

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVEALABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En Vue De L'obtention Du Diplôme de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

**Vulnérabilité a la pollution des eaux de la nappe
superficielle de la vallée du M'zab**

Soutenu publiquement par : *Mr. OULED SIDI AMOR Tayeb*

Le 26/05/2016

Devant le jury :

Président :	Mr. BELLAOUAR Abdelaziz	M. A. A Univ. Ouargla
Promoteur :	Mr. BOUSSALSAL Boualem	M. A. A Univ. Ouargla
Examineur :	Mr. FENNAZI Bilal	M. C. B Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciements

*Langage tout d'abord à Dieu qui m'a donné la force
Pour terminer ce modeste travail et mes parents pour leur
soutien pour moi.*

*Toutes pour moi infinies gratitudees à mon promoteur,
Monsieur BOUSELSAL BOUALLEM pour son
encadrement et ses aides précieuses.*

*Je remercie aussi les membres de jury qui nous ont fait
l'honneur d'accepter le jugement de mon travail.*

*Je remercie aussi mes enseignants du département des sciences
de la terre et l'univers*

*Enfin je remercie tous ceux qui ont contribués de près ou de
loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvent ici
l'expression de me profondes gratitudees et respects.*





Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :
Avant tout à ma chère mère, à mon père*

A tous mes frères

Et à toute la famille Ouled Sidi Amor

*A Mr. BOUSELSAL BOUALEM pour leur
collaboration et leur aide*

A tout mes amis sans exception

*Et a toute la promotion 2015/2016
des sciences de la terre et l'univers*

*A toutes mes adorables que j'ai connu
pendant toute Ma vie ...*

Ouled Sidi Amor

Tayeb

Introduction générale.....	01
partie01 : présentation de la zone d'étude.	
1. Situation géographique.....	02
2. Aperçu socio-economique.....	03
3. Contexte hydro-climatique.....	04
3.1. Contexte climatique.....	04
3.1.1. Précipitation.....	04
3.1.2. Température.....	05
3.1.3. Humidité relative.....	06
3.1.4. Le vent.....	06
3.1.5. Evaporation.....	07
3.1.6. Diagramme d'emberger.....	08
3.1.7. Diagramme ombrothermique de gausсен.....	08
3.1.8. Bilant hydrique.....	09
3.2. Contexte hydrologique.....	10
4. Contexte géologique.....	12
4.1. Introduction.....	12
4.2. Cadre géologique de la plate-forme saharienne.....	12
4.3. Cadre géologique de la dorsale du M'zab.....	13
4.3.1. Litho stratigraphie.....	15
4.3.2. Albien.....	15
4.3.3. Cénomaniens.....	15
4.3.4. Turonien.....	15
4.3.5. Sénonien inférieur.....	15
4.3.6. Sénonien supérieur.....	18
4.3.7. Mio-pliocène (pontien).....	18
4.3.8. Pliocène continental.....	18
4.3.9. Quaternaire.....	18
4.4. Structure de la dorsale.....	18
4.5. Caractéristiques géomorphologiques.....	19
4.5.1. Pays de chebka.....	19
4.5.2. Le type de relief.....	20

A-la falaise inférieure et son plateau	20
B-la falaise supérieure et son plateau	20
4.5.3. Fissuration	21
4.5.4. Karstification	21
4.6. Interprétation de la coupe géologique.	21
4.6.1. Continental intercalaire.	21
4.6.2. Le complexe terminal.....	22
5. Conclusion.....	22
Partie 02 : Etude hydrogéologique de l'aquifère superficiel de la vallée de M'zab.	
1. Introduction... ..	23
2. Présentation de System Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).....	23
2.1. La nappe du complexe terminal (CI).....	24
2.2. La nappe du Continental Intercalaire (CI).....	25
2.2.1. Limites et structure du CI... ..	26
2.2.2. Piézométrie et alimentation du CI... ..	27
2.2.3. Reserve et exploitation du CI... ..	28
3. Présentation des aquifères de la vallée de M'zab.. ..	29
3.1. Historique de recherche et d'exploitation.. ..	29
3.2. La nappe phréatique de l'oued M'zab.. ..	29
3.2.1. Structure de la nappe phréatique.. ..	29
3.2.2. Piézométrie de la nappe phréatique.. ..	30
A. Carte piézométrique 2008.....	30
B. Carte piézométrique 2011.. ..	31
3.2.3. Qualité des eaux de la nappe phréatique.. ..	32
A. Facies chimique.....	32
B. Les paramètres physico-chimiques.. ..	34
La Température.....	34
La Conductivité.	34
Le pH.	34

C. Les éléments majeurs.	35
Le calcium Ca^{+2}	35
Le magnésium Mg^{+2}	35
Le sodium (Na^+).	36
Le potassium K^+	36
Les chlorures CL^-	37
Les bicarbonates HCO_3^-	37
Les sulfates SO_4^-	38
D. Les substances indésirables.	38
L'ammonium NH_4^+	38
Le nitrite NO_2^-	39
le nitrate NO_3	39
Le fer Fe^{+2}	39
4.2. La nappe de Continental Intercalaire.	40
4.2.1. Structure du CI dans la région du m'zab.	40
4.2.2. Exploitation du CI dans la vallée du m'zab.....	40
4.2.3. Piézométrie de CI.	41
5. Conclusion.	42
1. Matériels et méthodes.	43
 Partie 03 : vulnérabilité de l'aquifère superficiel de la vallée de m'zab	
1. Concept de vulnérabilité des eaux souterraines.	43
1.2. Présentation de la méthode de vulnérabilité GOD.....	43
1.3. Mesures et préparation des données.....	45
1.3.1. La profondeur d'eau de la nappe.....	45
1.3.2. La lithologie de l'aquifère.....	45
1.3.3. La nature de la zone non saturée.	45
1.4. Cartographie des paramètres de vulnérabilité et comparaison des cartes.	46
2. Resultats et discussions.	46
2.1. Les cotes des paramètres de vulnérabilité de GOD.	46
2.1.1. Type de nappe.....	46
2.1.2. Nature de la zone non saturée.	47

2.1.3. Profondeur a la nappe.....	48
2.2. Cartographie de la vulnérabilité a la pollution de la nappe du m'zab.....	49
2.2.1. L'indice de vulnérabilité GOD.....	49
2.2.2. Carte de vulnérabilité GOD..	50
2.2.3. Critique de la carte de vulnérabilité GOD.....	51
2.2.4. Notes sur la protection des ressources en eau dans la vallée de m'zab..	52
3. Conclusion.....	53
Conclusion générale.	54

LISTE DES ABREVIATIONS

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

A.E.P : Alimentation en eau potable.

AEI : Alimentation en eau industriel.

AEA : Alimentation en eau d'irrigation.

C.T : Complexe Terminal.

C.I : Continental Intercalaire.

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

ABHS : Agence de Bassins Hydrographique du Sud.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ETP : Evapotranspiration potentiel (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

Exc : Excédante (mm).

Def : Déficit agricole (mm).

RFU : Réserve facilement utilisable

hr : l'humidité relative (%).

pH : Potentiel d'Hydrogène.

ONM : Office National Météorologique

SA.R: Sodium Absorption Ratio

Liste des figures

Chapitre I : présentation de la zone d'étude

Figure n°01 : Limites de la vallée de l'oued M'zab (Image IKONOS/2000).....	02
Figure n°02 : Carte d'occupation dans la vallée du M'zab (ACHOUR M. / 2011).....	03
Figure n°03 : Histogramme des précipitations mensuelles à la station de Ghardaïa (1989-2011)..	05
Figure n°04 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa pour la période (1998-2011).....	05
Figure n°05 : ..	06
Figure n°06 : Histogramme des vitesses de vent moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa pour la période (1998-2011).....	07
Figure n°07 Histogramme des évaporations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa pour la période (1990-2011).....	07
Figure n°08 : Etage bioclimatique de la région de Ghardaïa selon le climagramme d'Emberger..	08
Figure n°09 : Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région de Ghardaïa. (Période : 2004-2013)..	09
Figure n°10 : les termes du bilan hydrique de la région de Ghardaïa.....	10
Figure n°11 : Hydrographique du bassin de M'zab.....	11
Figure n°12 carte géologique du bassin septentrional de Sahara (OSS 2003).....	13
Figure n°13 : Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa..	14
Figure n°14 : Coupe lithologique du forage de Noumerat(ANRH/Ghardaïa).....	16
Figure n°15 : Log géologique synthétique du bassin du Sahara septentrional..	17
Figure n°16 : Coupe Ouest-Est à travers la dorsale du M'zab.....	19
Figure n°17 : disposition E-W des principaux éléments de relief composant les payes de M'zab..	20
Figure n°18 : coupe géologique schématique traitée de la vallée du M'zab, (source ANRH).....	22
Partie 02 : étude hydrogéologique de la vallée de M'zab	
Figure n°19 : limites du domaine SASS.....	24
Figure n°20 : Piézométrie de la nappe du CT (OSS, 2003).....	25
Figure n°21 : Log synthétique des principales unités géologiques et hydrogéologiques du bassin(SASS).....	26
Figure n°22 Coupe hydrogéologique NE-SW du bassin SASS (ERESS, 1972).....	27

Figure n°23 : Piézométrie de la nappe du CI (OSS, 2003).....	28
Figure n°24 : Coupe géologique schématique de la vallée d'M'zab..	30
Figure n°25 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'zab (avril, 2008).	31
Figure n°26 : Carte de piézométrie de la nappe phréatique (avril-mai, 2011).....	32
Figure n°27 : Diagramme de piper.....	33
Figure n°28 : Histogramme des variations de la température des eaux dans la nappe phréatique..	34
Figure n°29 : Histogramme des variations de la conductivité des eaux dans la nappe phréatique.....	34
Figure n°30 : Histogramme des variations du pH des eaux dans la nappe phréatique..	35
Figure n°31 : Histogramme des variations du Ca ⁺⁺ des eaux dans la nappe phréatique.....	35
Figure n°32 : Histogramme des variations du Mg ²⁺ des eaux dans la nappe phréatique.....	36
Figure n°33 : Histogramme des variations du Na ⁺ des eaux dans la nappe phréatique.....	36
Figure n°34 : Histogramme des variations du K ⁺ des eaux dans la nappe phréatique..	37
Figure n°35 : Histogramme des variations du Cl ⁻ des eaux dans la nappe phréatique..	37
Figure n°36 : Histogramme des variations du HCO ₃ ⁻ des eaux dans la nappe phréatique.....	38
Figure n°37 : Histogramme des variations du SO ₄ ⁻ des eaux dans la nappe phréatique.....	38
Figure n°38 : Histogramme des variations du NH ₄ ⁺ des eaux dans la nappe phréatique..	39
Figure n°39 : Histogramme des variations du PO ₃ ⁻ des eaux dans la nappe phréatique.....	39
Figure n°40 : Histogramme des variations du Fe ⁺⁺ des eaux dans la nappe phréatique..	40
Figure n°41 : Carte des courbes piézométriques de la nappe albienne dans la région du M'zab (avril-mai, 2011).....	41
Partie 03 : vulnérabilité de l'aquifère superficiel de la vallée de M'zab	
Figure n°42: Carte de l'indice de vulnérabilité, représentation du critère G (maillage 30x30m).....	47
Figure n°43 : Carte de l'indice de vulnérabilité, représentation du critère.....	48
Figure n°44 : Carte de l'indice de vulnérabilité, représentation du critère profondeur à la nappe.....	49
Figure n°45 : Répartition de l'indice de vulnérabilité GOD du secteur d'étude.....	50
Figure n°46 : Carte de l'indice de vulnérabilité de la nappe phréatique de l'oued M'zab..	51

Numéro	Titre	page
Tableau 1 :	Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (1989-2011).	04
Tableau 2 :	température moyenne mensuelle à la station de Ghardaïa pour la période (1998-2011).	05
Tableau 3 :	Humidité relative moyenne (en%) à la station de Ghardaïa (1998-2011).	06
Tableau 4 :	Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Ghardaïa (1998-2011).	06
Tableau 5 :	L'évaporation moyenne mensuelle la station de Ghardaïa pour la	07
Tableau 6 :	données de diagramme ombrothermique.	
Tableau 7 :	Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE dans la période (1998-2011).	
Tableau 8 :	Caractéristiques géomorphométriques des bassins du M'Zab.	12
Tableau 9 :	système empirique GOD ; pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster, 1987).	44
Tableau 10 :	intervalle des valeurs de l'indice de GOD et les classes correspondantes (d'après Foster, 1987)	45
Tableau 11 :	Cotes attribuées au critère "Impact de la ZNS".	47
Tableau 12 :	Cotes attribuées au critère "Profondeur à la nappe".	48
Tableau 13 :	Les côtes des paramètres de vulnérabilité de GOD.	49

INTRODUCTION GENERALE.

L'eau présente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant. C'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socio-économique. Les dernières décennies sont caractérisées par une industrialisation galopante et par une sécheresse intense qui touche l'Algérie d'une manière générale. Cette situation rend le domaine de l'eau de plus en plus vital et les nappes aquifères de plus en plus vulnérables à la pollution.

La présente étude traite de la vulnérabilité des eaux de l'aquifère superficiel de la vallée du M'Zab à la pollution, causée par de nombreux foyers de pollution (urbanisation, industrie et agriculture), qui se multiplient dans la région.

1^{ère} partie : Présentation de la zone d'étude « la région de M'Zab » ; dans cette partie sera présentée la situation géographique, le cadre socio-économique, le cadre l'hydro-climatiques et le cadre géologie de la région.

2^{ème} partie : étude hydrogéologique ; dans cette partie sera présentée le système aquifère de la région de M'Zab , la configuration de la géométrie des aquifères, l'extension et les épaisseurs des formations aquifères, la piézométrie qui permet de déterminer le sens de l'écoulement, les zones de recharges et les exutoires ainsi que les éventuels échanges entre les nappes et la qualité des eaux de la nappe superficielle touché par la pollution minérale et organique.

3^{ème} partie : Vulnérabilité de la nappe superficielle de la vallée du M'zab à la pollution par la méthode de GOD.

A l'issue de ce travail nous présentons une **Conclusion générale** et des Recommandations faisant sortir les résultats de l'étude et à prendre en considération.

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.

La région du M'zab, située à 600 km au sud de la capitale est considérée commel'une des grandes oasis du Sahara algérien. Administrativement, elle fait partie de la wilaya de Ghardaïa, regroupant trois chefs lieu de communes, Ghardaïa chef-lieu de la wilaya occupant l'amont et le centre de la vallée, Bounoura et El Atteuf occupant la partie aval de la vallée.

Géographiquement la vallée du M'zab est comprise entre 32° 26' et 32° 31' de latitude Nord et 3° 37' et 3°46' de longitude Est. Elle est alignée approximativement NW- SE, en partant de Bouchen, zone de confluence de l'oued El Haimeur (Laadira) avec l'oued Touzouz, jusqu'à El Atteuf sur une longueur de 23,50 km. La largeur de la vallée varie entre 2,35 et 1,50 km en amont et diminue au fur et à mesure vers l'aval pour atteindre 0,55 km tout au sud de la ville d'El Atteuf. Les altitudes quant à elles sont relativement faibles, elles diminuent progressivement de l'amont vers l'aval, 514 à 508 mètres à Bouchen, 505 à 485 mètres au niveau la ville de Ghardaïa, 455 à 450 mètres au niveau d'El Atteuf, et 435 mètres à Ahbas point le plus bas de l'oasis d'El Atteuf.

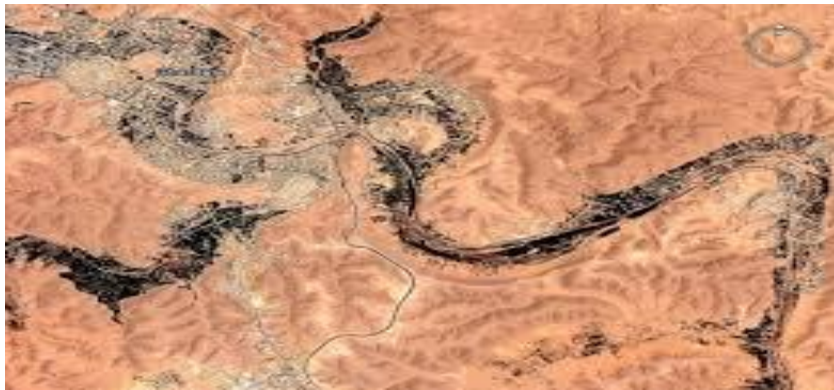


Figure. 01:Limites de la vallée de l'oued M'zab(Image Google Earth).

2. APERÇU SOCIO-ECONOMIQUE.

La population pour l'ensemble des trois communes regroupées est estimée de 161 202 habitants (DPAT, 2008). L'agriculture oasienne représente la principale activité de la vallée, dont le sol est occupé en trois modes de :

- Culture des palmeraies en premier lieu (phoenicultures).
- Culture des arbres fruitiers.
- Culture maraîchère et fourragère en intercalaire.

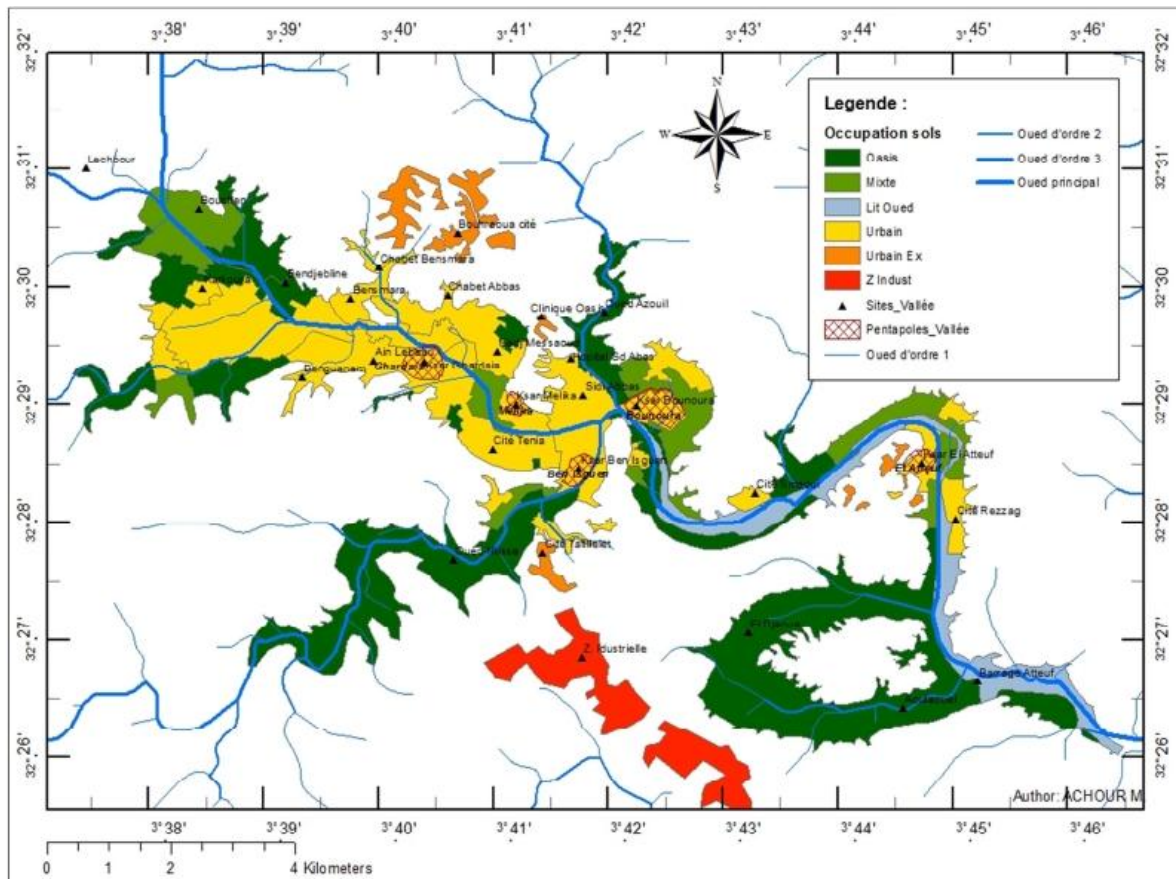


Figure .02 : Carte d'occupation dans la vallée du M'zab (ACHOUR M. / 2011).

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

La carte a été élaborée par digitalisation de l'image satellitaire IKONOS de l'an 2000 (multi spectrale à 4m de résolution) de la zone étudiée en utilisant les outils du logiciel Arc GIS 10 d'ESRI. La carte montre que sur une surface totale de la vallée digitalisée de 31,18 km² soit 3118,8 hectares ; 30% est occupée par l'urbanisme soit 10,63 hectares. Les oasis dans la vallée occupent une surface de 14,10 hectares, soit 40% de la surface totale

Les oasis sont localisées principalement en amont (Touzouz, Bouchen) et en aval de l'oued M'zab (Djaoua, Aouleouel), ainsi que le long des deux principaux affluents de la vallée du M'zab ; oued N'tissa et oued Azouil. Les zones mixtes (urbanisme et oasis)représentent 11% de la surface totale soit 3,83 hectares (fig.02). Les zones urbaines sont localisées principalement, autours des vieux ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes. En aval de la vallée une zone inoccupée de 2,66 hectares correspond à la zone d'épandage de l'oued M'zab, elle représente 7% de la surface totale de la vallée.

3. CONTEXTE HYDRO-CLIMATIQUE.

3.1. Contexte climatique.

Le caractère fondamental du climat Saharien est caractérisé généralement par des étés aux chaleurs torrides et des hivers froids, surtout pendant la journée (D.P.A.T., 2013), mais l'existence des reliefs ainsi que la présence d'une végétation abondante (oasis) ; peuvent modifier localement les conditions climatiques créant ainsi un micro-climat.

Nous étudions ci-dessous le climat de notre secteur d'étude à partir de certaines données climatiques collectées au niveau de la station météorologique de l'ONM de Ghardaïa.

3.1.1. Précipitation.

Les précipitations indiquent uniquement l'entrée dans le bilan hydrogéologie et qui peut estimer la quantité d'eau renouvelée dans les nappes et le régime des cours d'eau dans le bassin, On les exprime généralement en hauteur de lame d'eau précipitée (mm). On définit aussi son intensité (mm/h) comme la hauteur d'eau précipitée par unité de temps.

Les données des Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa pour la période (1998-2011). sont illustrées dans le tableau suivant (Tab.01).

Tableau.01 :Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (1998-2011).

Mois	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Année
Pr (mm)	16.6	8.93	7.98	6.30	12.45	3.07	9.92	8.28	3.01	3.61	1.83	3.74	85.72

Les précipitations sont généralement faibles caractérisant un climat aride. Les valeurs maximales sont enregistrées au mois de Septembre (16 mm) et les valeurs minimales sont enregistrées au mois de juillet (1.83 mm).

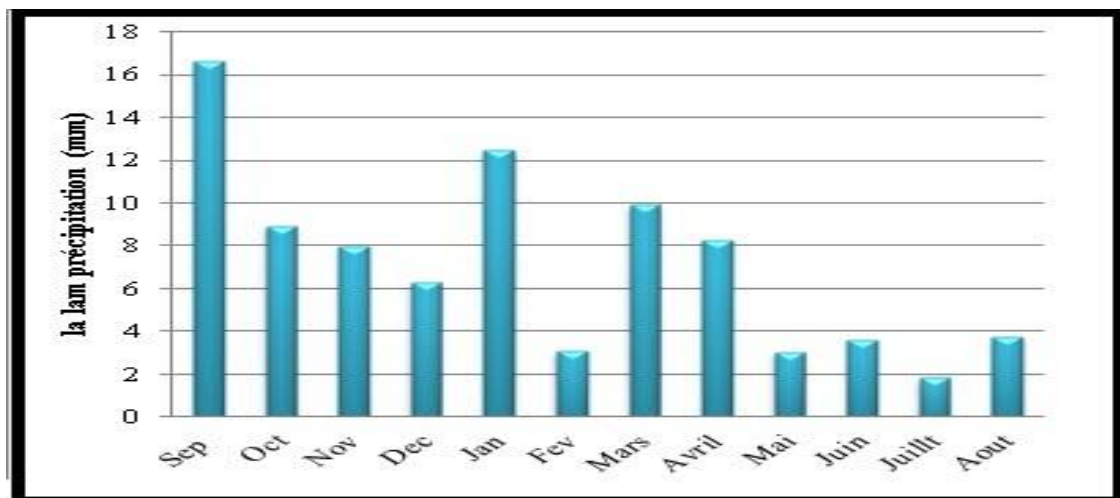


Figure.03 : Histogramme des précipitations mensuelles à la station de Ghardaïa (1989-2011).

