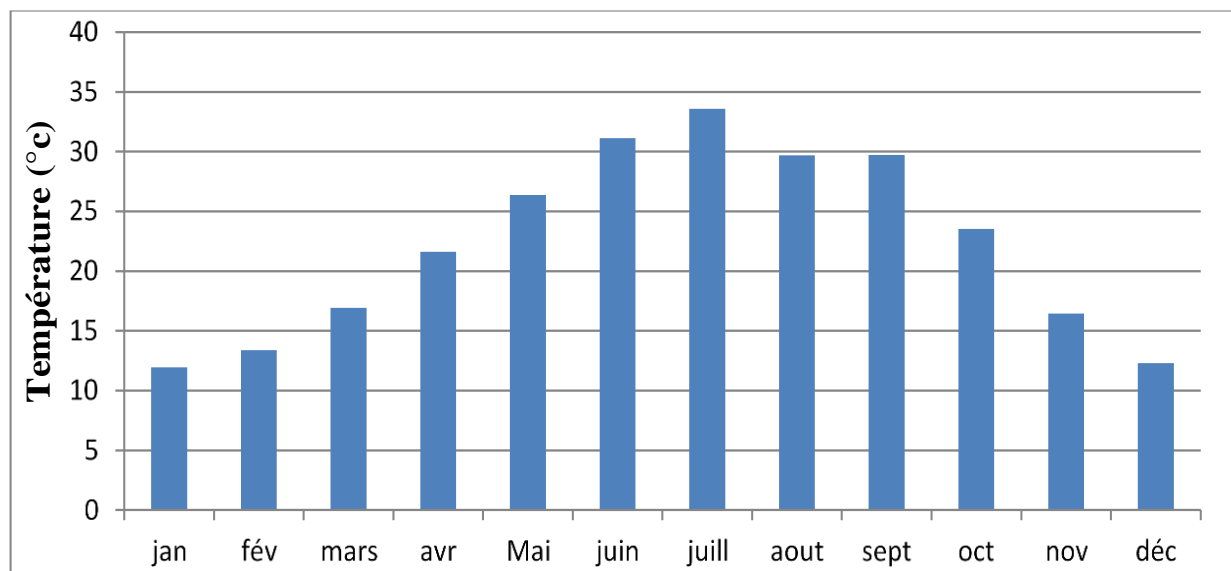


Fig. 04 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.1.3. L'humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère. (ROUAS, 2018)

Les données d'humidité relative moyenne à la station de Ghardaïa pour la période (2007-2017) sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 04 : Humidité moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	M. Annuelles
(H) %	45.18	40.36	33.18	31.09	26	23.91	19.82	25.91	35.36	42	47.45	54.27	35.38

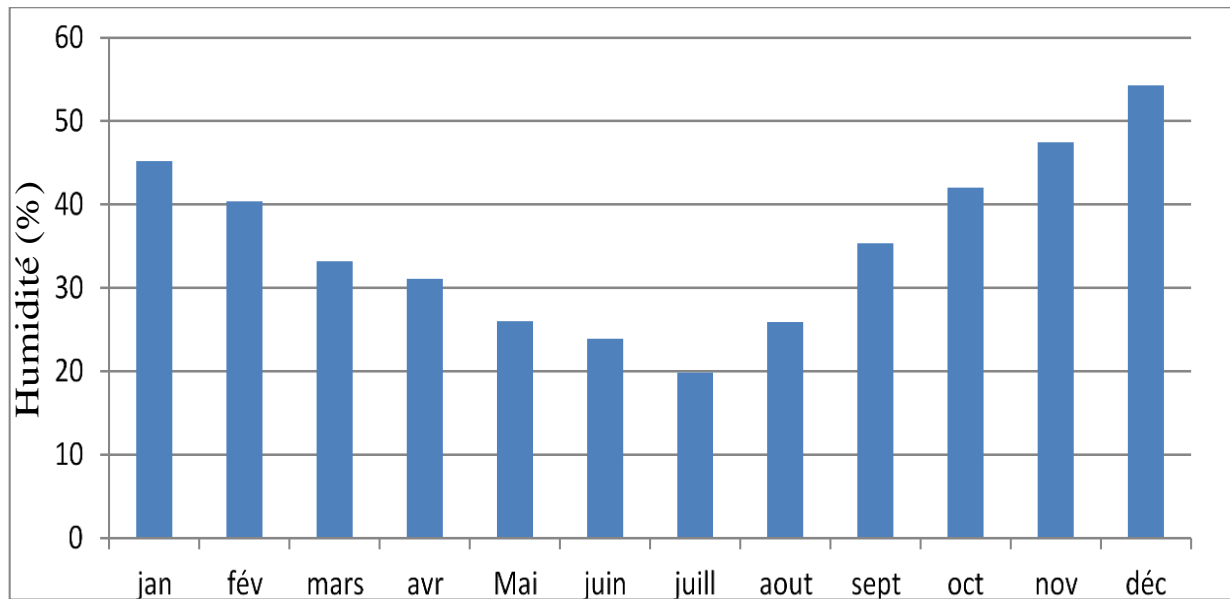


Fig. 05 : Histogramme des humidités moyennes mensuelles (Période : 2007-2017).

2.1.4. Le vent

Le vent est un autre facteur climatique important dans la caractérisation du climat. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Ghardaïa (2007-2017) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 05 : Vîtes de vent moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	M. An.
Vents m/s	19	18.25	21.56	21.11	22.44	21.67	18.89	21.63	22.25	18.75	17.25	16.88	19.97

2.1.5. L'évaporation

C'est le processus physique de la transformation de l'eau en vapeur Elle est un paramètre essentiel, car il représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrologique d'une région donnée. Les mesures de l'évaporation à la station de Ghardaïa sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 06 : Évaporation moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	M. Annuelles
Evp (mm)	95.6	117.8	167.7	228.5	286.3	342.1	371.8	327.9	254.5	166.1	116.9	145.9	218.42

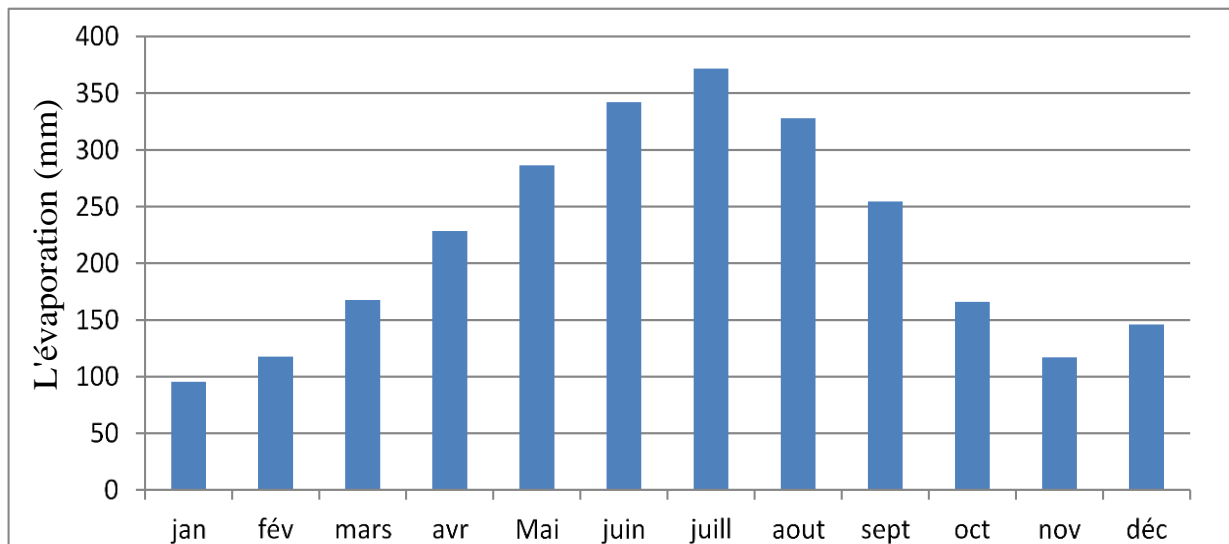


Fig. 06 : Histogramme des évaporations de vent moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.2. Régime climatique (Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN)

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN (Fig. 08) permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité.

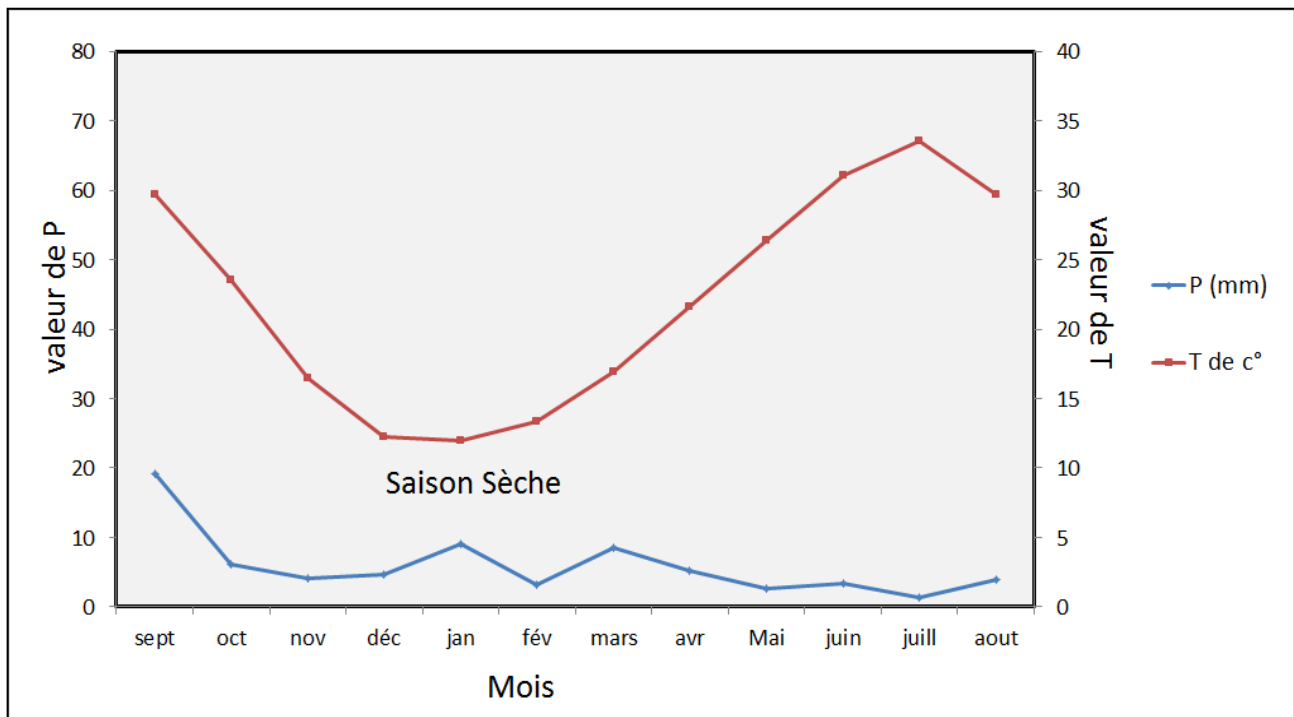


Fig. 07 : Diagramme ombrothermique de GAUSSEN (Période : 2007- 2017).

