

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -
FACULTE DES HYDROCARBURES DES LES ENERGIES RENOUVLABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DU 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 L'ingénieur.

Option : Géologie De L'ingénieur.

THEME

**CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE
LA NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE DE LA
REGION DE GOURARA (TIMIMOUN, TINERKOUK)**

Présenté par :

HASSANI Abdallah & DJOUALIL Ismail

Soutenu le : /06/2014 devant la commission d'examen :

Président : M. NEZLI Imed Eddine M.C.A. Univ. Ouargla

Promoteur: M. ZERROUKI Hicham M.C.B. Univ. Ouargla

Examineur : M. ZEDDOURI Aziez M.C.A. Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2013/2014.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents ;

Mes frères ;

Mes sœurs ;

Ma grande mère ZAHRA et CHRIFA

Ma grande famille ;

A la mémoire Mon grand père : ABDELKARIM et

MOUHAMED

A tous mes amis ;

A mes amis d'enfance de SALI et REGGANE

A tous mes collègues (de promotion) ;

Les habitants de la région du TOUAT ;

Les habitants de SALI, REGGANE, d'ADRAR, ALGERIE.

HASSANI abdallah.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents ; BRAHIM et KALTOUM

Et à mes frères ; ZOUBIR et MOHAMMED ELABBAS.

Mes sœurs, en particulier la petite ; MERYAM

Ma grand-mère ; AICHA

Je veux le dédier également à toute la famille DJOUALIL

Mes amis

Et ma tante ROKAIA.

Les habitants de DJOUALIL. AIN-SALAH. ALGERIE.

DJOUALIL. Ismaïl

Remerciements



Avant tout propos, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé afin de faire ce modeste travail.

*Il nous est agréable d'adresser nos sincères remerciements à Mr **ZERROUKI Hicham** qui nous a fait confiance en nous proposant ce sujet fort intéressant. On la remercie de nous avoir guidés pendant toute sa réalisation, pour toutes les connaissances en hydrogéologie qu'il nous a transmises, pour sa sagesse et sa bonté.*

*Nos vifs remerciements vont également à Monsieur **NEZLI Imed Eddine** que l'on estime beaucoup et pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider notre jury.*

*Nos remerciements vont également à Monsieur **ZEDDOURI Aziez** d'avoir accepté de faire partie du jury et de nous faire part de leurs critiques.*

Toute ma gratitude a toutes les personnes qui m'ont apporté leurs soutiens, je citerai en particulier les responsables et ingénieurs des organismes suivants :

- *Ministère des ressources hydriques*
- *l'ANRH d'Alger et d'Adrar*
- *Direction de l'environnement d'Adrar*

Je tiens également à m'excuser auprès des personnes qui m'ont aidé et les auteurs dont j'ai utilisé leurs documents sans les avoir cités dans les remerciements ou dans la bibliographie.

Mes remerciements les plus respectueux vont à l'endroit du département de science de la terre et faculté d'hydrocarbures et les énergies renouvelables pour la qualité de la formation, et de m'avoir accueilli dans d'excellentes conditions, ainsi qu'à tout le personnel du département des sciences de la terre de l'université de OUARGLA.

Le résumé :

L'objectif de cette étude est de présenter les principales caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, et hydrochimiques de la nappe du Continental intercalaire dans la région de Timimoun dans le but d'assurer une gestion rationnelle des ressources en eaux et un développement durable à long terme. Cette nappe présente des potentialités énormes dans cette région, elle est contenue dans les formations gréseux-argileuses du crétacé inférieur. Elle a une extension régionale qui couvre le bassin du Sahara septentrionale (Algérie, Tunisie, Libye) et présente des bonnes caractéristiques hydrodynamiques dans la région de Timimoun (la transmissivité de l'ordre de 10^{-1} à 10^{-2} m²/s). De point de vue hydrochimique, ces eaux sont apparues comme très minéralisées (Min_{moy}=1294 mg/l) et excessivement dures (Th_{moy}=59,75°F), avec de fortes teneurs en chlorures (moy=352 mg/l), sodium (moy=223 mg/l) et en sulfates (moy=372 mg/l). Les eaux souterraines de cette nappe dite aussi albiennaise ont montré une qualité médiocre de point de vue potabilité. Elles présentent généralement peu de danger d'alcalinisation (SAR<10) mais un danger de salinisation élevé pour les sols, le faciès chloruré sodique est prédominant. La minéralisation des eaux est liée principalement à la lithologie des terrains géologiques et l'influence des conditions climatiques de la région. La région est caractérisée par un système ancestral de captage des eaux appelé « foggara » qui est menacé d'extinction (dégradation, tarissement, détérioration de la qualité des eaux...etc.) à cause des problèmes locaux et régionaux liés principalement à l'exploitation et à la gestion des eaux, ce qui nécessite une meilleure vision dans l'optique d'une gestion rationnelle de cette ressource pour assurer un développement durable à long terme, pour cela plusieurs recommandations ont été proposées.

Mots clefs : Continental intercalaire, Foggaras, Hydrogéologie, Hydrochimie, Timimoun, Zone aride, Salinité, Oasis.

The abstract:

The objective of this study is to present the main geological, hydrogeological and hydrochemical groundwater of Continental infill in the Timimoun region in order to ensure sound management of water resources and sustainable development in the long term. The web has enormous potential in this region; it is contained in the sandstone-clay formations of the Lower Cretaceous. It has a regional extension that covers the basin of the Northern Sahara (Algeria, Tunisia, and Libya) and has good hydrodynamic characteristics in the region of Timimoun (Transmissivity in the range of 10^{-1} to 10^{-2} m²/s). Hydrochemical point of view, these waters are highly mineralized (Min_{moy}=1294 mg/l) and appeared to be excessively harsh (Th_{moy}=59,75°F), with high levels of chlorides(moy=352 mg/l), sodium(moy=223 mg/l) and sulfates (moy=372 mg/l). Groundwater in the aquifer also called Albian seemed poor quality of potable perspective, they generally have little danger of alkalization (SAR<10) but a high risk of soil salinization, the sodium chloride facies is predominant. Mineralization of water is primarily related to the lithology of the land and the influence of geological conditions in the region. The region is characterized by a traditional water catchment called "foggara" which is threatened with distinction (degradation, depletion, deterioration of water quality ... etc) Because a local and regional problems mainly related to the operation and a water management, which requires a better view from the perspective of a rational management of this resource to ensure sustainable development in the long run for this number of recommendations were proposed.

Keywords: Continental infill, Foggara, Hydrogeology, Hydrochemistry, Timimoun, Arid zone, Salinity, Oasis, ..

المخلص:

الهدف من هذه الدراسة هو تقديم الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية الرئيسية لمياه الطبقة المائية الجوفية للقاري المتداخل في منطقة تيميمون . حيث تمتلك هذه الطبقة إمكانات مائية هائلة في المنطقة ، وهي محتواة في التشكيلات الصخرية لعصر الكريتاسي السفلي و الذي يتكون أساسا من مزيج من تشكيلات الحجر الرملي الطيني، كما أن لها امتداد إقليمي الذي يغطي حوض الصحراء الشمالية ، وهي تمتلك خصائص هيدروديناميكية جيدة في منطقة تيميمون (الناقلية في نطاق 10^{-1} الى 10^{-2} م² / ثانية). و من الناحية الهيدروكيميائية تظهر هذه المياه درجة كبيرة من التشبع بالعناصر المعدنية (بمتوسط=1292 مع/ل) ، و درجة صلابة عالية (بمتوسط= $59,75^{\circ}$ F)، مع مستويات عالية من الصوديوم (بمتوسط=223مع/ل) الكلوريدات (بمتوسط=352مع/ل) والكبريتات (بمتوسط=372مع/ل) . كما أنها تصنف كمياه رديئة النوعية من ناحية قابلية استعمالها كمياه شروب، فهي على العموم تشكل خطر ضعيف من الناحية القلوية ($SAR < 10$) و لكنها تشكل نسبة خطر مرتفعة فيما يخص ملوحة التربة .و تعتبر سحنة كلوريد الصوديوم هي الغالبة ، وتتميز هذه المنطقة بتقنية قديمة لاستخراج المياه الجوفية و التي تعرف بـ " الفقارة " التي تعتبر مهددة بالاندثار (تدهور حالتها، غوران مياهها، وتدهور نوعية مياهها... الخ). و هذا يرجع في الأساس الى مشاكل الاستنزاف و سوء تسيير الموارد المائية على المستوى المحلي و الاقليمي ، و هذا ما يتطلب رؤية مستقبلية واضحة من منظور التسيير العقلاني و الرشيد من اجل تنمية مستدامة على المدى البعيد، و من اجل هذا تم اقتراح بعض التوصيات في هذا الصدد.

الكلمات المفتاحية : المتداخل القاري، الفقارة، الهيدروجيولوجيا، الهيدروكيميائية، تيميمون ، المنطقة الجافة ، الملوحة ، الواحة ، ...

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Contexte générale.

I.1. Cadre géographique et physique.....	2
I.1.1. Situation géographique.....	2
I.1.2. La géologie et la géomorphologie.....	3
I.1.2.1. La géomorphologie.....	3
I.1.2.2. La géologie Locale	3
A. La Litostratigraphique	4
A.1. Précambrien.....	4
A.2. Primaire.....	4
A.3. Le Secondaire (Mésozoïque).....	5
*) Le Crétacé inférieur.....	5
*) Crétacé supérieur.....	6
A.4. Le Tertiaire	7
A.5. Quaternaire	7
I.1.3. Tectonique.....	7
I.1.4. Conclusion	8
I.2. Climatologie.....	8
I.2.1. Introduction.....	8
I.2.2. Paramètres climatiques	8
I.2.2.1. La Température	8
I.2.2.2. Le vent	9
A. Pourcentage ou Fréquences des vent.....	9
B. La vitesse de vent	10
I.2.2.3. La précipitation	10
I.2.2.4. L'évaporation	11
I.2.2.5. L'humidité relative	11
I.2.3. Etude du climat.....	12
I.2.3.1. Les indices climatiques.....	12
A. Indice d'Emberger.....	12
I.2.3.2. Le régime thermique.....	13

A. Méthode Ombrothermiques	13
I.2.4. Bilan hydrique de Thornthwaite	13
I.2.5. Conclusion	15
I.3. Géophysique	16
I.3.1. Introduction.....	16
I.3.2. Carte des iso-résistivités	16
I.3.2.1. Carte de résistivité apparente en AB = 2000m.....	16
I.3.3. Conclusion	17

Chapitre II : Piézométrie et aspects hydrodynamique.

II.1 Etude hydrogéologique	18
II.1.1. Introduction.....	18
II.1.2 Système Aquifère du Sahara Septentrional	18
II.1.2.1. Cadre Hydrogéologique du Le Continental Intercalaire (CI).....	19
A. Exploitation du "CI"	20
II.1.2.2. Conclusion	20
II.1.3. La nappe du Continental Intercalaire dans la région de Gourara.....	20
II.1.3.1. Les exutoires	22
II.1.3.2. Géométrie de l'aquifère	22
A. Substratum du Continental Intercalaire.....	22
B. Carte des épaisseurs du Continental Intercalaire.....	23
II.1.3.3. Piézométrie	24
A. Esquisse piézométrique dans la région du Gourara (Timimoun, Tinerkouk).....	24
B. Niveau statique.....	25
II.2. Etude hydrodynamique	25
II.2.1. Pompage d'essai.....	25
II.2.1.1. Le but de pompage d'essai	25
A. Méthode de Jacob.....	26
A.1. Interprétation des courbes d'après la méthode de Jacob	27
A.2. Interprétation de carte du Transmissivité	29
II.2.2. Conclusion	31

Chapitre III : Etude Hydrochimique.

III.1. Généralités.....	32
III.2. Paramètres organoleptiques.....	34

III.3. Etudes des Paramètres physico-chimiques.....	34
III.3.1. Etude des Paramètres physiques.....	34
III.3.1.1. Température.....	34
III.3.1.2. Potentiels d'hydrogène (pH).....	35
III.3.1.3. Conductivité.....	35
III.3.1.4. Résidu sec.....	35
III.3.1.5. La Minéralisation.....	36
III.3.1.6. Dureté totale ou TH (Titre Hydrotimétrique).....	37
III.3.2. Etude des paramètres chimiques majeurs.....	38
III.3.2.1. Etude des cations.....	38
A. Calcium (Ca ⁺⁺).....	38
B. Magnesium (Mg ²⁺).....	38
C. Sodium (Na ⁺).....	39
D. Potassium (K ⁺).....	40
III.3.2.2. Etude Des Anions.....	41
A. Les Chlorures (Cl ⁻).....	41
B. Bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	42
C. Nitrates (NO ₃ ⁻).....	43
D. Sulfates (SO ₄ ⁻²).....	44
III.3.2.3. Balance ionique.....	45
III.4. Classification des eaux.....	46
III.4.1. Classification de STABLER.....	46
III.4.2. Diagramme de Piper.....	48
III.4.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	49
III.5. Etude des rapports caractéristiques.....	51
III.5.1. Rapport caractéristique (rMg ²⁺ /rCa ²⁺).....	53
III.5.2. Rapport caractéristique (rSO ₄ ²⁻ /rCl ⁻).....	53
III.5.3. Rapport caractéristique (rNa ⁺ /rMg ²⁺).....	53
III.6. Qualité des eaux d'irrigation.....	53
III.7. Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	56

LISTE DES FIGURES

Fig.01: Carte de situation de la zone d'étude.	03
Fig.02 : Coupe lithologique de Crétacé inférieur de la région d'étude (D'après P. LE FRANC, 1975).....	05
Fig.03 : Coupe lithologique de Crétacé supérieur de la région d'étude (D'après P. LE FRANC, 1975).....	06
Fig.04 : Carte géologique de région d'étude (Extrait de la Carte géologique de Timimoun 1/500 000 D'après P. LE FRANC, 1975).	07
Fig.05: Variation mensuelle-annuelle des températures.	09
Fig. 06: Rose des vents.	09
Fig. 07: variation du vent moyenne mensuelle.	10
Fig. 08 : variation de Précipitation moyenne mensuelle.	11
Fig.09: Humidité moyenne mensuelle de l'air.....	11
Fig. 11: Position de la région de Gourara dans le diagramme d'Emberger (1988-2010).....	12
Fig.10 : diagramme ombrothermique.	13
Fig.12 : Carte de résistivité apparente, avec un AB = 2000 m.....	16
Fig.13 : Extension des formations du SASS (UNESCO, 2003).	18
Fig. 14 : Carte hydrogéologique (AB) à travers le Sahara (UNESCO, 1972).....	19
Fig.15: Carte piézométrique de référence du (CI) (OSS, 2003).....	20
Fig.16 : Coupe lithologique de quelque forage dans la région de Gourara. (ANRH).	21.22
Fig.17 : Carte d'isobathe du Continental Intercalaire de la région d'étude.	23
Fig.18: Carte des épaisseurs du C.I (OSS, 2003).	23
Fig.19 : Carte piézométrique de la région d'étude.	24
Fig.20 : Carte niveau statique dans la région d'étude.	25

Fig. 21 : Courbes de la descente de forage TINERKOUK d'après Jacob.	27
Fig. 22 : Courbes de la descente de forage BENI MELOUK d'après Jacob.	27
Fig. 23 : Courbes de la descente de forage TAANTAS01 d'après Jacob.	28
Fig. 24 : Courbes de la descente de forage TAANTAS02 d'après Jacob.	28
Fig. 25 : Courbes de la descente de forage TAZLIZA d'après Jacob.	28
Fig. 26 : Courbes de la descente de forage TABELKOZA d'après Jacob.	29
Fig.27 : Courbes de la descente de forage MACINE D'après Jacob.	29
Fig. 28 : Carte des Transmissivités.....	30
Fig. 29 : Carte des Transmissivités en trois dimensions	30
Fig. 30 : la situation géographique de point d'eau dans la région de Gourara	34
Fig. 31 : Carte isoteneur en conductivité (en mS/cm, 2013).....	35
Fig. 32 : Carte isoteneur en Résidu sec (en mg/l, 2013).	36
Fig. 33 : Carte de minéralisation (en mg/l, 2013).	37
Fig. 34 : Carte d'isoteneur en Calcium (en mg/l, 2013).	38
Fig. 35 : Carte d'isoteneur en Magnésium(en mg/l, 2013).	39
Fig. 36 : Carte d'isoteneur en sodium(en mg/l, 2013).	40
Fig. 37 : Carte d'isoteneur en potassium(en mg/l, 2013).	41
Fig. 38 : Carte d'isoteneur en Chlorure (en mg/l, 2013).	42
Fig. 39 : Carte d'isoteneur en bicarbonate (en mg/l, 2013).	43
Fig. 40 : Carte d'isoteneurs en Nitrates (en mg/l, 2013).	44
Fig. 41 : Carte d'isoteneur en Sulfates (en mg/l, 2013).	45
Fig. 42.43 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de piper.	48.49
Fig.44.45.46 :Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkalof..	50.51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 : Tableau récapitulatif de la série du Carbonifère inférieur du bassin de Timimoune (D'après J. Conrad, 1984).....	04
Tableau n°2 : Les températures mensuelles.	08
Tableau n°3 : Les moyennes des fréquences des vents selon les huit directions (2000-2011)..	09
Tableau n°4 : Vitesse moyenne du vent.	10
Tableau n°5 : Pluviométrie mensuelle moyenne.	10
Tableau n°6 : L'humidité moyenne de l'air.	11
Tableau n°7 : Termes du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite, appliquée à la région de Gourara (période : 1988-2013).....	14
Tableau n°8 : La limite géographique de la zone d'étude.....	15
Tableau n°9 : Les résultats des différentes méthodes de pompage d'essai.....	26
Tableau n°10 : Résultats d'analyse physico-chimique des eaux.	33
Tableau n°11 : Qualité de l'eau en fonction du TH.	37
Tableau n°12 : Pourcentage d'erreur des analyses chimiques.	45
Tableau n°13 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe du continental intercalaire.....	47
Tableau n°14 : Calcul des rapports caractéristiques.	52
Tableau n° 15 : Classification de qualité des eaux en fonction des valeurs du S.A.R..	54

GLOSSAIRE

Adrar : mot d'origine berbère désigne la montagne ou un ensemble montagneux du Sahara.