3.1.2. Température.

La température est un paramètre très important et qui joue un rôle essentiel dans le cycle hydrologique et qui donne la caractéristique du régime climatique d'une région et a une liaison avec l'évaporation et la condensation. Le tableau 2 montre que les valeurs des températures sont généralement fortes caractérisant un climat aride. Les valeurs maximales sont enregistrées aux mois de juillet (34.66 °C) et les valeurs minimales sont enregistrées aux mois de janvier (11.23°C).

Tableau.02: Température moyenne mensuelle à la station de Ghardaïa (1998-2011).

T	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Marc	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
Moy	28.98	23.88	16.19	12.04	11.23	13.24	17.43	21.39	25.88	31.11	34.66	33.25

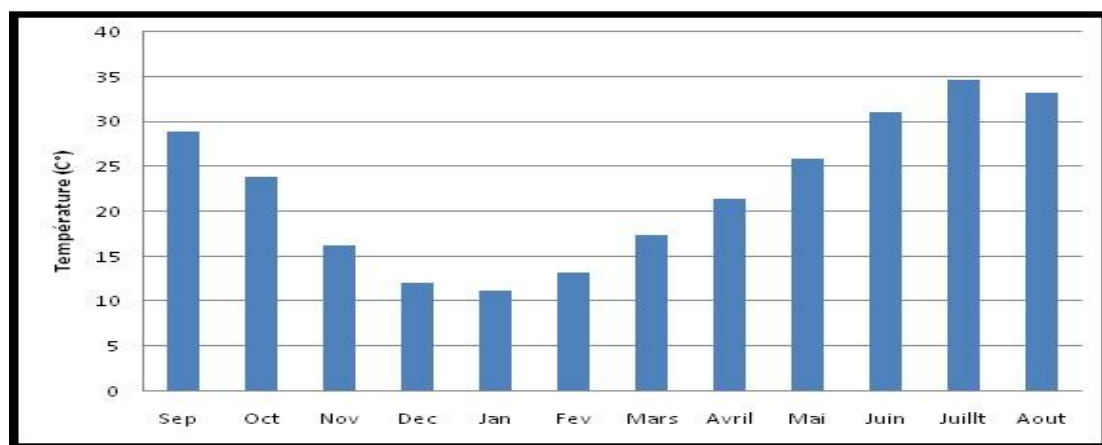


Figure.04 : Histogramme des températures moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (1998-2011).

3.1.3. Humidité relative.

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en %, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère. Les données d'humidité relative moyenne à la station de Ghardaïa pour la période (1998-2011) sont présentées dans le tableau 03.

Tableau.03 : Humidité relative moyenne (en%) à la station de Ghardaïa (1998-2011).

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Marc	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Ann
Moy	42.32	47.4	57.44	62.92	62.28	52.4	44.28	39.08	34.24	27.08	25.36	30.12	43.74

D'après l'histogramme de la figure 05, on remarque que l'augmentation du taux d'humidité se fait de l'automne au mois septembre jusqu'au printemps au mois mars, en revanche on remarque la diminution du taux d'humidité au mois d'avril jusqu'à la fin du mois d'août.

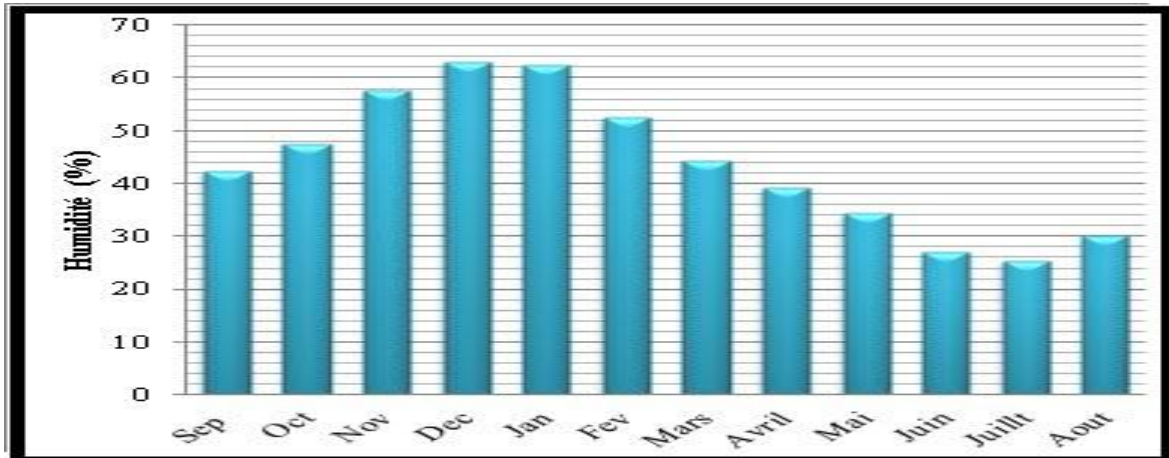


Figure.05 :Histogramme des humidités relatives en (%) à la station de Ghardaïa (1998-2011).

3.1.4. Le vent.

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat influant directement sur le climat d'une région et cette vitesse des vents qui influe sur l'évaporation des eaux par les surfaces de Sol et des végétaux, Les vitesses moyennes mensuelles des vents à la station ONM Ghardaïa pour la période (1998-2011).

Tableau. 04 : Vitesses moyennes mensuelles des vents à la station de Ghardaïa (1998-2011).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Ann
Moy	3.43	4.13	3.33	3.50	4.76	4.42	5.34	5.96	5.78	5.71	4.42	3.28	4.50

D'après l'histogramme de la figure 06, on remarque que la force des vents est modérée durant toute l'année et on peut distinguer que la valeur maximale est enregistrée au printemps au mois avril avec une valeur de 5.96m/s, et une valeur minimale au mois d'août avec une valeur 3.28m/s.

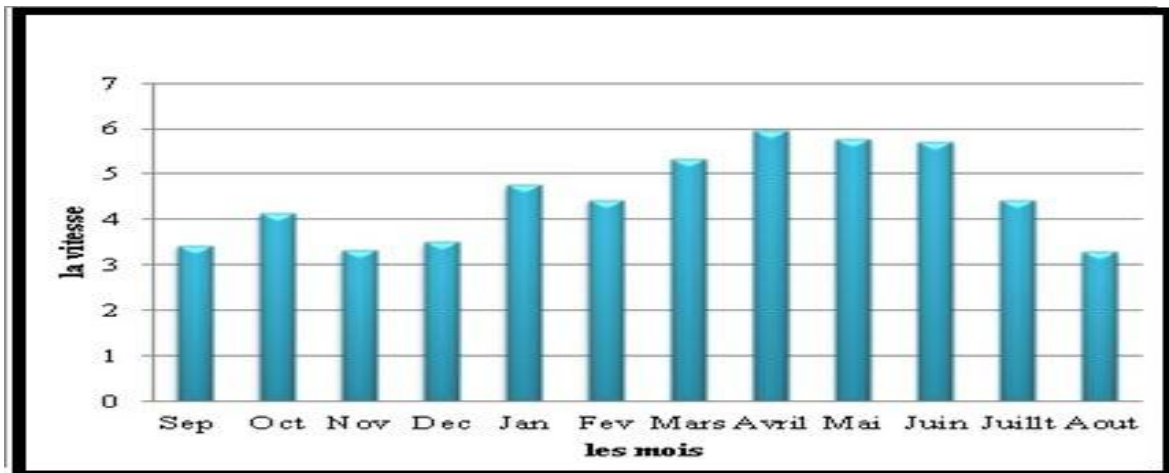


Figure.06:Histogramme des vitesses de vent moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (1998-2011).

3.1.5. Evaporation.

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans l'évaluation et représente la sortie des eaux de bilan hydrique, qui transformation de l'eau en vapeur d'eau par des processus physique et qui mesuré par plusieurs facteurs tel que la température, les précipitations, la vitesse des vents, l'humidité de l'air, l'état du sol et la végétation qui sont varié selon le lieu et le temps.

Tableau 05 : L'évaporation moyenne mensuelle la station de Ghardaïa pour la période (1998-2011).

mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Marc	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Ann
Moye	295.09	207.42	135.82	138.63	108.66	135.68	196.63	256.77	321.1	392.37	439.57	404.66	3032.4

D'après l'histogramme de la figure 07, on remarque que le taux d'évaporation est grande aux périodes sèche, de mois d'avril jusqu'à mois d'octobre avec une valeur maximum égale 439.57 au mois de juillet, et il est petit aux périodes froids de mois de novembre jusqu'à mois de mars avec une valeur minimale égale 108.66 au mois de janvier.

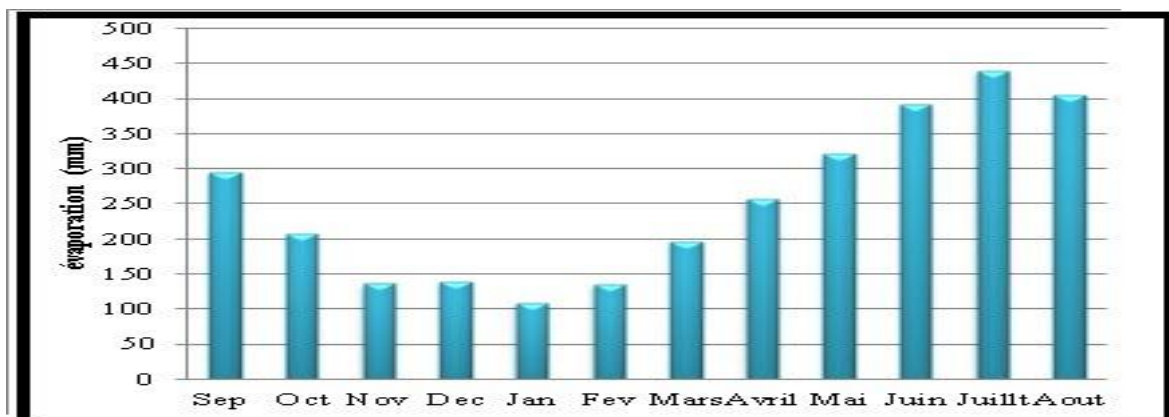


Figure.07: Histogramme des évaporations mensuelles à la station de Ghardaïa (1998-2011).

3.1.6. Diagramme d'Emberger.

Le diagramme d'Emberger permet de distinguer les différentes nuances du climat méditerranéen et caractériser l'étage bioclimatique d'une région donnée (DAJOZ, 1982). Le

quotient pluviothermique d'Emberger est déterminé selon la formule suivante : $Q_2 = \frac{3.43 \times P}{M - m}$

Où : Q_2 : Quotient pluviothermique d'Emberger;

P : Moyenne des précipitations annuelles exprimées en mm;

M : Moyenne des températures maxima du mois le plus chaud.

m : Moyenne des températures minima du mois le plus froid.

Le quotient Q_2 de la région d'étude est égal à 8.7, calculé à partir des données climatiques obtenues durant une période de 12 ans (1998-2011). La valeur du quotient est portée ainsi sur le diagramme d'Emberger. Il montre que notre région d'étude est située dans l'étage bioclimatique saharien à hiver chaud (Fig08.).

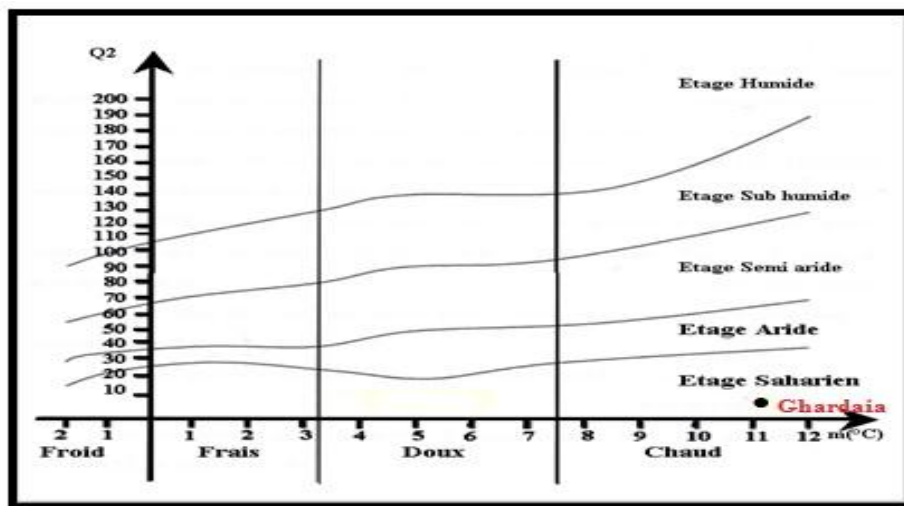


Figure.08 : Etage bioclimatique de la région de Ghardaïa selon le climagramme d'Emberger.

3.1.7. Diagramme Ombrothermique de Gaussen.

Le diagramme ombrothermique de Gaussen 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). La représentation selon le diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'étude montre qu'il y a une période sèche qui s'étale sur toute l'année (12 mois) (Fig08.).

Tableau. 06: données de diagramme ombrothermique.

Mois	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout
P (mm)	16,6	8,93	7,98	6,3	12,45	3,07	9,92	8,28	3,01	3,61	1,83	3,74
2Temp(C°)	57,96	47,76	32,38	24,08	22,46	26,48	34,86	42,78	51,76	62,22	69,32	66,5

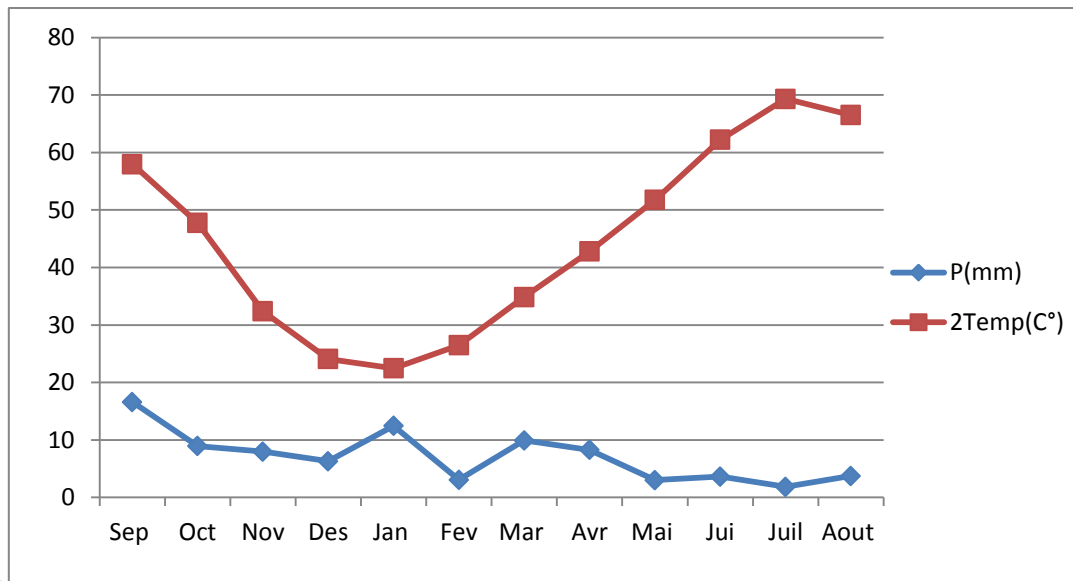


Figure.09: Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région de Ghardaïa

(Période : 1998-2011).

3.1.8. Bilant hydrique.

Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa (Tab.07) et (Fig.10), dans la période (1998-2011), d'après la méthode de Thornthwaite est déficitaire ; la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel l'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 11 mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet (254.4mm).

Tableau 07: Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE dans la période (1998-2011).

Mois	Tp	Pr	ETPC	RFU	ETPR	DA	Exc
S	28,98	16,6	137,1	0,0	16,6	120,5	0,0
O	23,88	8,93	80,2	0,0	8,9	71,3	0,0
N	16,19	7,98	27,4	0,0	8,0	19,4	0,0
D	12,04	6,3	12,4	0,0	6,3	6,1	0,0
J	11,23	12,45	11,3	1,2	11,3	0,0	0,0
F	13,24	3,07	16,5	0,0	4,3	12,2	0,0
M	17,43	9,92	39,3	0,0	9,9	29,4	0,0
A	21,39	8,28	69,4	0,0	8,3	61,1	0,0
M	25,88	3,01	122,0	0,0	3,0	118,9	0,0
J	31,11	3,61	193,3	0,0	3,6	189,7	0,0
J	34,66	1,83	256,3	0,0	1,8	254,5	0,0
A	33,25	3,74	216,5	0,0	3,7	212,8	0,0
Annuel	22,4	85,7	1181,7	0,0	85,7	1096,0	0,0

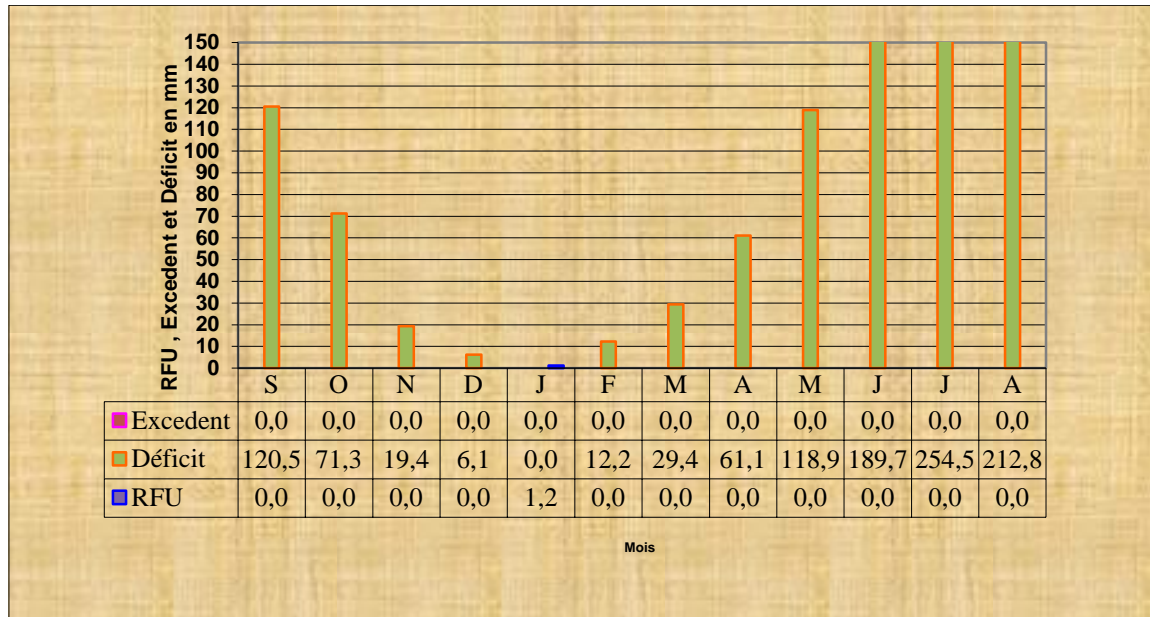


Figure.10: les termes du bilan hydrique de la région de Ghardaïa.

3.2. Contexte hydrologique.

Le ruissellement superficiel au Sahara est resté peu étudié jusqu'à ce jour. Ce ruissellement étant malgré sa assez rares et la fréquence de ceci est très variable dans le temps. A une longue période de sécheresse peut succéder une courte série d'années humides. Dans ces conditions la notion de moyenne perd de son sens.

Les crues d'oued M'Zab constituent la principale source d'alimentation de la nappe phréatique, ainsi la source d'irrigation des palmeraies. Pour maîtriser le risque lié aux crues de l'oued M'Zab, une étude très récente a proposée de mettre à l'amont du bassin des ouvrages de rétentions, et de recalibrer localement le lit de l'oued afin de lui permettre de faire transité la crue laminée. Cependant l'étude d'impact de ces ouvrages sur la nappe phréatique passe par la connaissance du régime des crues en terme quantitatif et qualitatif. Pour cette raison ce travail a été proposé.

Oued M'Zab passe par la ville de Ghardaïa. Il est constitué à l'amont par la confluence de trois importants Oueds: El Abiod ,Laadhira , et Areguedane; A une dizaine de kilomètres en aval de Ghardaïa se trouve une deuxième centre de rencontre (Zelfana), à droite Oued Noumerat et à gauche Oued Hasseï. L'Oued M'Zab prend naissance dans la région de BotmaTouila à une altitude 750 m, coule sensiblement d'Ouest en Est sur 325 km environ, et se termine à la Sebket Sefioun (côte 110m).

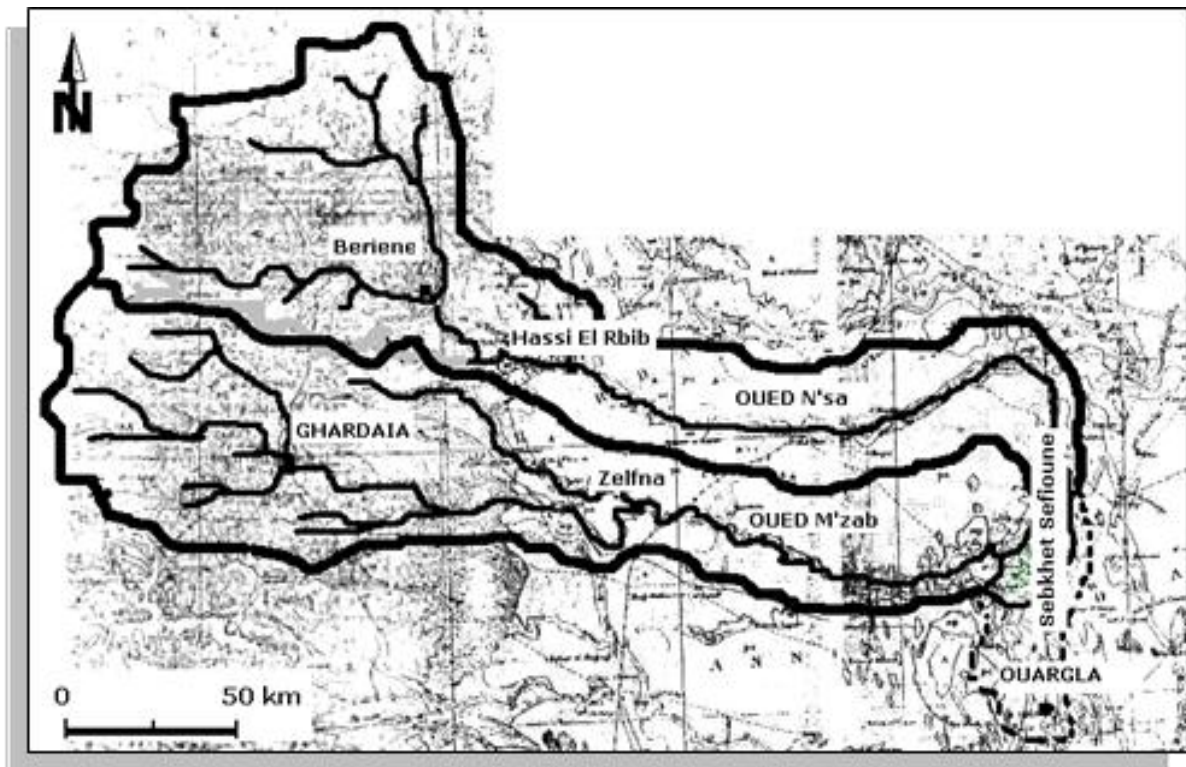


Figure.11 : Hydrographique du bassin de M'zab

Il s'étend sur une longueur de 320 km et coule de l'Ouest à Est, de la région de El-BotmaRouila à 745 mètres d'altitude où il est appelé oued Labiod; il se divise dans son exécutoire naturel qui est la sebkhet Safioune au Nord de la ville de Ouargla à une altitude de 107 mètres. Le largeur de la vallée varie entre 1 à 2,5 km, sa profondeur atteignant 50 mètres environ.

Les principaux affluents du M'zab, alias El Abiod, sont situés en amont de Ghardaïa: sur la rive gauche, l'oued El Haïmeur qui conflue à la Daïa ben Dahoua ; sur la rive droite: l'oued Touzouz qui rejoint le M'zab en amont de la palmeraie de Ghardaïa. En aval de ce centre, on rencontre à droite au niveau de Beni Isguen, le N'tissa qui traverse la palmeraie de cette ville. A gauche et à quelques centaines de mètres en aval du précédent. L'oued Zouil dans le lit duquel sont situés les jardins de Bounoura à l'aval de la pentapole mozabite, sur la rive droite: l'oued Noumirate, sur celle de gauche, légèrement en amont de Zelfana: l'oued Nessaïmou. Enfin, très en aval de cette nouvelle Oasis, l'oued Hasseï, alias oued Ourillou qui draine la partie nord du bassin du M'zab.