Dans le cas de notre région d'étude la courbe des pluies passe au-dessous de celle des températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse du mois de mai à aout.

2.3. Bilan hydrique

Tableau 07 : Bilan hydrique selon *Thornthwaite* à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	T	P	ETP	ETR	RU	DA	EX
S	29.71	19.23	147.9	19.2	0.0	128.6	0.0
O	23.54	6.12	79.3	6.1	0.0	73.2	0.0
N	16.44	4.05	29.5	4.1	0.0	25.4	0.0
D	12.28	4.65	13.7	4.7	0.0	9.1	0.0
J	11.95	9.04	13.8	9.0	0.0	4.8	0.0
F	13.39	3.18	17.7	3.2	0.0	14.6	0.0
M	16.92	8.6	37.9	8.6	0.0	29.3	0.0
A	21.6	5.22	73.0	5.2	0.0	67.8	0.0
M	26.36	2.6	130.0	2.6	0.0	127.4	0.0
J	31.12	3.44	195.9	3.4	0.0	192.5	0.0
J	33.59	1.35	239.6	1.4	0.0	238.2	0.0
A	29.68	3.98	166.1	4.0	0.0	162.1	0.0
Annuel	22.2	71.5	1144.4	71.5	-	1073.0	0.0

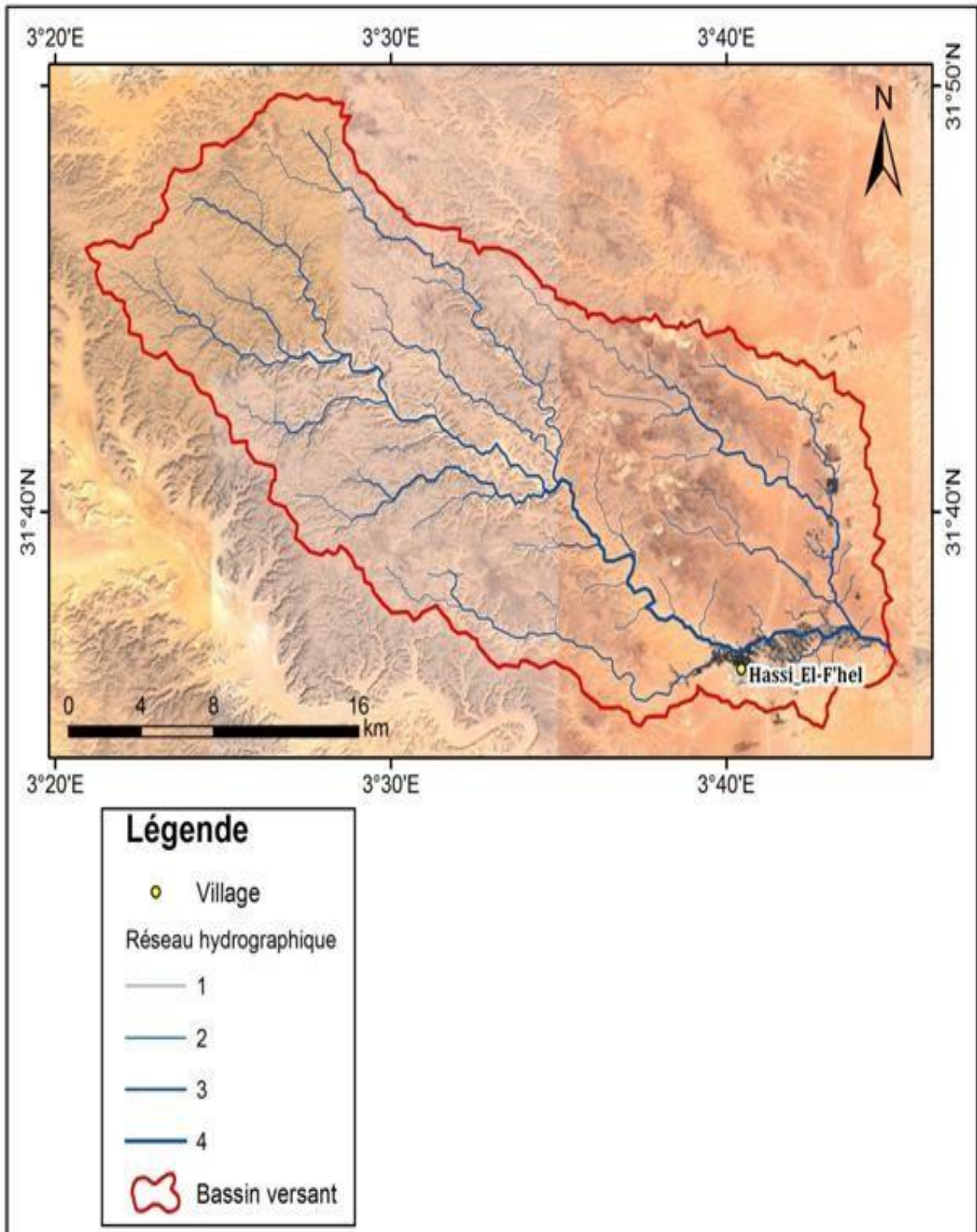
Le bilan hydrique établi par la méthode de *Thornthwaite* pour la station de Ghardaïa (Période : 2007-2017) est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que l'évapotranspiration potentielle (ETP) est beaucoup plus élevée que les précipitations, Le bilan hydrique de la région de Ghardaïa montre aussi que la recharge par la pluie efficace est négligeable.

3- Hydrologie :

Oued El-Fhel 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 El-Fhel (Brezina w-El Bayad) et votre 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 estimé 544.012 km².
- ❖ le périmètre est estimé 122.539 km.
- ❖ Le coefficient de ruissellement.
- ❖ La longueur hydraulique.
- ❖ La pente moyenne et la pente moyenne pondérée.
- ❖ Le temps de concentration.



*Fig. 08 : Réseau hydrographique de la région de Hassi El-Fhel (Arc Gis).
(Kebili & Bouziane .2018)*

4- Contexte Géologique :

4 -1- Géologie régionale :

La wilaya de Menia. 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 10) ;

- 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 Sénomien.
- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-est attribués au Mio-pliocène.
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

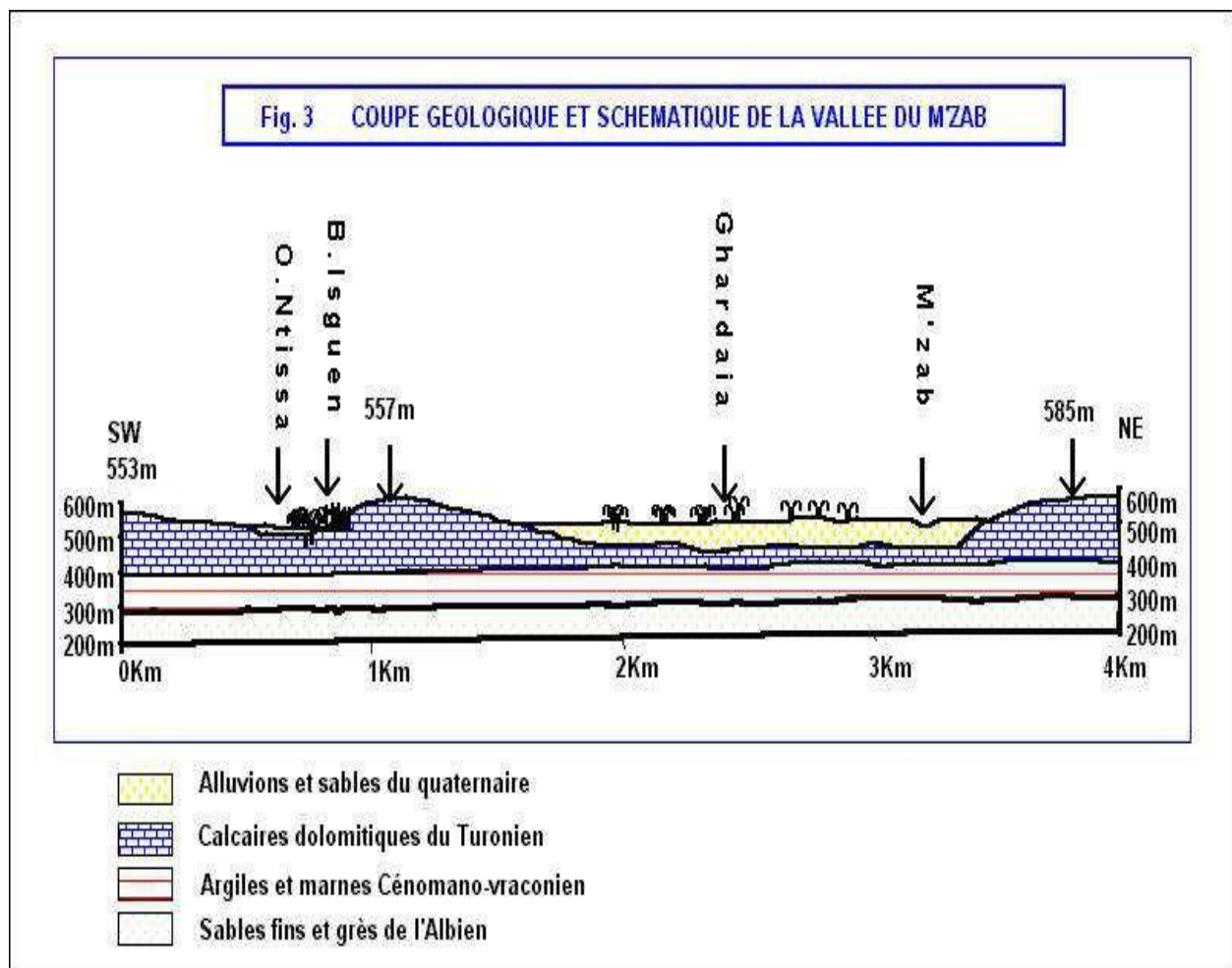


Fig. 09 : Coupe géologique schématique de la région du M'Zab (source ANRH).

(Kebili & Bouziane .2018)

4-2- 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- Cénomaniens :

Le Cénomaniens 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.