Afrague : Le brise vent c'est un enchaînement des feuilles du palmier se trouve au milieu du jardin.

Aghisrou : Canal a ciel ouvert reliant l'émergence de la foggara et le peigne principale, recouvert de dalles de grès ou du ciment.

Djenane : jardin.

Ennfad : galerie drainante, reliant la ligne des puits,

Erg : massif de forme et d'extension variables, constitué de divers types de dunes.

Fouara : Bassin circulaire ou rectangulaire placé avant le peigne ce qui alimente le peigne et qui joue un rôle de protéger le peigne contre les déchets, et un rôle de dissipateur d'énergie pour diminuer la vitesse d'écoulement dans le majra, un autre rôle pour traverser les zones les plus basses que d'autre.

Hassi El-Aine : puits amont.

Kodiat : bute topographique.

Hassi: puits. glossaire

Louh ou chegfa : outil du jaugeage.

Medjra : canal de distribution.

Kasria : peigne ou répartiteur qui commande la répartition de l'eau.

Madjen : bassin du stockage des eaux dans les jardins, généralement d'une forme rectangulaire.

Nakhela : Appelé palmier qui représente la culture principale des oasis sahariens.

Oued : vallée ou cours d'eau.

Reg : surface caillouteuse (sédiments détritiques) des déserts qui a été débarrassée des éléments fins par le vent.

Sebkha : Marécage salé, parfois asséché, qui occupe le fond d'une dépression topographique et les lits des anciens oueds dans les régions désertiques et se déposent des évaporites.

Seguia El-kebi ra : canal de distribution principal, permet de conduire et distribuer l'eau de la sortie de la foggara dans les jardins.

ACRONYMES

ABH : Agence du bassin hydrographique.

ACP : Analyse de la composante principale.

ADE : Algérienne des eaux.

AEP : Alimentation en eau potable.

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.

BERGH : Bureau d'Etude et de Recherche en Génie civil et Hydraulique.

BHS : Bureau de l'hygiène et la santé.

BO : Bassin occidental.

CE : Communauté européenne.

CI : Continental intercalaire.

CT : Complexe terminal.

DE : Direction de l'environnement.

DEM : Direction des énergies et des mines.

DPS : Direction des planifications et des statistiques.

DR DASS : Direction Régionale et Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales.

DSA : Direction des services agricoles.

ERESS : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional.

Ieb : Indice d'échange de base.

INRA : Institut national de la recherche agricole.

IS : Indice de saturation.

MNT : Modèle numérique du terrain.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

ONM : Office national de météorologie.

OSS : Observatoire du Sahara du sahel.

RGPH : Recensement général de la population et de l'habitat.

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

SASS : Système aquifère du Sahara septentrional.

SAT : Surface agricole théorique.

SONATRACH : Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures.

SRU : Surface réellement utilisée.

SS : Sahara septentrional.

TDS : Total Dissolved Solid.

UNESCO : United nation education science culture and organization

Introduction générale

Introduction générale

Au cours de ces dernières décennies, la demande sur l'eau dans la wilaya d'Adrar a augmenté d'une façon importante suite à l'accélération du développement économique d'une part et la croissance démographique d'autre part. Et devant cette situation, les techniques traditionnelles du captage se trouvent incapables de satisfaire la demande croissante sur l'eau, ce qui a poussé les responsables de ce secteur de faire appel aux nouvelles techniques de captage.

D'après les prospections hydrogéologiques réalisées dans cette région, les réserves d'eau souterraine sont considérables, il s'agit de la nappe du Continental Intercalaire (ou nappe albienne). Cette nappe soutient toute sorte d'activité (activités agricoles, industrielles, et l'approvisionnement en eau potable).

Le but de ce mémoire est de présenter les résultats d'une étude hydrogéologique qui renferme une étude hydrochimique et hydrodynamique ; afin de mieux connaître les potentialités hydriques de notre secteur d'étude.

Pour cela, on se basera d'abord sur plusieurs façons à partir des données existantes : de l'ANRH (Agence nationale des ressources hydrauliques) d'Adrar, ainsi que les différentes directions de la wilaya : DHW (Direction de l'Hydraulique de la Wilaya),...etc. Nous ferons également appel à plusieurs disciplines scientifiques : la géologie, l'hydrodynamique, l'hydrochimie, quelques logiciels informatiques spécialisés afin d'interpréter les données et les résultats.

Afin de répondre à ces préoccupations et d'atteindre nos objectifs, cette étude est fondée sur les axes suivants :

- Une introduction générale présente la problématique et les objectifs du travail ;
- Chapitre I : Contexte générale que représente le Cadre géographique et physique: la situation géographique et la géologie, la géomorphologie de la région d'étude en générale et la géologie, basée surtout sur l'analyse litho stratigraphique, structurale et une étude climatologie, une étude géophysique.
- Chapitre II : Piézométrie et aspects hydrodynamique: étude hydrogéologique ressort que l'aspect hydrogéologique peut être détaillé pour les formations susceptibles d'être aquifères et les données fournies par les forages qui ont été exécuté dans la région d'étude et étude hydrodynamique contiennent des caractéristiques hydrodynamiques.
- Chapitre III : étude hydrochimique est basé sur l'étude des caractéristiques hydrochimiques de l'aquifère.
- finalement une conclusion générale qui résume les résultats atteintes de notre étude.

Chapitre I :

Contexte générale

I.1. Cadre géographique et physique :

En générale le cadre géographique représente l'orientation du secteur d'étude puis les limites physiques avec des cartes de situation géographique.

I.1.1. Situation géographique :

En plein cœur du Sahara algérien (Fig.01), la wilaya d'Adrar est située au sud-ouest du pays à plus de 1200 km d'Alger. Elle est située entre les méridiens : 2°E et 6° W, et les parallèles : 20° et 32° Nord. Sa superficie totale est de 427 368 Km², soit environ 18 % de la superficie globale de l'Algérie, près d'un cinquième du territoire national.

Issue du premier découpage administratif de l'année 1974, la wilaya d'Adrar est composée de 11 daïras et 28 communes, et 294 ksars.

La wilaya est découpée en quatre régions du Nord au Sud :

- le Gourara.
- le Touat.
- le Tidikelt.
- le Tanezrouft.

Elle est limitée :

- au Nord, par les wilayas de Bayedh et Ghardaïa.
- à l'Ouest, par la wilaya de Bechar et Tindouf.
- à l'Est, par la wilaya de Tamanrasset.
- au Sud, par la Mauritanie et le Mali.

La zone d'étude est la partie septentrionale de la wilaya d'Adrar. Elle correspond à ce que l'on qualifie à Adrar le « Gourara », il est constitué par 13 communes sous forme d'un ruban d'oasis, Cerné par :

- le Grand Erg occidental au Nord.
- le Touat et la Saoura à l'Ouest.
- le plateau de Tademaït au Sud et à l'Est.

La zone d'étude comprend les communes de Daïra de Timimoun et Tinerkoug est s'étend du Tinerkoug au Nord jusqu'à Timimoun au Sud, et de l'Erg el Mohammedi à l'Ouest jusqu'au Meguidene à l'Est. **Fig.01**

Les limites géographiques de la zone étudiée:

Longitude « E »	Latitude « N »
00°14'E et 00°44'E	29°10' et 29°43'N

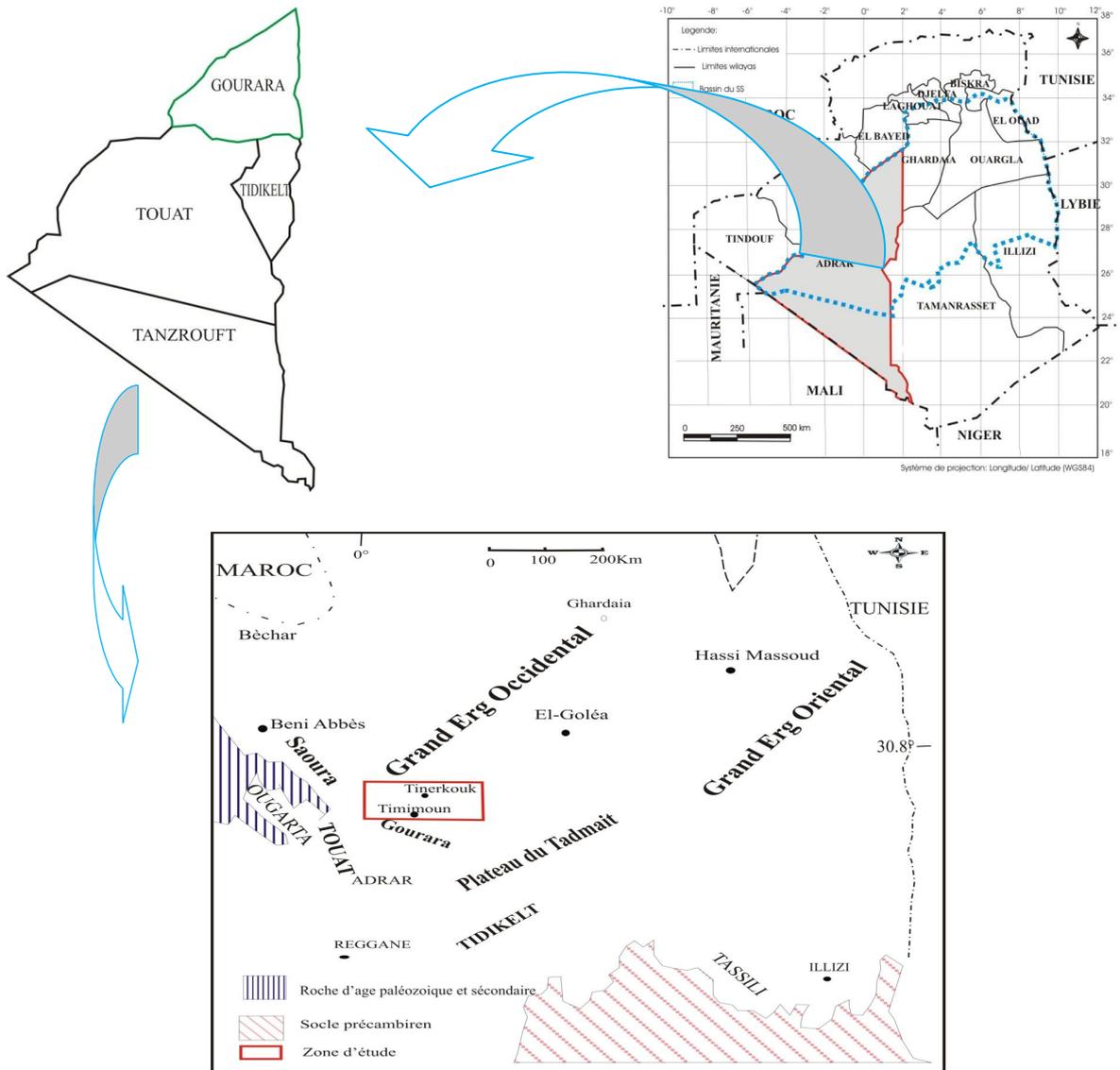


Fig.01 : Carte de situation de la zone d'étude (Mimouni 2012).

I.1.2. La géologie et la géomorphologie.

I.1.2.1. La géomorphologie :

La région d'étude est caractérisée par un relief saharien qui se caractérise par d'immenses zones sableuses, les ergs, couvertes de dunes en forme de croissant, des établissements caillouteux, les plateaux, les Hamada, les Sebkhia. Toutes ces formes ont été modelées au cours du Quaternaire ancien à l'actuel, suite aux phénomènes d'érosion intensives auxquelles la région était soumise.

I.1.2.2. La géologie Locale :

Dans la région de Timimoun la série paléozoïque repose en discordance sur un socle Protérozoïque (Conrad, 1984). Elle est surmontée par des dépôts Mésozoïque et Cénozoïque (Hammada et Erg) ; et est représentée au point de vue lithologique, la série sédimentaire du paléozoïque dans le bassin de Timimoun est présentée par d'épaisses séries caractérisées par d'importantes variations d'épaisseurs et de faciès.

Au cours du carbonifère inférieur, le bassin de Timimoun enregistre une transgression marine (Conrad, Pareyn et Weyant, 1970), suivie par une régression au "carbonifère moyen" (Metchnikoff, 1935-1949). Le Tournaisien est essentiellement argilo-gréseux et parfois intercalé par des passées calcaires fossilifères. Ce dernier est marqué par une formation dénommée la formation des "Grès supérieurs de Kahla". Le Viséen montre une sédimentation argileuse carbonatée à quelques bancs de grès et de silts (Conrad, 1984, Conrad et *al*, 1985 et Legrand-Blain, 2002).

A. La Litostratigraphique :

Notre région d'étude fait partie du bassin de Timimoun dont les grands traits de la géologie et particulièrement stratigraphie sont :

A.1. Précambrien : Les terrains d'âge précambrien apparaissent au coeur des anticlinaux dans la couverture sédimentaire, sous forme de boutonnières (CHIKHAOUI, 1974). Ils sont représentés par un ensemble de formations volcaniques et volcano-détritiques (CHIKHAOU & DONZEAU, 1977).

A.2. Primaire : Les formations Primaires dans la région du Gourara sont représentées du Carbonifère par le tableau n°1 suivant :

AGE	ETAGE	FORMATION	LITHOLOGIE
CARBONIFÈRE	VISÉEN SUPERIEUR	CALCAIRE DE TALA	Alternance d'argiles, parfois calcaires dolomie brune et de fines passées de siltstone argileux calcaire à Encrices.
		GRÈS D'ARHLAD	Grès quartzitique, dolomitique parfois carbonaté
		ARGILES SUPÉRIEURES DE TIMIMOUN	Argiles grise avec passées de dolomie et de siltstone trace de calcaire et de pyrite
	VISÉEN INFÉRIEUR	GRÈS DE RHNET	Grès fins localement glouconieux avec fines passées d'argile et de siltstone et de dolomie
		ARGILES INFÉRIEURES DE TIMIMOUN	Argiles gris fonce, localement charbonneuse avec passées de grèsde calcaire et de dolomies brune, fossilifère. A la base un banc de calcaire (correspondant probablement à la «dalle à Mérocanites»
TOURNAISIEN	GRÈS SUPÉRIEUR DE KAHLA	Alternance de grès fins, siliceux à silico-quartzitique, de siltstone et d'argile verte à gris fonce, fossilifère	

Tab n°1 : Tableau récapitulatif de la série du Carbonifère inférieur du bassin de Timimoune (D'après J. Conrad, 1984).

A.3. Le Secondaire (Mésozoïque) : On distingue dans le Secondaire deux ensembles lithostratigraphiques qui sont représentés par :

***) Le Crétacé inférieur :** Le Crétacé inférieure est constitué essentiellement par des formations suivant :

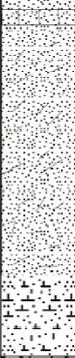
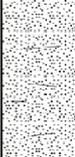
Age	Etages	Colonne	Formation	Description lithologique
Crétacé inférieur	Albien		Sable de Samani	Formé des sable à vertébrés et lité. Ce sont des sables fins à très fins avec intercalation de banc d'argiles plus ou moins épais (2 à 10)
			Sable et quartzite du Méguidène	Sable à grés quartzitique avec quelque fin passé d'argiles rouge
	Aptien		Gravier d'Oumrad	
			Argile d'ElFeiza	Constitue par des argiles sableuses rouge à intercalation sableuses d'épaisseur de 15m et des argiles compactes parfois gypseuses d'épaisseur de 5m
	Barrémien inférieur		Sable d'Ouadjda	Ces sables constituent par un succession de grés tendre fins et moyens , beiges et rougeâtres
			Argile de Rheilar	Ce sont des argiles plus ou moins sableuses
			Sable de toubchirine	Ce sont des sables fins et très fins de couleur rougeâtres avec une faible perméabilité

Fig. 02 : Coupe lithologique de Crétacé inférieur de la région d'étude

(D'après P. LE FRANC, 1975).

*) Crétacé supérieur :

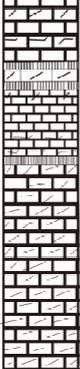
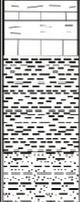
Age	Etages	colonne	Formation	Description lithologique
Crétacé supérieur	Sénonien		Calcaire d'Ain el-Hadjadj	Calcaires dolométique à silex avec des bancs siliceux à algues.
			Argile d'Ain-Mezzer	Argiles à gypses d'épaisseur important avec queleque bancs des calcaires à silex rubané
			Grès d'In Belbel	Grès peut compacté d'épaisseur moins important
			Argiles	C'est l'argiles à Esthésieset des calcaires à silex
	Turonien		Dalle turonienne	Calcaires blancs d'épaisseur moins importance
			Calcaire	Calcaires dolométiques blancs à Vascoceras, Hoplite
	Cénomannien		Calcaires à Neolobites	Calcaires dolométiques blancs crème à Neolobites , Exozyra, oursins avec d'épaisseur important.
			Argile d'ElGoléa	argile à gypse avec des sable

Fig. 03 : Coupe lithologique de Crétacé supérieur de la région d'étude (D'après P. LE FRANC, 1975).

I.2. Climatologie.

I.2.1. Introduction :

L'étude climatologique a été réalisée sur les données disponibles au niveau d'ONM de Timimoun, qui est en fait la plus représentative de notre zone d'étude «Gourara», et qui présente une série de données de précipitation assez longue. En plus on s'intéressera à deux autres stations, celle d'Adrar et d'Ain Saleh afin de mieux apprécier le climat de toute la wilaya.

La synthèse climatologique a été faite sur une période de 26 ans (1988-2013), pour : la température, l'humidité, les précipitations, vitesse du vent, et l'évaporation.

I.2.2. Paramètres climatiques.

I.2.2.1. La Température :

La température est un facteur fondamental, elle varie généralement en fonction de l'altitude et l'éloignement par rapport à la mer. Ce facteur devient plus important quand il est en interaction avec d'autres facteurs climatiques.

Le tableau n°2 regroupe les températures moyennes mensuelles et annuelles (max, min, moy) en °C, pour une période de 26 ans, allant de 1988-2013.