En outre, l'oued M'zab reçoit d'autres oueds de faible importance appelés "chaâbats", tel que chaâbat Benganem sur la rive droite et celles de Bensmara et Azouil sur la rive gauche.

Les écoulements de l'oued M'zab sont perturbés au niveau des villes mozabites par une série de barrages. Ils font partie du système hydraulique mozabite. Cette organisation a pour but:

- de collecter les eaux qui ruissellent accidentellement sur les pentes abruptes qui bordent les palmeraies.
- de dériver dans les jardins une partie des écoulements accidentels au moyen de barrages de dérivation et de canaux distributeurs.
- d'arrêter l'eau et de la forcer à s'étaler, par des barrages de retenue, dénommés « Habbas ».

Tableau.08 : Caractéristiques géomorphométriques des bassins du M'Zab.

Désignation	Sous bassin M'zab
Superficie km ²	5100
Périmètre km	476
Longueur principal km (Sebket.S)	224
Indice de capacité kc	1.63
Longueur équivalent km	56.0
Indice de pente globale m / km	3.1
Indice de pente moyen %	0.25
Alt max m	695
Alt min m (Sebket.S)	130
Alt moy m	392
Temps de concentration h(Sebket.S)	65

4. Contexte géologique.

4.1. Introduction.

La région du M'zab, fait partie du grand domaine de la plateforme saharienne. G. Busson (1970) et J. Fabre (1976), ont largement consacré leurs travaux sur l'étude de dépôts mésozoïques et tertiaires de la plateforme du Sahara septentrional, lesquels une grande partie de notre synthèse géologique s'est inspirée.

4.2. Cadre géologique de la plate-forme saharienne.

Le domaine de la plate-forme saharienne correspond à une immense assise de roches sédimentaires d'âge Secondaire et Tertiaire subhorizontale, reposant en discordance sur un socle primaire (Paléozoïque) fortement plissé et érodé au cours de l'orogénèse hercynienne. L'ensemble de ces assises comble une vaste cuvette synclinale qui forme le bassin du bas-Sahara, ou bassin du Chaamba (Conrad, 1948). Le centre de la cuvette est occupé par les

dunes du Grand Erg oriental. Par contre le Grand Erg occidental couvre en grandes parties ces bordures occidentales et sous ces dunes de sables le bassin correspond à un vaste bombement anticlinal à axe situé approximativement le long de la dorsale du M'zab. C'est le domaine du Haut-Sahara (J. Flandrin, 1957). La plate-forme saharienne s'étend du massif cristallophyllien du Hoggar au Sud jusqu'au piémont méridional de la chaîne montagneuse de l'Atlas Saharien au Nord. Les deux domaines ; saharien et atlasique, sont nettement séparés par un grand accident structural complexe dit flexure sud atlasique (fig.12).

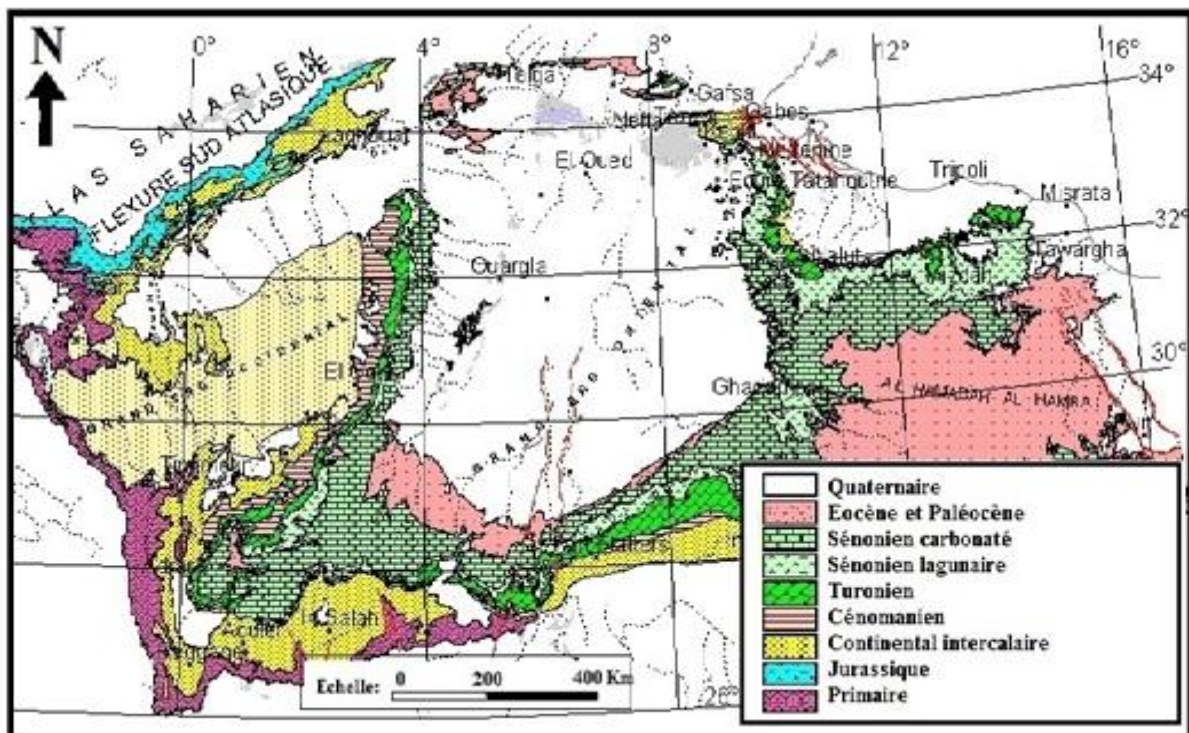


Figure.12 : carte géologique du bassin septentrional de Sahara (OSS 2003).

4.3. Cadre géologique de la dorsale du M'zab.

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 subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'zab".

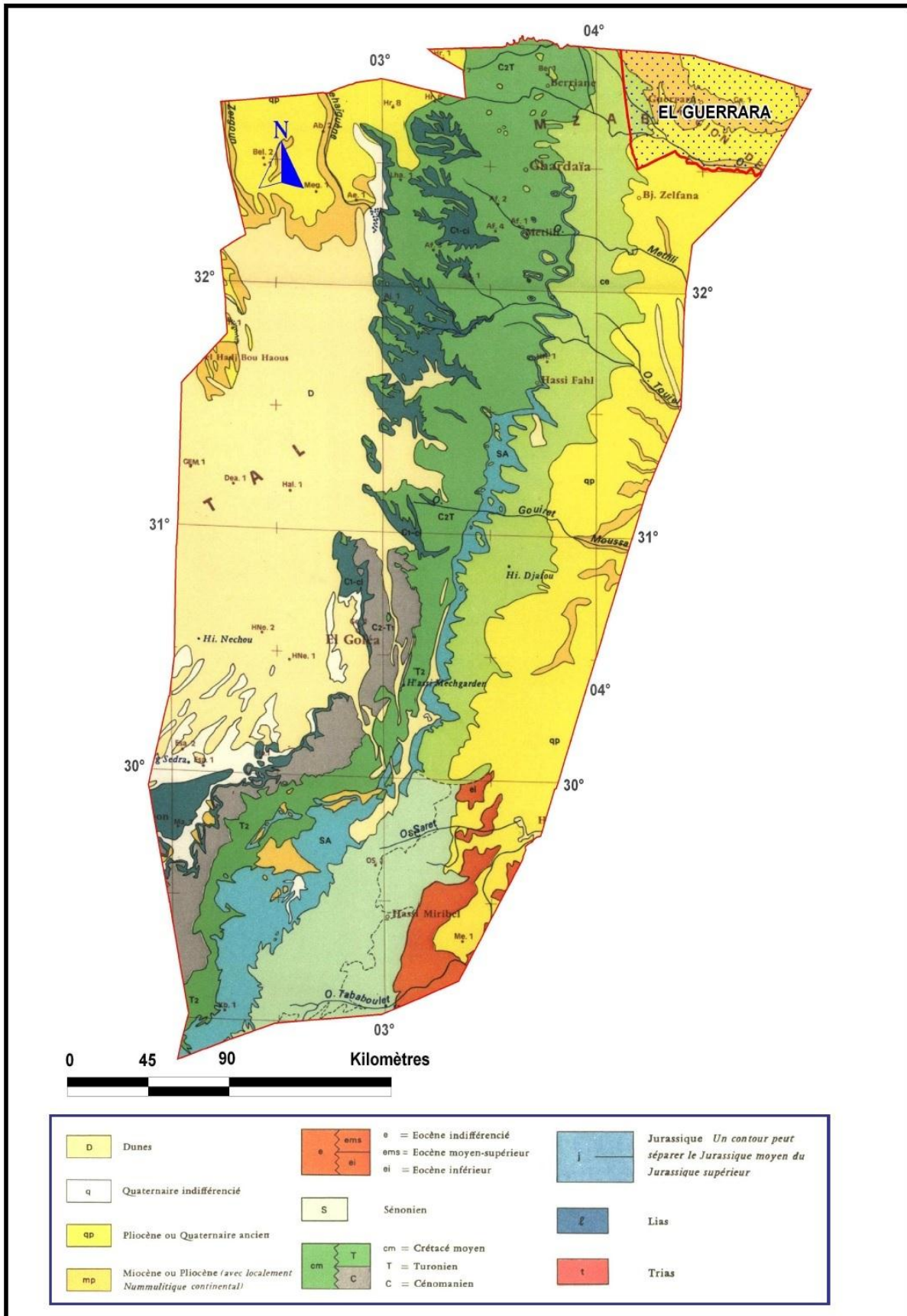


Figure .13: Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa.

4.3.1. Litho stratigraphie.

La zone d'étude présente à l'affleurement une succession de formations géologiques allant du Cénomaniens au Mio-pliocène continental. Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plus part des vallées des oueds de la dorsale du M'zab.

Mise à part les affleurements localisés sur le plateau de Tademaït et de Tinrhert au Sud, et le versant occidental de la dorsale du M'zab, le bassin du bas-Sahara à géologie assez simple, ses traits géologiques en détail ne sont connus que grâce aux sondages profonds de recherche et de prospection des hydrocarbures.

4.3.2. Albien.

Recoupé par les sondages sur une épaisseur de 500 mètres (fig.14), il représente une grande importance hydraulique pour la région. Il est composé de sables fins à moyens jaunâtres parfois rougeâtres à rose. Des intercalations d'argiles verdâtres à vertes sont fréquentés.

4.3.3. Cénomaniens.

Cet étage présente un faciès argileux, formé essentiellement par des argiles vertes, grises et noirâtres, plus ou moins plastique à couches lenticulaires. Des minces intercalations de couches calcaires et des intercalations plus importantes de gypses massifs fibreux blancs et de l'anhydrite (fig.14).

Des argiles bariolées (marron, verte et rouge) prédominent dans la partie basale du Cénomaniens, elles sont attribuées par certains géologues (M. J. Savornin) au sous-étage Vraconien. L'épaisseur moyenne du Cénomaniens dans la région du M'zab est de 230 mètres.

4.3.4. Turonien.

Constitue le plateau rocheux de la dorsale du M'zab (110m) parsemé par de nombreux oueds. Il est composé d'assises calcaires et calcaires dolomitiques massifs à patine ocre, souvent fossilifères ; avec de nombreux nodules de silex. On note aussi des structures d'endokarst fossiles, occasionnant des pertes totales ou partielles de la boue lors de l'exécution des sondages hydrauliques (Fig.14).

4.3.5. Sénonien inférieur.

Affleure sur la versant oriental de la dorsale et correspond à des argiles marneuses jaunâtres et rouges, à intercalations de bancs importants de gypses et d'anhydrites. Dans les forages hydrauliques exécutés dans la région de Guerrara et Zelfana, il est recoupé sur une épaisseur de 79mètres (Fig.14).

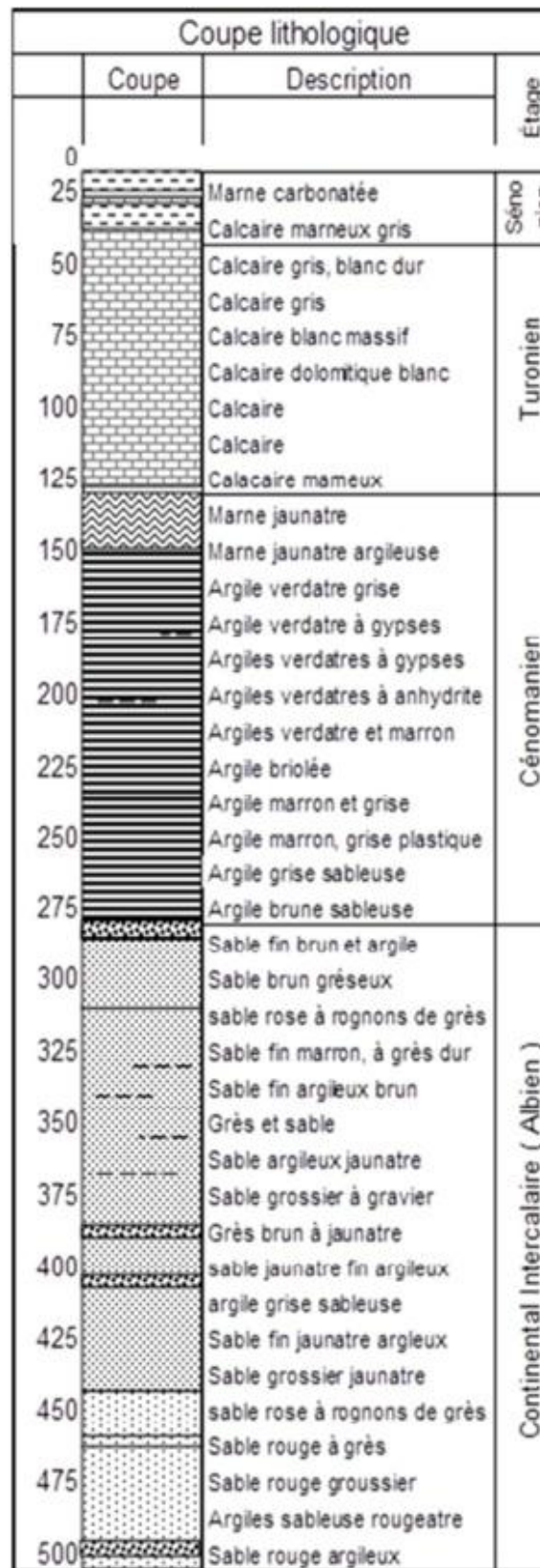


Figure.14 : Coupe lithologique du forage de Noumerat(ANRH/Ghardaïa).

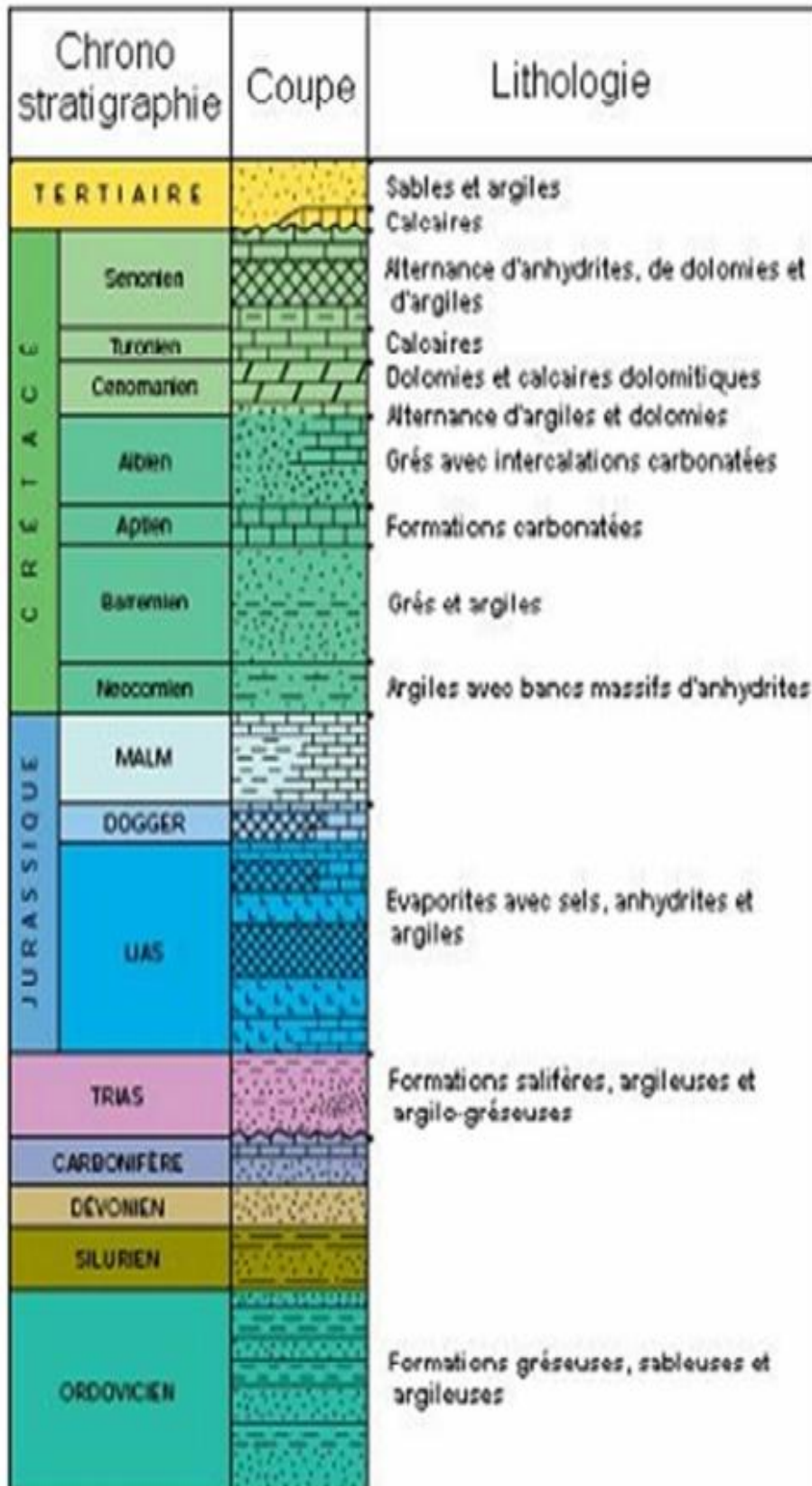


Figure .15: Log stratigraphique synthétique du bassin du Sahara septentrional.

(SONATRACH/Expl.)

4.3.6. Sénonien supérieur.

Il affleure seulement dans la partie orientale de la dorsale du M'zab et coiffe l'ensemble des buttes témoins de celle-ci. Il est formé de calcaire marneux à argiles.

Le Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur sont pratiquement in-distinguables dans la région de M'zab, ils présentent une épaisseur de 36 mètres (fig.15).

4.3.7. Mio-pliocène (Pontien).

Formé de dépôt de sables rouge plus moins consolidés. Grès dur à tendre rose, à lits argileux. Sur les sondages exécutés à l'Est du M'zab (Guerrara), il est recoupé sur une profondeur de 65 mètres (fig.15).

4.3.8. Pliocène continental.

Formé d'éléments rocheux de calcaires lacustres et poudingues au sein d'un ciment carbonaté, il compose la fameuse croute saharienne. Il entoure les formations marines carbonatées de la dorsale du M'zab. L'épaisseur moyenne de la croute dans la région est de 5 mètres.

4.3.9. Quaternaire.

Dans la région du M'zab le Quaternaire formé d'alluvions et de sables plus moins grossiers, argileux, remplissant les bas-fonds des vallées des oueds. De l'amont en aval, les épaisseurs variant entre 20 à 30 mètres. Les alluvions quaternaires, jouent d'important rôle hydrogéologique en abritant les inféro-flux de la plus part des oueds de la Chebkat M'zab.

4.4. Structure de la dorsale.

La dorsale du M'zab constituée par des couches argilo-marneuses d'âge Cénomaniens surmontées par une importante couche de calcaires dolomitiques massifs (fig.15), correspond à un pli anticlinal d'un très grand rayon de courbure. Elle consiste selon G.B.M. Flamond (J. Fabre, 1976) à une ondulation de quelques mètres d'amplitude et de 50 à 100 mètres de large, imitant en surface l'écho de rejeux des accidents du socle primaire fracturé du bassin Sahara lors de la phase de l'orogénèse atlasique. Les assises de la dorsale présentent des pendages modestes (30° à 20°) vers l'Est (Centre du bassin) (Fig.16).

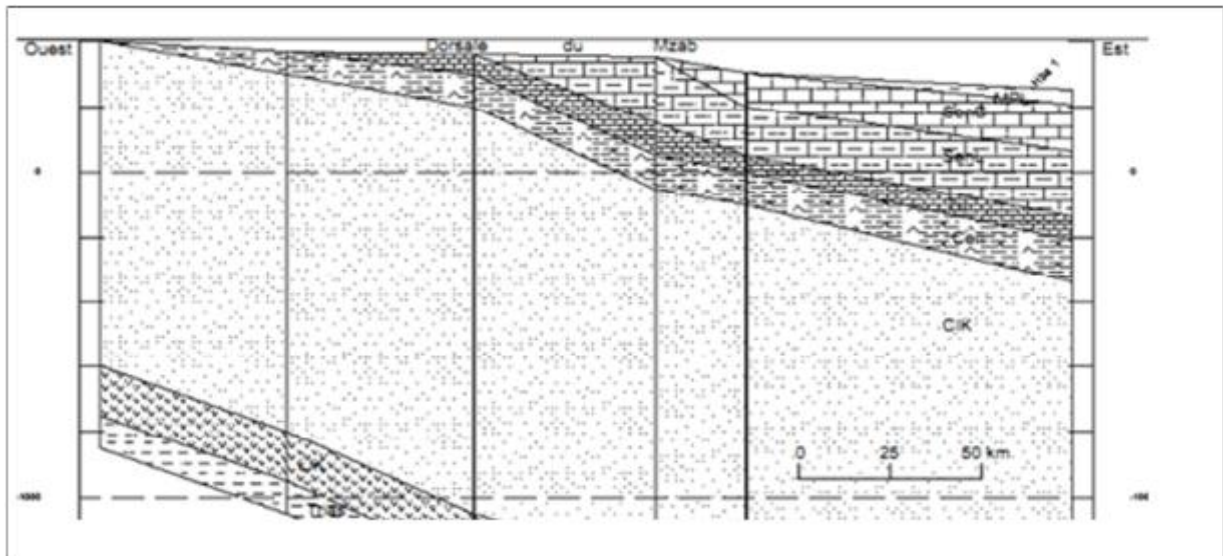


Figure.16 : Coupe Ouest-Est à travers la dorsale du M'zab.

4.5. Caractéristiques géomorphologiques.

La région de Ghardaïa fait partie intégrante de la Chebka du M'zab qui est un domaine encore plus large limité approximativement entre les deux parallèles 31° et 33° et les deux longitudes 3° et 4° , il correspond à un ensemble orographique globalement homogène qu'occupe une grande partie du territoire de la wilaya.

4.5.1. Pays de Chebka.

Il est représenté comme un vaste et épais plateau, composé de terrains essentiellement carbonatés. Ce massif est élevé de plusieurs mètres d'altitude dans le nord-ouest, aride et dépouillé de toute végétation et il est littéralement taillé par d'innombrables ravins plus ou moins profonds, lesquels se joignent et s'enchevêtrent en dessinant des réseaux réticulés qui donnent par une vue aérienne une apparence d'un filet dont l'appellation « Chebka » en arabe. Les oueds de la Chebka sont regroupés en 12 bassins versant (Fig.17) dont les cours d'eau principales qui correspondent aux grands oueds connus dans la région sont à peu près parallèles, venant dans l'ensemble du NO et allant en pente faible vers le SE en suivant l'inclinaison générale du plateau du M'zab. En allant du Nord vers le Sud on distingue les grands oueds suivants : oued N'sa, oued M'zab, oued Metlili, oued Sebseb, oued Chouikhat, oued El Fahl, oued Teghir, oued Bouali, oued Gouiret Moussa, oued El Khoua et oued BenBarour. L'âge du réseau hydrographique de la Chebka a été acquis au cours de Villafranchien supérieur, sous un climat de type méditerranéen.

4.5.2. Le type de relief.

Le plateau du M'zab est caractérisé par un relief monoclinale orienté NNE et plongeant légèrement vers ESE. Ce plateau est composé de deux terrasses carbonatées superposées couronnant deux séries d'escarpements marneux, ces deux terrasses montrent : une falaise par endroit des hauteurs de 200 et 250m. inférieure et son plateau à l'est et une deuxième falaise supérieure et son plateau à l'ouest.