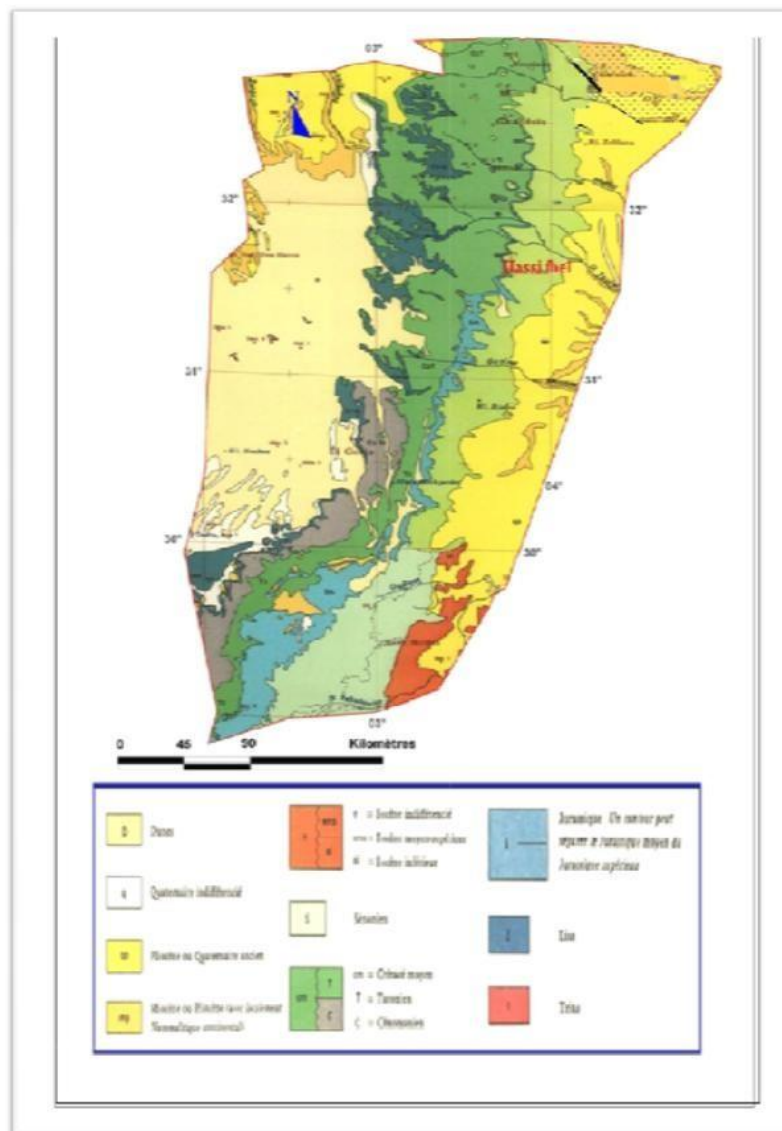


Fig. 10 : Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (Busson-1952). (Kebili & Bouziane .2018)

4-2-1 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.11).

Conclusion :

La région de Hassi El-Fhel est constituée des formations géologiques de crétacé supérieur (quaternaire, turonien, cénonien et albien).

Cette région dépend de l'agriculture, La nappe albienne 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 ($\max_{\text{moy}} 31.12^\circ\text{C}$) et juillet ($\max_{\text{moy}} 33.92^\circ\text{C}$), 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. SYSTEME AQUIFERE DE SAHARA SEPTENTRIONAL (SASS)

II- 1.1. Extension de système aquifère de Sahara septentrional

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 ; la formation du Continental Intercalaire, (CI), la plus profonde et celle du Complexe Terminal, (CT) (Fig. 12).

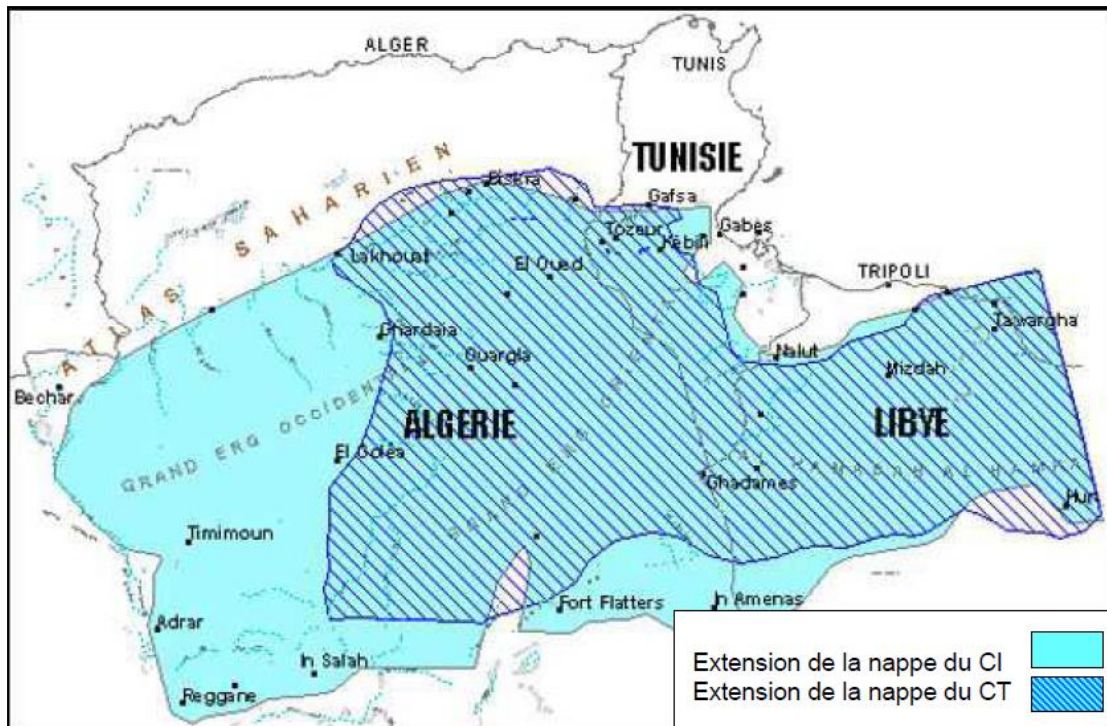


Fig. 11: Domaine du SASS (CI + CT). (Rouas & Bendania, 2018)

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional (BG, 2002) couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin possède une envergure de 1800 km E-W et de 900 km N-S (OSS, 2003). Il est limitée au Nord-ouest par les piémonts du versant Sud de l'Atlas saharien, au Nord par l'accident sud atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golf de Gabès par la faille d'El Hamma - Médenine. A l'Ouest, la limite se situe au niveau de l'Oued Saoura-Reggane, au Sud par un alignement Est-ouest, de plateaux (Hammadas) du Tinrhert et du Tademaït. Enfin, la limite Nord-est se situe un peu après les reliefs du Dahart et celle du Sud-est parcourt la région de Syrte et va jusqu'à la ville de Hun en Libye (Castany, 1982). Ce bassin, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux.

Les pentages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone bordière située au nord-est du bassin (Busson, 1970 ; Fabre, 1976 ; SASS 2002). Celui-ci comporte, à sa base, des formations

paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède. Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques centaines de mètres. Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique.

Le système aquifère de Ghardaïa est constitué de deux aquifères (OSS, 2003) un aquifère de Complexe Terminal (CT) et un aquifère de Continentale Intercalaire (CI).

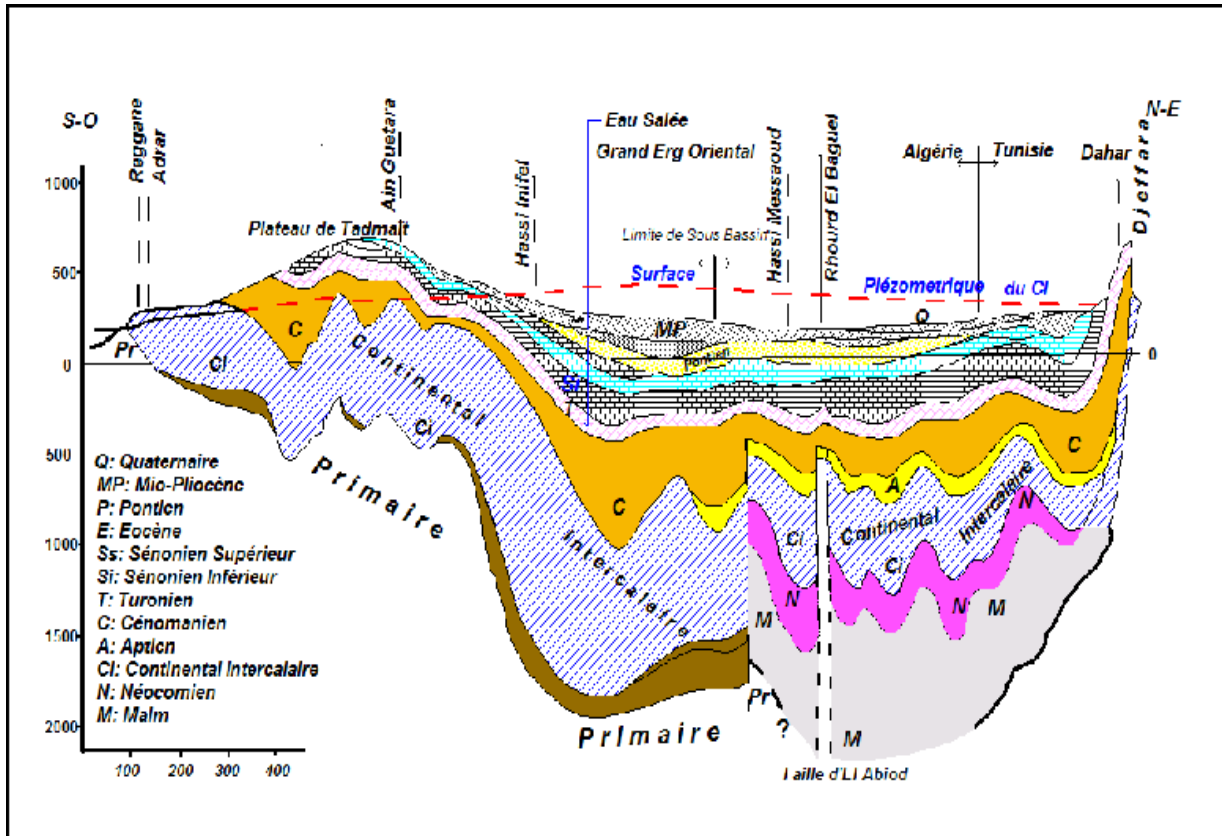


Fig. 12 Coupe-Hydrogeologique-du-systeme-aquifere-CI-et-CT-du-Sahara-septentrional. (TH Achour, 2014)

II - 1.2. Définition des aquifères du SASS

II - 1.2.1. Complexe Terminal

Le complexe terminal (CT) compose de trois aquifères superposées, sont : l'aquifère de Turonien carbonaté, l'aquifère de Sénonien carbonaté, l'aquifère de Mio-Pliocène et Eocène.

La carte piézométrique de la nappe du CT (Fig. 14) montre, en général, un écoulement presque linéaire du sud dans la zone de le Grand Erg Oriental vers le nord dans les chotts algéro-tunisiens où il y deux dépressions piézométrique. Un écoulement divergent du nord dans les Frontières tuniso-libyenne vers l'est et l'ouest, un écoulement divergent du sud dans la zone de la Hamada El Hamra vers le nord-est et le nord-ouest, ainsi que un écoulement convergent vers le nord-est dans l'exutoire du bassin libyen.