Tableau n°2 : Les températures mensuelles. (ONM de Timimoun, 1988-2013).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	moyen
(T°C)Min	4,6	7,7	11,5	15,6	19,2	24,3	27,5	27,4	24	17,6	11	5,5	16,32
(T°C)Max	21,8	25,2	30,6	34,8	37,7	43,9	47,5	46,2	42,8	35,3	29,1	25,2	35,00
(T°C)Moy	13,2	20,3	21,05	25,2	28,45	34,1	37,5	36,8	33,4	26,45	20,05	15,35	25,98

La température moyenne annuelle pour un climat aride comme celui de Gourara n'a pas une grande signification. Les plus intéressantes sont les températures moyennes mensuelles.

La moyenne annuelle, calculée à partir des moyennes mensuelles, est de l'ordre de 25,98 °C.

D'après les courbes des variations (fig.05), il ressort que janvier est le mois le plus froid avec 13,2 °C de moyenne tandis que le mois de juillet est le plus chaud avec 37,5°C.

Le climat de la région de Gourara est caractérisé par deux saisons :

- une saison froide relativement courte caractérisée par des nuits hivernales très froides. C'est la saison de germination des plantes, elle s'étend d'octobre à avril.
- une saison chaude qui s'étend du mois de mai jusqu'à septembre.

La variation brusque de la température est due à l'influence des caractéristiques géographiques et les masses d'aire tropicale continentale.

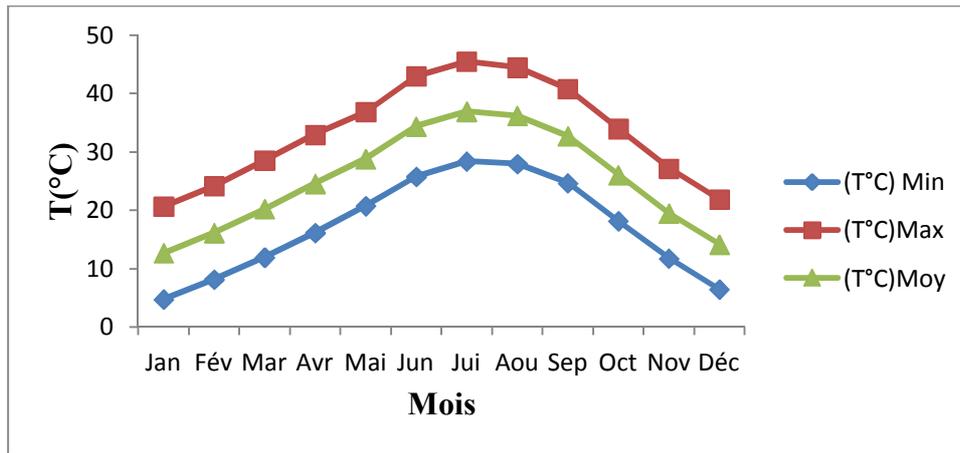


Fig. 05 : Variation mensuelle-annuelle des températures (ONM de Timimoun1988, 2013).

I.2.2.2. Le vent.

A. Pourcentages ou Fréquences des vents : Dans la région de Gourara, la fréquence du vent est très grande et cela durant toute l’année. 6%des vents ont une vitesse inférieure à 0.001m/s (calme), cette fréquence est calculée selon les huit directions qui sont représentées sur le tableau n°3.

Tableau n°3: Les moyennes des fréquences des vents selon les huit directions (2000-2011).

Direction	Nord	Nord-Est	Est	Sud-Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest
Fréquence%	17	25	14	7	11	8	7	5

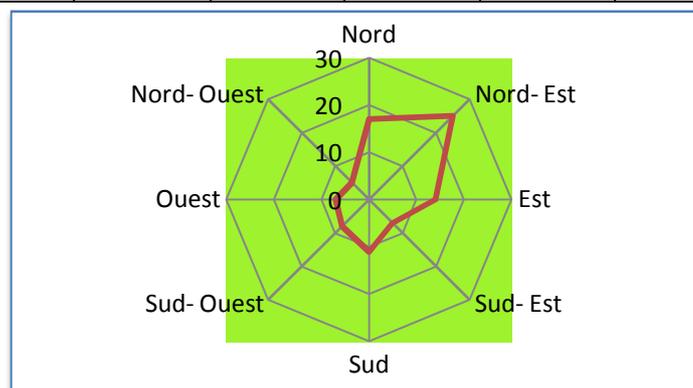


Fig.06 : Rose des vents (ONM de Timimoun, 2000 – 2011).

Les vents de direction Nord-est sont généralement les plus dominants avec une fréquence équivalente à 25% (Fig.06). La fréquence de la direction Est est de 14% et la fréquence de la direction Sud est de 11%.

B. La vitesse de vent : Le vent est l’un des facteurs les plus importants caractérisant le climat de la région, car il a une influence directe sur les températures, l’humidité et augmente l’évaporation.

Le tableau suivant présente les moyennes mensuelles de la vitesse du vent pour la période 1988-2013.

Tableau n°4 : Vitesse moyenne du vent (ONM de Timimoun, 1988-2013).

MOIS	Jan	Fév	Mar	Av	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
V (km/h)	22,2	23,1	24,88	24,9	25,10	23,4	24,91	24,02	22,75	21,45	19,88	20,55

Le vent dominant à Gourara se caractérise par une vitesse moyenne variante entre 19.88 Km/h et 25.10 Km/h, d'après la (fig.07) nous remarquons que le printemps (Mars, Avril, Mai) est caractérisé par un vent à grande vitesse.

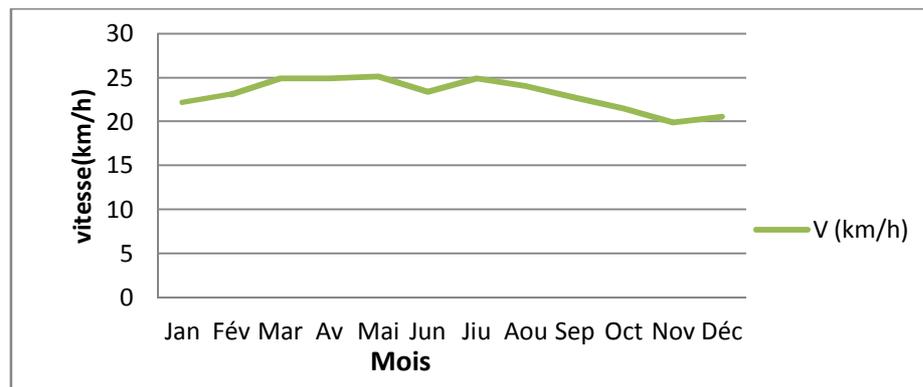


Fig.07 : variation du vent moyenne mensuelle (ONM de Timimoun, 1988-2013).

I.2.2.3. La précipitation :

Par définition, c'est la quantité d'eau recueillie dans un pluviomètre pendant 24 heures quelque soit la nature de cette eau (pluie, neige... etc).

La région de Gourara ou la région d'Adrar en générale se caractérise par la rareté des précipitations, ce qui rend les sols de la région sans cohésion, avec une mauvaise consistance et sans couvert végétal.

Il y a des années où il pleut pendant plusieurs jours, par contre il arrive que pendant plusieurs années ne tombe aucune goutte de pluie.

Tableau n°5 : Pluviométrie mensuelle moyenne (ONM de Timimoun, 1988-2013).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
P (mm)	4,98	1,22	4,03	3,65	1,55	1,02	0,55	2,9	2,4	3,9	2,08	0,85	29,82

A partir des valeurs du tableau ci-dessus, nous constatons que la région du Gourara est caractérisée par une très faible précipitation, qui oscille entre 0.55 mm en juillet et 4.98 mm en janvier, cette quantité d'eau est insuffisante pour répondre aux besoins des végétaux, donc le recours à l'irrigation est obligatoire.

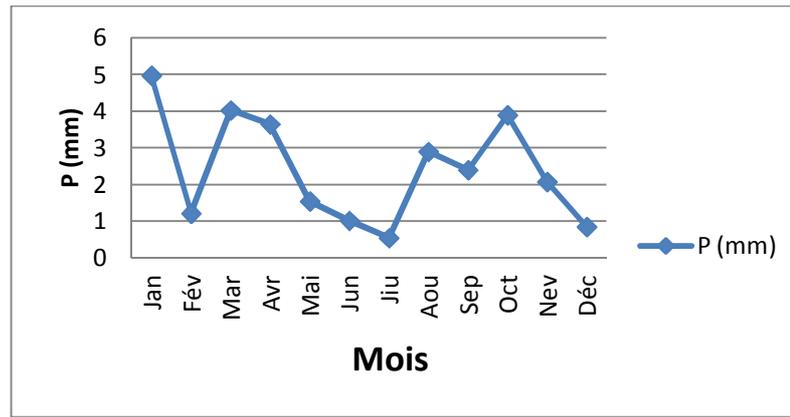


Fig.08 : variation de Précipitation moyenne mensuelle (ONM de Timimoun, 1988-2013).

D'après la (fig.08), nous pouvons constater que la région d'étude est caractérisée par deux périodes bien distinctes. La période la plus courte, c'est-à-dire celle relativement pluvieuse, dont le mois le plus pluvieux est celui de Janvier (4.98mm), tandis que la période la plus longue (période sèche) s'étale sur le reste de l'année, dont le mois le plus sec est celui de Juillet (0,55mm).

I.2.2.4. L'évaporation : La quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, la vitesse du vent,etc

I.2.2.5. L'humidité relative : L'humidité relative représente le taux en (%) de vapeur qui existe réellement dans l'air et l'extrême intensité de vapeur que l'air peut porter.

Tableau n°6 : l'humidité moyenne de l'air. (ONM de Timimoun, 1988-2013).

Mois	Jan	Fév	Mas	Avr	Mai	Jun	Jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
H (%)	37,9	31,2	25,7	21,35	19,75	16,2	14,4	16,6	21,7	29,2	36,2	43,9	26,175

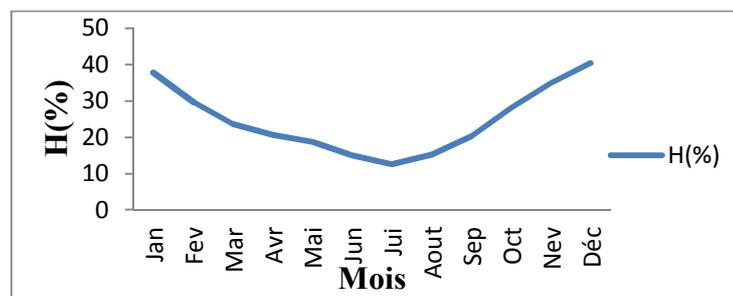


Fig.09 : Humidité moyenne mensuelle de l'air (ONM de Timimoun, 1988-2013).

A partir de (Fig.09) et les résultats enregistrés dans le tableau précédent, nous constatons que l'humidité atmosphérique maximum est celle d'hiver qui atteint 43,9 % le mois du Décembre, cependant elle atteint son minimum en été avec 14,4% le mois du juillet.

On constate donc un taux d'humidité inférieur à 50 % durant toute l'année, cela nous renseigne sur l'aridité extrême de l'atmosphère, ce qui augmente l'évapotranspiration, et donc un besoin d'eau des végétaux .le déficit en eau est apporté par irrigation.

I.2.3. Etude du climat : Les températures et les précipitations constituent les éléments majeurs qui régissent le climat d'une région.

I.2.3.1. Les indices climatiques.

A. **Indice d’Emberger** : Cet indice permet de déterminer l’étage bioclimatique de la zone étudiée, deux paramètres sont pris en considération :

- la pluviométrie moyenne annuelle (P) ;
- la température : la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minima du mois le plus froid (m).

La formule d’Emberger est la suivante : $Q = 2000 P / (M^2 - m^2)$. $Q=3.58$

Q : Quotient pluviométrique d’Emberger.

M : Température moyenne maxima du mois le plus chaud en °K: $M = 323,73^{\circ}\text{K}$

m : Température moyenne minima du mois le plus froid en °K: $m = 273,98^{\circ}\text{K}$

P : Précipitations moyennes annuelles en mm : $P = 29,82\text{mm}$

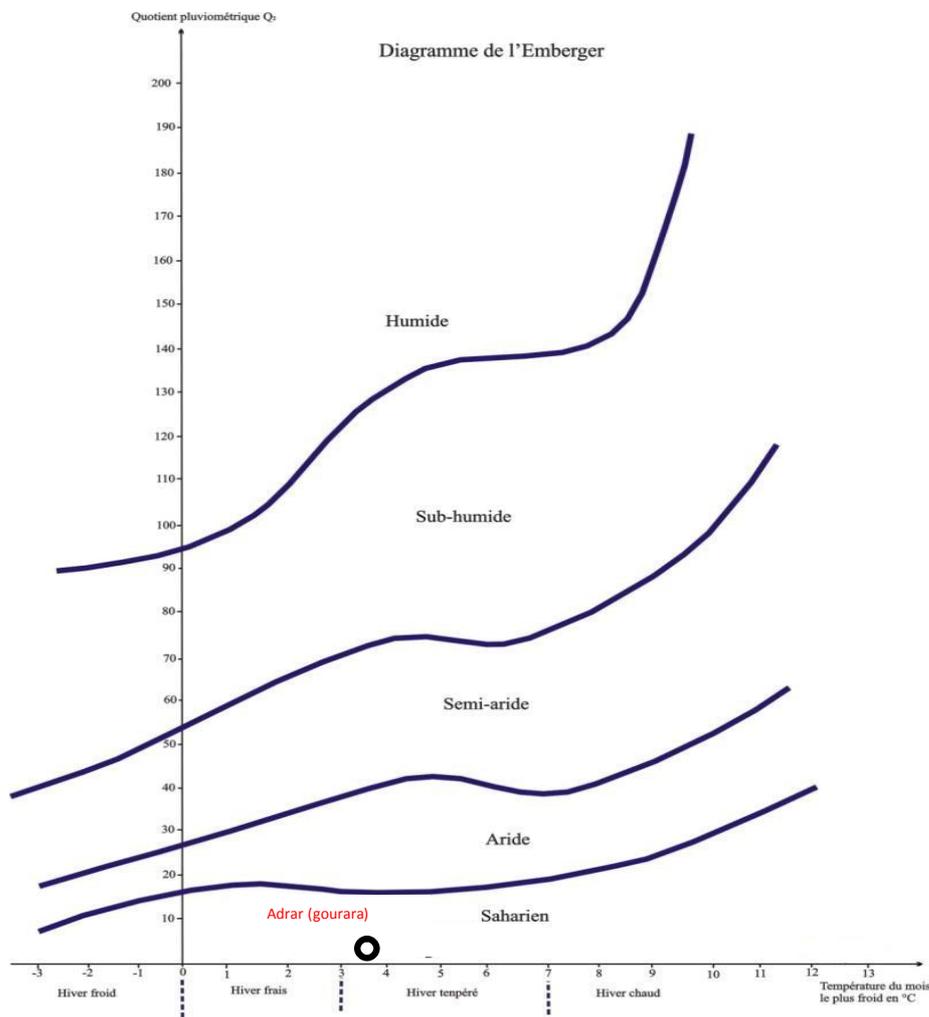


Fig.10 : Position de la région de Gourara dans le diagramme d’Emberger (1988-2013).

Selon le diagramme pluviométrique d’Emberger (Fig.10), le coefficient d’Emberger égal à 3.58 situe la région de Gourara dans l’étage bioclimatique saharien à hiver tempéré.

I.2.3.2. Le régime thermique.

A. **Méthode Ombrothermiques** : Un mois sec se définit, selon (Bagnouls et Gausse, 1953, 1957) comme celui ayant un total pluviométrique (moyenne en millimètres) inférieur ou égal au

double de la température ($P \leq 2T^\circ$). Ainsi, nous constatons que la saison sèche est formée par plusieurs mois secs consécutifs. Le diagramme de Gausse (fig.11) permet de mettre en évidence une saison sèche qui s'étale sur tous les mois de l'année. Le bilan par conséquent hydrologique de notre région d'étude est déficitaire durant toute l'année.

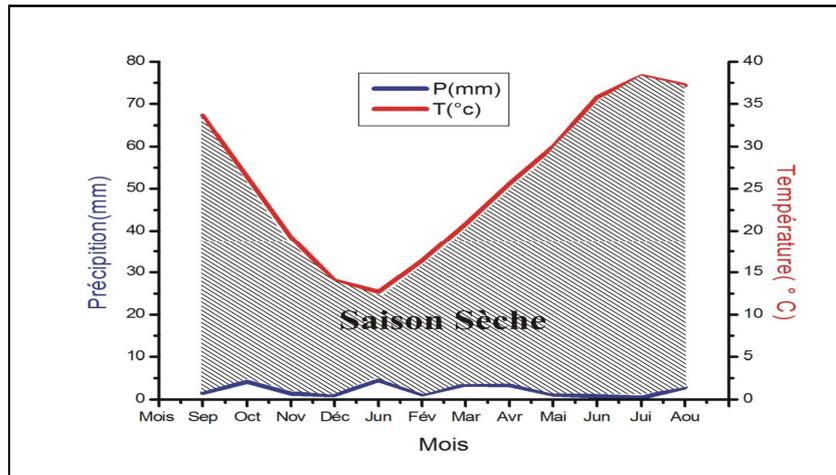


Fig.11 : diagramme ombrothermique.

I.2.4. Bilan hydrique de Thornthwaite : La méthode de Thornthwaite consiste à dresser un tableau (n°7) où sont représentés les éléments du bilan hydrologique. Ces paramètres sont les suivants :

P : précipitation moyenne et mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

ETP : évapotranspiration potentielle corrigée (mm).

Ce principe de calcul est basé sur deux cas:

- Premier cas : Si $P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$.

- Deuxième cas : Si $P < ETP$

- si $P_i + RFU_{i+1} > ETP \rightarrow ETR = ETP$.
- si $P_i + RFU_{i-1} < ETP \rightarrow ETR = P_i + RFU_{i-1}$

Pour calculer l'ETR deux cas sont considérés :

- Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP ; l'ETR est égale à l'ETP et on a alors un excédant en eau ;

- Si les précipitations du mois sont inférieures à l'ETP le sol restitue l'eau emmagasinée jusqu'à l'épuisement des réserves. Cette réserve se calcule par la formule de J.RICHARD, le stock épuisé, $ETR=P$. comme $ETR > P$.

Chapitre I : Contexte générale.