A-La falaise inférieure et son plateau : dans le premier plateau on observe une élévation progressive de l'est vers l'ouest qui atteint 700m d'altitude avant de s'interrompre brusquement par un grand abysse : c'est la falaise inférieure qui présente le premier escarpement. Cette falaise est orientée NS avec une longueur d'environ 60km prenant naissance à Bled El Louha au $32^{\circ}35'N$ en suivant approximativement le méridien $3^{\circ}E$.

Le plateau inférieur compte d'ouest en est : une hamada occidentale, puis une Chebka occidentale très développées qui rejoint celle affectant le haut bord du plateau supérieur qui est moins développée.

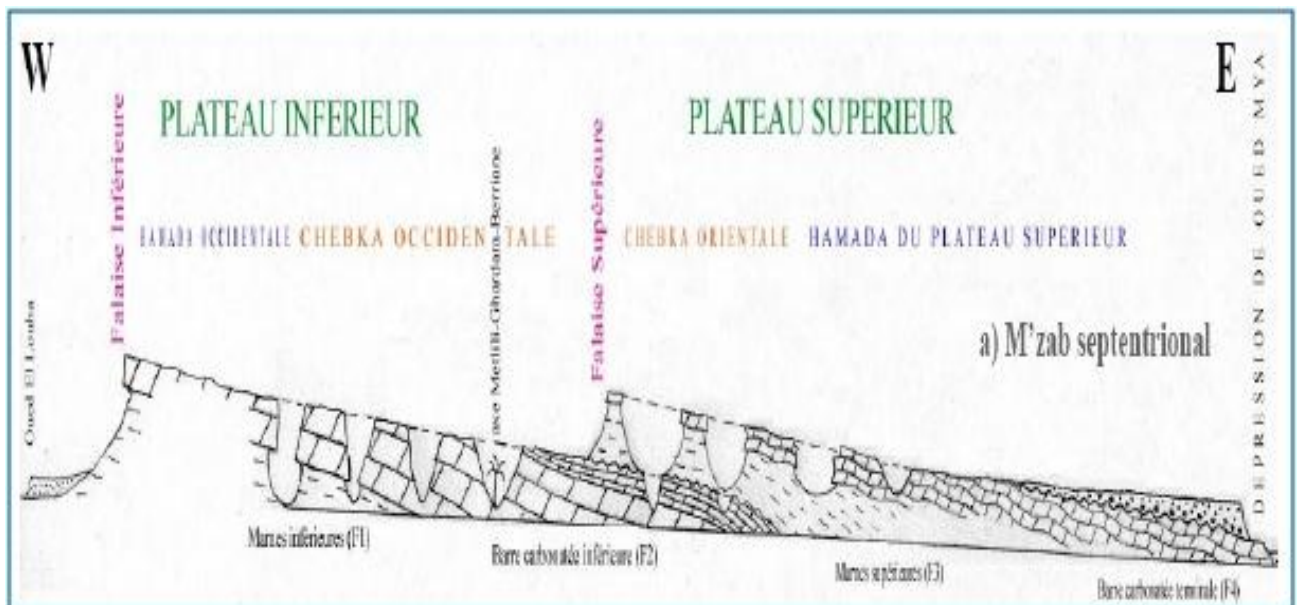


Figure.17 : disposition E-W des principaux éléments de relief composant les pays du M'zab,

(Source : Nouh-Mefnune B.)

B-La falaise supérieure et son plateau : La falaise supérieure s'élève d'environ 40m au-dessus du plateau inférieur et se des seins médiatement à l'est de l'axe Berriane-Ghardaïa-Metlili. Grace à sa discontinuité la falaise supérieure forme une ligne de relief dentelé orienté NNE et reculant évidemment à l'est à chaque passage d'un grand oued.

Dans le plateau inférieur le gradin supérieur qui est complètement érodé n'est plus représenté que par quelques gours dispersés. A l'est de la deuxième falaise, le plateau supérieur forme un

deuxième versant cataclinal incliné comme le premier sur lequel se développe la Chebka orientale qui donne naissance aux ruisseaux conséquents coulant vers le SE, certains d'entre eux rejoignent les grands oueds provenant du plateau inférieur.

4.5.3. Fissuration : La forme rectiligne qui caractérise les petits affluents de la Chebka près des lignes des crêtes confirme que ces cours d'eau sont à l'origine d'une fissuration intense qui a affecté le plateau calcaire, ce sont des diaclases ou des cassures qui déterminent la ligne de l'écoulement des eaux superficielles ce qui favorise l'érosion et la dissolution des formations Carbonatées, cette double action a provoqué l'élargissement des fissures qui deviennent des canaux importants. L'essentiel des fissures observées dans la région de Ghardaïa sont en générale perpendiculaire à la stratification, on peut rencontrer ce type à toute échelle comme par exemple les diaclases qui ont affecté la falaise verticale de 6m sur lequel repose la ville de Bounoura. Un même type de fracture qui s'est produit, d'environ 250m de longueur, orienté N110° qui forme une large cavité à Iserfane (Beni-Isguen).

4.5.4. Karstification : Il existe des grandes figures de Karst dans la région comme la grotte de Figher et celle de Louss qui sont creusées profondément dans la roche épaisse de la plateforme inférieure près de la ville de Bounoura à plus de 10m de profondeur. Ces grottes s'étendent sur au moins quelque centaine de mètres de longueur.

La grotte de Figher est caractérisée par ces belles figures stalactitiques. Dans la grotte de Louss, les parois émoussées sont tapissées de gypse poudreux et cristallin d'où l'appellation de « Louss » en mozabite. Ce gypse dont la dissolution par les eaux de pluie a rendu les eaux qui traversent la grotte plus saturées en sels gypseux, et en contact avec les parois, ces sels précipitent en formant un tapis poudreux et parfois cristallisé. Pour arriver à cette grotte, on traverse d'abord de longs et étroits couloirs qui s'ouvrent vers des galeries de plus en plus grandes qui à leur tour montre dans quelques endroits des salles plus ou moins importantes et des prolongements verticaux formant des puits fermés.

4.6. Interprétation de la coupe géologique.

Interprétation de la coupe géologique réalisée sur la zone d'étude montre l'existence de deux ensembles de grands intérêts hydrogéologique, ce sont le **Continental Intercalaire** et le **Complexe Terminal**.

4.6.1. Continental Intercalaire : Le terme continental intercalaire (CI) évoqué par Conrad en 1931, désigne la série de formations détritiques groupées du Crétacé inférieur intercalée entre deux séries marines, celle du Paléozoïque au-dessous, et la série du Crétacé supérieur

au-dessus. La série marine de base du Paléozoïque achève l'orogénèse hercynienne, par contre la série marine du sommet résulte de la transgression de la mer Téthysienne au cours du Cénomanién.

4.6.2. Le Complexe Terminal : Le terme du Complexe Terminal désigne l'ensemble assez peu homogène incluant les formations carbonatées du Crétacé supérieur et les dépôts sablo-gréseux du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970) et (Fabre, 1976). Le complexe terminal au sens strict ne regroupe pas à sa base les assises carbonatées lagunaires sénono-turonniennes.

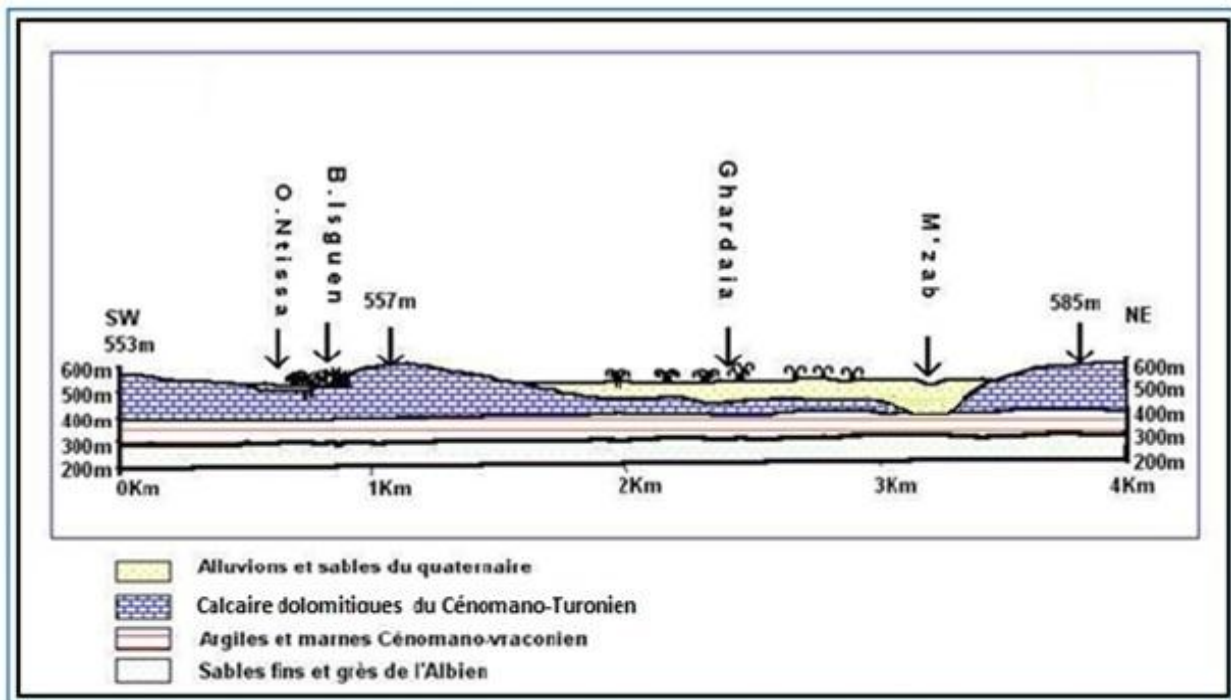


Figure 18 : Coupe géologique schématique traitée de la vallée du M'zab, (source ANRH).

5. Conclusion.

La vallée du M'zab fait partie de la wilaya de Ghardaïa, elle est située à l'enceinte du bassin versant d'une superficie de 5000Km², traversée par quatre oueds qui drainent les plateaux des dayas et la dorsale du mozabite, son exutoire naturel est constitué par la sebkha Sefioune près de Ouargla. La vallée du M'zab est entaillée dans les massifs calcaires du Turonien.

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, caractérisé par deux saisons ; une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars), on constate qu'il ya une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver, avec une moyenne annuelle de 22.44°C, l'évaporation est d'ordre de 3032.4 mm par an et une faible hauteur de pluies avec une moyenne d'ordre de 85.72mm/an.

La région de M'zab 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 subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'zab". Interprétation de la coupe géologique réalisée sur la zone d'étude montre l'existence de deux ensembles de grands intérêts hydrogéologique, ce sont le **Continental Intercalaire** et le **Complexe Terminal**.

1. INTRODUCTION.

Le bassin du Sahara septentrional est réputé par son immense aquifère, considéré parmi les plus grands réservoirs aquifères du monde. Depuis l'étude de J.Savornin (1945) (1) plusieurs auteurs ont contribué à la connaissance du fonctionnement hydraulique des nappes de ce grand bassin hydrogéologique, entre autres, on cite parmi les principaux ; Cornet (1961), BURGEAP (1963), Géo-hydraulique (1965), Bel et Demargne (1966), UNESCO-ERSS (1972), PNUD-Actualisation ERSS (1983), Projet BRLi(1998), OSS-SASS (2003) et Ould Baba Sy (2005).

L'état de l'art actuel montre que le système aquifère du Sahara septentrional, nommé SASS, est un énorme réservoir à structure multicouches. Spatialement, ces limites hydrogéologiques s'étendent sur une très vaste surface de 1100.000 de km² (SASS, 2003) située simultanément, en l'Algérie de 60%, en Lybie de 30%, et un peu moins en Tunisie de 10%. Ces limites forment une ceinture continue de la frontière marocaine au Nord-Ouest du bassin, jusqu'à la ville de Hun en extrême Sud-Est de la Lybie.

De point de vue Hydrographique, la dorsale du M'zab divise le domaine du SASS en deux bassins ; le bassin occidental de 280.000 km² drainé vers le Sud, et le bassin oriental de 500.000 km² drainé vers le Nord-Est.

2. PRESENTATION DE SYSTEM AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL (SASS).

Le domaine du système aquifère du Sahara septentrional SASS s'étale, du Nord au Sud ; de l'Atlas saharien jusqu'aux plateaux de Tidikelt et Tinrhert, et d'Ouest en Est ; depuis la vallée Guir-Saoura en Algérie jusqu'au Graben de Hun en Lybie (fig. 19). Les études démontrent que ce système aquifère est composé de deux principaux réservoirs aquifères ; le complexe terminal au-dessus à nappe de sub-surface, et au-dessous, le continental intercalaire le plus étendu à nappe profonde captive.

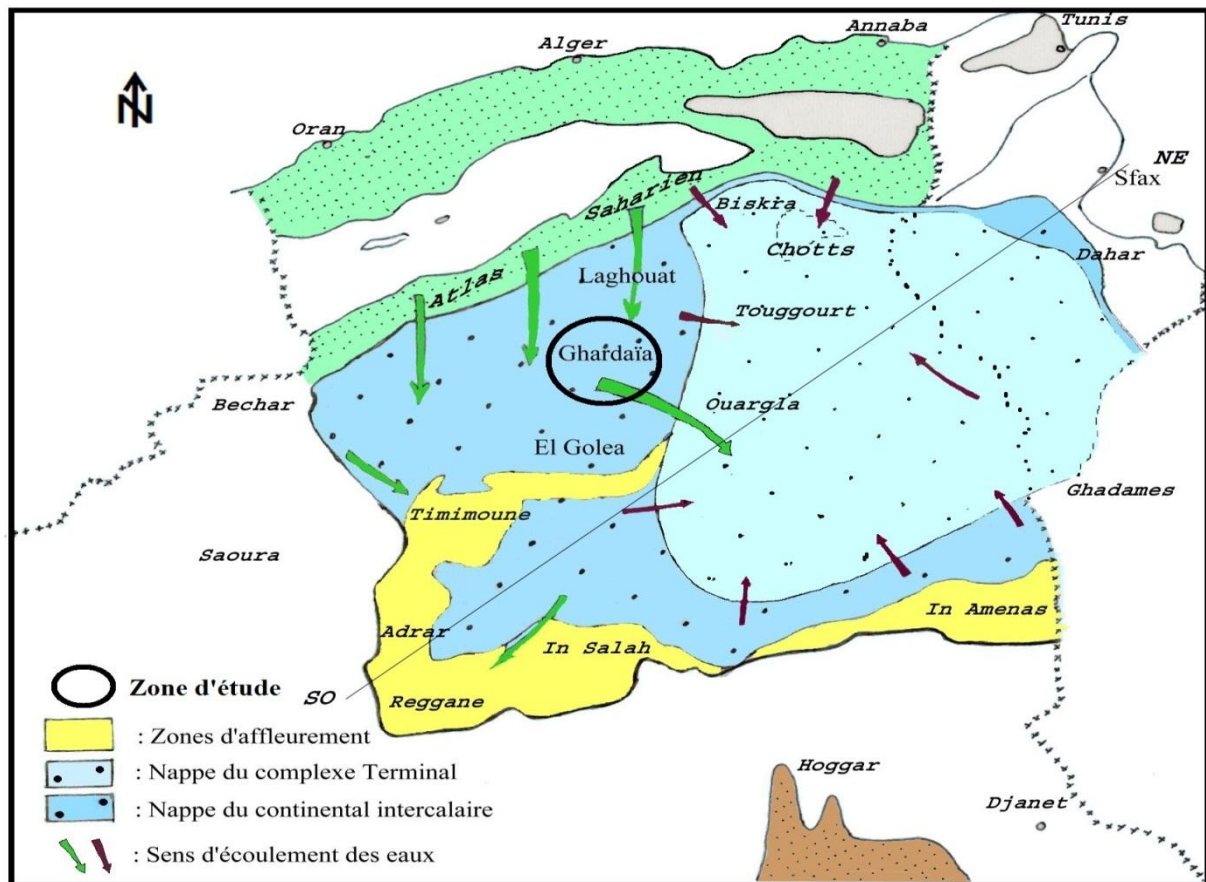


Figure.19 : limites du domaine SASS.

2.1. La nappe du complexe terminal (CT).

Le complexe terminal couvre une superficie de 665.000 km², il regroupe plusieurs aquifères à formation géologiques différentes, d'âge Turonien, Sénonien, Eocène et Mio-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 Dahar et du J. Nafusa en Tunisie.
- au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- à l'Ouest, sur la dorsale du M'zab (calcaires 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 infiltrations des pluies exceptionnelles dans les sables Mio-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.20). Avec une épaisseur moyenne de 342 mètres et une porosité efficace de 5%, les réserves du CT sont évaluées à environ de 11.000×10^9 de m^3 (Ould BabaSy, 2005). Etant la limite de la nappe du CT est située plus à l'Est de la région du M'zab, cette dernière n'est pas captée avec succès dans la région de Ghardaïa. De ce fait, nous n'aborderons en détail que la nappe du CI.

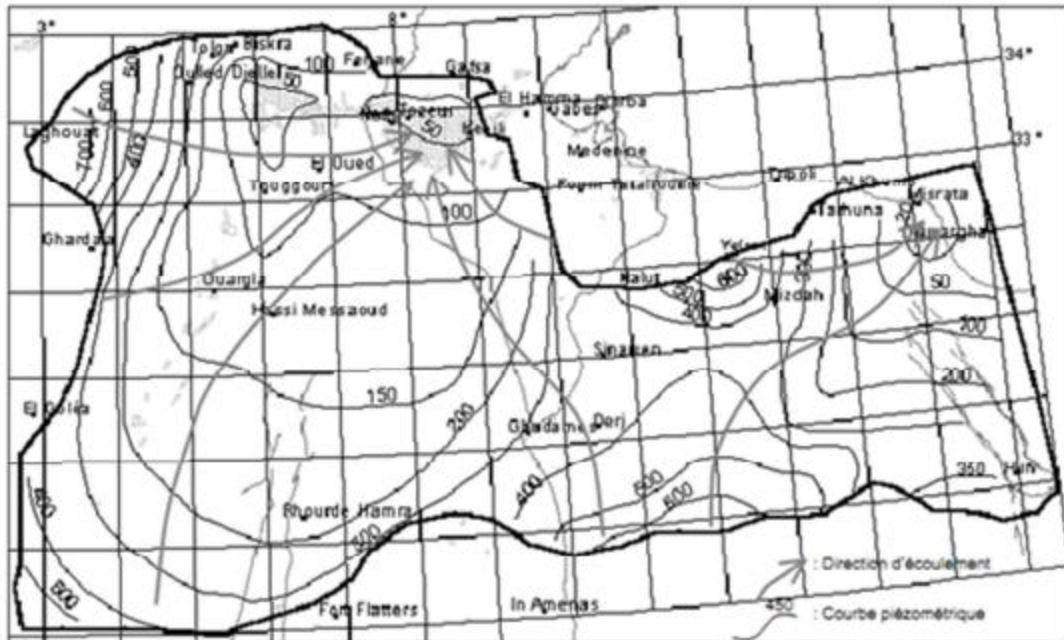


Figure.20 : Piézométrie de la nappe du CT (OSS, 2003).

2.2. La nappe du 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.

UNITE stratigraphique	LOG Stratigr	Description Stratigraphique	Unite Litho Stratigraphique	Unite Hydrogeologique
quaternaire		Alluvions	Continental	Nappe Phreatique
Mio-Pliocene		poudingues calc. gypseux sable, argile	Terminal	Nappe De Sable
Eocene Moy.		argile, gypse calc. dolomitique	Eocene Argilo-Evaporitique	Nappe de l'Eocene moyen Semi-imperméable
Eocene Inf.		Calc. blancs à silic.	Eocene Carbonaté	Nappe Calcaire
Senonien Sup.		Calc. dolomitiques	Senonien Carbonaté	Nappe Calcaire
Senonien Inf.		Alternance de calcaires et de marnes	Senonien Lagunaire	Imperméable
TURONIEN		calc. dolomitique en bloc	Turonien Carbonaté	Nappe Calcaire Du Turonien
CENOMANIEN		Marna - Calc. Marnes Gypse	Cenomanien Argilo-Evaporitique	Imperméable
ALBIEN		Argiles Gres	Albien Argilo Greséux	NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE
APTIEN		calc. marnes grilles, gres.	Aptien lagunaire greséux	
BARREMIEN		Gres	Barremien Greséux	

Figure.21 : Log synthétique des principales unités géologiques et hydrogéologiques du bassin du SASS.

2.2.1. Limites et structure du CI.

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 affleurements sur le Djebel Nefussa et le Dahar 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 qui 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-bassins 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 accidents Nord-Sud d'Amguid El Biod qui se prolonge du socle primaire d'El Hoggar (fig.20).

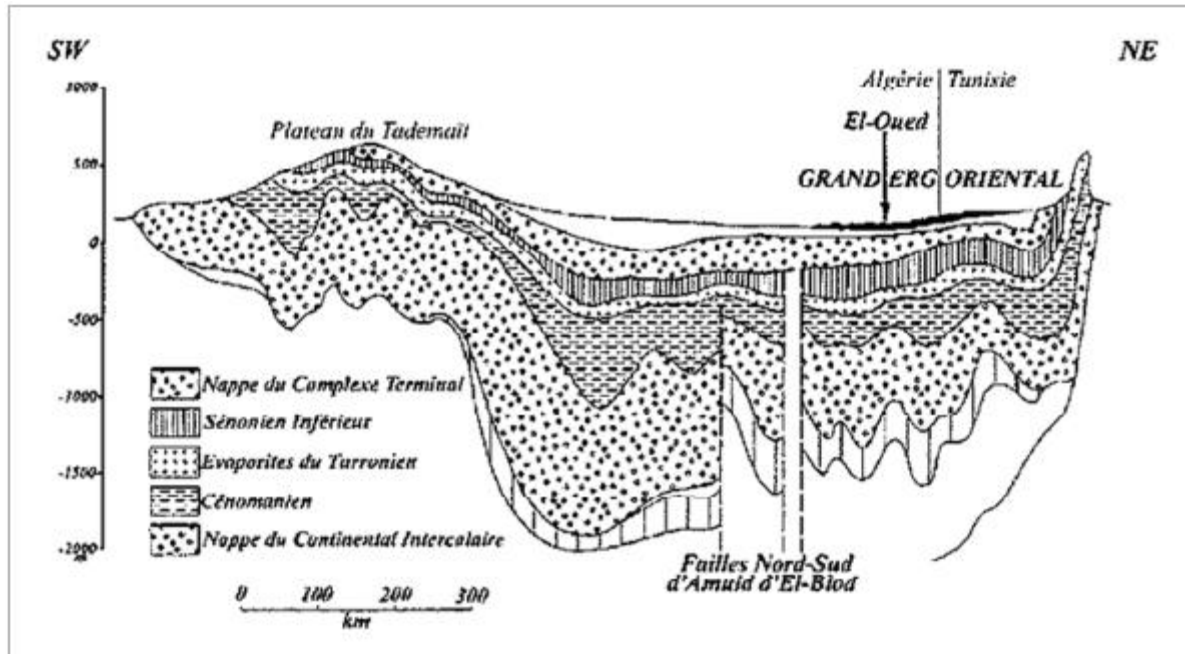


Figure.22 : Coupe hydrogéologique NE-SW du bassin SASS (ERESS, 1972).

2.2.2. Piézométrie et alimentation du CI.

L'examen de la carte piézométrique de la nappe du CI (fig.21), établie par l'OSS(2003), révèle que les écoulements des eaux de la nappe en prévenance de l'Atlas saharien, se trouvaient scinder au niveau l'axe de la dorsale du M'zab, en deux directions privilégiées ; un écoulement vers le Sud et le Sud-Ouest, régions de Tidikelt, Touat et Adrar. L'autre direction vers le Nord-Est, vers la zone des chotts et vers la nappe de la zone côtière de la Tunisie.