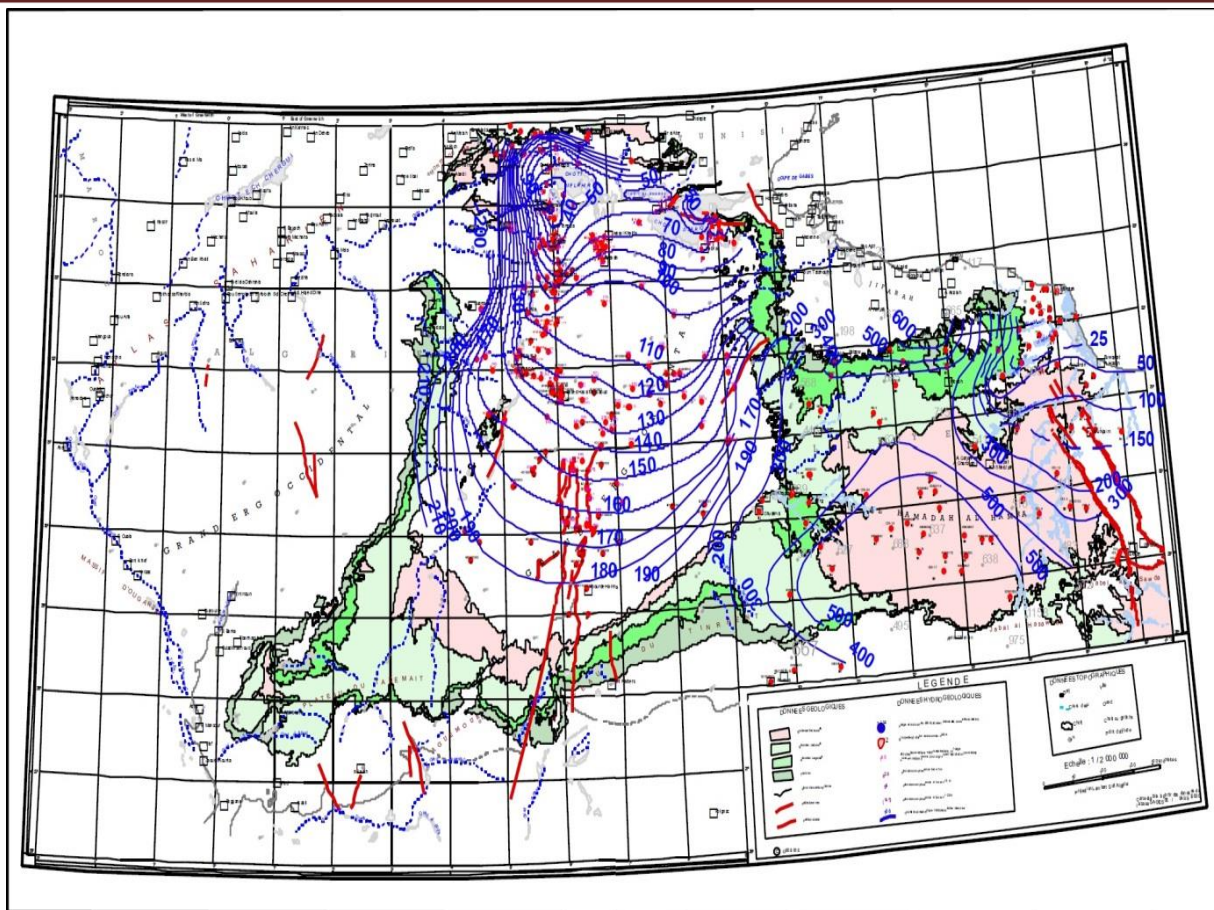


Fig. 13 : La carte piézométrique de la nappe du (CT) (OSS, 2003).

Les études hydrogéologiques ont montré que l'alimentation actuelle se fait par :

- le faible gradient hydraulique et l'orientation d'écoulement montré que la zone de la Hamada El Hamra est une zone d'alimentation, Il s'agit plus probablement d'un grand réservoir non alimenté actuellement (OSS, 2003).
- les mêmes principales zones d'alimentation que la nappe du (CI) Atlas saharien (ouest algérien), Dahar-J. Nafusa (Entre la Libye et la Tunisie) (OSS, 2003).
- bien que peu arrosée, l'écoulement de La dorsale du Mzab, dans les oueds et participe à l'alimentation (CT) (OSS, 2003).

Alors que l'exutoire de l'aquifère se localise :

- dans les Chotts Marouan-Melhrir (en Algérie) et Gharsa-Djérid (en Tunisie) où se concentrent les forages d'exploitation.
- Sous forme des pertes par drainance verticale, dans les zones d'exutoire.

Des valeurs approximatives de transmissivité obtenues à partir de pompages d'essais :

- Région du Souf de $5 \text{ à } 25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Bordure sud-atlasique dans les sables mio-pliocènes $1 \text{ à } 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et dans les calcaires éocènes ou sénoniens $10 \text{ à } 50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

- Oued Rhir-Nord qui s'échelonnent entre 1 et 25. $10^{-3}m^2/s$.
- Les plus fortes valeurs de transmissivité sont obtenues dans la région d'Oued Rhir-Sud entre 1 et 130. $10^{-3}m^2/s$.

Les valeurs du coefficient d'emménagement, dans les zones à nappe libre de 150. 10^{-3} (roches à porosité intergranulaire), et 100 et 150. 10^{-3} (roches fissurées entre), dans les zones à nappe en charge, estimés à partir de la lithologie des forages Les résultats obtenus varient entre 4,4 et 12,4. 10^{-3} .

II - 1.2.2. Continental Intercalaire

Le Continental Intercalaire (CI), est logé dans les formations du Crétacé inférieur (Néocomien, Barrémien, Aptien et Albien). Il est séparé de l'aquifère sus-jacent du (CT) par des formations argileuses, gypseuses et calcaires, d'âge Cénomaniens. Les discontinuités horizontales et verticales y sont complexes et résultent d'une longue évolution géologique caractérisée par des changements notables dans les conditions de sédimentation.

La carte piézométrique de la nappe du CI (Fig. 15) montre, en général, un écoulement divergent du Nord-Ouest dans la zone d'alimentation du Grand Erg Occidental vers les zones d'exutoires du Sud-Ouest (le plateau de Tadmaït) et du Sud-Est (à sous l'effet relatif d'une zone des grand forages d'exploitation dans la région de Ghardaïa). Un écoulement linéaire d'Ouest (le Bas-Sahara) en Est (l'exutoire tunisien marqué par la faille d'El Hamma), un écoulement presque linéaire du Sud dans la zone du Tinrhert et du Grand Erg Oriental vers le Nord.

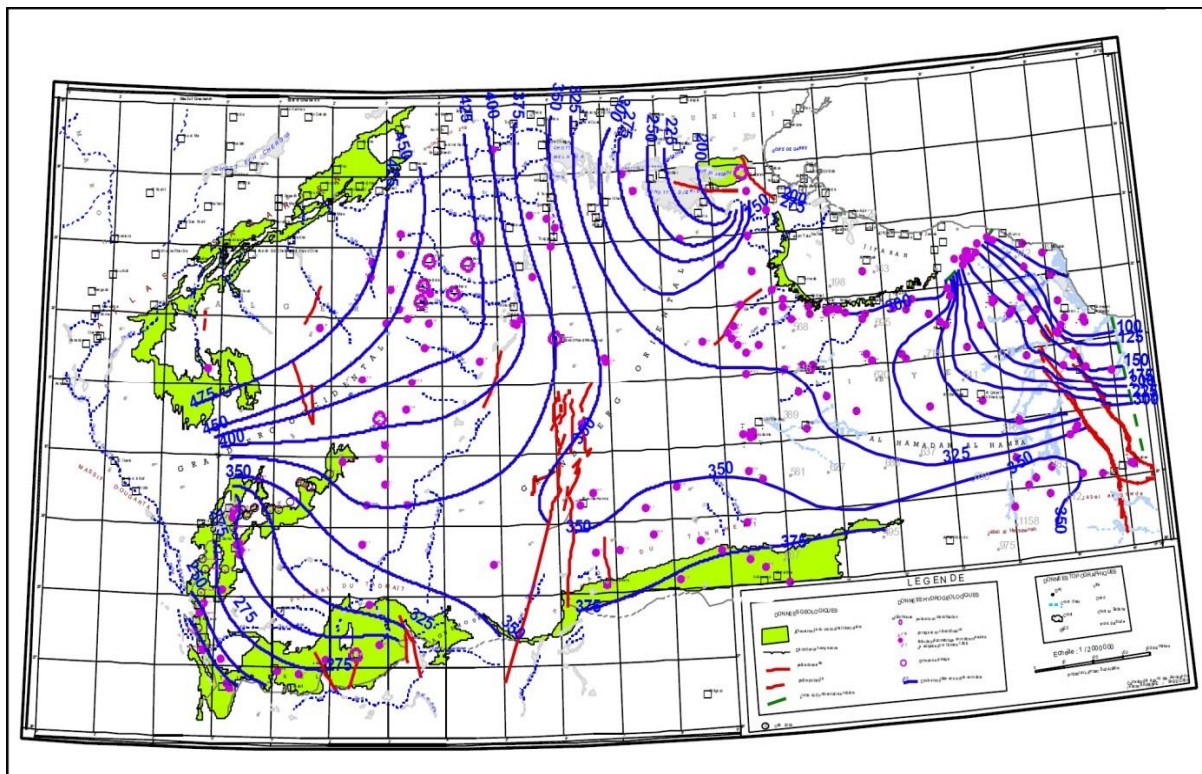


Fig. 14 : La carte piézométrique de la nappe du (CI) (OSS, 2003).

On distingue trois directions d'écoulements :

- une direction ouest–est : provenant de l'Algérie qui représente l'écoulement principal du système aquifère.
- une direction sud-ouestnord-est qui provient de la frontière algéro–libyenne.
- une direction sud-estnord-ouest provenant du massif du Dahar.

Le gradient hydraulique dans cette carte est faibles à cause de le grand réservoir de (CI) mais dans la zone Nord-Est du bassin libyen le gradient hydraulique est fort et les courbes de niveau sont plus proche et orientent vers l'exutoire à cause de la présence des failles et de la concentration des forages. Les valeurs de transmissivité ne dépendent pas beaucoup du type de l'aquifère, mais La variation de la nature lithologique de l'aquifère d'une zone à l'autre, est à l'origine des variations observées dans les valeurs de la transmissivité. Des valeurs approximatives de transmissivité obtenues à partir de pompages d'essais sont varié 10 et 30. $10^{-3}m^2/s$ dans le bassin du Grand Erg Occidental et entre 10 et 40. $10^{-3}m^2/s$ dans le bassin de bas Sahara et bassin du Grand Erg Oriental.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement, dans les zones à nappe libre obtenues varient entre 16,8 et 18. 10^{-2} , dans les zones à nappe en charge, obtenues varient entre 4 et 30,3. 10^{-4} [1].

II. 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--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, grés 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 El-Fhel 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. (Rouas & Bendania, 2018)

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 El-Fhel est alimentée par les crues d'Oued El-Fhel 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.

III-1-2. 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, grès, 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).