Mois	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun.	Juit	Aou	Sep	Oct	An
P (mm)	2.08	0.85	4.98	1.22	4.03	3.65	1.55	1.02	0.55	2.9	2.4	3.9	29.82
ETP	35.86	16.69	11.15	35.9	47.09	81.27	125.14	206.85	277.46	249.83	173.52	85.26	1346.02
Variation De RFU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	/
Ru	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
ETR	2.08	0.85	4.98	1.22	4.03	3.65	1.55	1.02	0.55	2.9	2.4	3.9	29.82
Déficit	33.8	15.8	6.17	34.7	43.06	77.6	123.6	205.8	276.9	246.9	171.12	81.3	1316.2
EX	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Écoule	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Tableau n°7: Termes du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite, appliquée à la région de Gourara (période : 1988-2013).

A partir de tableau précédent que représente le bilan hydrique, on constate la valeur maximum de P (mm) est 4,98mm au la période de mois janvier et 1.02Km c'est la valeur minimum de P (mm) en juin et selon les résultats obtenu le réserve ultime et l'excédant puis l'écoulement sont nulle à cause de la précipitation et inférieur de ETP ; donc on dit que notre saison est sèche.

I.3.Géophysique.

I.3.1. Introduction :

L'étude géophysique a pour objectif principal de déterminer la géométrie et la nature des aquifères, et de déterminer avec précision la présence des accidents et des structures tectoniques.

Dans ce contexte, une étude géophysique a été réalisée dans une zone située à 20 Km environ au Nord-est du chef lieu de la daïra de Timimoun, elle s'étend le long de la route BADRAINE – Ksar Kadour. Les limites géographiques de la zone étudiée sont présentées sur le tableau n°8 suivant :

Tableau n°8 : La limite géographique de la zone d'étude :

Bornes	Longitude	Latitude Nord	Superficie
A	00° 19' 46"	29° 25' 46"	168Km ²
B	00° 23' 36"	29° 20' 12"	
C	00° 31' 02"	29° 23' 40"	
D	00° 27' 25"	29° 29' 17"	

La méthode utilisée est la méthode des sondages électriques verticaux. Pour cela nous disposons de 56 sondages électriques (NE-SW) qui ont été réalisés pour une longueur maximum de 2000m. Ces sondages sont disposés selon 7 profils longitudinaux et 11 profils transversaux.

I.3.2. Carte des isorésistivités :

Pour mieux visualiser les variations de la résistivité des formations aquifères et leur extension horizontale, l'utilisation des cartes d'iso résistivité est indispensable.

Les cartes de résistivités obtenues sont utilisées pour la longueur AB :

- longueur AB = 2000 m

I.3.2.1. Carte de résistivité apparente en AB = 2000m :

La carte (Fig.12) montre :

- Une zone de résistivité comprise entre 40 et 100 ohms m, qui correspond aux grès fins, grès sableux, sables et graviers du Crétacé inférieur conducteur.
- Une zone résistante, elles se trouvent au NW du secteur étudié, où les résistivités sont comprises entre 200 et 500 ohms m, elle correspond aux grès durs et grès à concrétions sphéroïdes

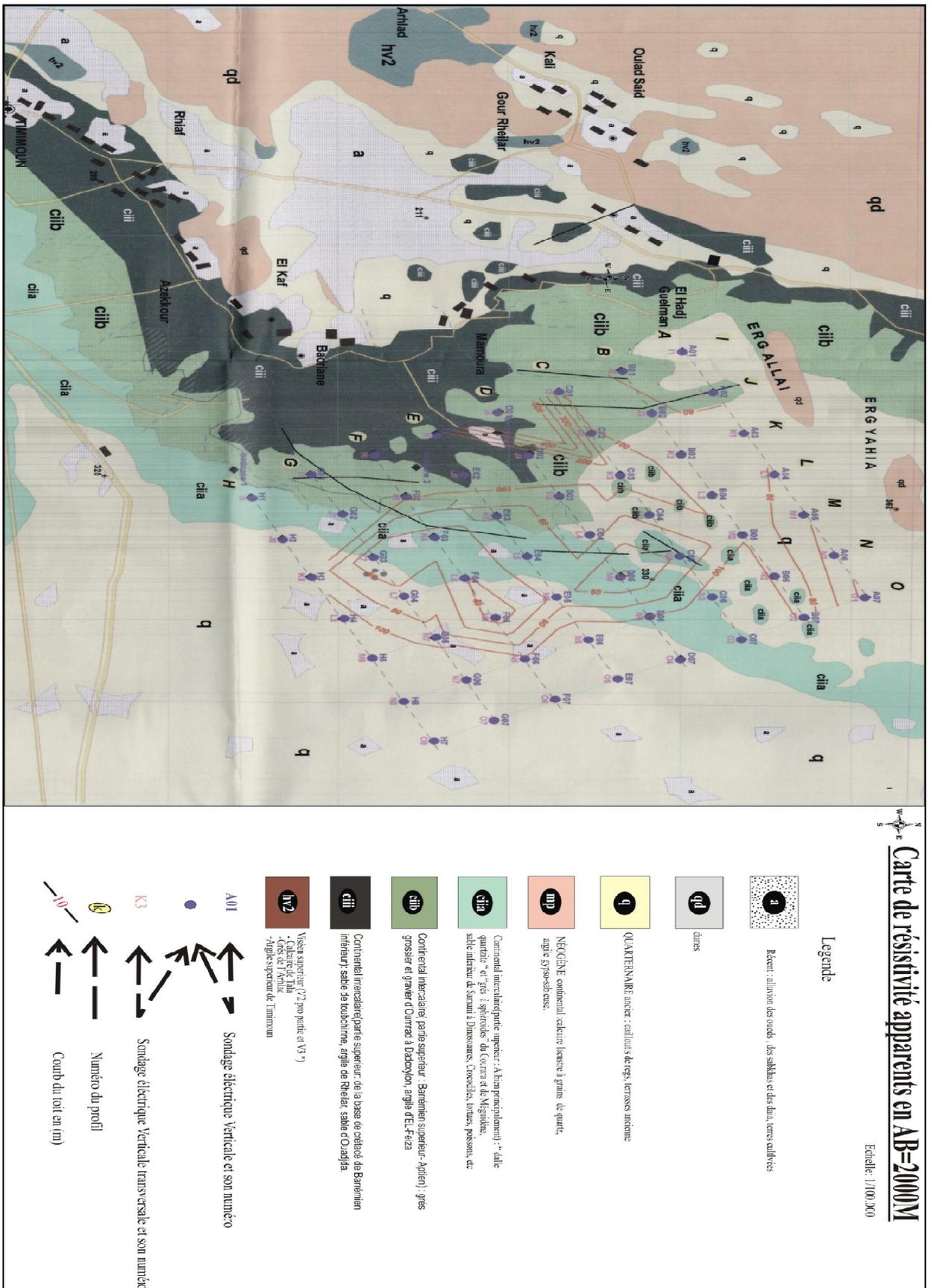


Fig12 : Carte de résistivité apparente, avec un AB = 2000 m
(Bureau d'étude et Réalisation en Génie Civil et Hydraulique).

Conclusion

L'étude géologique de notre région nous a permis de constater qu'elle est essentiellement constituée par des séries sédimentaires allant du Paléozoïque qui repose sur un socle Protérozoïque au Quaternaire ; ces séries sont surmontées par des dépôts mésozoïques et cénozoïques

Le crétacé inférieur ou Continental Intercalaire est en grande partie gréseux qui s'intercale entre la série paléozoïque et la série marine du Crétacé supérieur formé d'argiles, de calcaires et de grès.

Le Tertiaire continental rattaché au Néogène est formé par des dépôts détritiques (calcaire, sable grossier et bois silicifié), d'épaisseur réduite, il repose directement sur le Continental.

Le climat de la région se caractérise par une sécheresse permanente et une aridité nettement exprimée par des températures très élevée avec une moyenne annuelle de l'ordre de 25.98 °C, avec des étés chauds et des hivers rigoureux. Les températures extrêmes sont de l'ordre de 47,5 °C. Les précipitations sont quasi nulles avec une moyenne annuelle de l'ordre de 29.82 mm /an, elles se caractérisent par leurs grandes variabilités interannuelles. Le taux humidité est très faible. Le taux d'évaporation est intense. La fréquence des vents est très importante durant toute l'année. On remarque que la vitesse du vent est généralement supérieure à 0.003 Km/s.

L'évapotranspiration potentielle calculée par la formule de THORNTHWAITE nous donne 1326.02mm pour la période (1988-2013).

Ces conditions climatiques qui caractérisent notre région laissent penser que le taux d'alimentation de la nappe du Continental Intercalaire par infiltration directe des précipitations dans notre secteur est quasiment nulle (sauf dans les périodes des pluies exceptionnelles, où une faible quantité d'eau rejoint la nappe), donc l'alimentation de l'aquifère du continental intercalaire se fait dans des zone plus lointaines (Atlas saharien, plateau du Tademaït) ce qui a été prouvé et évalué par les études de l'UNESCO et l' OSS.

Notre but d'entamer cette étude géophysique est en fait d'apporter des confirmations sur le comportement hydrogéologique des formations de la région d'étude.

Elle nous a permis de mettre en évidence :

- Les formations du Crétacé inférieur (continental intercalaire) qui affleurent largement dans notre région. Elles sont constituées essentiellement d'un faciès grés-argileux (grès, argiles, sables et graviers à divers proportions). Ces formations renferment une importante nappe libre, qui constitue la principale ressource en eau de la willaya d'Adrar ;
- Les différents horizons rencontrés, surtout le Crétacé inférieur, présentent des valeurs de résistivités variables, seuls ceux < 100 ohms m sont susceptibles de constituer des bons aquifères potentiels.

Chapitre II :

Piézométrie

et

aspects hydrodynamique

II.1 Etude hydrogéologique.

II.1.1. Introduction :

Ce chapitre a pour but d'orienter de façon rationnelle et économique l'exploitation des ressources en eau dans notre région d'étude.

Nous nous sommes basés sur des données existantes au niveau de l'A.N.R.H d'Adrar et des travaux de l'OSS 2003(Observatoire du Sahara du sahel) et l'UNESCO (1972), et tout particulièrement sur la synthèse des différents logs lithostratigraphiques des forages, et nous avons utilisé la carte géologique du bassin Mésozoïque du Sahara Algéro-Tunisienne et de ses abords à l'échelle de 1/ 2 000 000 (1967) dressée par BUSSON pour bien montrer l'extension latérale de l'aquifères et de son substratum.

Enfin, une étude piézométrique et l'interprétation des pompages d'essai, devraient servir à bien caractériser le fonctionnement de l'écoulement du réservoir aquifère, ainsi que la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère du Continental Intercalaire

II.1.2 Système Aquifère du Sahara Septentrional :

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (fig.13), est partagé entre l'Algérie, la Libye et la Tunisie, il couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 60 % se trouve en Algérie, 30 % en Libye et 10% en Tunisie et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'à l'affleurement du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

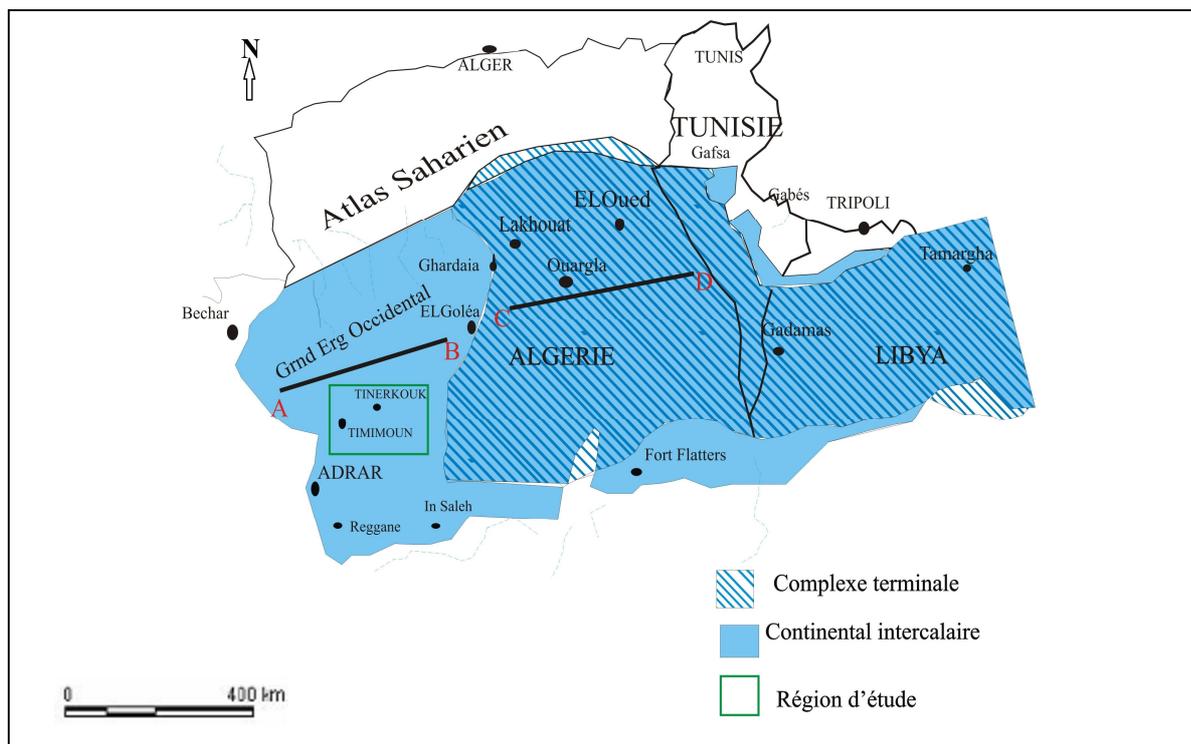


Fig.13 : Extension des formations du SASS (UNESCO, 2003).

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

II.1.2.1. Cadre Hydrogéologique du Continentale intercalaire(CI) (fig.14) :

C'est la formation hydrogéologique perméable la plus étendue, avec des matériaux meubles (sables-gréseux et argiles-sableux) d'âge Crétacé inférieur. Elle peut comprendre des séries plus anciennes du Jurassique et du Trias.

Le mur de la nappe Continentale intercalaire est constitué des formations sédimentaires (argileuses, argilo-sableuses ou carbonatées). On distingue au Sud et Sud-ouest une discordance sur les terrains du Dévonien, mais remarquons en remplacement le Paléozoïque(Dévonien) par le Crétacé inférieur(Néocomien) ou le Jurassique supérieur (Malm) au Nord - Est de la dorsale du M'Zab. Le Jurassique supérieur constitue le mur de la nappe dans toute la partie centrale, de Hassi-Messaoud jusqu'aux grands Chotts.

Le toit de la nappe du Continentale intercalaire est constituée par des formations argileuses du Crétacé supérieur (Cénomaniens) et les sables des ergs. Au Nord-Ouest vers l'Oued Saoura, le Cénomaniens est totalement érodé. Au l'Ouest et au Sud, le Continentale intercalaire affleure largement dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt.

La nappe du Continentale intercalaire s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'au Nord des Tassilis du Hoggar et d'Est en Ouest depuis la Saoura, jusqu'à la Hamada El Hamra (désert de Lybie), ce réservoir a un volume considérable dû à la fois à son extension sur tout le Sahara Septentrional (600.000 km²).

La dorsal de M'Zab subdivise la nappe du Continentale Intercalaire en deux bassins, oriental et occidental. La région du Gourara est située dans le bassin occidental. La nature lithologique des terrains constituant le réservoir est assez uniforme, Les épaisseurs totales de ce réservoir dépassent 250 m dans la plus grande partie du Système Aquifère du Sahara Septentrional(SASS). Elles atteignent 1000 m au Nord-Ouest (Ouest de Ghardaïa) et au Centre (Ouest de la dorsale primaire d'Amguid), et sont érodées dans la dépression du Gourara jusqu'à laisser affleurer les séries primaires dans la sebkha de Timimoun.

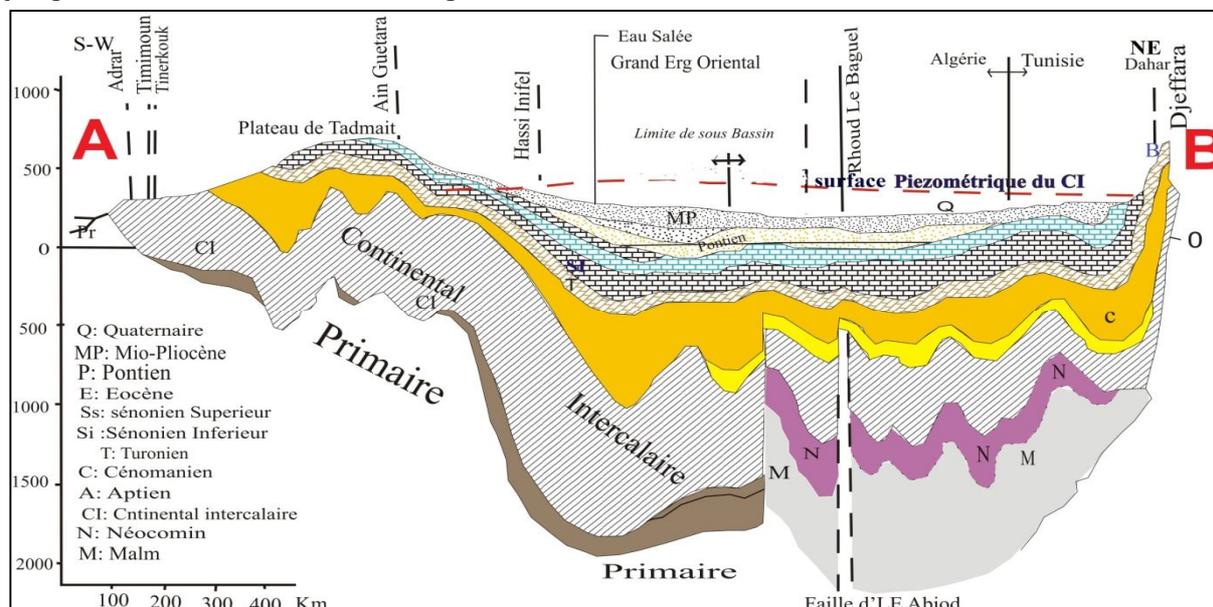


Fig.14 : Coupe hydrogéologique (AB) à travers le Sahara (UNESCO, 1972).