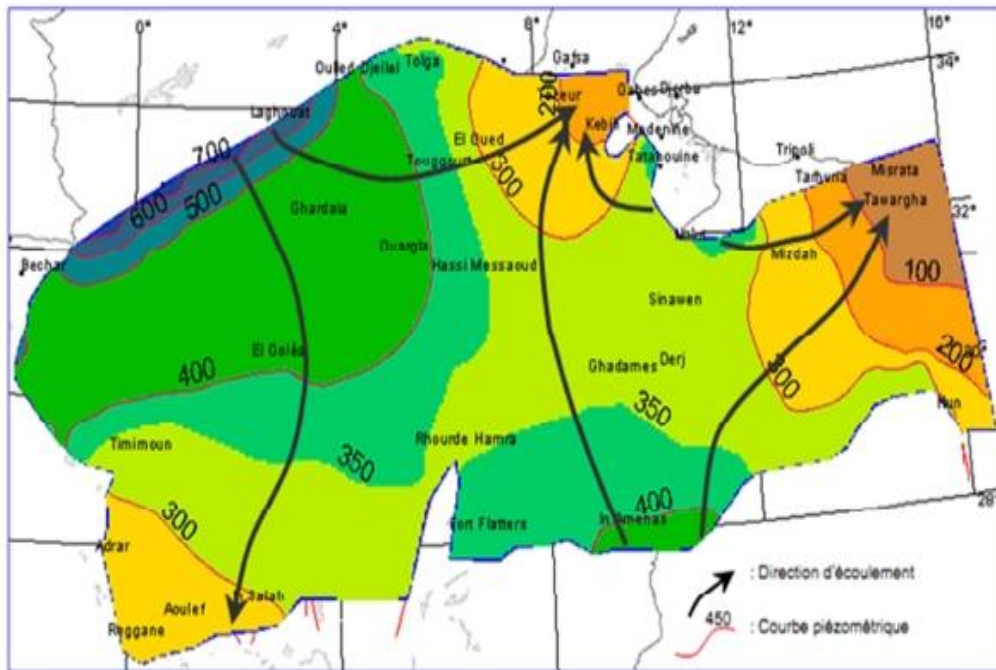


Figure.23 : Piézométrie de la nappe du CI (OSS, 2003).

Malgré sa situation en zone aride, on admet que le CI est directement alimenté par l'infiltration des eaux de ruissellement sur les zones périphériques d'affleurement, dans les piedmonts de l'Atlas saharien et les rebords Sud des plateaux de Tidikelt et Tinihert. L'alimentation du CI s'effectue aussi indirectement dans le grand erg occidental, à travers les dunes de sables.

Les chiffres avancés concernant la recharge du CI sont divers, les modèles mathématiques la situe autour de 8 m³/s (Ould Baba Sy, 2005).

2.2.3. Reserve et exploitation du CI.

Toutes les études hydrogéologiques effectuées sur le Sahara, révèlent que ce dernier renferme d'énorme réserve en eaux souterraines. L'étude de l'ERESS (1972) évalue le volume d'eau moyen pour les deux aquifères (CI et CT) à 60.000 x 10⁹ m³, soit 60.000 milliard de m³. Margat (1992) fait état de 40.000 x 10⁹ de m³, comme réserve de l'aquifère du CI.

L'étude de Ould Baba Sy (2005), la plus récente, et en se basant sur l'épaisseur moyenne du CI est 358 mètres, calculée à partir de l'histogramme de la grille de l'épaisseur du domaine du CI, L'aire du domaine du CI évalue à 1.100.000 km², une porosité efficace moyenne de 5% (OSS, 2003). L'auteur a pu estimer les réserves du CI à environ de 20.000 x 10⁹ m³, soit 20.000 milliard de m³. L'OSS (2003) fait un état près de 9000 forages et foggara captant le CI, dont 6500 points d'eau en Algérie, 1300 en Tunisie et 1200 en Lybie. Le volume total exploité de la nappe atteint 2,5 milliard de m³/an.

3. PRESENTATION DES AQUIFERES DE LA VALLEE DE M'ZAB.

3.1. Historique de recherche et d'exploitation.

Les premiers sondages exploitant le CI date entre 1890- 1892, exécutés dans la vallée d'El Golèa. Attirés par le jaillissement de ces ouvrages, Ville et Rolland Ingénieurs géologues supposèrent l'existence d'un grande nappe aquifère captive qui devait s'étendre sous le M'zab.

C'est ainsi que fut exécuté le premier sondage dans la vallée du M'zab entre 1896 et 1899. Le forage avait 320 mètres de profondeur et le plan d'eau se stabilisa à une profondeur de 47 mètres. Le résultat à cette époque a été considéré comme décevant, car ils attendirent un forage jaillissant identique à ceux d'El Golèa. J. Savornin, à partir du 1926 reprend les travaux de recherche hydraulique sur la région Ghardaïa - El Golèa. Les sondages profonds réalisés entre 1927 et 1936 à Touggourt et Ouargla de 910 et 950 mètres de profondeur, étaient à mi-chemin du toit de la nappe albienne selon les considérations de J. Savornin. En 1938 un autre forage de 440 mètres de profondeur fut exécuté dans la vallée du M'zab, par pompage il donna un débit de 55 l/s avec un rabattement de 6,25 mètres. C'est ainsi que fut créée l'Ain de George Lebeau. Par la suite, d'autres forages ont été réalisés dans la vallée, il s'agit de Melika, El Atteuf en 1938, et Beni Isguen en 1949. En outre, deux autres sondages fut exécutés entre 1946 et 1951 à l'Est du M'zab, considérés comme les premiers grands forages jaillissants exploitant la nappe albienne dans le grand Sahara, il s'agit du sondage de :

- Zelfana(2) en 1948 de 1167 mètres de profondeur avec un débit jaillissant de 360 l/s et une pression en tête du puits de 7,25 bars.
- Guerrara(3) en 1951 de 1170 mètres avec un débit jaillissant de 238 l/s et une pression de 11 bars.

3.2. La nappe phréatique de l'oued M'zab.

3.2.1. Structure de la nappe phréatique.

Il s'agit d'une nappe superficielle type d'Inféro-flux, largement exploitée par des puits. La nappe est localisée dans les alluvions sableuses du lit de l'oued M'zab, ainsi que dans la partie supérieure du fond de la vallée formée de calcaire massif du Turonien. Ces assises carbonatées turoniennes d'une épaisseur de 110 mètres, présentent parfois des fissures et des karsts dans lesquels l'eau peut s'infiltrer. La nappe phréatique présenté des intérêts très importante parce qu'elle assurée l'irrigation des palmeraies et alimentation en eau potable en amont.

Dans la région de M'zab il y'a deux types d'aquifère superficiel, ils s'agissent de l'aquifère alluvionnaire, et de l'aquifère carbonaté fissuré ce dernier termine par un substratum argileux

cénomanienne. La nappe phréatique est alimentée par des pluies torrentielles et des quantités des eaux irrigation qui viennent de la nappe albienne.

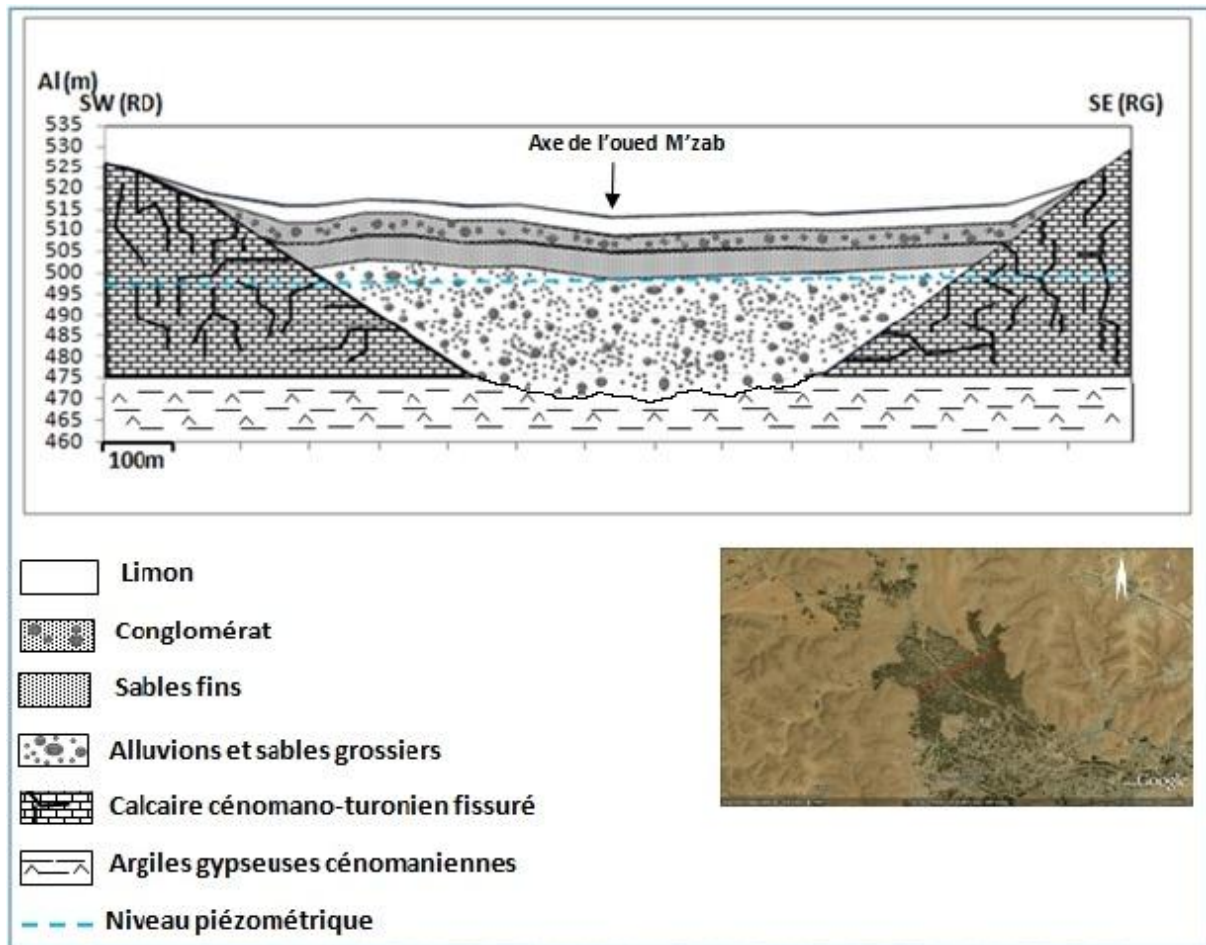


Figure.24 : Coupe hydrogéologique schématique de la vallée d'Mzab.

a. la nappe alluviale quaternaire :

C'est le remplissage d'oued par des alluvions qui se repose sur une barre céno-manién-turonienne avant le mur d'argile, son épaisseur varié en 25 à 40m, son lithologie est des alluvions et des sables fins et grossiers et des poudingues.

b. l'aquifère céno-manién-turonienne :

Dans cette partie de terrain la lithologie est défini par calcaire dolomitique massive d'une épaisseur varié entre 40-100m l'infiltration des eaux dans cette zone se fait grâce à des fissure qui laissent des eaux de déplacer de la nappe alluviale vers l'aquifère fissuré.

3.2.2. Piézométrie de la nappe phréatique.

a. Carte piézométrique 2008.

Pour avoir une idée sur l'écoulement souterrain des eaux de la nappe phréatique, ainsi que l'allure de sa surface piézométrique, on a procédé à une campagne de mesure de niveaux

statiques et de positionnement par GPS portée sur 66 puits agricoles (fig.25) effectuée au cours de la période avril 2008. Dans les zones urbaines, à défaut de puits, on n'a pas pu prendre les mesures. La carte piézométrique montre que le sens d'écoulement est orienté de nord-ouest vers le sud-est, sont axe est l'Oued.

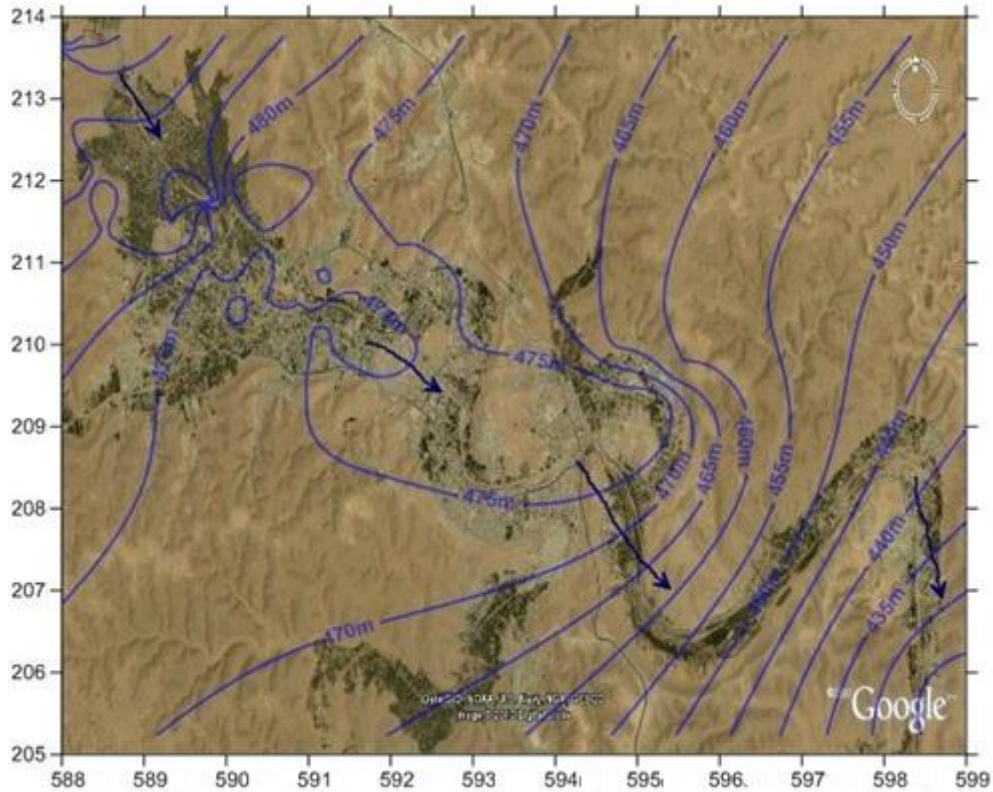


Figure.25 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'zab (avril, 2008).

b. Carte piézométrique 2011.

La carte montre une surface assez régulière, des fortes valeurs piézométriques sont localisées en amont de la vallée et de ses deux artères oued N'tissa et oued Azouil, puis elles diminuent progressivement le long de l'oued jusqu'à la zone d'El Atteuf aval de la nappe.

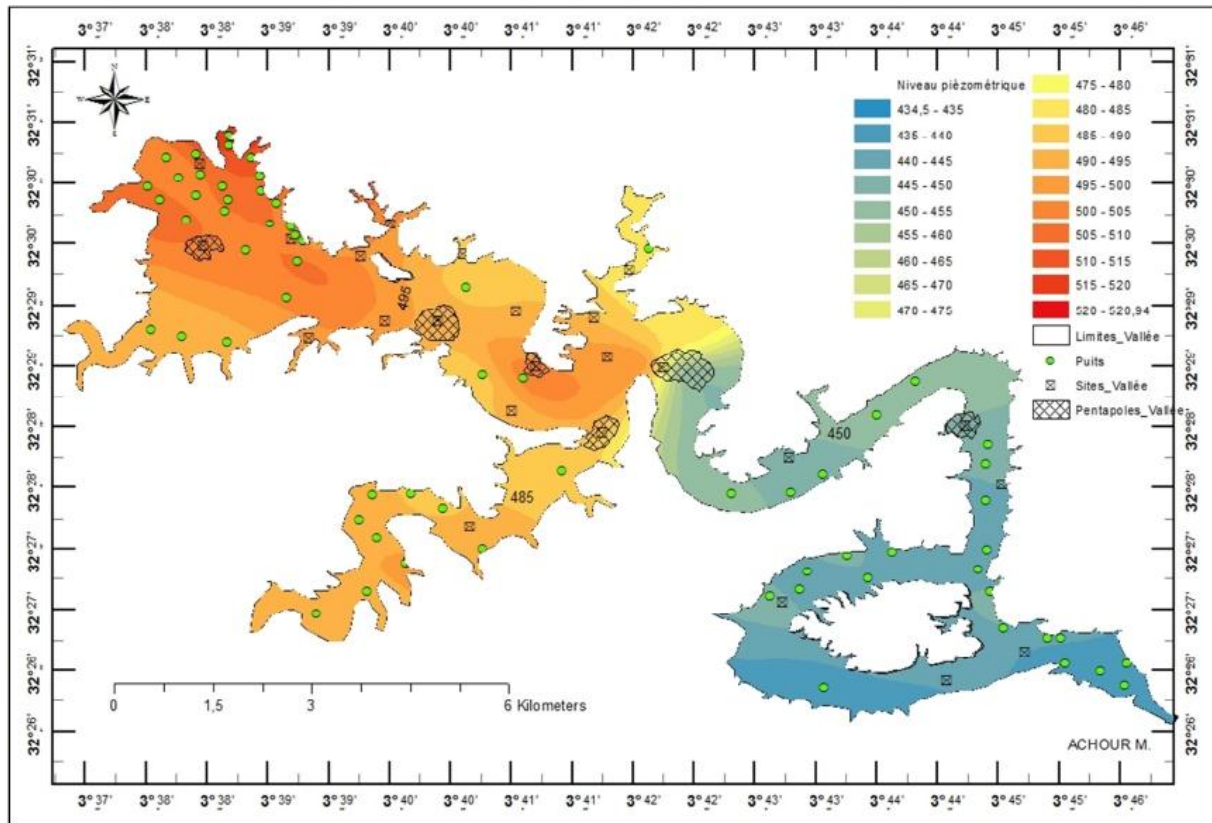


Figure.26 : Carte de piézométrie de la nappe phréatique (avril-mai, 2011).

3.2.3. Qualité des eaux de la nappe phréatique.

a. Faciès chimique.

Les analyses chimiques effectuées sur les 10 puits captant la nappe superficielle en 2015 montrent que ; 30% échantillons ont un faciès chimique Sulfatées sodique, 20% échantillons ont un faciès chimique Chloruré calcique, 20% échantillons ont un faciès chimique Sulfaté calcique, 20% échantillons ont un faciès chimique Sulfaté magnésien et 10% échantillons ont un faciès chimique Chloruré magnésien.

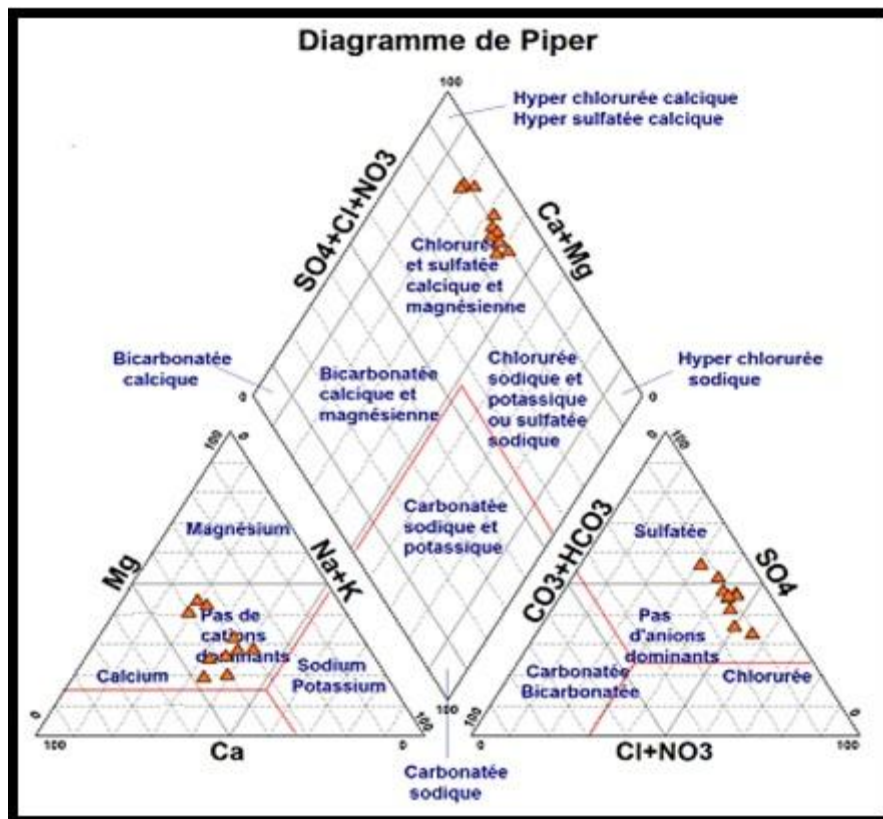


Figure.27 : Diagramme de piper.

La classification des eaux de la nappe superficielle selon la formule caractéristique de STABLER permet d'élaborer le (tab.09). Les puits situés en center de la palmeraie (P4, P5, P6) ont un faciès chloruré. Les puits situés en amont et aval (P1, P2, P3, P7, P8, P9, P10) ont un faciès sulfaté.

Tableau 09 : classification des eaux selon Stabler.

Faciès chimique	La formule caractéristique de Stabler	Les puits
Chloruré magnésien	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ et $Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+$	P6
Chloruré calcique	$Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ et $Ca^{++} > Na^+ > Mg^{++}$	P4, P5
Sulfaté calcique	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ et $Ca^{++} > Na^+ > Mg^{++}$	P1, P7
Sulfaté sodique	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ et $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	P8, P9, P10
Sulfaté magnésien	$SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$ et $Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+$	P3, P2

b. Les paramètres physico-chimiques.

La température : La température de l'eau varie avec la profondeur et ses fluctuations peuvent marquer un mélange des différents niveaux. Elle varie entre 19.5°C° et 21.6°C°.

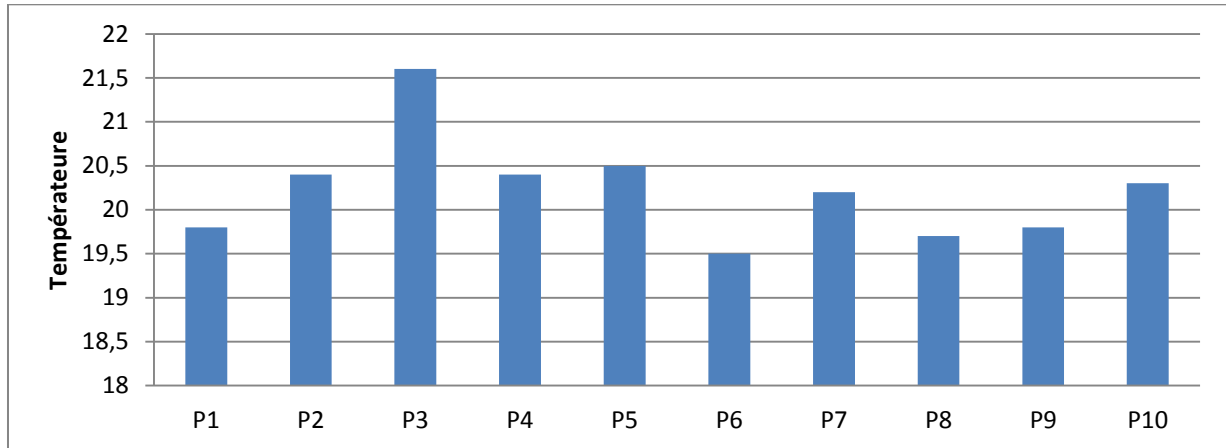


Figure.28 : Histogramme des variations de la température des eaux dans la nappe phréatique.

La conductivité : La conductivité électrique est le pouvoir d'une eau à passer le courant électrique. La conductivité où son inverse est la résistivité permet donc une estimation de la minéralisation des eaux. On sait qu'une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante.

La conductivité dans les puits varié entre 2560 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 5200 $\mu\text{s}/\text{cm}$. On remarque après les barrages de BOUCHENE et TOUZOUZ la conductivité plus faible, qu'on enregistre une augmentation progressive de l'amont à l'aval. Les valeurs de conductivité mesurée dépassent la norme algérienne d'eau potable (2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$) sauf au puits P3.

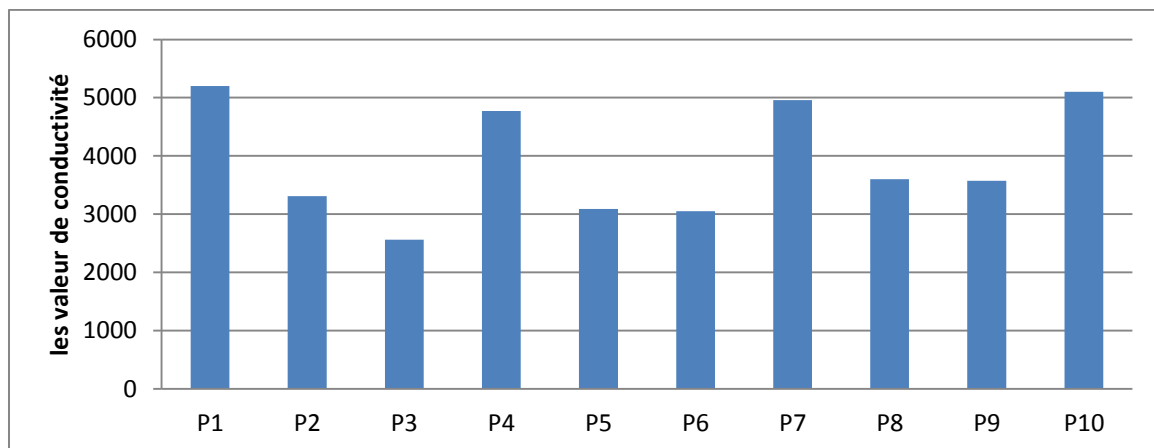


Figure.29 : Histogramme des variations de la conductivité des eaux dans la nappe phréatique.