III-2. Gestion des ressources hydrique de la région d'étude :

III-2-1. Exploitation de la nappe CI :

Le premier forage exploitant la nappe CI dans la région de Hassi Lafhel en 1951, située 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 8 : Nombre des forages et volumes d'exploitation de la zone d'étude : Hydraulique de Ghardaïa 2017

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

II-5. Logs lithostratigraphique des forages de la zone d'étude :**II-5-1-le forage agricole 1 Hassi El-Fhel:**

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 Cénomanién** : 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.

II-5-2- le forage agricole 2 Hassi El-Fhel : Les coordonnées géographiques de ce forage : X :


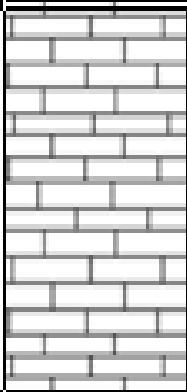
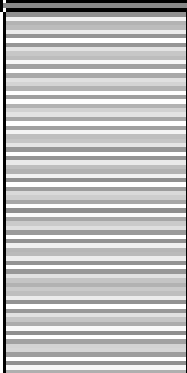

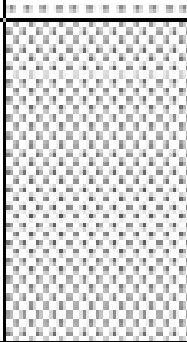
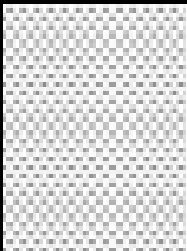
3°40'44'' Y: 31°36'23'' Z : 373 m

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 Cénomanién** : De 100 à 270 mètres. Il s'agit :
100-125 m argiles grises à calcaire. 125-150 m argiles grises et vert.
150-200 m argiles verdâtres plastiques à gypse. 200-225 m argiles marron et grises.
225-250 m argiles bariolées. 250-270 m sables à la base.

- **L'Albien** : A partir de 270 mètres.
270-325 m sable fin gris, argileux.
325-375 m sables fin argileux.
375-425 m sables fin, argile bariolée.
425-450 m sablefinet argile marron.

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

*Fig. 15 : Colonne litho stratigraphie du forage agricole 1 Hassi El-Fhel.
(Rouas & Bendania, 2018)*

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	Cénomaniien
150		argile grise et verte	
175		argile verdâtre plastique	
200		à gypse	
225		argile marron et grise	
250		argile bariolée,	
275		sableuse à la base	
300		sable fin gris argileux	Albien
325		sable fin argileux	
350			
375			
400		sable fin, argile bariolée	
425		sable fin et argile marron	
450			

*Fig. 16 : Colonne litho stratigraphie du forage agricole 2 Hassi El-Fhel.
(Rouas & Bendania, 2018)*

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

La campagne piézométrique de la nappe CI de la région de Hassi El-Fhel n'est pas réalisée à cause de certaines conditions qui ne permettent pas la cour 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).

A partir de cette carte (Fig.19), 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 sur exploitation des forages d'IRR dans la zone.

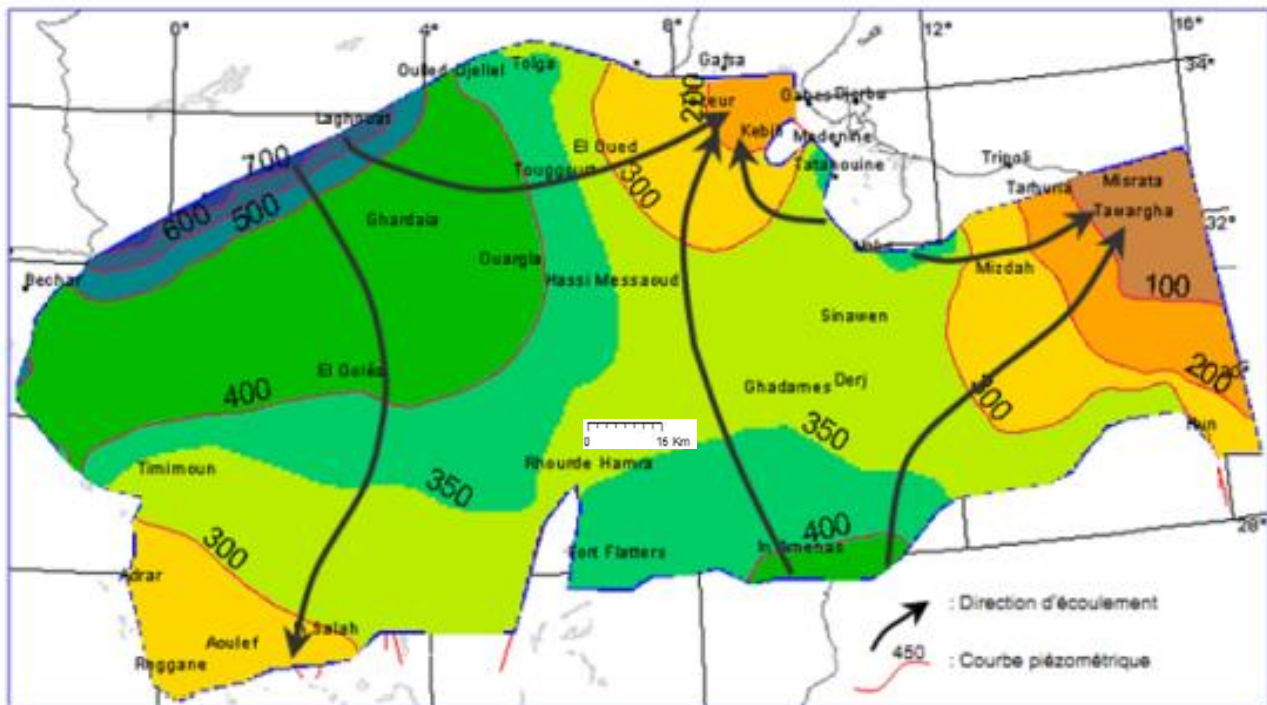


Fig. 17 : Piézométrie de la nappe du CI (OSS, 2003)

La carte suivante représente la situation géographique et géologique de la région de Ghardaïa et les couches qu'elle contient :

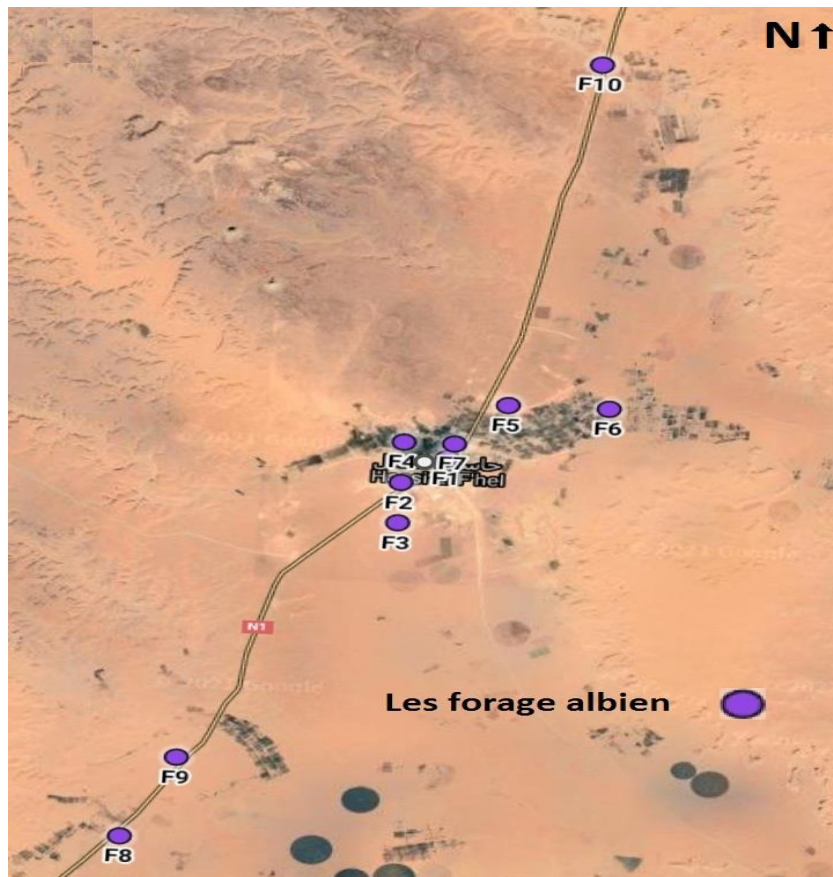


Fig. 18 : La carte des emplacements des points d'échantillonnage d'eau.

Conclusion :

La région de Hassi El-Fhel caractérisé par deux nappes, la nappe phréatique (Turonien) a 40 m et la nappe continentale 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**

Introduction

Avant d'exposer les résultats de mesures et d'analyse physico-chimique obtenus pour les eaux de la nappe albienne ; il est utile de présenter les conditions et le mode d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesure et d'analyse.

On a pris des prélèvements le 05/05/2021 à partir de (10) forages de la nappe albienne dans la région de Hassi El - Fhel.

1-Méthode d'échantillonnage

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de géologie du Sahara, université Ouargla. Dix échantillons d'eaux ont été prélevés dans des flacons en plastiques. Les flacons ont été rincés à l'eau de forage. Vu du nombre important de forages, 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 albienne de Hassi El-Fhel, la collecte des échantillons s'est déroulée dans le respect des étapes, et consignes suivantes :

- * Faire des mesures au laboratoire (Température, pH et Conductivité électrique) ;
- * Remplissage des flacons destinés aux analyses physico-chimiques ;
- * Étiquetage des flacons, afin de faciliter leur identification ;

Qualité des eaux de la nappe du CI :

Du point de vue consommation, les analyses chimiques d'échantillons qui ont été réalisées 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 El-Fhel sont extrêmement douces, ne sont pas trop chargées 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 9 : Comparaison entre l'eau de la région et la réglementation nationale et de l'OMS. (Rouas & Bendania, 2018)

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

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

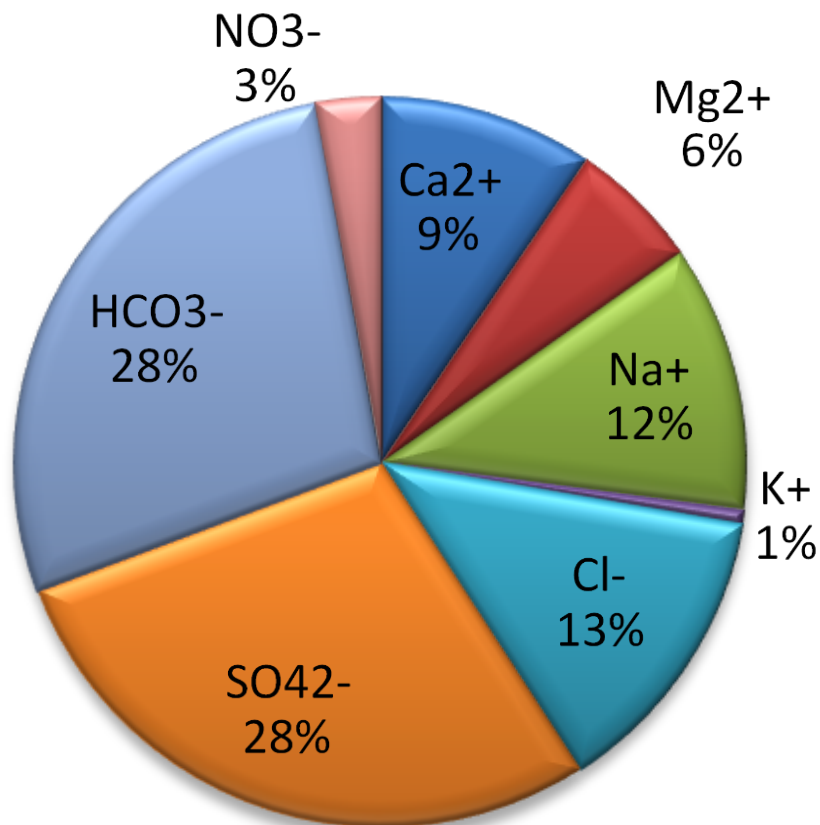


Fig.19 : Les pourcentages des éléments chimiques de la région de Hassi El-Fhel(Rouas & Bendania.2018).