La nappe du "CI" est libre dans les zones d'affleurement, captive non jaillissante sous le Grand Erg Occidental, le M'Zab, le Tademaït, le Grand Sud Tunisien et la Hamada El Hamra, fortement artésienne jaillissante (avec des températures élevées) sur tout le domaine Oued Rhir, Souf, Djérid, Grand Erg Oriental et Chott Fedjaj. (Fig.15)

Les eaux souterraines individualisées dans sa partie Septentrional :

-Au nord, par la nappe libre du grand Erg Occidental, limitée à l'ouest par l'oued Saoura, circule depuis l'atlas saharien.

-A l'ouest, elles passent dans les formations Tertiaires qui constituent les terrasses de la Saoura.

-Au sud, dans la région du Gourara elles jaillissent graduellement dans la nappe du Continental intercalaire.

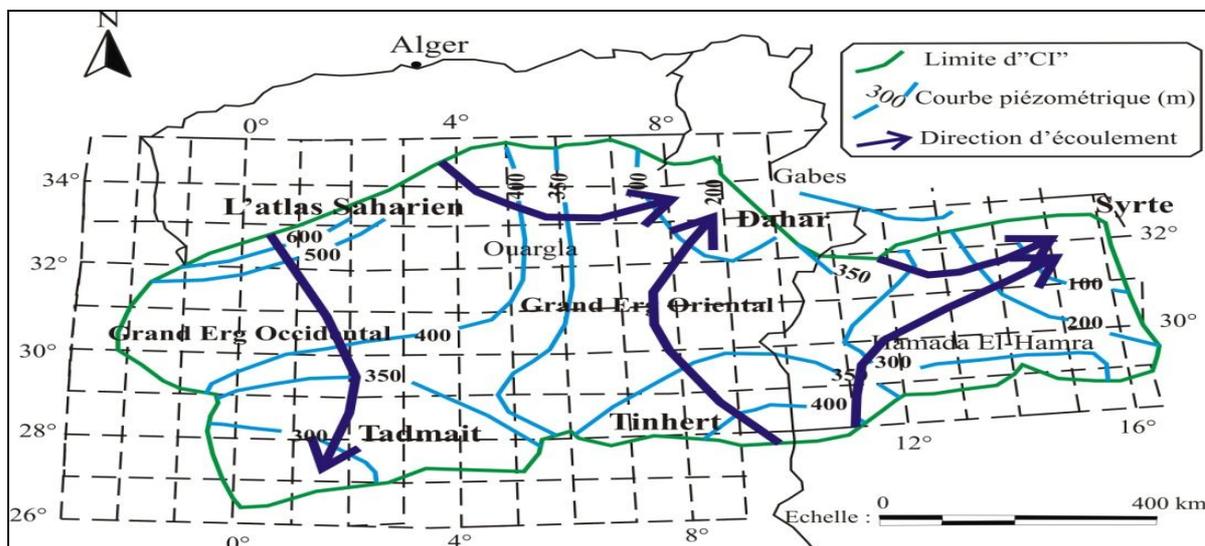


Fig.15 : Carte piézométrique de référence du (CI) (OSS, 2003).

A. Exploitation du "CI" :

L'exploitation du "CI" s'est effectuée, depuis longtemps, par le système traditionnel des foggaras, introduit sur les rebords occidentaux et méridionaux du Tadmait dès le vingtième siècle.

II.1.2.2 .La nappe du Continental Intercalaire dans la région de Gourara :

Les aquifères profonds ont des configurations géométrique et géologique complexes, comprenant souvent plusieurs formations aquifères, dans ce cas on utilise le terme de « le système aquifère ». Donc l'aquifère du continental intercalaire fait partie du système aquifère du Sahara septentrional. Il sollicite la principale nappe dans la région.

Notre zone d'étude est située sur la partie aval (affleurements des formations du CI) de l'aquifère où la nappe est libre, alors que la partie amont est confinée, ce qui induit des comportements hydrodynamiques et géochimiques différents.

Cet ensemble comprend majoritairement les formations continentales grés-argileuses du Crétacé inférieur, qui affleurent largement dans la région de Gourara, auxquelles l'étude des coupes de forages a permis d'associer des sédiments marins ou lagunaires, post-paléozoïques et antécénomaniens intercalés au sein du CI. Il repose directement en discordance sur les formations marines du Paléozoïque. (OSS, 2003)

L'examen des coupes lithologiques et des logs des forages (Fig.16) dans notre région d'étude montre également que :

le Continental Intercalaire n'est pas formé uniquement de sables et de grès, mais on y trouve également des sables argileux, des argiles sableuses, ainsi que des argiles franches ;

- la structure en cuvette du CI dans le bassin du SASS présente une alternance de couches perméables, semi-perméables ou imperméables.

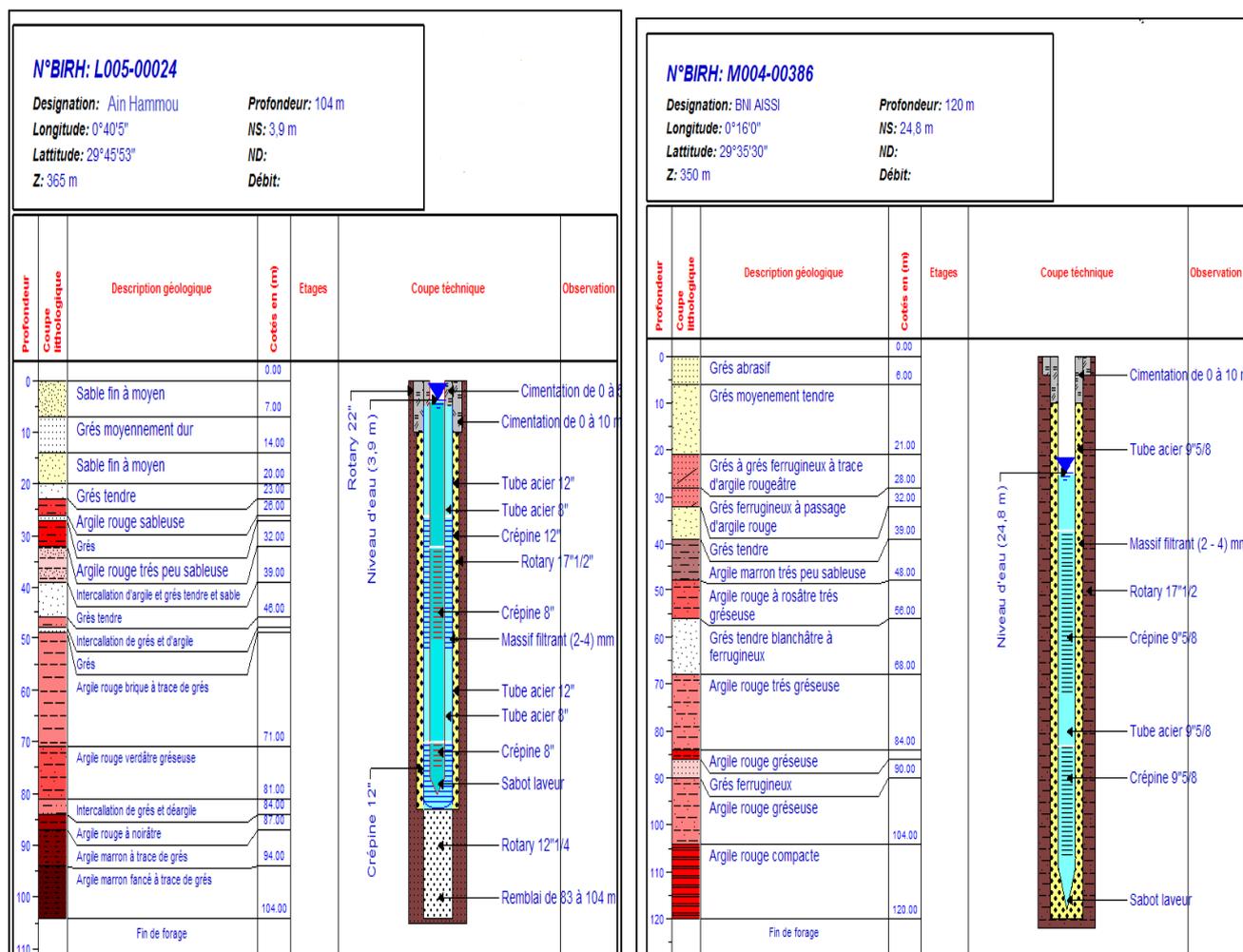


Fig.16 : Coupe lithologique et technique de quelque forage dans la région de Gourara. (ANRH).

II.1.3.1. Les exutoires :

Les exutoires naturels de la nappe du CI dans la région du Gourara sont les sebkhas, qui occupent les fonds des dépressions (points topographiquement bas). Tandis que les exutoires artificiels sont les foggaras, les puits et les forages.

II.1.3.2. Géométrie de l'aquifère.

A. Substratum du Continental Intercalaire :

La carte isobathe du Continental intercalaire dans la région d'étude montre que le prolongement du mur du réservoir utile est de direction Sud- Nord, le pendage du toit du substratum s'accroît relativement à l'ouest et au sud, la profondeur maximum du toit se localise au Sud-Ouest qui atteint 320 à 410 m de profondeur, par contre les profondeurs minimums oscillent entre 80 à 100 m. (Fig.17)

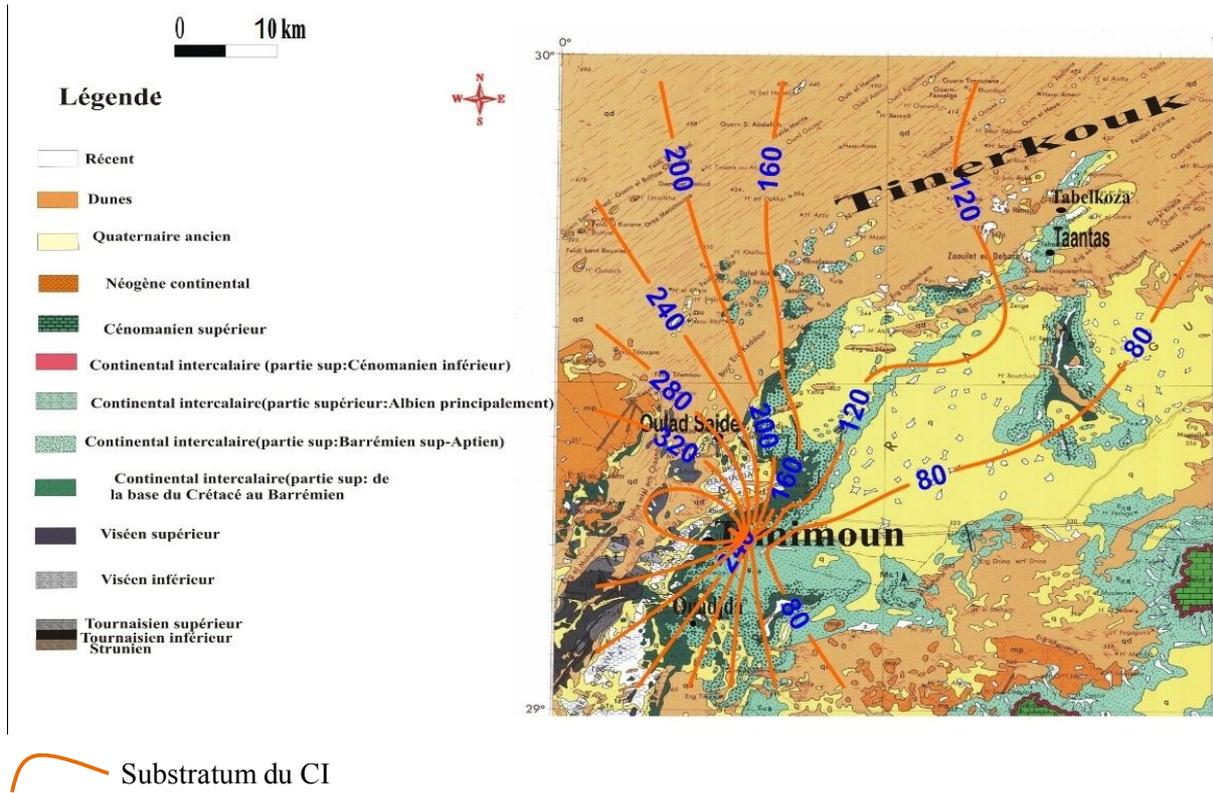


Fig. 17: Carte d'isobathe du Continental Intercalaire de la région d'étude (OSS, 2003b) .

B. Carte des épaisseurs du C.I (OSS, 2003b) :

La carte isopaque du continental intercalaire élaborée dans le cadre du projet de SASS (2003b) montre que l'épaisseur du continental intercalaire dans la zone d'étude varie entre 100m et 300m. (Fig.18)

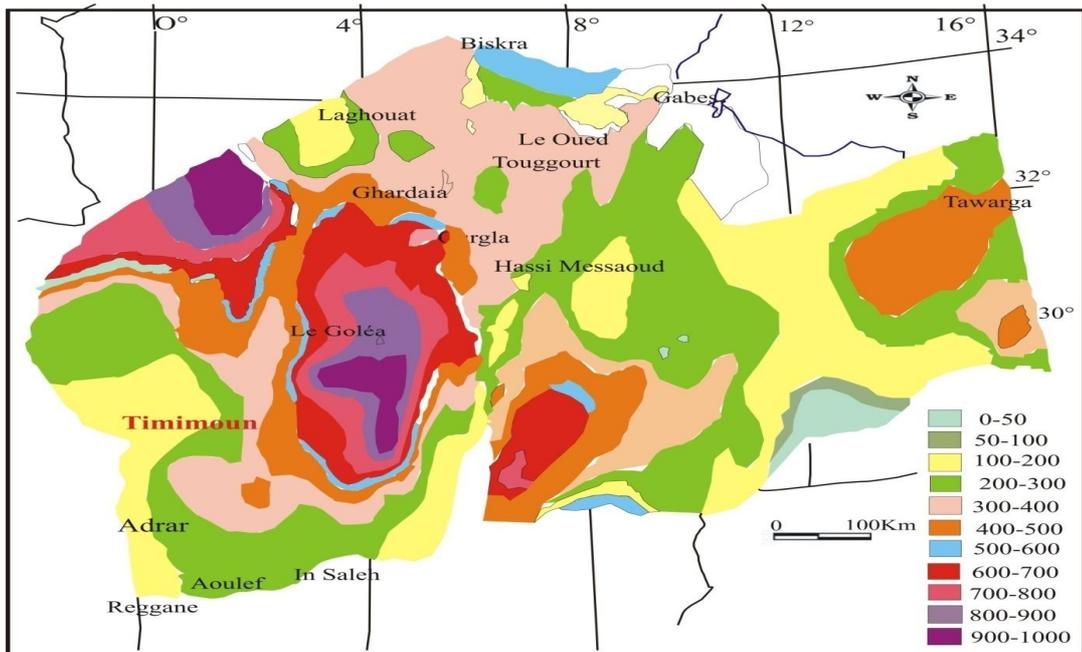


Fig.18 : Carte des épaisseurs du (CI) (OSS, 2003b).

II.1.3.3. Piézométrie :

A. esquisse piézométrique dans la région du Gourara (Timimoun, Tinerkouk):

Les données des forages fournies par l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) d'Adrar ne sont pas suffisantes pour tracer une carte piézométrique, à cause de non disponibilité des altitudes des points d'eau. Donc, on a essayé d'établir une esquisse piézométrique à partir de la projection des forages sur une carte topographique pour en déduire les côtes piézométriques.

A partir de cette carte (Fig. 19), nous remarquons qu'il ya un seul sens d'écoulement dans la région d'étude Nord vers Sud à partir de Tinerkouk vers Timimoun.

On remarque aussi que les courbes isopièzes sont bien espacées presque dans toute la région d'étude. Ceci traduit un faible gradient hydraulique.

Les valeurs du gradient hydraulique sont variables d'une zone à l'autre. Cette identification est due à l'homogénéité des formations donc à la perméabilité.

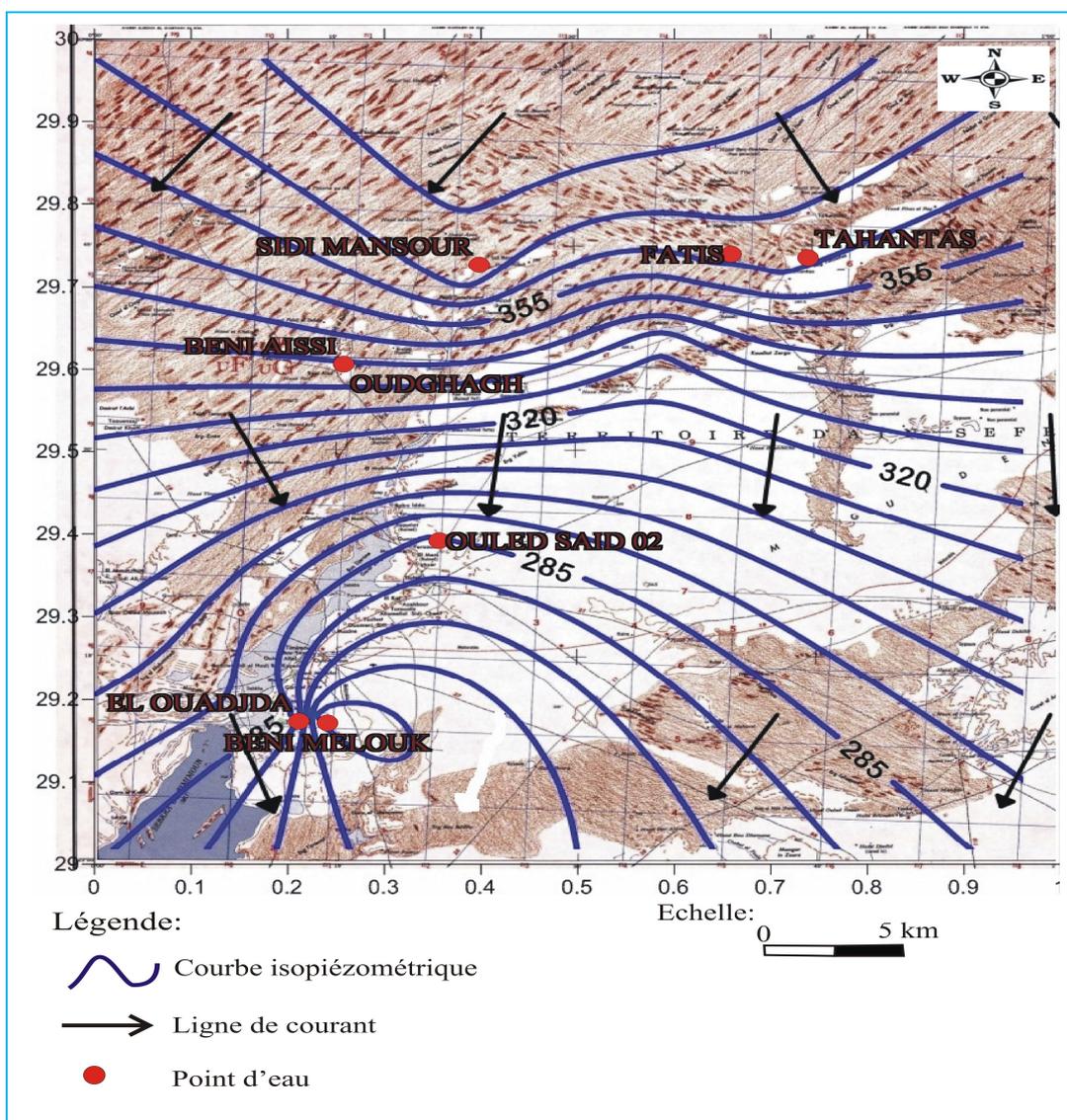


Fig.19: Carte piézométrique de la région d'étude (Mimouni 2012).