Le pH : Le pH exprime le module de représentation en ion $[\text{H}^+]$ d'une solution. En générale C'est le cologarithme de la concentration des ions H^+ dont il mesure l'activité dans L'eau. On

remarque que le pH varie entre 6.81 et 7.36. Les valeurs mesurées se trouvent dans la norme algérienne d'eau potable (6.5 à 8.5).

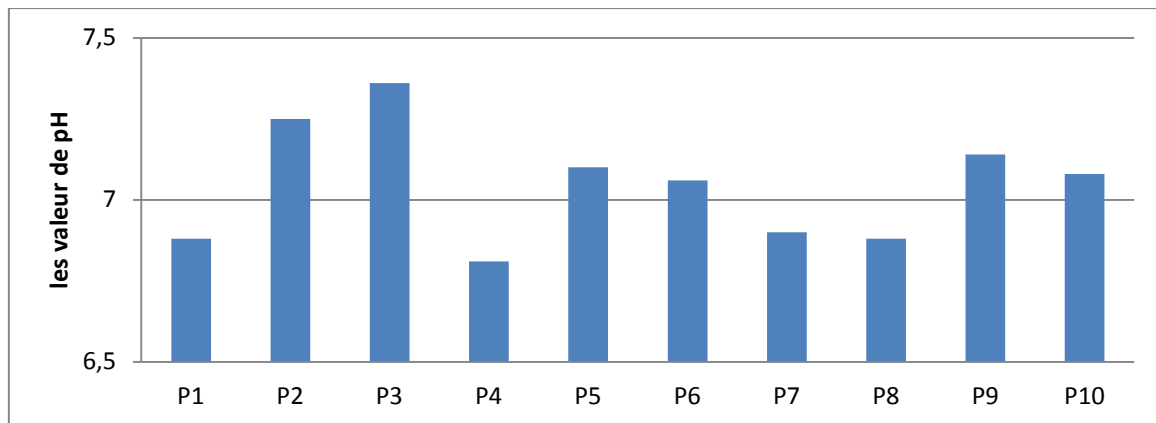


Figure.30 : Histogramme des variations du pH des eaux dans la nappe phréatique.

c. Les éléments majeurs.

Le Calcium (Ca^{+2}): Les valeurs du calcium dépassent en majorité des points, la concentration maximale admissible (200mg/l), les valeurs mesurées varient entre 216.43mg/l et 633.26 mg/l. le calcium dans la région d'étude le Ca^{++} provient essentiellement de la dissolution des calcaires.

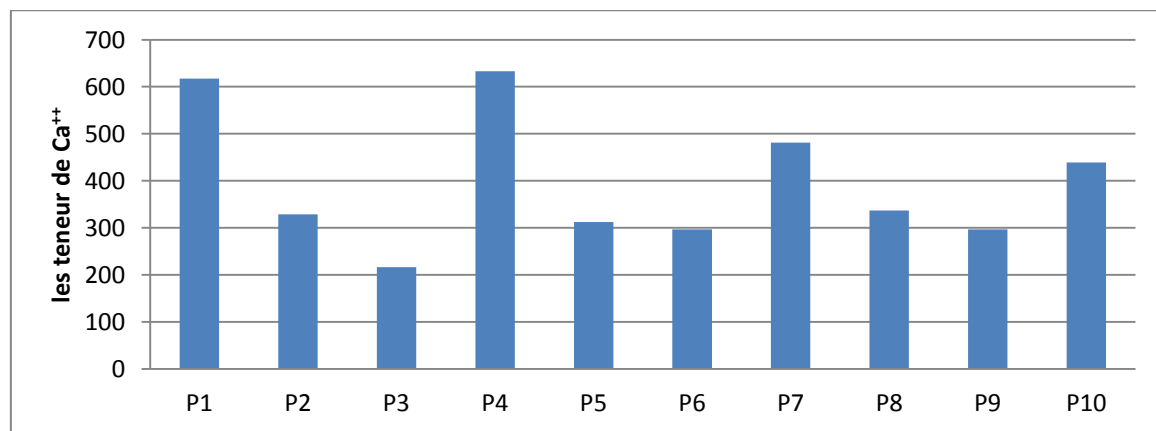


Figure.31 : Histogramme des variations du Ca^{++} des eaux dans la nappe phréatique.

Le magnésium (Mg^{+2}): C'est un élément accompagne souvent le calcium, la figure 32 montre que les concentrations en Mg^{+2} échelonnent entre 92.34 mg/l pour la valeur la plus faible et 248.83mg/l pour les valeurs les plus élevées. Il provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques, des minéraux ferromagnésiens. Les valeurs mesurées dépassent la norme algérienne de l'eau potable (150 mg/l) sauf pour les puits P5 et P9.

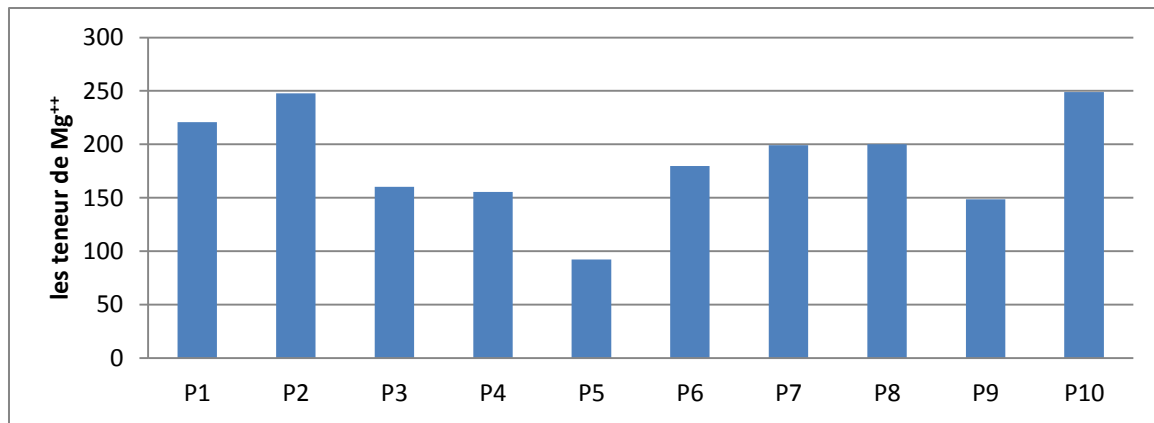


Figure.32 : Histogramme des variations du Mg⁺⁺ des eaux dans la nappe phréatique.

Le sodium (Na⁺): la teneur la plus élevée du sodium se localise en aval, près de l'oued (675mg/l) et la teneur la plus faible du sodium se localise en amont (122.22mg/l). Les valeurs mesurées dépassent la norme algérienne de l'eau potable (200 mg/l) sauf pour les puits P3 et P6.

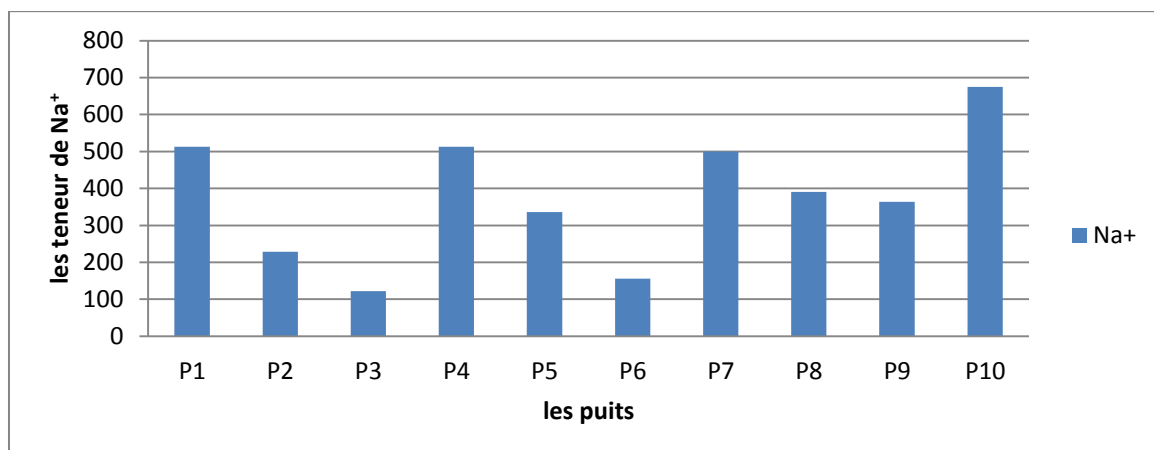


Figure.33 : Histogramme des variations du Na⁺ des eaux dans la nappe phréatique.

Le potassium k⁺: Le Potassium est un élément normal des eaux, sa concentration est largement inférieure à celle des Sodiums. D'après l'historgramme des teneurs en K⁺ on observe que la concentration de Potassium dans les eaux de la nappe phréatique de la vallée du M' Zab comprise entre 12.5 et 38.33 mg/l. Les valeurs mesurées dépassent la norme algérienne de l'eau potable (20 mg/l) sauf pour les puits P3, P4, P5 et P6.

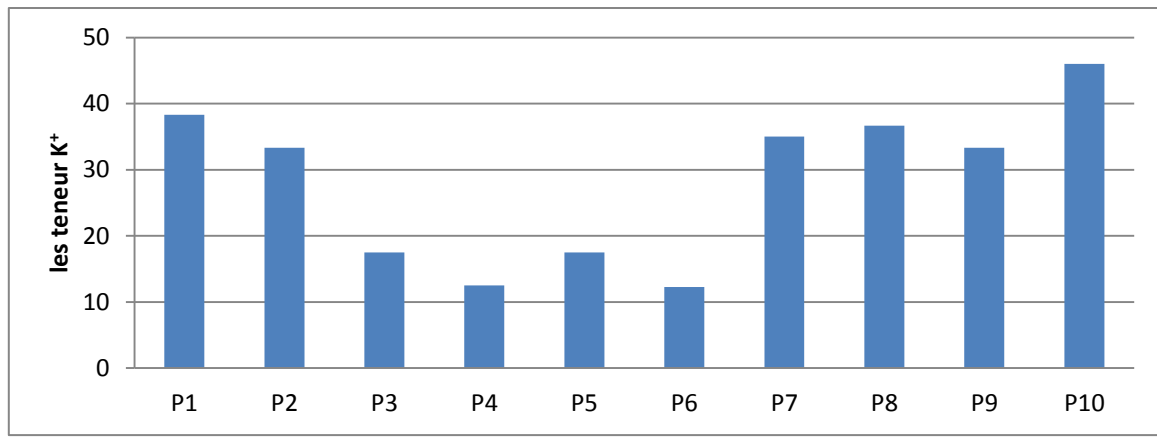


Figure.34 : Histogramme des variations du K⁺ des eaux dans la nappe phréatique.

Les chlorures (Cl⁻): On remarque que les teneurs en chlorures est forte en amont (921,77mg/l) et faible en aval (611,20 mg/l). Ils proviennent à travers des terrains sales et rejets humains (les eaux usées). Les valeurs mesurées dépassent la norme algérienne de l'eau potable (500 mg/l).

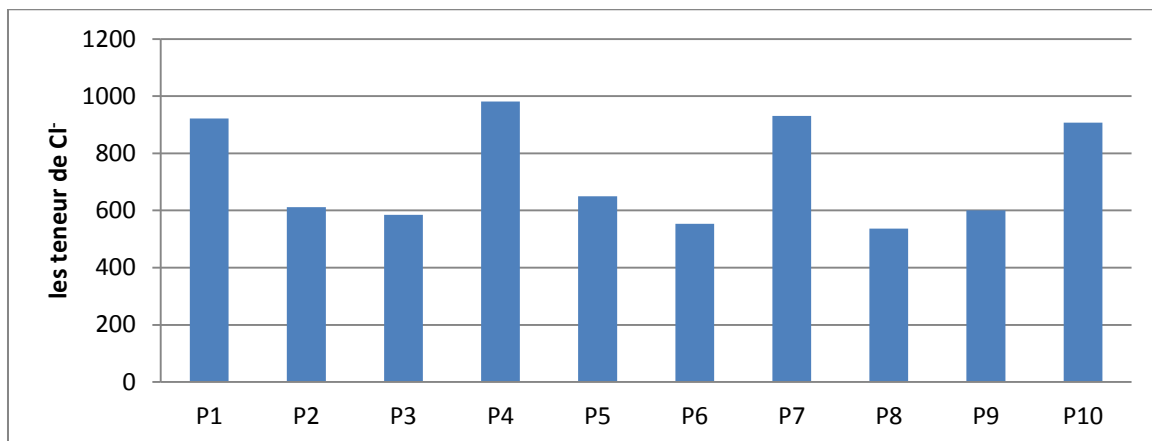


Figure.35 : Histogramme des variations du Cl⁻ des eaux dans la nappe phréatique.

Les bicarbonates HCO₃⁻: L'examen de le tableau des teneurs en HCO₃⁻ montre que les valeurs s'échelonnent entre 206mg/l et 260 mg/l, ces concentrations croissent de l'amont vers l'aval et les plus fortes teneurs sont situées au centre de la palmeraie et au en aval. Les Bicarbonates proviennent de la dissolution des formations carbonatées par des eaux Chargées en gaz carbonique.

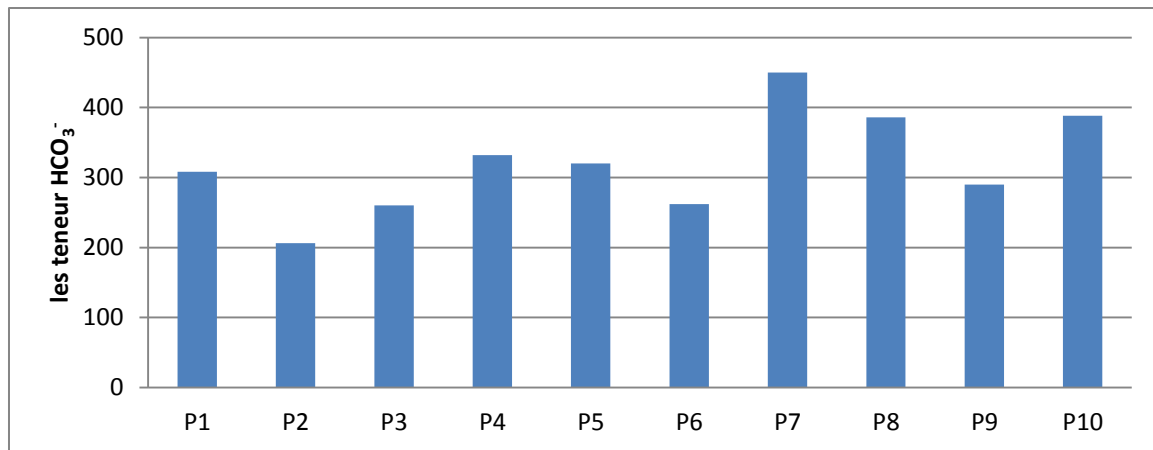


Figure.36 : Histogramme des variations du HCO₃⁻ des eaux dans la nappe phréatique.

Les sulfates SO₄⁻ : L'historgramme des teneurs en sulfates montre que les valeurs élevées se localisent le long de la palmeraie avec des concentrations de 1740.03 mg/l et 1305.84 mg/l. la valeur la plus basse est d'ordre de 630.49 mg/l. Les sulfates sont le composant naturel des eaux, ils proviennent essentiellement de la dissolution de gypse (CaSO₄, 2H₂O). Les valeurs mesurées dépassent largement la norme algérienne de l'eau potable (400 mg/l).

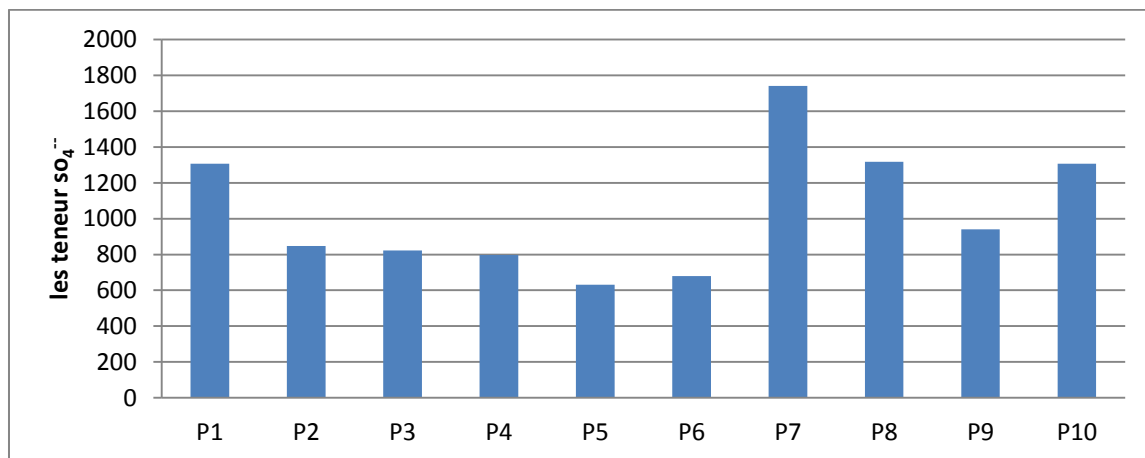


Figure.37 : Histogramme des variations du SO₄⁻ des eaux dans la nappe phréatique.

d. Les substances indésirables.

L'Ammonium NH₄⁺ : L'historgramme des teneurs en Ammonium montre que les valeurs élevées est d'ordre de 0.387 mg/l et la plus basse est d'ordre de 0.215 mg/l. Les valeurs mesurées dépassent largement la norme algérienne de l'eau potable (0.2 mg/l).

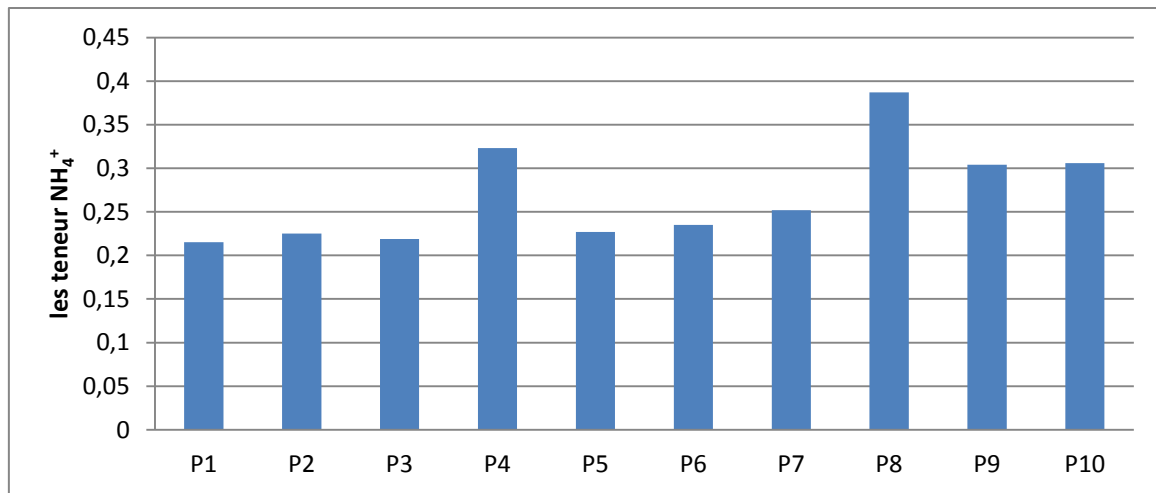


Figure. 38: Histogramme des variations du NH_4^+ des eaux dans la nappe phréatique.

Le Nitrite NO_2^- : L'historgramme des teneurs en nitrite montre que les valeurs élevées est d'ordre de 0.224 mg/l et la plus basse est d'ordre de 0.01 mg/l. Les valeurs mesurées ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (0.1 mg/l) sauf les puits de P4, P9 et P10.

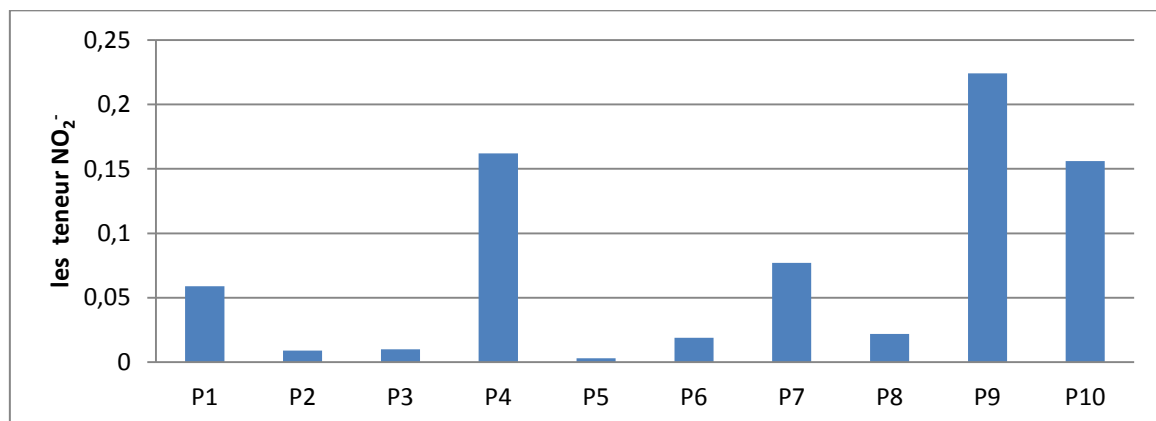


Figure.39 : Histogramme des variations du PO_3^- des eaux dans la nappe phréatique.

Le Nitrate NO_3^- : Les analyses indiquent que les teneurs de nitrate varient entre 41.50 mg/l et 96.04 mg/l.

Le Fer Fe^{+2} : Les résultats indique que l'élément de fer présent a des teneurs réduites on remarque que la valeur la plus petite est 0.02 mg/l, et la valeur la plus élevé est 0.1 mg/l. Les valeurs mesurées ne dépassent pas la norme algérienne de l'eau potable (0.3 mg/l).

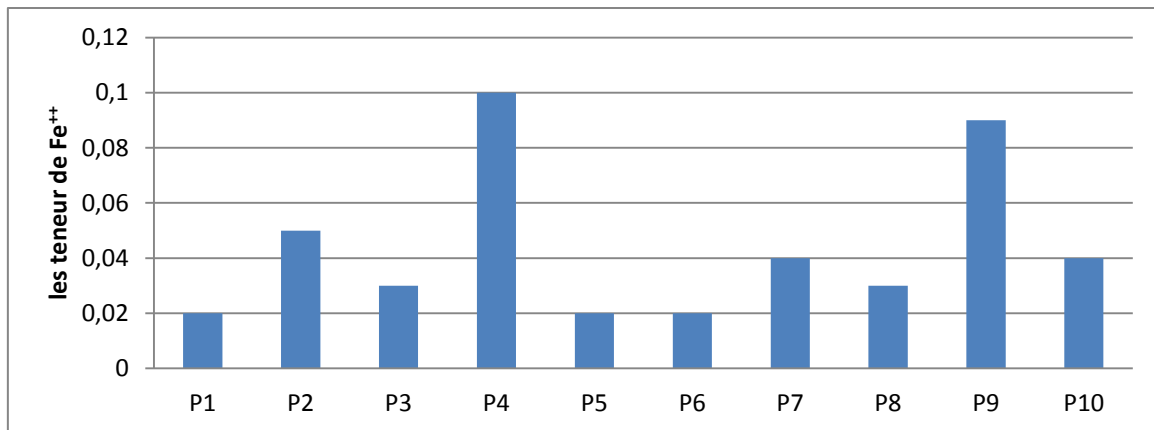


Figure.40 : Histogramme des variations du Fe⁺⁺ des eaux dans la nappe phréatique.