2-Analyse des paramètres physico-chimiques

2-1-Température

La température des de la nappe albienne est variée autour de 23°C presque pour tous les forages dans la région de Hassi El-Fhel.

2-2-Conductivité électrique

La conductivité électrique est l'inverse de la résistivité. La conductivité d'un matériau homogène est égale à la conductance d'un conducteur cylindrique constitué de ce matériau, divisée par sa section, et multipliée par sa longueur.

Les valeurs enregistrées de la conductivité sont variées de 762 à 1139 uS/cm. (tab. 10) (fig.20).

Tableau 10. La conductivité électrique des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Cond (µS/cm)	918	1139	1009	969	970	951	945	983	762	871

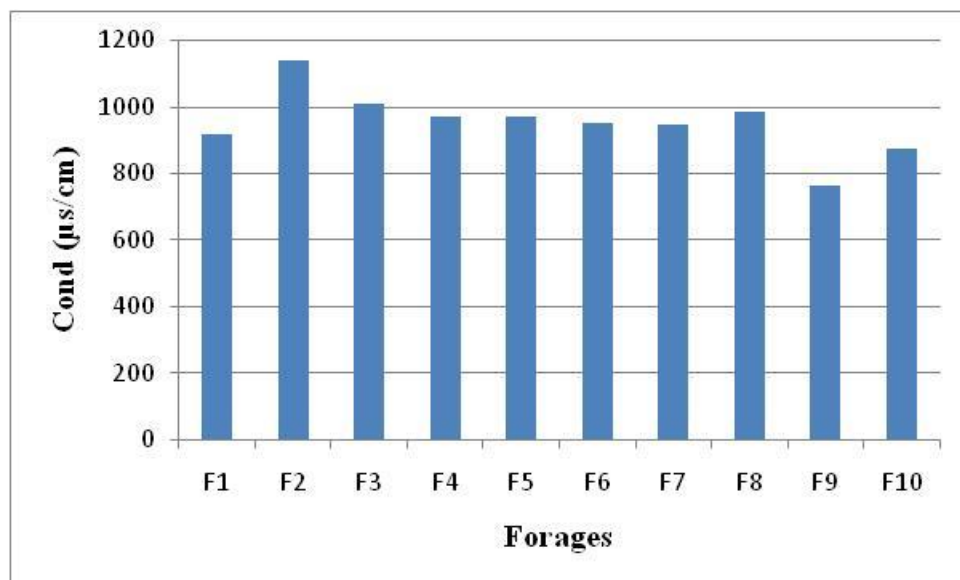


Figure 20. Variations de la conductivité électrique des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

2-3-Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène noté pH, est une mesure de l'activité chimique de l'hydrogène en solution. Notamment, en solution aqueuse, ces ions sont présents sous la forme de l'ion hydronium. Plus souvent, le pH mesure l'acidité ou la basicité d'une solution.

On remarque que le potentiel d'hydrogène (pH) est varié entre 7.15 (pour F3) et 7.57 (pour F6 et F7). (tab. 11) (fig.21).

Tableau 11. Le pH des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
pH	7.28	7.19	7.15	7.38	7.46	7.57	7.57	7.54	7.54	7.56

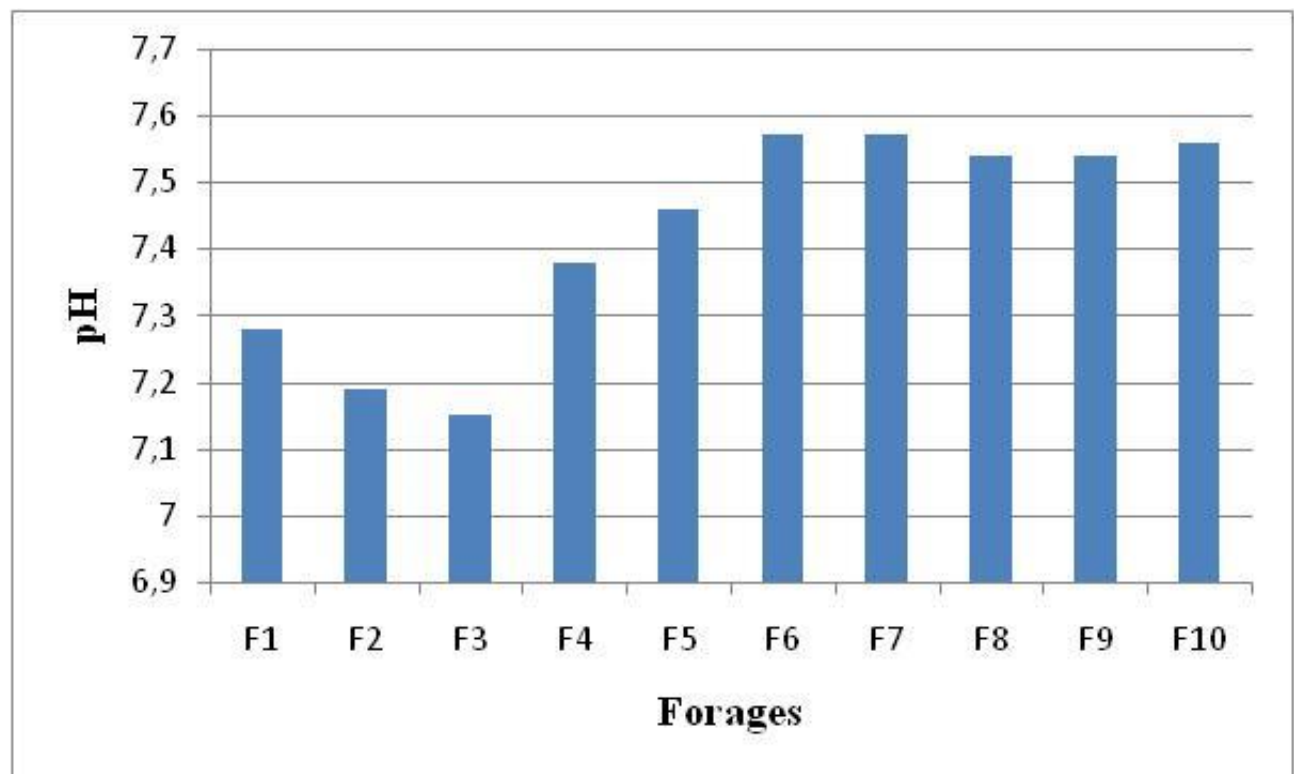


Figure 21. Variations de pH des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

2-4- Dureté et alcalinité des eaux

Les valeurs mesurées mentionnées au tableau ci-dessous montrent que la dureté totale des eaux est variée entre 48 et 66 °F ; donc, ces eaux sont très dures.

Tableau 12. Le TAC et TH des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	TAC (mg/l)	TH (°F)
F1	6.94	62
F2	3.94	66
F3	3.97	57
F4	3.22	52
F5	2.82	52
F6	2.95	61
F7	2.55	54
F8	3.36	58
F9	2.59	48
F10	3.41	53

3-Les éléments chimiques majeurs

3-1-Les cations

3-2-Calcium (Ca⁺⁺)

Le Calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Il est l'élément le plus dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. D'après les normes Algériennes pour l'eau potable, la valeur maximale admissible est de 200 mg/l ; On la comparant avec les résultats d'analyses (113.59 à 157.66 mg/l) (tab. 13 et fig. 22), ils sont dans les normes de potabilité.

Tableau 13. Concentration du Ca dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Ca (mg/l)	152.15	157.66	128.28	115.43	113.59	141.13	119.1	135.62	115.43	126.44

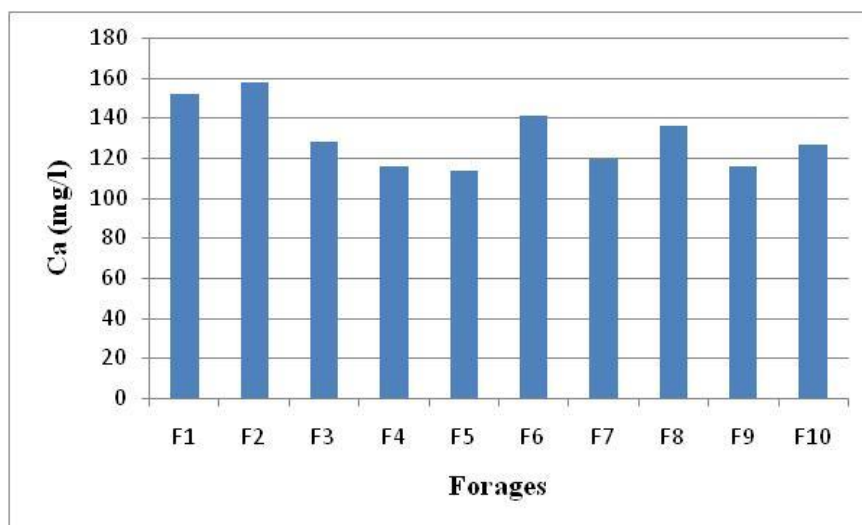


Figure 22. Variation des concentrations de Ca dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

3-3-Magnésium (Mg^{++})

Les concentrations de Mg sont similaires de celle du Ca. Les teneurs minimales enregistrées sont de l'ordre de 47.05 mg/l ; alors que les teneurs maximales enregistrés sont de l'ordre de 64.05 mg/l. (tab. 14 et fig. 23)

Tableau 14. Concentration du Mg dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Mg (mg/l)	58.26	64.05	60.68	57.18	57.53	61.98	58.07	59.90	47.05	50.94