B. Niveau statique :

Du fait de l'absence d'un réseau adapté à la surveillance de la nappe d'eau dans la région de Gourara, les mesures effectuées ne donnent pas une information suffisante sur la répartition dans l'espace du niveau statique de la nappe aquifère sur toute la zone inventoriée.

Généralement, le niveau statique des forages de la région se situe entre 3.9 et 43.6 m de profondeur par rapport au niveau du sol, au Sud-Ouest entre le forage Macine (Fig.19) jusqu'à la palmeraie de Ain Hammou où le niveau statique atteint 3.9m.

En allant vers Nord-Est, la pression de la nappe d'eau augmente progressivement et le niveau statique devient moins profond. La profondeur minimum enregistrée est de l'ordre de 17.44m. (Fig.20)

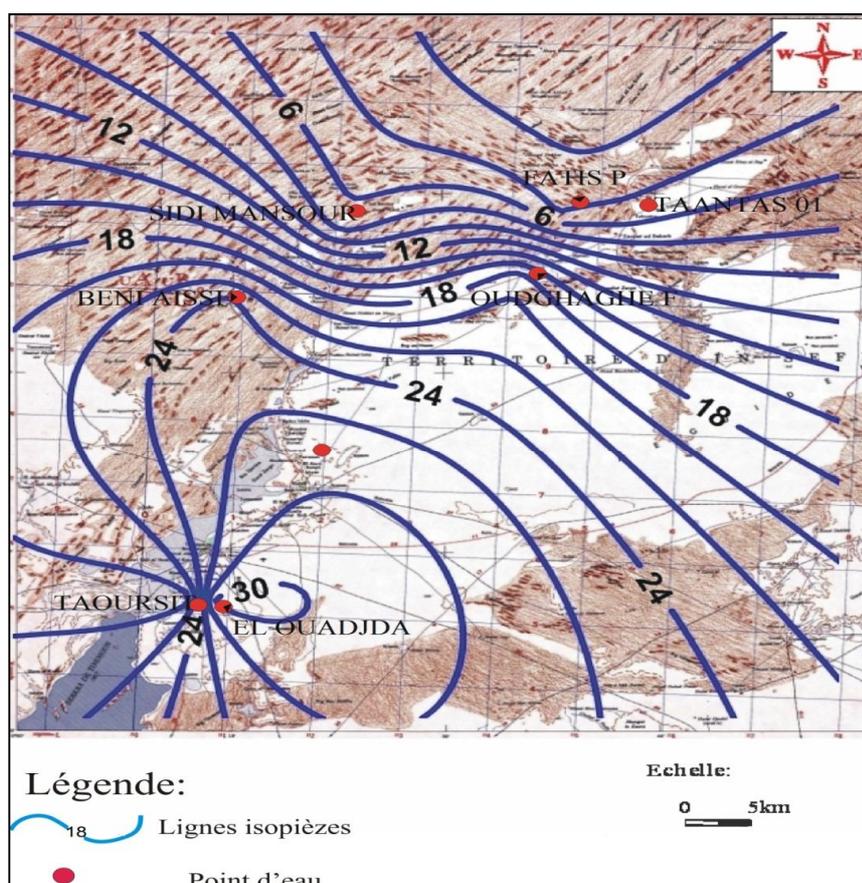


Fig.20 : Carte niveau statique dans la région d'étude (Mimouni 2012).

II.2. Etude hydrodynamique

II.2.1. Pompage d'essai :

Plusieurs forages ont fait l'objet d'essais de pompage dans le but d'évaluer les paramètres hydrodynamiques de la nappe ainsi que les caractéristiques du complexe aquifère

Les forages ont été réalisés par les ingénieurs de l'ANRH d'Adrar, et d'autres est une partie par les entreprises privés.

II.2.1.1. Le but de pompage d'essai :

- Mesure sur le terrain des paramètres hydrodynamiques tels que la transmissivité, et le coefficient d'emménagement.
- Etude quantitative des caractéristiques particulière de l'aquifère : condition aux limites, structure ;

- Observation directe en « vraie grandeur » de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère .prévision de l'évolution du rabattement en fonction des débits pompé. Évolution de la ressource en eau souterraine exploitable.

Le pompage d'essai intéresse un volume d'aquifère important et c'est un test valable de son comportement hydrodynamique.

Plusieurs méthodes sont adoptées pour le calcul des paramètres hydrodynamiques tel que Thiès et Jacob et qui donnent des résultats très rapprochées.

A. Méthode de Jacob :

Le principe de cette méthode consiste à reporter les rabattements sur l'axe des ordonnées normal en fonction du temps sur l'axe des abscisses semi-logarithmique. Nous prenons la valeur Δs (la pente de la droite) pour les deux piézomètres 1 et 2, et on calcule le coefficient d'emmagasinement et la transmissivité à partir des relations suivantes :

$$T = 0.183Q/\Delta s \qquad S = 2.25Tt_0/r^2$$

Où :

Q : représente le débit de pompage (en m³/s).

Δs : la pente de la droite.

T : est la transmissivité (en m²/s)

t_0 : est le temps correspondant à l'intersection entre la droite de descente (ou de remontée) et le niveau piézométrique initial (en s)

r^2 : est la distance entre l'ouvrage et le piézomètre concerné (en m).

A partir de ces données nous pouvons calculer la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement selon les relations suivants :

$$S = Q/4\pi T \cdot w(u) \qquad u = r^2s/4Tt$$

Nous avons traité les données des essais de pompage grâce au logiciel **Aquitest**.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°9 : les résultats des différentes méthodes de pompage d'essai :

Forage	Q (l/s)	S(m)	transmissivité
			Jacob
TINERKOUK	20	25.30	1.56 10 ⁻¹
TAANTAS01	46	45.87	5.32 10 ⁻²
TAANTAS02	46	41.62	3.93 10 ⁻²
TABELKOZA	42	15.77	1.65 10 ⁻¹
TAZLIZA	20	40.29	6.02 10 ⁻²
BNIMELOUK	14	44.12	3.87 10 ⁻²
MACINE03	20	33.45	1.09 10 ⁰

A.1. Interprétation des courbes d'après la méthode de Jacob :

Figure n°21,22, 23, 25, 28 :

Les courbes obtenues montrent deux phénomènes bien marqués.

Au début du pompage les points représentatifs sont espacés, non linéaires traduisant l'effet de Capacité de l'ouvrage de captage; puis le rabattement augmente avec le temps jusqu'à une profondeur 45m (Fig.23). Au-delà, le rabattement diminue jusqu'à stabilisation pendant un certain temps plus au moins lent. Ceci est probablement dû à une alimentation par flux imposé causé par un changement latéral de la perméabilité de la formation aquifère (les grès moyens argileux passent à des grès grossiers).

Figure n°24 :

Nous observons au début un fort rabattement dû à l'effets des capacités, et après nous avons une courbe avec pente très forte ceci est expliqué par les mouées caractéristique de la nappe.

Par la suite une stabilisation de niveau statique ceci explique par un changement latéral des formations de peu à plus perméable.

Figure n°27 :

Ce type des courbes montre une pente très faible, qui est dû probablement à l'épaisseur de la nappe qui est très importante ceci explique les bonnes caractéristiques hydrodynamiques de la nappe.