4.2. La nappe de continental intercalaire.

4.2.1. Structure du CI dans la région du M'zab.

Le Continental intercalaire dans la région du M'zab est composé de sables fins et de grès jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Cette masse grés-sableuse est aquifère, dont l'Albien est l'étage qui est capté et exploité avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa. La profondeur du toit de l'aquifère varie selon la région, il est entre 80 et 150 mètres au sud de la wilaya dans la région d'El Meniaa, par contre à l'Est le toit n'est atteint qu'à partir de la profondeur de 650 à 700 mètres (région de Zelfana et Guerrara). Dans la vallée du M'zab le toit de l'aquifère albien est atteint à la cote de 290 à 300 mètres. L'ensemble des forages exploitants l'aquifère dans la vallée ont une profondeur moyenne de 500 mètres. L'hydrodynamisme de la nappe varie selon l'altitude de la zone d'une part et l'épaisseur des formations sus-jacentes formant le toit de cette dernière d'autre part. La nappe est artésienne jaillissante admettant des pressions en tête des ouvrages de captage variant entre 0,5 à 4 bars dans les régions Sud et Est du territoire de la wilaya. Par contre à l'Ouest et au nord la nappe est exploitée par pompage. Dans la vallée du M'zab la nappe albienne est exploitée par pompage à des profondeurs variant entre 100 à 150 mètres en amont et 80 à 50 mètres en aval.

4.2.2. Exploitation du CI dans la vallée du M'zab.

Le premier forage profond exécuté dans la vallée du M'zab date de 1938, et depuis le nombre de forages n'a cessé d'augmenter. Selon l'inventaire de ANRH (2011), on compte actuellement plus de 59 forages exploitant la nappe du CI dans la vallée du M'zab avec un débit total de 24,90 hm³/an, dont 88% est destiné pour l'alimentation en eau potable de la population de la vallée, soit un volume d'eau mobilisée de 21,90 millions de m³ par an par le biais de 39 forages. Le secteur agricole totalise un volume d'eau exploité de 3 millions de m³ par an, soit 12% du volume total extrait de la nappe du CI dans la vallée.

4.2.3. Piézométrie de CI.

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud Atlasique.

La nappe du CI, selon 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 (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia).

La carte piézométrique de avril-mai 2011(Fig.41) montre que le sens d'écoulement est nord est à sud-ouest, on remarque aussi l'existence de trois zones de convergences se localisent dans les endroits où il ya des concentrations des forages captant le CI.

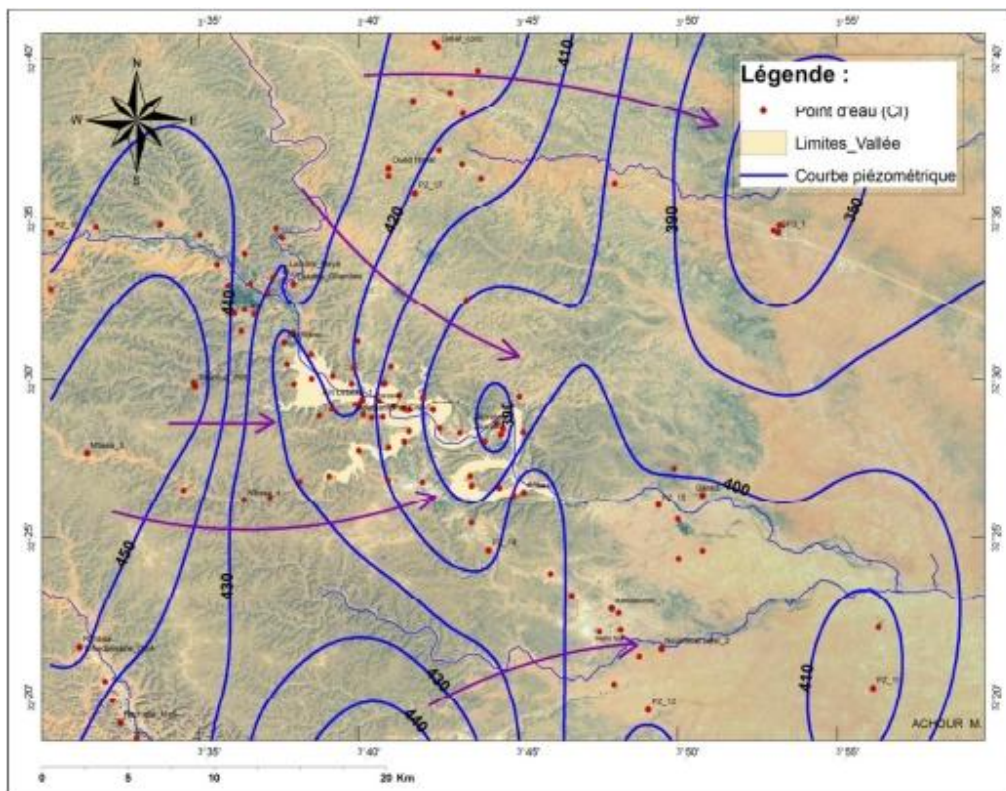


Figure.41 : Carte piézométriques de la nappe de CI de la région du M'zab (avril-mai, 2011).

5. CONCLUSION.

La région de M'zab fait partie de système aquifère de Sahara septentrional, dans la région du M'zab on trouve deux aquifères; l'aquifère superficiel et l'aquifère de continental intercalaire. L'aquifère superficiel est de type d'Inféro-flux, largement exploitée par des puits, localisé dans les alluvions sableuses du lit de l'oued M'zab, ainsi que dans les formations carbonaté fissuré du Turonien. Cet aquifère est alimenté par des pluies torrentielles et des quantités des eaux irrigation qui viennent de la nappe albiennne. La carte piézométrique montre que le sens d'écoulement est orienté de nord-ouest vers le sud-est, sont axe est l'Oued. Les eaux de la nappe superficiel sont non potable, elles sont très minéralisées et présentant des teneurs en éléments indésirables dépassent dans la majorité les normes algériennes.

L'aquifère continental intercalaire est composé de sables fins et de grés jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Le toit de l'aquifère albien est atteint à la cote de 290 à 300 mètres, la nappe est exploitée par pompage à des profondeurs variant entre 100 à 150 mètres en amont et 80 à 50 mètres en aval. La carte piézométrique de avril-mai 2011, montre que le sens d'écoulement est nord-est à sud-ouest, on remarque aussi l'existence de trois zones de convergences se localisent dans les endroits où il ya des concentrations des forages captant le CI.

1. MATERIELS ET METHODES.

1. Concept de vulnérabilité des eaux souterraines.

Le concept de vulnérabilité des eaux souterraines a été introduit par Margat à la fin des années 60 (Margat, 1968). Il se base sur le fait que les écosystèmes compris entre la surface terrestre et les aquifères protègent naturellement les eaux souterraines contre les pollutions d'origine humaine, animale ou naturelle. Partant de ce postulat, le terme de «vulnérabilité des eaux souterraines» est défini comme étant le contraire de «protection naturelle contre les pollutions». Cette protection est possible grâce à différents mécanismes d'atténuation des pollutions qui peuvent se produire durant le parcours de la substance polluante dans le système. Ces mécanismes sont entre autres la dispersion, la filtration, la sédimentation, la dilution, l'absorption/désorption, la biodégradation, la volatilisation et la dégradation chimique (Vrba and Zaporozec, 1994; Fetter, 1994; Ducommun, 2010 ; Kherici et al, 2010).

Certaines spécifications sont apportées au terme de vulnérabilité des eaux souterraines. L'expression « vulnérabilité intrinsèque » est utilisée dans les cas où seules les caractéristiques naturelles des écosystèmes sont appréhendées, alors que le terme de « vulnérabilité spécifique » est utilisé lorsque la nature du polluant et son scénario d'entrée dans le système sont considérés.

Nombreuses méthodes pour l'estimation et la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées. Ces publications se sont généralisées au monde entier dès la fin des années 80. Les plus répandues sont DRASTIC (Aller et al, 1987), SINTACS (Citivà, 1990, 1995 et 1997), EPIK (Doerfliger et al, 2009), PaPRIKa (Doerfliger et al, 2009), l'Approche Européenne (Daly et al, 2002) et ses méthodes dérivées COP (Vías et al, 2006), PI (Goldscheider et al, 2000). Mentionnons aussi quelques-unes des méthodes propres à un pays comme par exemple les méthodes suisses (Doerfliger et al, 1998), la méthode slovène (Ravbar, 2007), ou encore la méthode irlandaise (Shemes, 1999).

1.2. Présentation de la méthode de vulnérabilité GOD.

La méthode GOD a été développée par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas de la migration latérale des polluants dans la zone saturée.

La méthode GOD utilise une approche empirique où la vulnérabilité des aquifères est définie en fonction de l'inaccessibilité de la zone saturée, au sens de la pénétration du polluant, et de la capacité d'atténuation que la couche sus-jacente présente à la zone saturée. L'approche employée pour ce modèle a recours à trois paramètres, à savoir ; le premier réside dans

l'identification du type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (C_i) et le deuxième correspond à la profondeur de la nappe (C_p) et le troisième est défini par la lithologie de l'aquifère (C_a) (Ake, 2009 ; Murat, 2003). Les côtes attribuées aux classes des différents paramètres sont inférieures ou égales à "1"(tab.09).

L'Indice GOD (IG) qui permet d'évaluer la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution (Tab.10) est obtenu par la multiplication de ces trois paramètres. La cartographie de la vulnérabilité à la pollution des aquifères par la méthode GOD est faite par le calcul de l'Indice GOD (IG) selon l'équation (2) (Murat et al. 2003).

$$IG = C_a \times C_l \times C_d \quad (2)$$

Avec C_a : Type d'aquifère ; C_l : Lithologie de l'aquifère ; C_d : Profondeur de la nappe.

Tableau .09: système empirique GOD ; pour une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère (d'après Foster, 1987).

Paramètre	Classe	cote
G Type de nappe	Aucune	0
	Captive artésienne	0.1
	Captive	0.2
	Semi captive	0.4
	Semi libre	0.4 à 0.6
	Libre	0.7 à 1.0
O Facteurs géologiques	Argile	0.3
	Sol résiduel	0.4
	Silts alluvions	0.5
	Sable éolien tuf	0.6
	Sable et graviers	0.7
	Graviers	0.8
	Calcaire	0.9
	Calcaire fracturé ou	1
D Profondeur de la nappe	Supérieure à 100 m	0.4
	50 à 100 m	0.5
	20 à 50 m	0.6
	10 à 20 m	0.7
	5 à 10 m	0.8
	2 à 5 m	0.9
	Inférieure à 2 m	1

Tableau.10: intervalle des valeurs de l'indice de GOD et les classes correspondantes
(d'après Foster, 1987)

classe	intervalle
nulle	0
négligeable	0 à 0.1
faible	0.1 à 0.3
modérée	0.3 à 0.5
forte	0.5 à 0.7
Très forte	0.7 à 1

1.3. Mesures et préparation des données.

L'élaboration de la carte de vulnérabilité, demande un certain nombre de données (Rouabhia et al, 2004 ; Kachi et al, 2007):

1.3.1. La profondeur d'eau de la nappe.

Une campagne de mesures piézométriques a été réalisée dans la zone d'étude en Avril-mai 2011, pour déterminer la profondeur de la surface de la nappe libre de la vallée de M'Zab.

1.3.2. La lithologie de l'aquifère.

Pour une meilleure connaissance de la lithologie de la nappe phréatique de la vallée de l'oued M'zab, nous avons l'interprété 59 logs de forages d'eau, recueillis à partir de l'Agence National des Ressources Hydrique (ANRH) ils ont permis d'élaborer des coupes lithologiques de l'aquifère libre de la vallée de M'Zab.

1.3.3. La nature de la zone non saturée.

Laboratoire d'étude de sol et analyse de matériaux LTPSud a été chargé de l'étude géotechnique du terrain de la vallée de M'Zab. L'étude a été entamée en fonction du levé topographique. cette étude géotechnique consiste à :

- établir une reconnaissance de la nature des sols et de leurs caractéristiques géologiques et géotechniques.
- définir, d'une part, le degré d'attaque et d'autre part les mesures à prendre pour éviter l'agressivité du sol et de l'eau qu'il contient.

Et enfin constater et recenser les risques naturels éventuels.

1.4. Cartographie des paramètres de vulnérabilité et comparaison des cartes.

Le traitement des données s'est effectué à l'aide de logiciels SURFER10 qui a permis de construire la base de données physique de la zone d'étude. La réalisation des cartes en courbes d'iso valeurs ont été déterminées par krigeage linéaire.

Le krigeage est une interpolation qui estime les valeurs aux points non échantillonnés par une combinaison de données. La pondération des points est réalisée par une fonction de structure issue des données. Il est donc tenu compte des distances, des valeurs et des corrélations. C'est une technique de calcul de moyennes mobiles utilisant les paramètres d'un variogramme pour obtenir une bonne estimation de la relation entre les points de données. Le variogramme correspond à l'évolution de la semi-variance en fonction du décalage entre les points. L'indice de vulnérabilité générale est calculé pour chaque maille selon l'équation 1. En plus le nombre de mailles obtenu par classe constitue l'élément de base de comparaison et d'analyse statistique des surfaces pour la carte de vulnérabilité.

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS.

2.1. Les cotes des paramètres de vulnérabilité de GOD.

2.1.1. Type de nappe.

La figure représente la cartographie ainsi obtenue du critère "type de nappe". On observe que la nappe est libre sur l'ensemble de la zone d'étude, à l'exception sur les périphériques de la vallée et sur quelques endroits isolés, qui correspond à l'affleurement des massifs calcaires turoniens non aquifères.

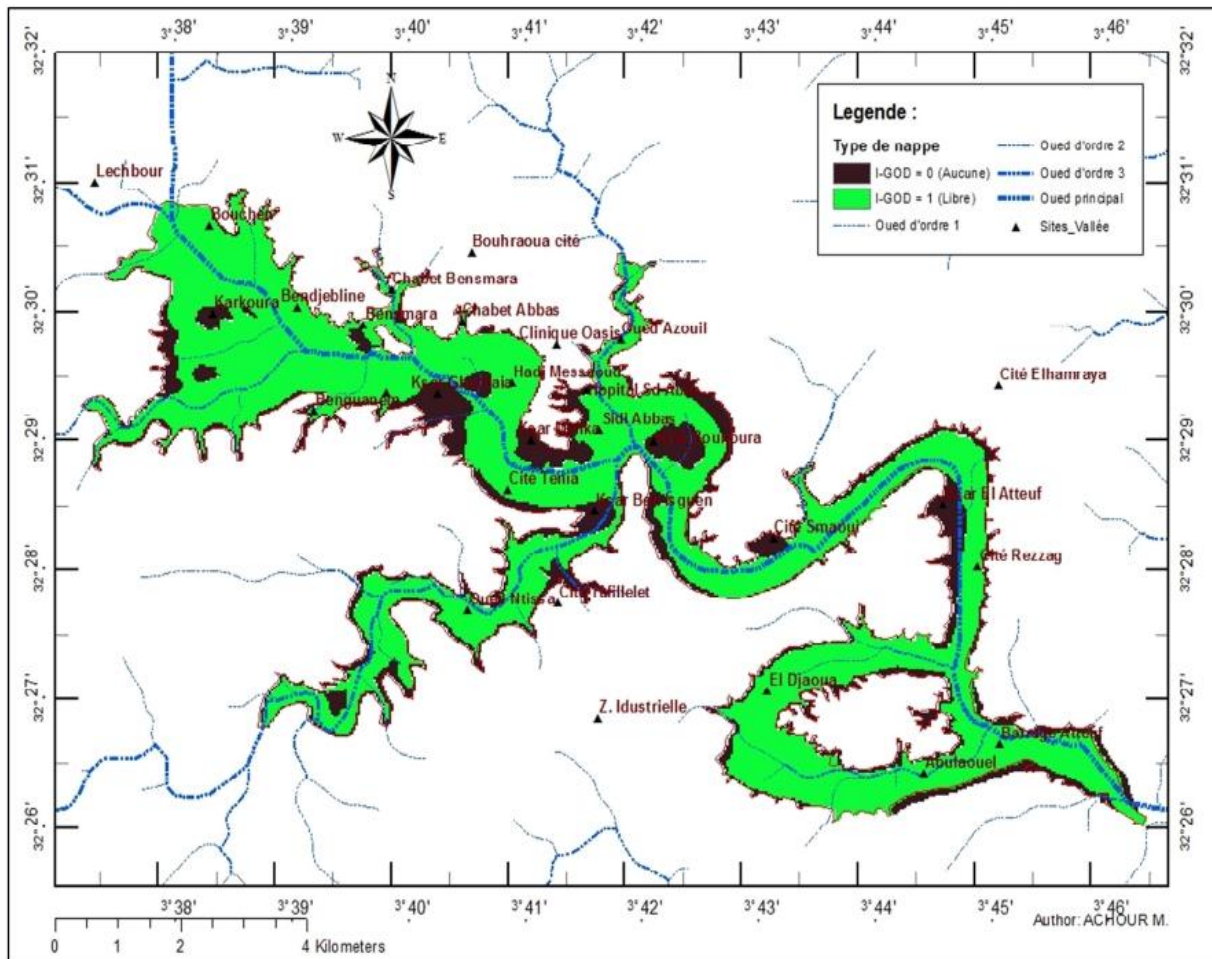


Figure .42 : Carte de l'indice de vulnérabilité, représentation du critère G (maillage 30x30m)

2.1.2. Nature de la zone non saturée.

Les cotes du critère de l'impact de la zone non saturée définies selon la méthode GOD, pour la zone d'étude sont figurées dans le tableau ci-dessous :

Tableau.11 : Cotes attribuées au critère "Impact de la ZNS"

Lithologie de la zone non saturée	Cote
Sable et gravier, grès, tuf	0.7
Gravier (colluvion)	0.8
Calcaire	0.9

La carte interpolée de la nature de la zone non saturée (fig.43) révèle que la zone non saturée de l'ensemble de la vallée est formée de sable et de gravier perméable. L'axe de l'oued est constitué par des galets et de graviers sableux fortement perméables.

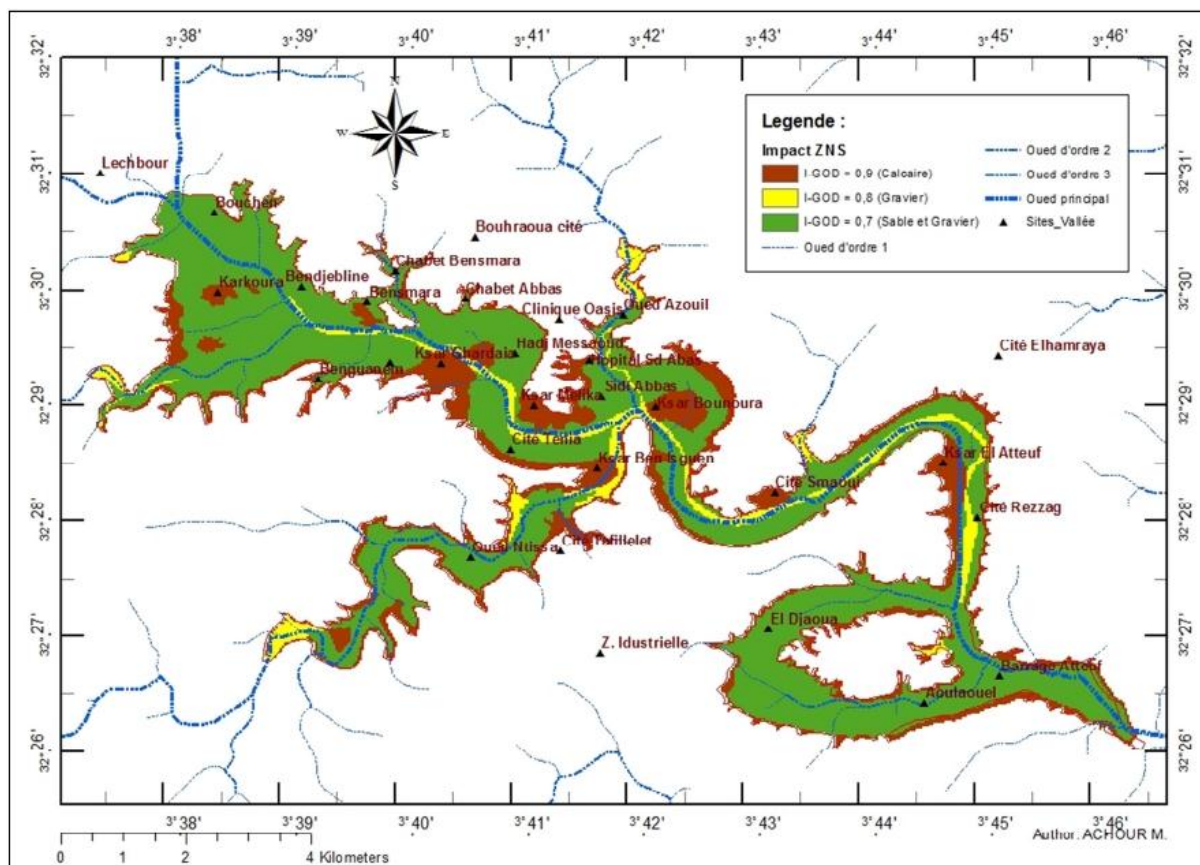


Figure.43 : Carte de l'indice de vulnérabilité, représentation du critère.

2.1.3. Profondeur à la nappe.

La campagne de mesures piézométriques réalisée dans la zone d'étude en Avril-mai 2011, pour déterminer la profondeur de la surface de la nappe libre de la vallée de M'Zab montre que le niveau statique varie entre 26.94 m et 0.1 m. Les cotes du critère " Profondeur à la nappe" définies selon la méthode GOD, pour la zone d'étude sont figurées dans le tableau ci-dessous :

Tableau.12 : Cotes attribuées au critère "Profondeur à la nappe"

Profondeur (m)	Cote
>2	1
2-5	0,9
5 - 10	0,8
10 - 20	0,7
20 - 50	0,6

La carte interpolée du critère profondeur à la nappe "D" (fig.44) montre que le long du lit mineur de l'oued la profondeur de la nappe est très faible, d'où un indice de vulnérabilité élevé, par contre sur les périphériques de la vallée et le long de ces affluents (Touzouz, N'tissa et Azouil) la profondeur est relativement élevée, l'indice est faible.

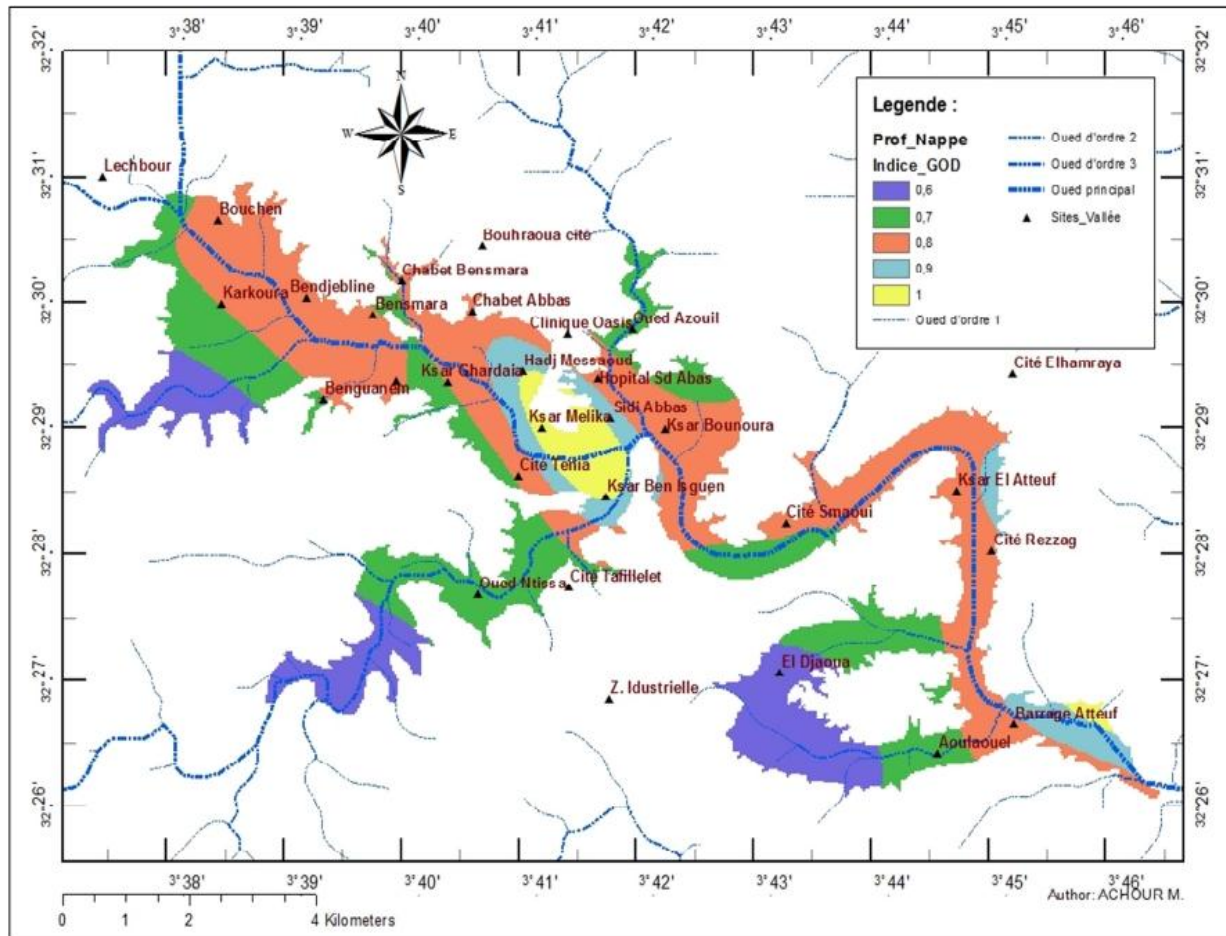


Figure.44 : Carte de l'indice de vulnérabilité, représentation du critère profondeur à la nappe.