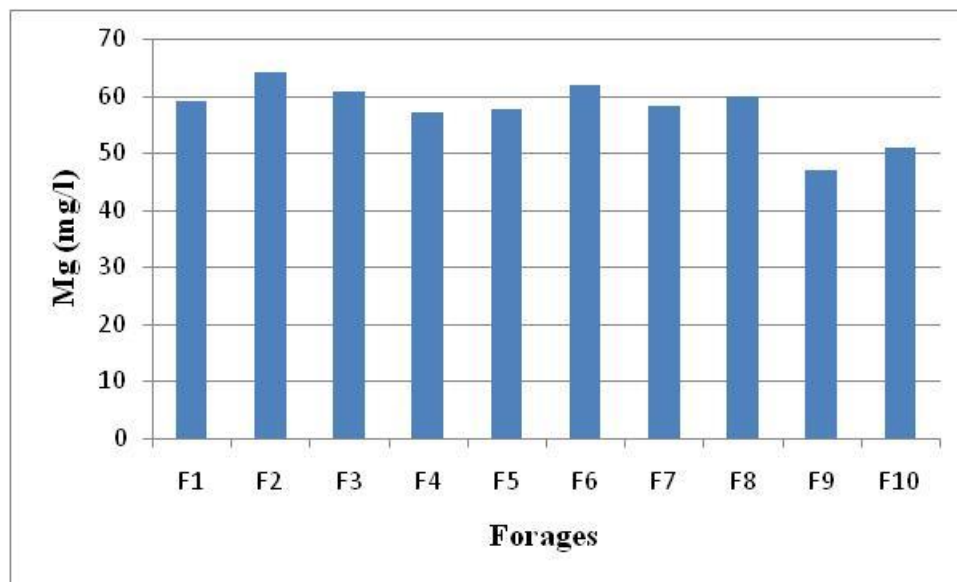


Figure 23. Variation des concentrations de Mg dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

3-4-Sodium (Na^+)

Le sodium est l'élément chimique qui fait partie des métaux alcalins. Les résultats d'analyse montrent que les teneurs minimales sont de l'ordre de 57.04 mg/l alors que les teneurs maximales sont de l'ordre de 99.97 mg/l. (tab. 15 et fig. 24)

Tableau 15. Concentration du Na dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Na (mg/l)	66.95	80.16	96.67	96.67	99.97	90.07	96.67	86.76	57.04	60.34

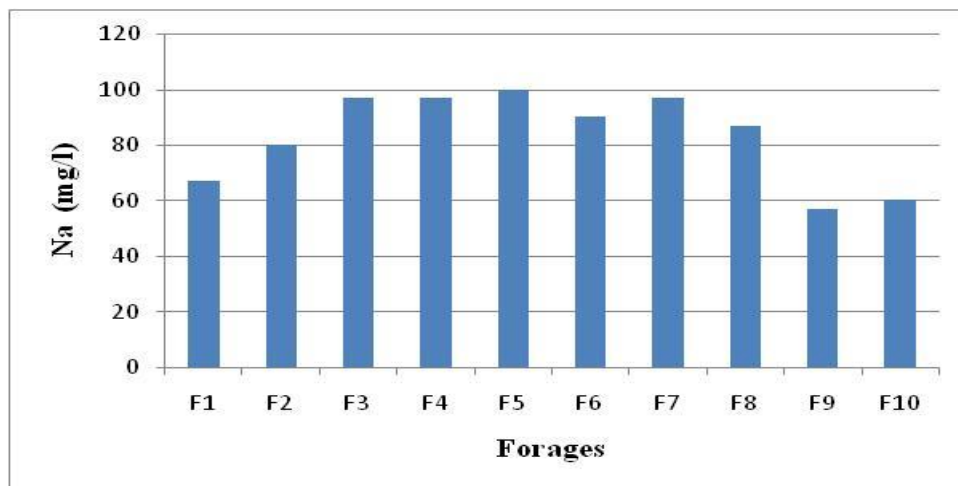


Figure 24. Variation des concentrations de Na dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

3-5-Potassium (K⁺)

Le potassium est un métal alcalin que l'on trouve naturellement lié à d'autres éléments dans l'eau de mer et dans de nombreux minéraux.

Les résultats d'analyse montrent que les teneurs en K sont variées de 2,85 à 5,59 mg/l. (tab. 16 et fig. 25)

Tableau 16. Concentration du K dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
K (mg/l)	3.54	4.07	4.22	3.84	3.69	2.85	3.54	3.84	5.21	5.59

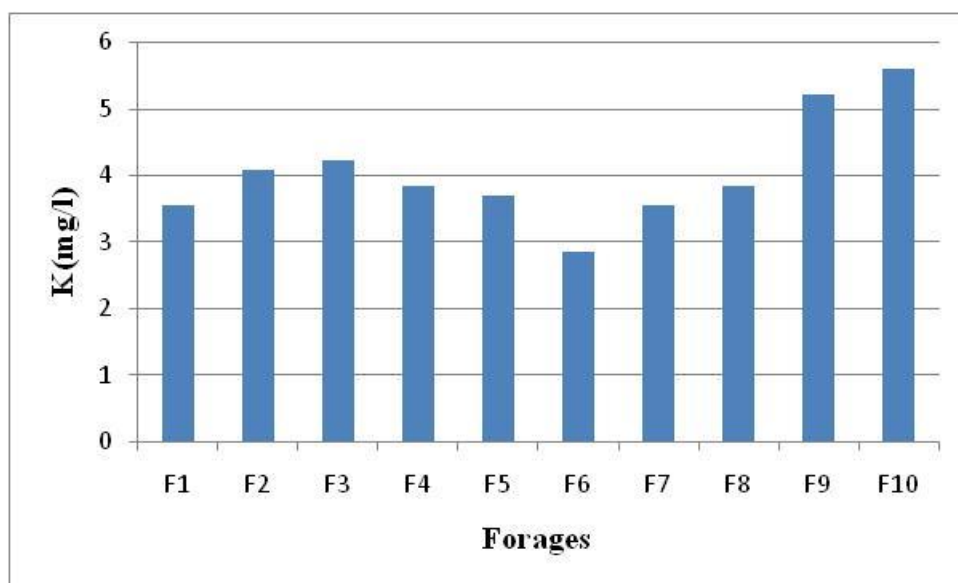


Figure 25. Variation des concentrations de K dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

3-6-Les anions**3-7-Chlorure (Cl⁻)**

Les chlorures sont produits lors de la dissociation du chlorure d'hydrogène dans l'eau. Ils peuvent être localement impliqués dans les pluies acides et les phénomènes d'acidification des eaux superficielles ou souterraines.

Les résultats d'analyses montrent des teneurs variées de 73 à 200 mg/l. (tab. 17 et fig. 26)

Tableau 17. Concentration des Cl dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
Cl (mg/l)	200	113.6	114.4	93	81.4	85	73.6	97	74.7	98.3

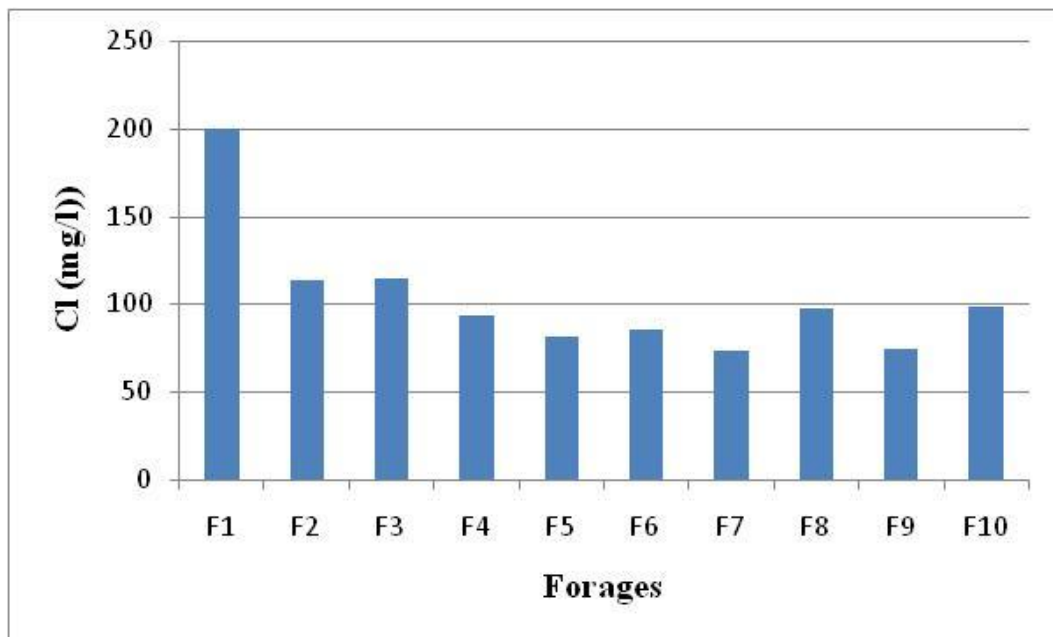


Figure 26. Concentration des Cl dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

3-8-Sulfates (SO₄⁻)

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, en raison de problèmes particuliers susceptibles d'introduire une gêne pour le consommateur (goût, corrosion), l'OMS recommande une valeur limite de 250 mg/L.

Les concentrations des sulfates trouvées sont dans les normes admises par l'OMS ; elles sont variées de 161 à 247 mg/l. (tab. 18 et fig. 27)

Tableau 18. Concentration des SO_4 dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
SO_4 (mg/l)	432.26	245.52	247.25	201	175.93	183.71	159.07	209.64	161.45	212.45

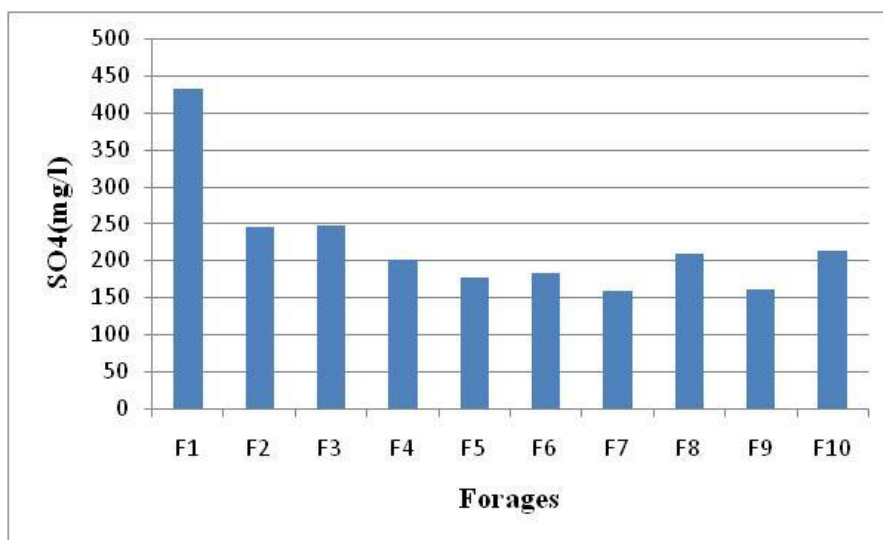


Figure 27. Variation de concentration des SO_4 dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

3-8-Bicarbonates (HCO_3^-)

Concernant les bicarbonates, il n'existe pas de concentration maximale admissible légale. Les eaux analysées sont caractérisées par une concentration varie entre 155 et 423.64 mg/l (tab. 19 et fig. 28).