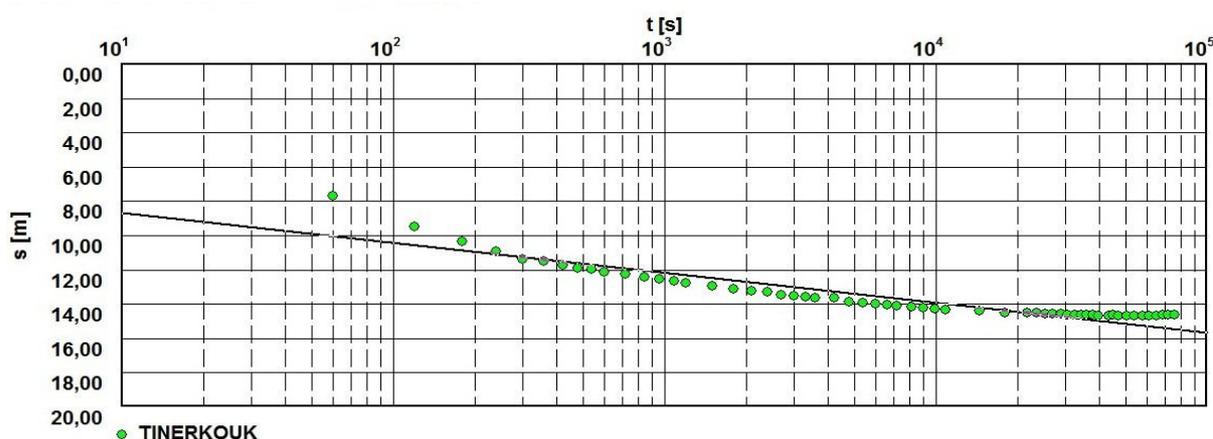


Fig.21: Courbes de la descente de forage TINERKOUK d'après Jacob

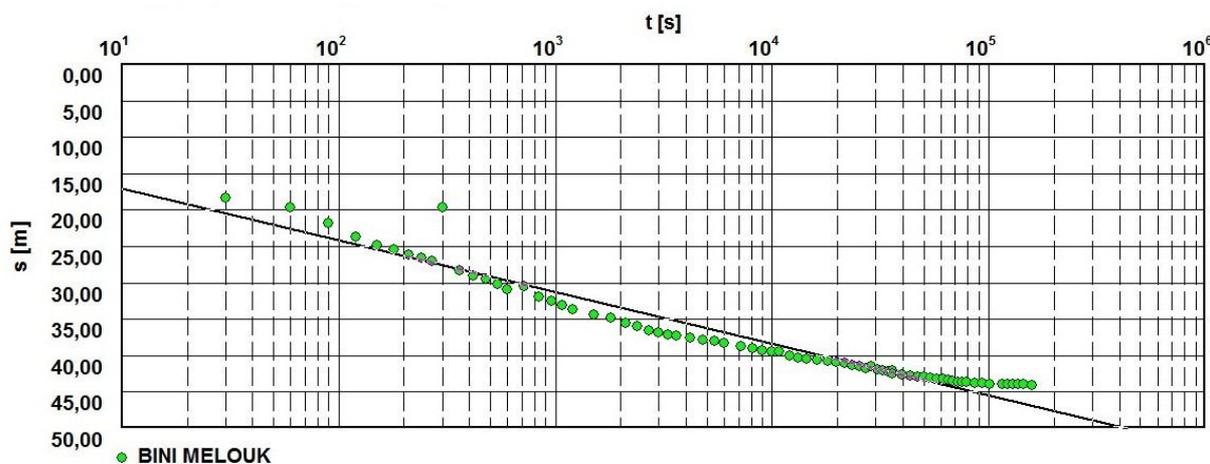


Fig.22: Courbes de la descente de forage BENI MELOUK d'après Jacob

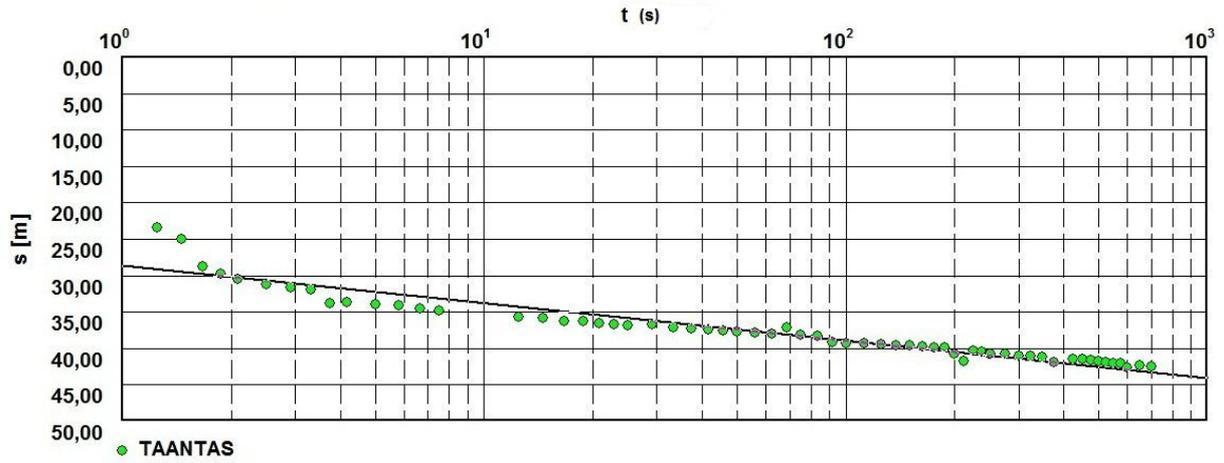


Fig.23: Courbes de la descente de forage TAANTAS01 d'après Jacob

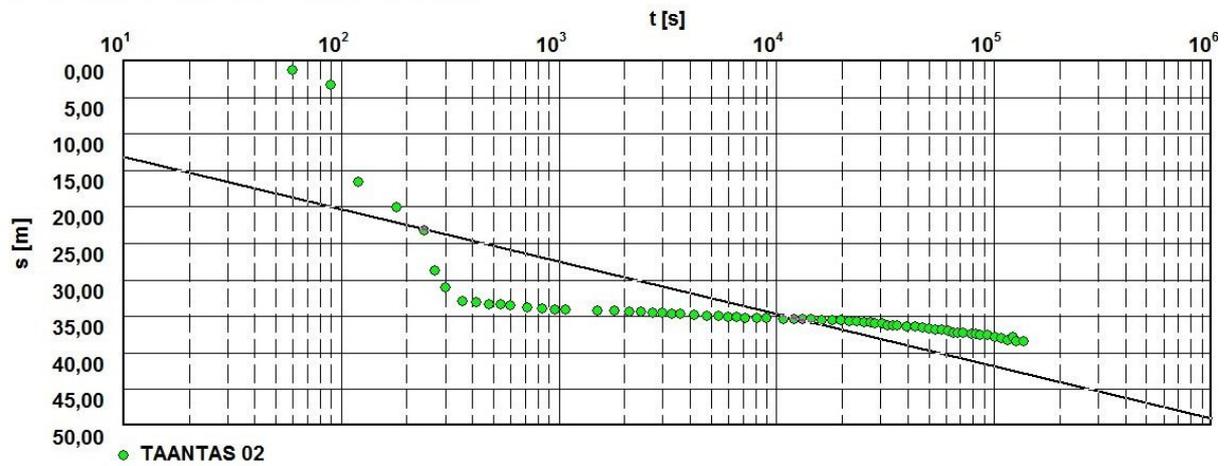


Fig.24: Courbes de la descente de forage TAANTAS02 d'après Jacob

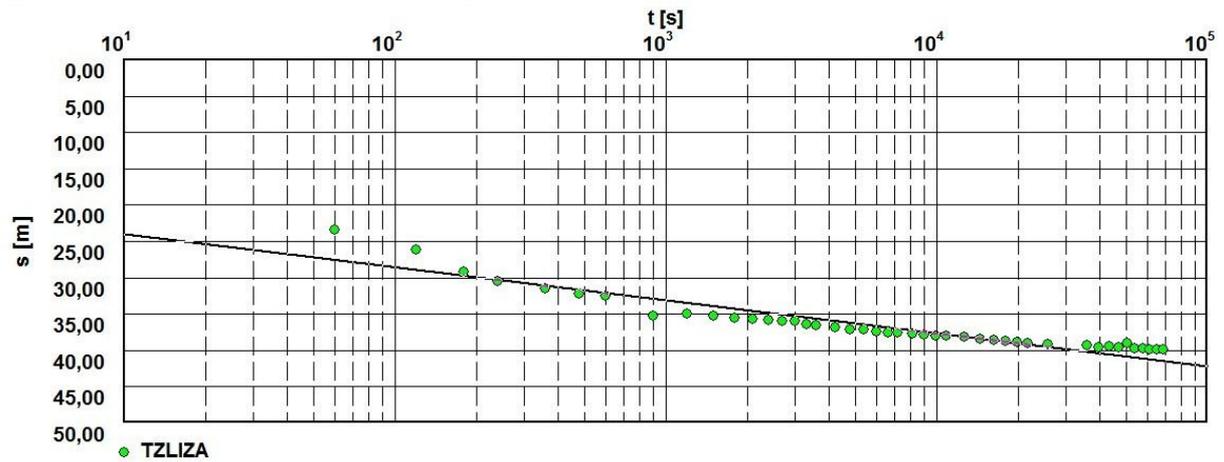


Fig.25: Courbes de la descente de forage TAZLIZA d'après Jacob

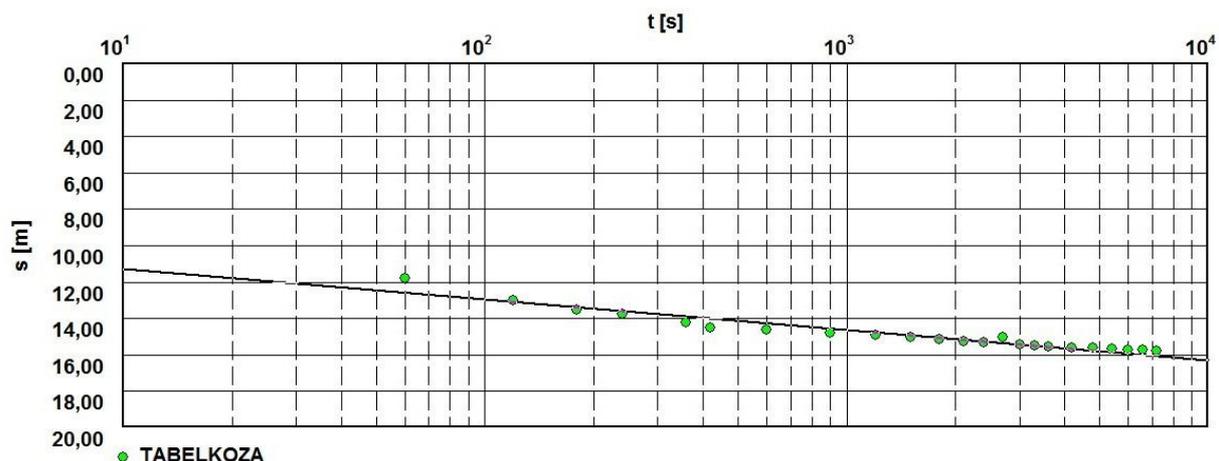


Fig.26: Courbes de la descente de forage TABELKOZA d'après Jacob

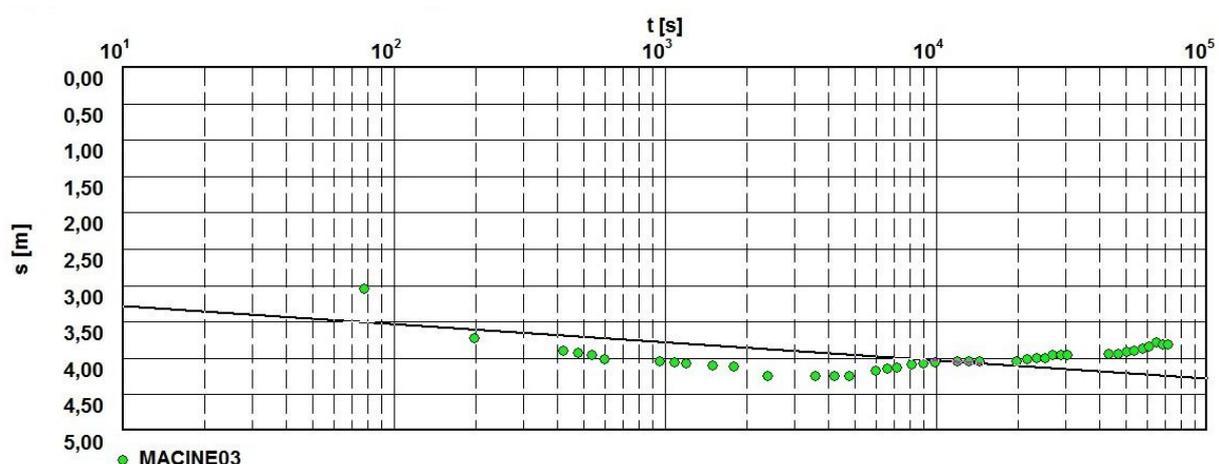


Fig.27: Courbes de la descente de forage MACINE D'après Jacob

A.2. Interprétation de la carte de Transmissivité : D'après la carte d'isotransmissivité calculée par la méthode de Jacob nous observons un changement latéral de transmissivité, permettant de différencier deux zones : (Fig.28) et (Fig.29).

- zone à fortes valeurs de transmissivités : caractérise la zone Nord-ouest (KSAR KADOUR) Ceci s'explique par l'épaisseur et la perméabilité importante (présence de gravier) de la nappe.
- zone à faibles valeurs de transmissivité : caractérise la zone Nord-est (OUDGHAGHE) et Sud-est. Ceci s'explique par la diminution de l'épaisseur et notamment de la perméabilité de l'aquifère (présence de sables et de marnes).

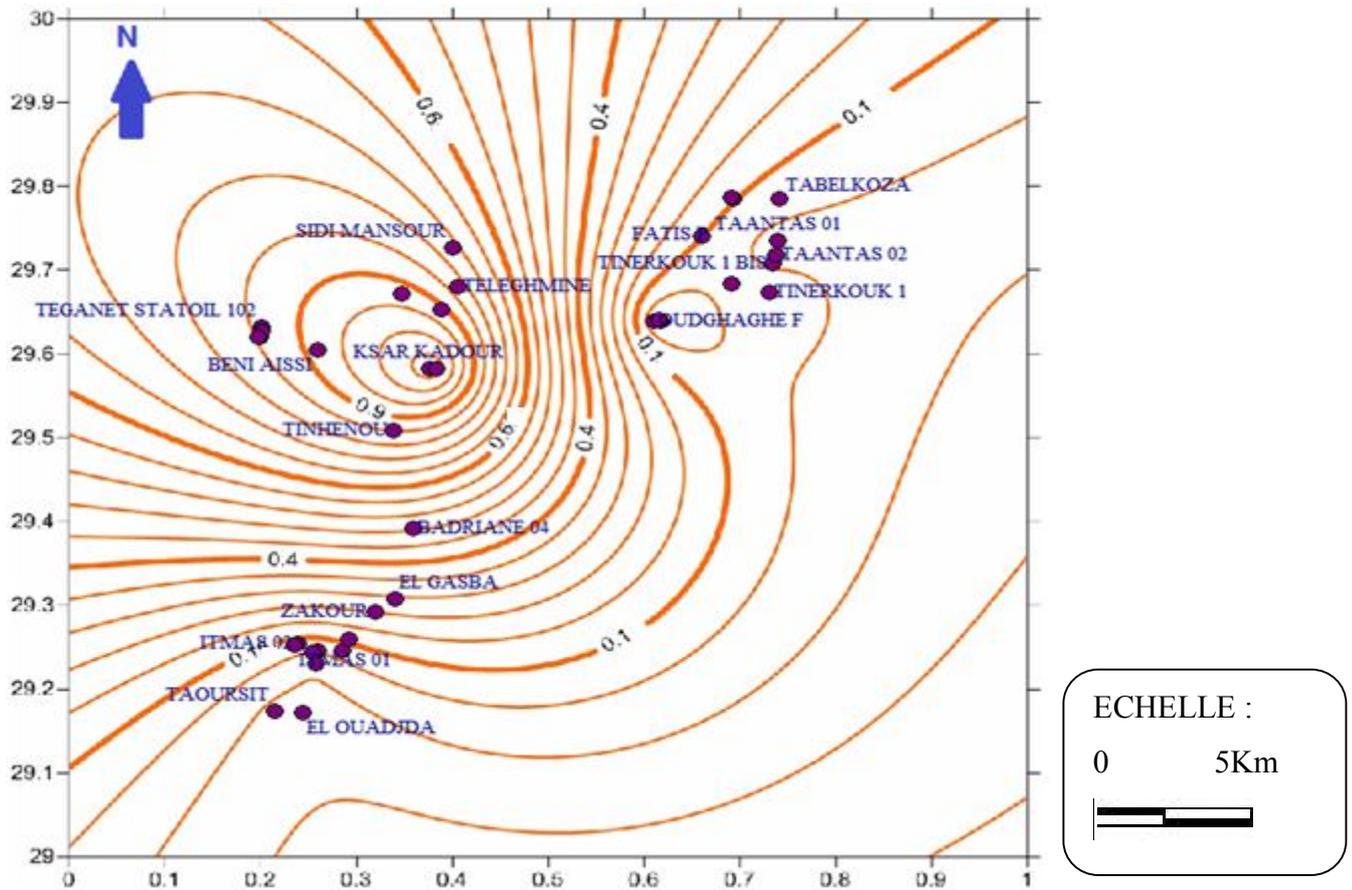


Fig.28: Carte des Transmissivités

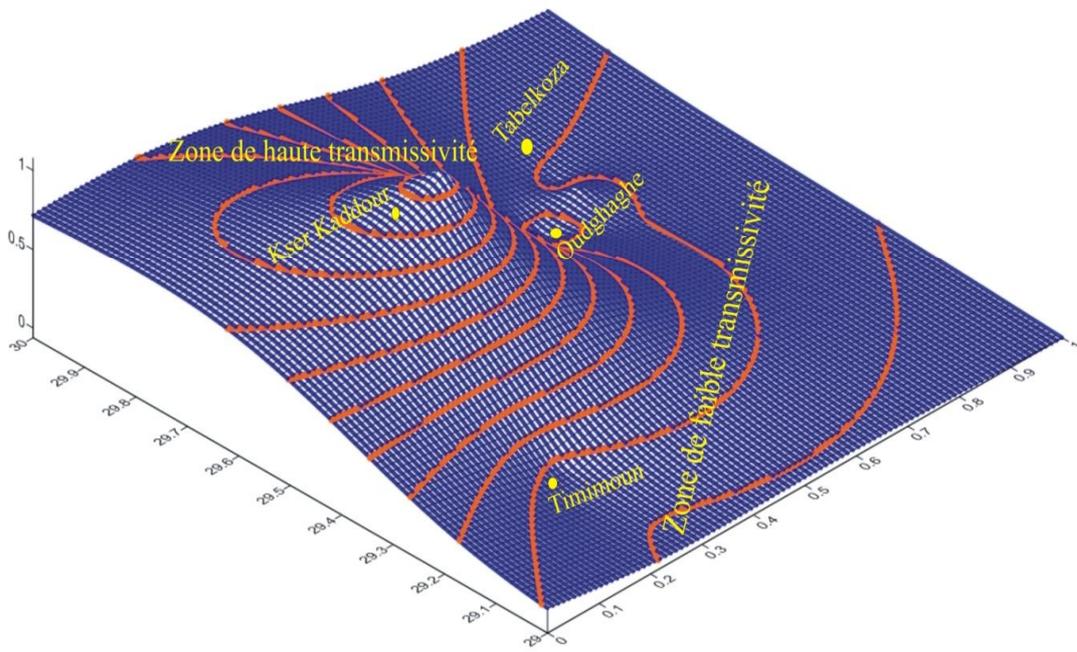


Fig29 : Carte des Transmissivités en trois dimensions

II.2.2. Conclusion :

La formation du "CI" est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé Inférieur. C'est un système aquifère multicouche.

La recharge actuelle de la nappe du "CI" estimée à 8,5 m³/s sur le territoire Algérien (OSS, 2003) s'effectue par infiltration des précipitations sur les bordures du bassin, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux, notamment de l'Atlas Saharien au Nord-Ouest et du Dahar à l'Est.

Des ruissellements en bordure de plateaux peuvent également participer à l'alimentation de la nappe sur les bords de Tademaït et de Tinrhert, de même que l'infiltration des pluies sur le Grand Erg Occidental.

Notre but d'entamer cette étude est en fait d'apporter des confirmations sur le comportement hydrogéologique des formations de la région d'étude.

Elle nous a permis de mettre en évidence :

- Les formations du Crétacé inférieur (continental intercalaire) qui affleurent largement dans notre région. Elles sont constituées essentiellement d'un faciès grés-argileux (grès, argiles, sables et graviers à divers proportions). Ces formations renferment une importante nappe libre, qui constitue la principale ressource en eau de la willaya d'Adrar ;
- Les changements de faciès lithologiques latéraux et verticaux influent directement sur les caractéristiques hydrodynamiques ;
- L'ensemble des résultats obtenus par les courbes de pompage d'essai et les cartes de transmissivité nous permet de dire qu'on est dans le cas d'une nappe libre de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, mais avec un changement vertical et latéral très important.

Chapitre III :

Etude Hydrochimique

III.1. Généralités :

L'analyse hydrochimique des eaux constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique des nappes et à la gestion des ressources en eau. Elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu dans lequel les eaux souterraines circulent, la nature de l'encaissant, les zones d'alimentation et de circulation, la potabilité des eaux, ..., etc.

Dans la zone objet de la présente étude, la chimie des eaux peut être influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux, et rechercher l'origine naturelle ou anthropique de la variabilité des paramètres physico-chimiques de cette ressource.

Pour cela une analyse des paramètres physico-chimiques a été faite, au niveau du laboratoire de l'ANRH d'Adrar (en 2012) pour expliquer l'origine et l'évolution de chaque élément chimique. Cette étude porte sur 39 Points d'eau (tab n°10) (Fig.30), qui captent la nappe du CI dans la région de Gourara (Timimoun, Tinerkouk).

Méthodes et stratégie de travail :

- **Prélèvements** : Ils sont effectués selon une répartition et une fréquence différente d'un site à un autre, selon le type de point d'eau (forages, puits) et la facilité d'accès et de la disponibilité des ouvrages.
- **Mesures in situ** : Trois paramètres ont été mesurés in situ (T , pH , $Conductivité$), immédiatement après le prélèvement de l'échantillon. Ces paramètres permettent de définir les caractéristiques fondamentales de l'eau.
- **Analyse des éléments chimiques** : Une analyse des éléments chimiques a été effectuée au laboratoire : les éléments majeurs (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HSO_4^{-2} et HCO_3^-). et la minéralisation, Résidu sec, TH, TAC.

Les résultats d'analyse sont reportés sur le tableau n°10.

Chapitre III : Etude Hydrochimique

Tableau n°10: Résultats d'analyse physico-chimique des eaux. (En mg/l, la conductivité en mS/cm et TH, TAC en °F, T (°C)).

Nom	Ca	Mg	Na	K	Cl	HCO3	NO3	SO4	T (°C)	PH	Cd	RS	MIN	TH	TAC
P1	95	40	100	21	150	98	37,5	260	19	7,37	1,28	800	794	40	8
P2	47	27	70	11	100	104	25	105	20	7,1	0,72	550	446	23	9
P3	72	35	108	27	160	110	36,5	200	19	7,22	1,15	770	713	32	9
P4	209	84	160	27	485	125	52	350	20	7,18	2,48	1500	1538	86	10
P5	78	41	110	36,5	192	98	43	230	19	6,92	1,25	800	775	36	8
P6	51	27	65	13	120	76	27	100	20	7,1	0,77	570	477	23	6
P7	64	35	85	10,5	160	119	15	120	19	6,82	0,97	690	601	30	10
P8	64	40	90	22	170	95	27	160	21	6,91	1,05	680	651	32	8
P9	74	35	65	25	210	110	23	90	23	7,53	1,03	600	639	33	9
P10	55	40	90	12,5	150	116	27	140	20	7,01	0,9	630	558	30	10
P11	51	32	77	14,8	108	122	30	140	20	7	0,81	620	502	26	10
P12	136	120	632	120	990	201	80	650	21	6,62	4,98	3250	3088	82	17
P13	123	72	380	71	580	192	88	500	22	7,4	3,09	2000	1916	60	16
P14	81	53	160	35,5	250	165	49	206	22	7,53	1,62	1110	1004	41	14
P15	47	37	130	16	200	92	37	180	20	6,62	1,19	870	738	27	8
P16	68	53	180	24	290	143	58	180	21	7,21	1,63	1190	1011	38	12
P17	51	74	130	39	225	140	53	220	20	7,3	1,4	840	874	43	12
P18	55	35	70	11	150	113	36	90	19	7,29	0,87	680	539	28	9
P19	123	64	270	34	350	171	44	500	25	7,16	2,34	1640	1451	56	14
P20	98	80	270	29,5	420	223	61	304	23	6,94	2,32	1540	1438	56	18
P21	196	90	350	27	600	113	57	500	22	7,00	3,18	2270	1972	85	9
P22	349	136	600	37,5	530	113	57	1650	23	6,89	5,31	4100	3292	141	9
P23	179	64	800	45	1500	15	50	150	20	5,56	4,8	3020	2976	70	1
P24	94	59	175	34	280	128	38	282	21	7,19	1,76	1200	1091	47	11
P25	136	53	195	21	252	113	48	545	19	6,9	2,29	1640	1420	55	9
P26	102	66	380	28	560	137	54	545	20	6,99	3,02	1900	1872	52	11
P27	183	114	550	34	850	128	47	800	20	7,16	4,43	3000	2747	91	11
P28	204	68	165	29,5	207	104	48	760	19	6,93	2,55	1620	1585	78	9
P29	132	106	550	72	800	143	80	675	21	7,21	4,2	2660	2604	76	12
P30,	243	51	480	27,5	730	122	55	860	22	6,94	4,17	2620	2585	81	10
P31	102	72	230	19	350	119	40	465	20	7,3	2,22	1470	1376	54	10
P32	110	56	300	17	410	119	44	448	23	7,19	2,44	1700	1513	50	10
P33	43	61	35	4	125	110	19	120	22	7,51	0,84	520	521	35	9
P34	94	59	180	19	250	110	36	402	21	7,28	1,83	1190	1135	47	9
P35	98	35	130	8	210	73	30	260	23	7,03	1,35	880	837	38	6
P36	89	43	100	8	185	73	27,5	240	20	7,01	1,25	830	775	39	6
P37	123	101	195	11,5	324	73	51	615	19	7,02	2,55	1770	1581	71	6
P38	47	24	35	4	66	104	36,2	94	19	7,12	0,66	470	409	21	9
P39	58	23	40	7	62	22	131	100	19	7,2	0,71	446	440	24	11

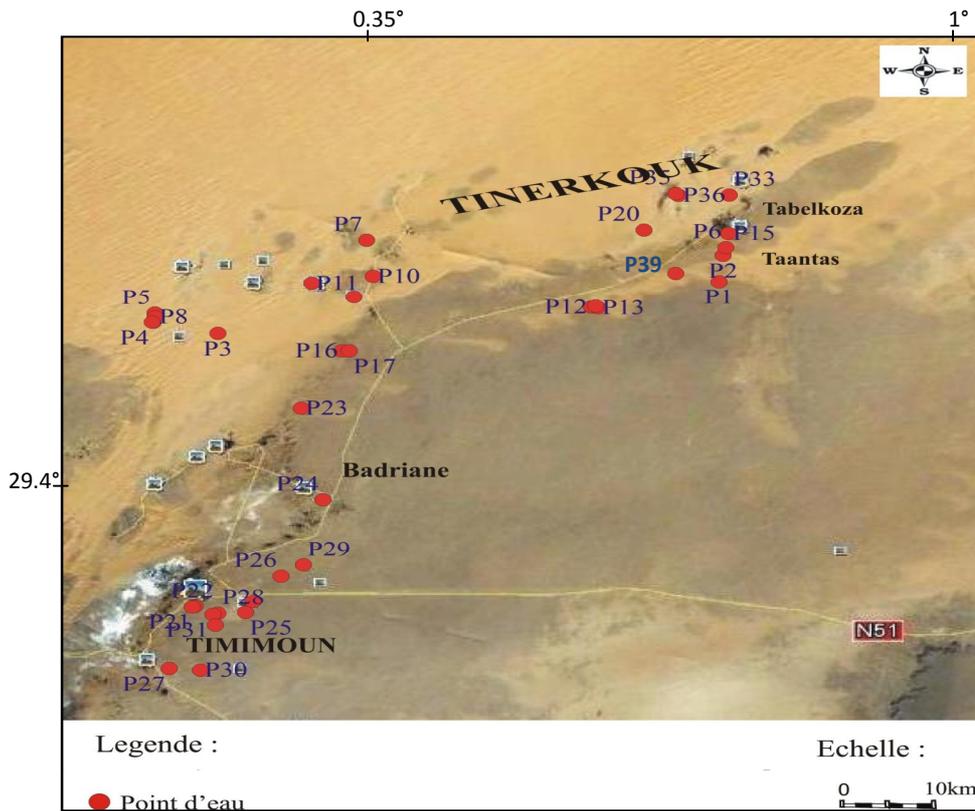


Fig.30 : la situation géographique des points d'eaux dans la région de Gourara.