2.2. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe du M'zab.

2.2.1. L'indice de vulnérabilité GOD.

Les résultats tirés de l'étude des paramètres de vulnérabilité GOD sont illustré dans le tableau. On constate que la profondeur de la nappe et la nature de la zone non saturée sont les seuls paramètres qui influencent sur le degré de vulnérabilité d'un point donné dans la zone d'étude. L'indice de vulnérabilité GOD des eaux de la nappe phréatique varie de 0,49 à 0,9.

Tableau.13: Les côtes des paramètres de vulnérabilité de GOD.

Paramètre	Classe	Côte
G	Libre	1
O	Sable et gravier, grès,	0.7
	Gravier (colluvion)	0.8
	Calcaire	0.9
D	20 à 50m	0.6
	10 à 20 m	0.7
	5 à 10 m	0.8
	2 à 5 m	0.9
	Inférieure à 2 m	1

2.2.2. Carte de vulnérabilité GOD.

La carte de vulnérabilité réalisée par le calcul de l'indice de vulnérabilité GOD (fig.46), révèle la présence de quatre classes d'indices qui sont : aucune, modérée, forte et très forte, avec une prédominance nette de la classe forte. Les classes de vulnérabilité faible et très faible n'existent pas dans notre zone d'étude.

L'analyse spatiale de l'indice GOD, illustré dans la figure 30, indique la répartition de ces classes qui s'effectue comme suit :

Secteurs à aucune vulnérabilité, ils se localisent le long des périphériques de la vallée de l'oued M'zab et de ces affluents (N'tissa et Azouil). On les retrouve aussi sous forme d'îlots au sein de la vallée. Cette classe de vulnérabilité représente 19% de la région étudiée. L'indice nul de vulnérabilité est imputé par le fait, que ces secteurs coïncident avec les calcaires massifs du Turonien. Les îlots correspondent aussi aux affleurements des calcaires massifs turoniens non perméables.

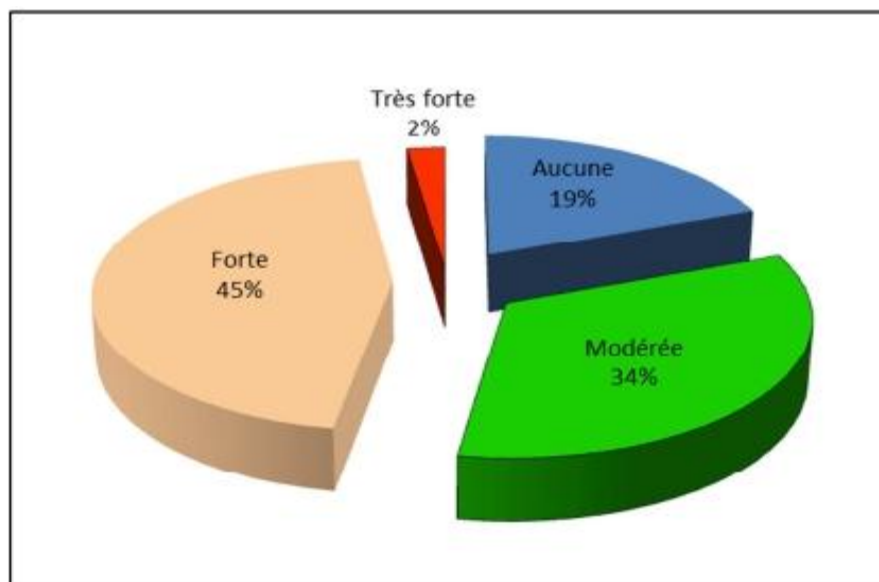


Figure.45 : Répartition de l'indice de vulnérabilité GOD du secteur d'étude.

Secteurs à classe de vulnérabilité modérée, ces secteurs coïncident principalement avec les zones à forte activité oasienne Touzouz en amont, N'tissa et Azouil au centre et oasis d'El Atteuf en aval. Cette classe représente 34% de la région. L'indice modéré de la vulnérabilité caractérisant ces secteurs, est lié principalement à la profondeur relativement élevée de la nappe dans ces zones. La perméabilité relativement élevée de la zone non saturée (vadose), composée essentiellement de sable et de gravier, pouvant faciliter l'infiltration des contaminants présents à la surface.

Secteurs à classe de vulnérabilité forte, qui s'étalent sur l'ensemble de la surface de la vallée de l'oued M'zab en allant de l'amont vers l'aval. Cette classe de vulnérabilité est

prépondérante, elle représente 45%, soit environ la moitié de la région étudiée.

L'indice fort de la vulnérabilité dans ces contrées est dû, vraisemblablement, à la faible profondeur de la nappe, comprise essentiellement entre 10 et 4 mètres, et d'autre part, à la lithologie de la zone non saturée constituée principalement de sables moyens et grossiers alluvionnaires très perméables, engendrant ainsi des conditions très favorables à l'infiltration de tout polluant de la surface vers la nappe.

Secteur à classe de vulnérabilité très forte, localisé dans la partie centrale le long du lit mineur de l'oued M'zab. Cette classe représente 2% de la zone étudiée. Les valeurs élevées de l'indice de vulnérabilité dans ces zones s'expliquent par la très faible profondeur de la nappe qui est parfois nulle, et aussi la nature lithologique de cette dernière qui se compose d'alluvions et de sables grossiers très perméables.

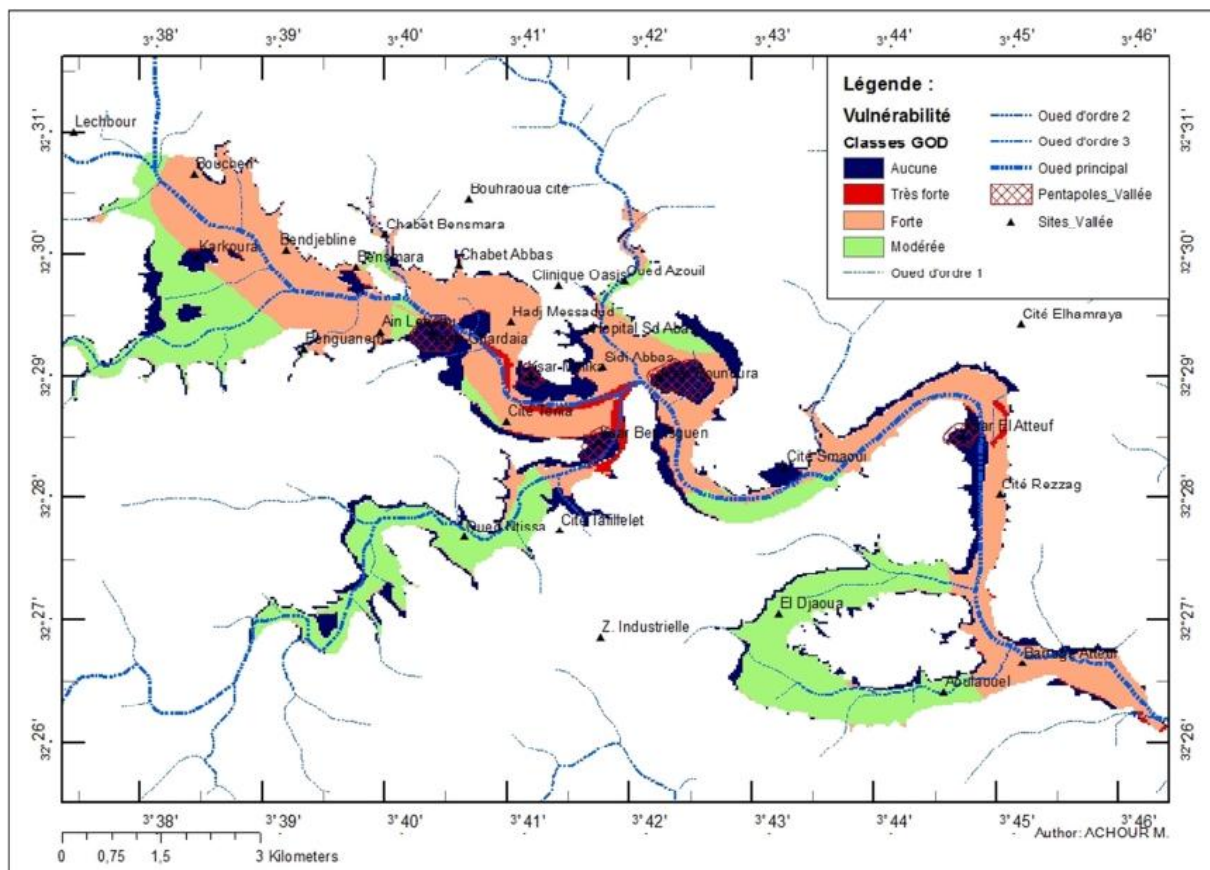


Figure.46 : Carte de l'indice de vulnérabilité de la nappe phréatique de l'oued M'zab.

2.2.3. Critique de la carte de vulnérabilité GOD.

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique par la méthode GOD, nous a permis de déceler quatre classes de vulnérabilité ; aucune, modérée, forte et très forte. De l'amont vers l'aval, l'ensemble du territoire de la vallée est dominé par une forte

vulnérabilité, soit 45% de la zone étudiée. Ce qui laisse dire que la vallée de l'oued M'zab est sujette à d'éventuelle contamination à partir de la surface.

En outre, la méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque utilisée dans le cadre de cette étude, nous a permis de faire une idée assez nette sur les zones sensibles à la contamination au sein de la vallée du M'zab. A cet effet, des mesures de protection de ces ressources souterraines doivent être établies.

Par ailleurs, il est recommandé de valider les résultats ainsi obtenus par :

1- l'utilisation des méthodes de cartographie de la vulnérabilité à la pollution autres que la méthode GOD, afin de comparer les résultats par des tests statistiques adéquats (Kendal, analyse statistique).

3- de tester et valider la carte obtenue par des campagnes de mesure et d'analyses chimiques des eaux de la nappe, notamment le dosage des nitrates et d'autres éléments soupçonnés d'être polluants.

2.2.4. Notes sur la protection des ressources en eau dans la vallée de M'Zab.

Dans une zone aride, telle que la région du M'zab, l'eau souterraine représente leur principale ressource. Elle est très sensible et dont l'utilisation doit se faire avec une très grande prudence.

En ce qui concerne la nappe profonde de l'Albien :

L'établissement des périmètres de protection visant à assurer la qualité des eaux au niveau des forages, ne peut être justifié pour la nappe de l'Albien, étant qu'elle est déjà protégée par une épaisse couche imperméable d'argiles cénomaniennes. Seul un périmètre de protection immédiat (PPI) de quelques m² destiné à la protection de l'ouvrage de captage, et dans lequel toutes activités nuisibles doivent être interdites.

Le véritable danger pour la nappe albienne, réside dans l'exploitation intensive de ces ressources devant un taux de recharge qui est pratiquement très faible. Les conséquences n'ont guère tardé d'apparaître, entre autres, on a constaté ;

Rabatement très sensible du niveau de la nappe. Pour extraire de l'eau des forages, les pompes sont calées de plus en profondeur, et dans une future proche, certains forages ne seront exploitables, du fait de la réduction de leur chambre de pompage.

Disparition de l'artésianisme de certaines zones de Ghardaïa. C'est ce qu'on a constaté effectivement, dans la partie occidentale de Zelfana et dans la ville de Guerrara, des forages reconnus jadis par leurs débits jaillissants, ne le sont plus maintenant, et pour extraire de l'eau, le recours à des installations de pompage et de l'énergie à fournir est devenu dans ce cas inévitable.

En ce qui concerne la nappe phréatique :

La nappe est de type libre, dépourvue de tous type de recouvrement imperméable, elle est propice à tous genre de pollution percolant de la surface. De ce fait, des mesures visant de protéger les eaux de la nappe doivent être instaurées, entre autres :

Contrôler toutes les activités anthropiques nuisibles au sein de la vallée telles que les stations de lavage, les stations de carburant, ainsi que certaines pratiques agricoles utilisant des produits chimiques.

Lutter contre toute source de pollution que ce soit domestique ou urbaine par l'instauration d'un réseau d'assainissement adéquat et de raccorder les zones urbaines et domestiques à ce réseau à fin de limiter le recours à l'utilisation des fosses septiques.

3. CONCLUSION.

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique par la méthode GOD, nous a permis de déceler quatre classes de vulnérabilité ; aucune, modérée, forte et très forte. De l'amont vers l'aval, l'ensemble du territoire de la vallée est dominé par une forte vulnérabilité, soit 45% de la zone étude. Ce qui laisse dire que la vallée de l'oued M'zab est sujet à une éventuelle contamination à partir de la surface.

BIBLIOGRAPHIE

ACHOUR M. (2014). Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride: cas de la vallée du m'zab (Ghardaïa – Algérie). Mémoire de magistère. univ Oran. 155p.

ACHOUR M. BENSAHA H. CHENAFI A. HASSANI M. I.(2012) : Contribution du SIG à l'élaboration d'une méthodologie de calcul des paramètres physiographiques d'un bassin versant, cas du bassin versant du M'zab (Algérie). Colloque international, Terre et Eau Univ. Annaba, Algérie novembre 2012.

ACHOUR M., BENSAHA H. (2010) : Réflexions pour préserver l'environnement, cas de la vallée du M'zab. Communication présentée au colloque international, Univ. Provence Marseille, France janv. 2011. (<http://www.lped.org/colloque-imep/fr/index.html>).

Ake, G. E., Dongo, K., Kouadio, B. H., Dibi, B., Saley, M. B. et Biemi, J. 2009. Contribution des Méthodes de Vulnérabilité Intrinsèque DRASTIC et GOD à L'Etude de la Pollution par les Nitrates dans la Région de Bonoua (Sud- Est de la Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research, ISSN 1450- 216X, Vol.31 No.1 (2009), pp. 157-171.

ANRH (2011) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ; Algérie.

ANRH (2010) : Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du CI dans la wilaya de Ghardaïa. doc ANRH DRS, Ouargla.

ANRH (2005) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ; Algérie.

ANRH (1999) : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albienne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ; Algérie.

BEL F. & DEMARGNE F. (1966) : Etude géologique du Continental Terminal ; DEC, ANRH, Alger, Algérie, 24 planches, 22p.

BERTIN J. & GAUTIER M. (1948) : Le forage de Zelfana, sondage de reconnaissance et d'étude de la nappe albienne au Sahara. Terres et Eaux, n° 4, Alger, pp. 144-171.

Bouselsal Boualem.2016. Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère superficiel de Oued Souf (SE Algérie). Thèse de doctorat. Univ Annaba.206p.

BOUSELSAL.B, KHERICLN, HADJ-SAID.S. « Vulnérabilité et risque de Pollution de la nappe libre d'El-Oued (SE Algérie) : application de la Méthode DRASTIC. Bulletin du Service Géologique National Vol. 26, n° 1, 2015.

BUSSON, G. 1967. Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.

Busson, G. 1970 : Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.

Busson, G. 1971. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Edit., Paris, 464p.

CASTANY, G. 1982. Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris, 334p.

Cornet, A. 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique. Vol.VI. 1964. fasc1,pp.5-72.

Emberger, L. 1955. Une classification biogéographique des climats. Trav. Inst. Bot. Montpellier, 7, 3-43.

HEMIDI LOTFI : Vulnérabilité de la nappe alluviale de Guerrara à la pollution, Mémoire de magistère, université kasdi merbah ouargla.2013. 116p

KILIAN. C. 1931. Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris.

Margat, j. 1968. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution (Groundwater vulnerability to contamination) (in French). Base de la cartographie. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Orléans, France.

M.Rostom Ben Drissou et M. Youcef Dedjel : Approche la nappe phréatique de la région de Ghardaia , mémoire de Master , USTHB, 2011,44p

OMS. 2002. "Fluoride in drinking water." Environmental health information section, WHO Headquarters Office in Geneva, 20 Avenue Appia, 12 1 1 Geneva 27, Switzerland.

OSS (Observatoire Sahara et Sahel). 2003. Système aquifère du Sahara septentrional: gestion commune d'un bassin transfrontière. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie.

OUADAD OMAR et DEBBAR HOCINE : Etude hydrochimique de la nappe superficielle de vallée de Mzeb, mémoire de Licence, université Kasdi Merbah Ouargla, 2015, 31p

RODIER J (1984). L'analyse de l'eau. Édition DUNOD. 1579p.

UNESCO. 1972. Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. (7 vols. et annexes). UNESCO, Paris, France.

WCCR (Water Contamination Control Regulations), 1991. Official Paper. Ankara, No. 19919.

Wilcox, L.V. 1948. "The quality of water for irrigation use". Technical Bulletin 962. Washington, U.S. Department of Agriculture, 40p.

World Health Organisation (WHO). 2006. Guidelines for Drinking-water Quality. Recommendations, 3rd edition, vol. 1. WHO, ISBN 92 4 154696 4, 595 pp.

CONCLUSION GENERALE.

La vallée du M'zab fait partie de la wilaya de Ghardaïa, elle est située à l'enceinte du bassin versant d'une superficie de 5000Km², traversée par quatre oueds qui drainent les plateaux des dayas et la dorsale du mozabite, son exutoire naturel est constitué par la sebkha Sefioune près de Ouargla. La vallée du M'zab est entaillée dans les massifs calcaires du Turonien.

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, caractérisé par deux saisons ; une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars), on constate qu'il ya une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver, avec une moyenne annuelle de 25°C, l'évaporation est d'ordre de 3000 mm par an et une faible hauteur de pluies avec une moyenne d'ordre de 60mm/an.

La région de M'zab fait partie de système aquifère de Sahara septentrional, dans la région du M'zab on trouve deux aquifères; l'aquifère superficiel et l'aquifère de continental intercalaire. L'aquifère superficiel est de type d'Inféro-flux, largement exploitée par des puits, localisé dans les alluvions sableuses du lit de l'oued M'zab, ainsi que dans les formations carbonaté fissuré du Turonien. Cet aquifère est alimenté par des pluies torrentielles et des quantités des eaux irrigation qui viennent de la nappe albiennne. La carte piézométrique montre que le sens d'écoulement est orienté de nord ouest vers le sud est, sont axe est l'Oued M'zab. Les eaux de la nappe superficiel sont non potable, elles sont très minéralisées et présentant des teneurs en éléments indésirables dépassent dans la majorité les normes algériennes.

L'aquifère continental intercalaire est composé de sables fins et de grés jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Le toit de l'aquifère albien est atteint à la cote de 290 à 300 mètres, la nappe est exploitée par pompage à des profondeurs variant entre 100 à 150 mètres en amont et 80 à 50 mètres en aval. La carte piézométrique de avril-mai 2011, montre que le sens d'écoulement est nord-est à sud-ouest, on remarque aussi l'existence de trois zones de convergences se localisent dans les endroits où il ya des concentrations des forages captant le CI.

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique par la méthode GOD, nous a permis de déceler quatre classes de vulnérabilité ; aucune, modérée, forte et très forte. De l'amont vers l'aval, l'ensemble du territoire de la vallée est dominé par une forte vulnérabilité, soit 45% de la zone étude. Ce qui laisse dire que la vallée de l'oued M'zab est sujet à une éventuelle contamination à partir de la surface.

RECOMMANDATIONS.

Dans la région du M'zab, les eaux souterraines représentent la principale ressource, elles sont très sensibles et leur utilisation doit se faire avec une très grande prudence, car la nappe est de type libre, dépourvue de tout recouvrement imperméable, elle est propice à tous genres de pollution percolant de la surface. De ce fait, des mesures visant à protéger les eaux de la nappe doivent être instaurées, entre autres :

- Contrôler toutes les activités anthropiques nuisibles au sein de la vallée telles que les stations de lavage, les stations de carburant, ainsi que certaines pratiques agricoles utilisant des produits chimiques.
- Lutter contre toute source de pollution que ce soit domestique ou urbaine par l'instauration d'un réseau d'assainissement adéquat et de raccorder les zones urbaines et domestiques à ce réseau afin de limiter le recours à l'utilisation des fosses septiques.

Résumé.

La vallée du M'zab fait partie de la wilaya de Ghardaïa, elle est située à l'enceinte du bassin versant d'une superficie de 5000Km², traversée par quatre oueds qui drainent les plateaux des dayas et la dorsale du mozabite. Le climat de la région est typiquement Saharien, une faible hauteur de pluies avec une moyenne d'ordre de 85.72mm/an. Le sous-sol de M'zab renferme deux aquifères; l'aquifère superficiel et l'aquifère de continental intercalaire.

La présente étude traite de la vulnérabilité des eaux de l'aquifère superficiel de la vallée du M'Zab à la pollution, causée par de nombreux foyers de pollution (urbanisation, industrie et agriculture), qui se multiplient dans la région.

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique par la méthode GOD, nous a permis de déceler quatre classes de vulnérabilité ; aucune, modérée, forte et très forte. De l'amont vers l'aval, l'ensemble du territoire de la vallée est dominé par une forte vulnérabilité, soit 45% de la zone étude. Ce qui laisse dire que la vallée de l'oued M'zab est sujet à une éventuelle contamination à partir de la surface.

Mots clés : vallée de M'zab, pollution, vulnérabilité, aquifère superficielle

ملخص.

وادي ميزاب هو جزء من ولاية غرداية، وهو موجود سطح مجموعة من خزانات المياه وتبلغ مساحتها 5000 كم²، التي يجتازها أربعة أودية تغذي هضبة الضاية وواحة ميزاب. مناخ المنطقة هو عادة صحراوي، حرارة مرتفعة ومنخفضة، ومتوسط هطول الأمطار يبلغ حوالي 85.72 مم / سنة. الطباق السفلي يحتوي على اثنين من طبقات المياه الجوفية : المياه السطحية ومياه المتداخل القاري.

تتناول هذه الدراسة قابلية التلوث للمياه الجوفية في وادي مزاب للتلوث والتلوث الناجم عن العديد من المنازل (التحضر والصناعة والزراعة)، والتي تتكاثر في المنطقة.

رسم خرائط قابلية المياه الجوفية للتعرض للتلوث عن طريق أسلوب GOD سمح لنا بالتعرف على أربع فئات من الضعف. لا شيء ، متوسطة، عالية وعالية جدا. من المنبع إلى المصب، وبهيمن على الوادي كل من الضعف الشديد، 45% من منطقة الدراسة. ما يتيح القول ان وادي مزاب واد يخضع لتلوث محتمل من على سطح الأرض.

كلمات البحث: وادي مزاب ، والتلوث، والضعف، والمياه الجوفية الضحلة.

Abstract

The M'Zab Valley is part of the wilaya of Ghardaia, it is located in the enclosure of the watershed with an area of 5000Km², crossed by four wadis draining trays dayas and back of Mozabite. The climate of the region is typically Saharan, low height with an average rainfall of about 85.72mm / year. The basement contains two Mzab aquifers; and the superficial aquifer infill continental aquifer.

This study deals with the waters of the shallow aquifer vulnerability of the M'Zab Valley to pollution, pollution caused by many homes (urbanization, industry and agriculture), which multiply in the region.

Mapping the vulnerability to pollution of groundwater by GOD method allowed us to identify four classes of vulnerability; no, moderate, high and very high. From upstream to downstream, the whole of the valley is dominated by high vulnerability, or 45% of the study area. What lets say the Oued M'Zab Valley is subject to possible contamination from the surface.

Keywords: Mzab Valley, pollution, vulnerability, shallow aquifer