Tableau 19. Concentration des HCO_3 dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
HCO_3 (mg/l)	423.64	240.63	242.32	196.99	172.42	180.05	155.90	205.47	158.23	208.22

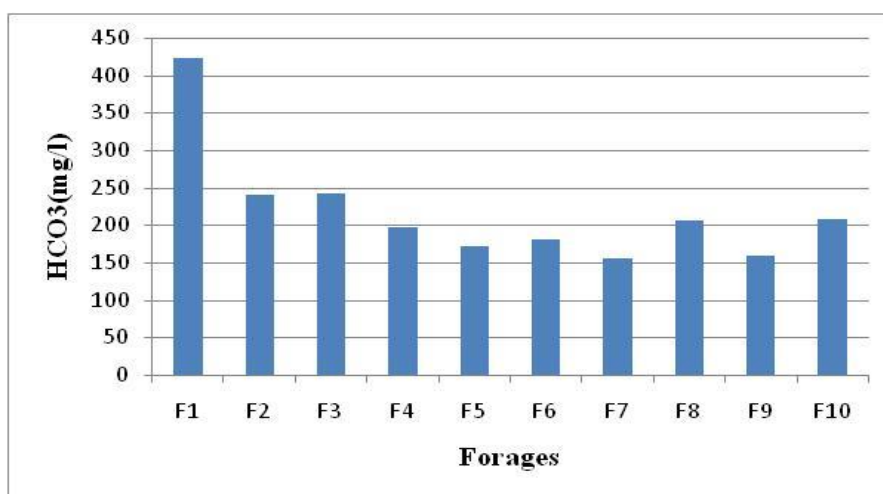


Figure 28. Variation de concentration des HCO_3 dans les eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

4- Classification des eaux

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été proposées par divers auteurs. Dans le cadre de cette étude, seulement la classification de Piper a été prise en considération.

5- Classification des eaux selon Piper

Le diagramme de Piper est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs.

Les résultats obtenus représentés dans le diagramme de Piper permettent de distinguer un faciès chimique sulfaté calcique. (fig. 29).

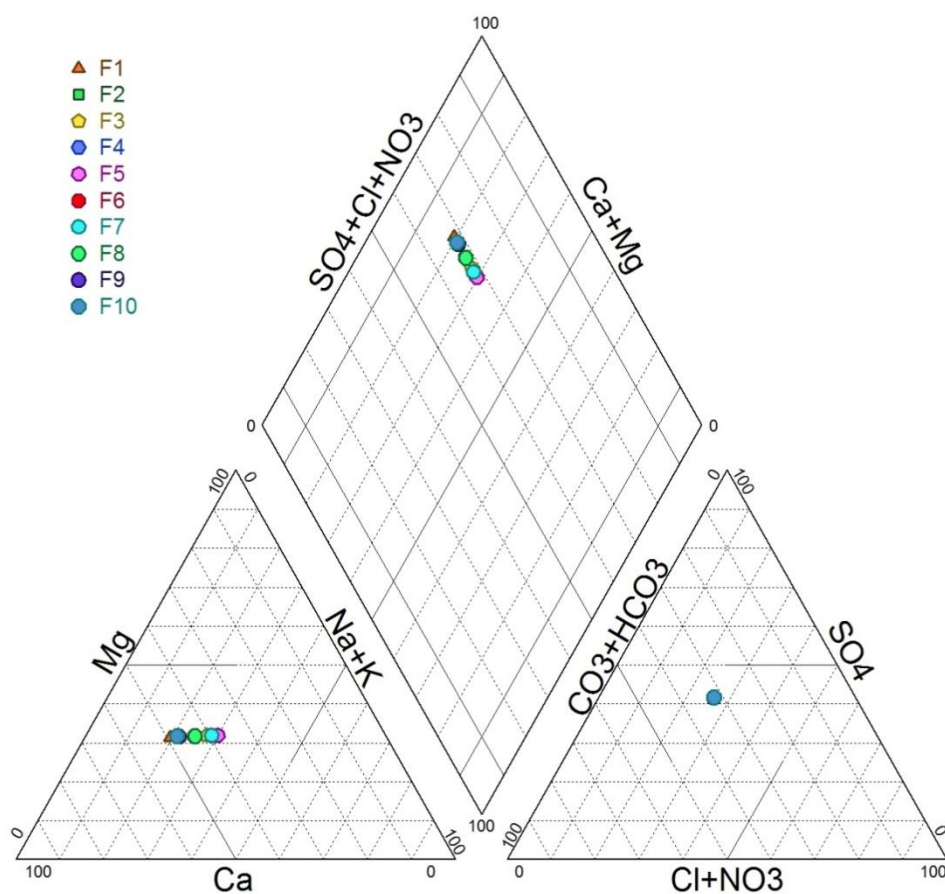


Figure 29. Classification des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel selon Piper

6-Qualités des eaux pour l'irrigation

Les valeurs de S.A.R montrent que les eaux de la classe C3-S1 sont de qualité Admissible : l'eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée (tab. 20 et fig. 30).

Tableau 20. Valeurs de S.A.R des eaux de la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel

Forage	S.A.R	Conductivité électrique (μS/cm)
F1	6.51	918
F2	7.61	1139
F3	9.94	1009
F4	10.40	969
F5	10.80	970
F6	8.93	951
F7	10.27	945
F8	8.77	983
F9	6.32	762
F10	6.40	871

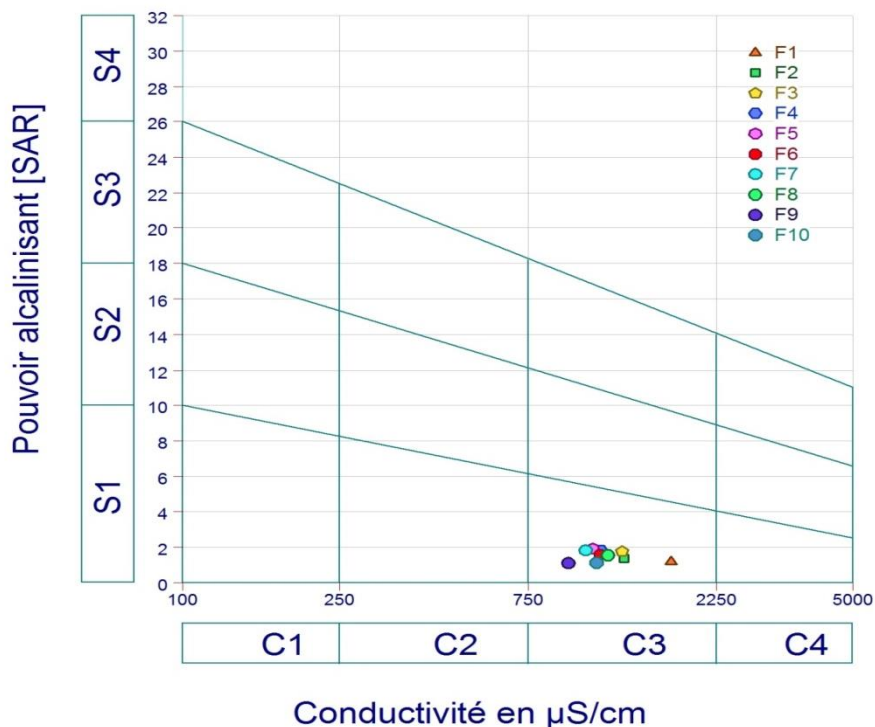


Figure 30. Diagramme de classification des eaux d'irrigation (la nappe albienne dans la région de Hassi El-Fhel)

Conclusion

Les eaux albiennes dans la région de Hassi El-Fhel, sont des eaux très dures. Leurs faciès chimiques selon le diagramme de piper est sulfaté calcique. Les valeurs de S.A.R inférieure à 10, montrent que ces eaux sont convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés ayant une bonne perméabilité.

Conclusion générale

La région de Hassi El-Fhel 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.

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 El-Fhel 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 sulfatée calcique.

Les eaux albiennes dans la région de Hassi El-Fhel, sont des eaux très dures. Leurs faciès chimiques selon le diagramme de piper est sulfaté calcique. Les valeurs de S.A.R inférieure à 10, montrent que ces eaux sont convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés ayant une bonne perméabilité.

Références 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 El-Fhel) Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa, 17p.

A.N.R.H Ghardaïa 2016 : Rapport de fin du sondage (Coopérative agricole du Chahid CHENTIR commune de Hassi El-Fhel 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".

ROUAS AHMED , 2018 . étude hydrogéologie de la région de Hassi El-Fhel (Ghardaïa) , mémoire de master UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.

KEBILI MOKHTAR ,2018 Etude et suivi des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa . mémoire de master UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA.

الملخص:

حاسي الفحل هي إحدى مناطق ولاية غرداية جنوب الجزائر، وتتميز بالنشاط الزراعي. المصدر الرئيسي للمياه في المنطقة هو المياه الجوفية من الطبقة القارية المقسمة. أدى النشاط الزراعي المكثف في المنطقة إلى زيادة استهلاك المياه الجوفية.

يتميز الهيدروجيولوجيا في حاسي الفحل بوجود خزانين للمياه الجوفية، منسوب المياه الجوفية المركب الطرفي ومنسوب المياه القاري الداخلي. تظهر الخصائص الهيدروكيميائية لمنطقة الدراسة وجود الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريتيدات، وهذه المياه عسيرة جدا مواتية للزراعة.

الكلمات المفتاحية: حاسي الفحل، مجمع طرفي، قاري داخلي، زراعة، مياه جوفية.

Résumé :

Hassi El-Fhel est l'une des régions de la province de Ghardaïa au sud de l'Algérie, et se caractérise par une activité agricole.

La principale source d'eau dans la région est l'eau souterraine de la couche continentale divisée. L'activité agricole intensive dans la région a entraîné une augmentation de la consommation d'eau souterraine.

L'hydrogéologie de Hassi El-Fhel est caractérisée par la présence de deux réservoirs d'eau souterraine, la nappe du complexe terminal et la nappe continental intercalaire.

Les caractéristiques hydrochimiques de la zone d'étude montrent du calcium, du magnésium et des sulfures, et cette eau est très dure favorable à l'agriculture.

Mots clés : Hassi El-Fhel, complexe terminal, continental intercalaire, agriculture, eaux souterraines .

Summary:

Hassi El-Fhel is one of the regions of the province of Ghardaïa in southern Algeria, and is characterized by agricultural activity.

The main source of water in the region is groundwater from the divided continental layer. Intensive agricultural activity in the region has resulted in an increase in the consumption of groundwater.

The hydrogeology of Hassi El-Fhel is characterized by the presence of two groundwater reservoirs, the terminal complex water table and the continental intercalary water table.

The hydrochemical characteristics of the study area show calcium, magnesium and sulphides, and this water is very hard favorable to agriculture.

Keywords: Hassi El-Fhel, terminal complex, intercalary continental, agriculture, groundwater.