III.2. Paramètres organoleptiques :

Les caractères organoleptiques sont des paramètres qui doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifie au cours du transport et du stockage (apparition d'une coloration, de précipité, etc.).

- **Couleur** : (Toutes les eaux prélevées et analysées sont incolores).
- **Odeur** : (Les tests de la matière organique, ammonium, phosphates, nitrates et les nitrites n'ont donné aucun résultat remarquable dans les eaux de ces forages).
- **Goût** : (D'une façon générale, il est bien difficile de porter un jugement sur la qualité d'une eau par la seule évaluation de la saveur).

En dehors de la salinité, une saveur désagréable peut révéler la présence de substance indésirable dont il est important de préciser l'origine. C'est le cas en particulier de certaines saveurs amères, douces et sucrées décelables à la dégustation et du goût imputable à des concentrations très faibles de substances fortement sapides.

- **Turbidité** : (Les eaux de la région de Gourara donnent une turbidité inférieure à la norme, ce qui signifie que la matière en suspension est très faible).

III.3. Etudes des Paramètres physico-chimiques.

III.3.1. Etude des Paramètres physiques.

III.3.1.1. Température : Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Selon les valeurs observées, les températures moyennes de l'eau varient entre 19 à 26 °C pour l'ensemble des points d'eau analysés.

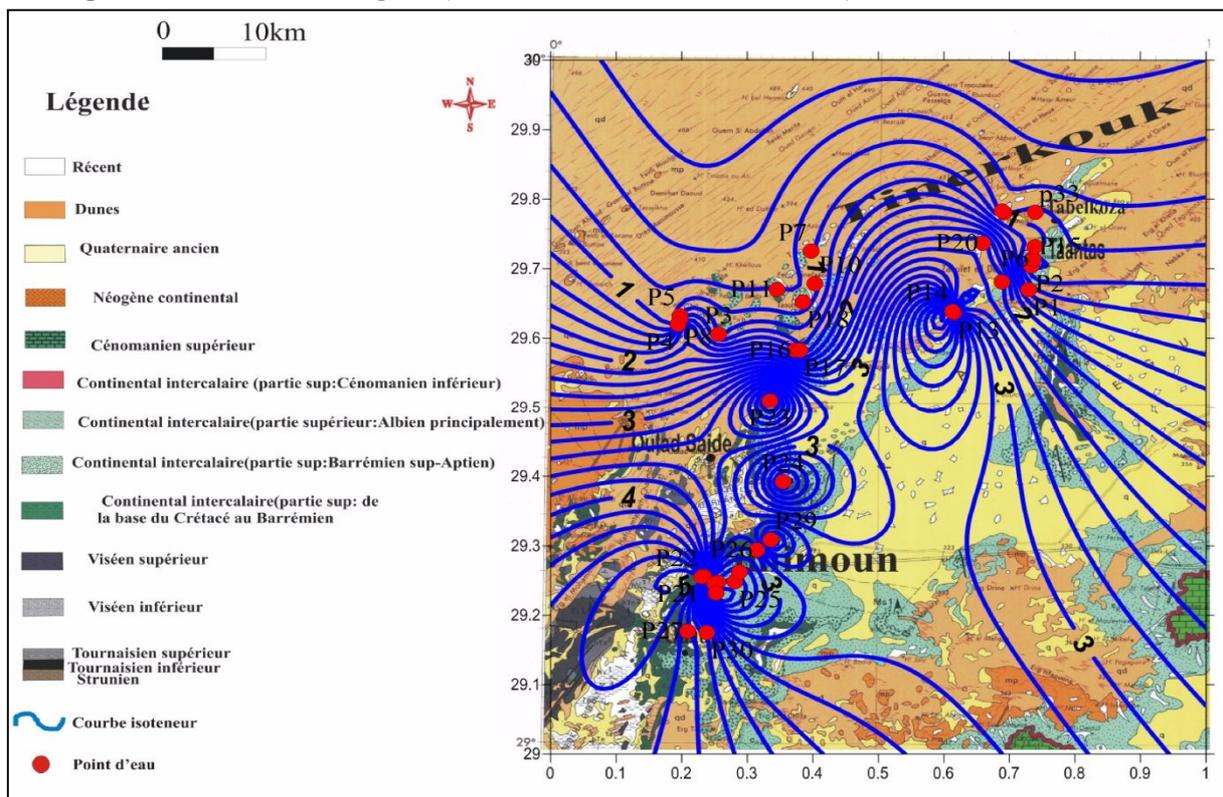
III.3.1.2. Potentiels d'hydrogène (pH): Le pH est le cologarithme de la concentration de l'ion d'hydrogène libre H^+ contenu dans l'eau, il permet de déduire l'état d'équilibre d'une eau (acidité ou alcalinité de l'eau). Il dépend de l'origine des eaux souterraines et de la nature géologique des terrains dont elles circulent.

Les valeurs de pH mesurées varient entre 5,56 au P23 (minimum) et de 7,53 aux P9 et P14 (maximum), avec une moyenne globale de l'ordre de 7.3 dans l'ensemble de la région étudiée. Les valeurs du pH sont conformes à la norme de potabilité des eaux naturelles.

III.3.1.3. Conductivité : Elle traduit globalement le degré de minéralisation d'une eau. Elle est liée à la présence d'ions en solution. Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°C.

Au niveau de la nappe de notre région d'étude, les valeurs disponibles présentent des variations assez importantes et oscillent entre (0.66mS/cm et 5.31mS/cm). Une conductivité maximale est observée au point n°22(ITMAS) (5,31mS/cm) et alors que le minimale au point n°38 (TAZLIZA) (0,66mS/cm), avec une moyenne de 2.08mg/l. Elles sont toutes supérieures à la norme recommandée de 0.4mS/cm pour les eaux potables. (Fig.31)

Les valeurs maximales sont liées à la présence des formations gypso-salines qui occupent les zones dépressionnaires de la région (sebkhas et lits d'anciens oueds).



III.3.1.4. Résidu sec : Le résidu sec représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et les matières organiques contenus dans l'eau. Ses valeurs peuvent être mesurées à partir de la mesure de la conductivité.

Pour des raisons de savoir, l'O.M.S. recommande une valeur limite de 1000 mg/l dans l'eau destinée à la consommation humaine. Dans les pays à climat semi aride et aride cette valeur est souvent largement dépassée.

D'après la carte d'isoteneur en résidu sec (Fig.32) la valeur minimum de résidu sec est constatée au niveau du puits n° 39 (446 mg/l) (TAZLIZA) pour atteindre un maximum (3292 mg/l) au puits n° 22 (ITMAS) avec une moyenne de 1400,92mg/l. Cela s'explique par la solubilité des éléments des terrains traversés, et avec les températures les plus élevés en été, elle favorise l'évapotranspiration des eaux et la formation des Sebkhhas.

Parmi les facteurs contrôlant la composition chimique des eaux souterraines, la lithologie, car elle joue un rôle déterminant, soit directement comme source de minéraux mis en solution dans l'eau, soit indirectement en favorisant ou en limitant, selon la perméabilité les écoulements

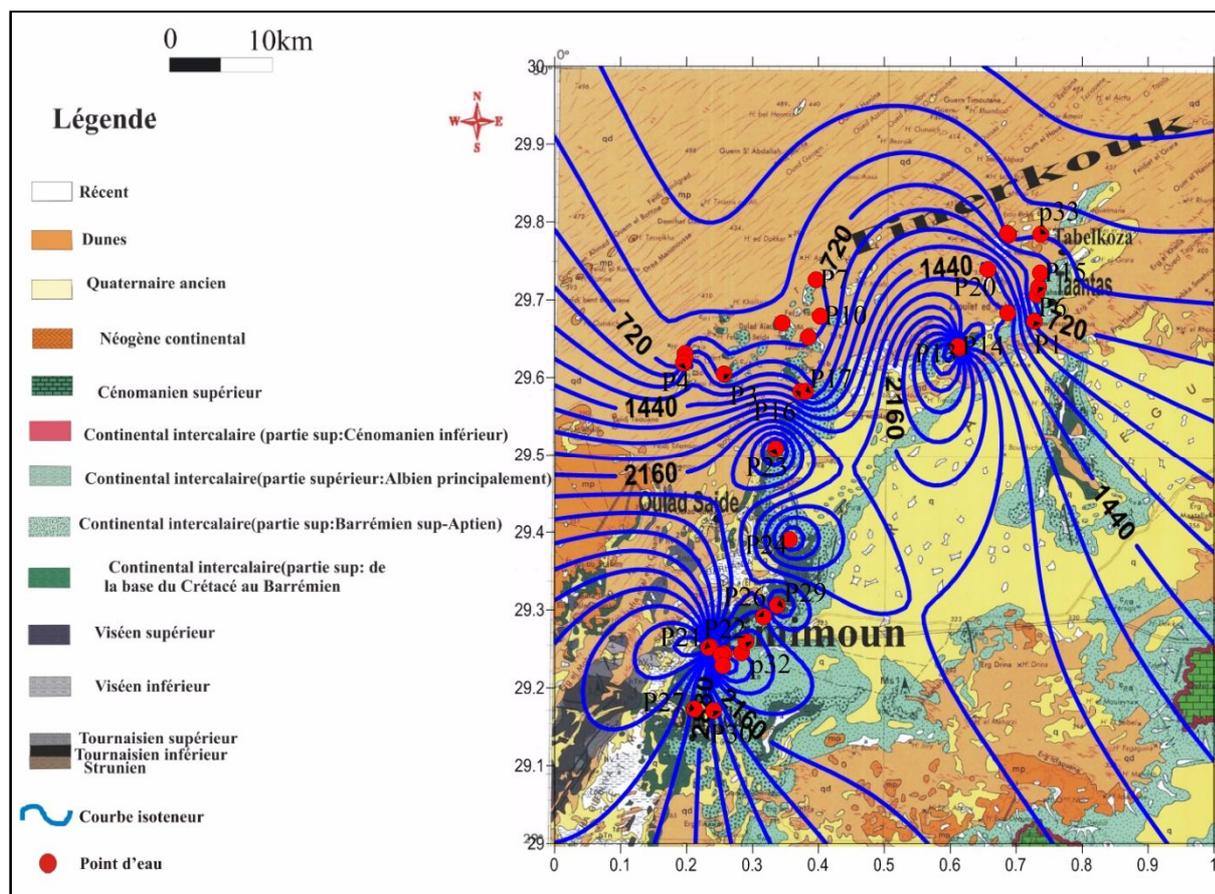


Fig.32 : Carte isoteneur en Résidu sec en mg/l (2012).

III.3.1.5. La Minéralisation :

La minéralisation de l'eau peut être déterminée soit par la conductivité électrique (méthode rapide), soit par la teneur en ions dissous obtenue par sommation des concentrations des anions et des cations car celles-ci sont fortement corrélées dans toutes les formations aquifères (en première approximation on peut lier la force ionique à la concentration ionique).

Dans la zone d'étude, les résultats obtenus des analyses chimiques montrent une variabilité relativement importante de la minéralisation.

Les valeurs du Minéralisation (Tab.10) s'échelonnent de 409 mg/l (P16) jusqu'à 3292 mg/l (P28) avec une moyenne de 2524,2 mg/l.

Les courbes d'iso-minéralisation (Fig.33) montrent des valeurs qui augmentent selon la direction NNE vers SW près du massif carbonaté (Sénonien) où les valeurs les plus élevées sont remarquées au niveau des puits ; p n°22 (ITMAS 01) et p n°12 (OUDGHAGHE F), ces valeurs

peuvent être dues à :

la présence des formations géologiques salifères (gypse) au niveau du Sénonien inférieure.

- la surexploitation et l'utilisation excessive des engrais chimiques par les agriculteurs

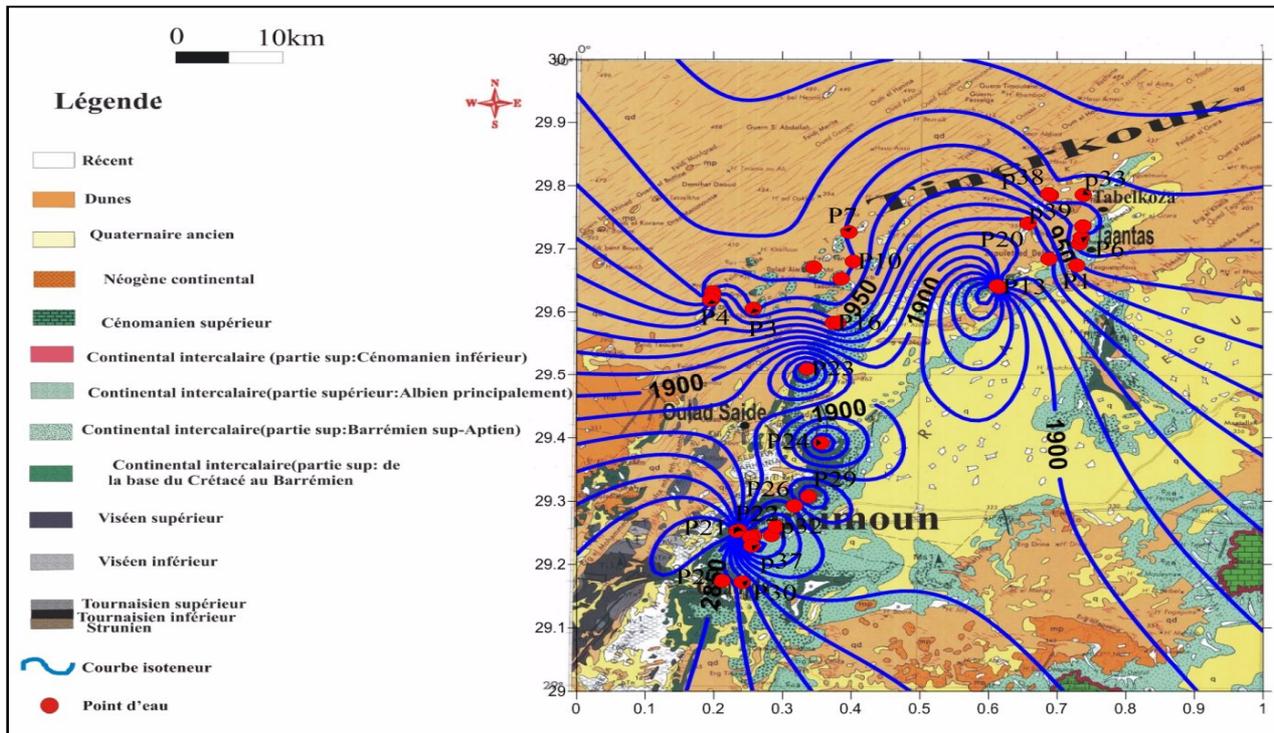


Fig.33 : Carte de minéralisation en mg/l (2012).

III.3.1.7. Dureté totale ou TH (Titre Hydrotimétrique) :

La dureté d'une eau est un caractère naturel liée au lessivage des terrains traversés et se résume globalement à sa teneur en calcium et en magnésium. La dureté temporaire est liée directement à son alcalinité carbonatée tandis que la dureté permanente est prédominée par la présence des sulfates et des chlorures de calcium et de magnésium. Elle s'exprime soit en meq/l soit en mg/l de CaCO₃ soit en °F : 1 meq/l = 5°F = 50 mg/l de CaCO₃.

$$TH = (r Ca^{++} + r Mg^{++}) 5^{\circ}F$$

Les valeurs de la dureté totale d'une eau déterminant sa qualité sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Tableau n°11 : Qualité de l'eau en fonction du TH.

TH (°F)	0-7	7-22	22-32	32-54	>54
Qualité de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	Dure	Très dure

Les résultats des analyses des forages d'AEP dans notre région d'étude montrent que onze forages possèdent une dureté inférieure 32 °F (n° 2, 3, 6, 7, 8,10, 11, 15, 18, 38, 39) donc ce sont des eaux douce, et la majorité des échantillons compris entre les qualités des eaux dure et très dures ((141°F) (ITMAS) (puits n° 22)), Cette dureté élevée résulte principalement de la circulation des eaux dans les formations carbonatées.

Pour les eaux de consommation, les normes algériennes indiquent comme bonne qualité une eau dont la dureté est entre 20 °F et 50 °F. (NA752 Séminaire sur la qualité de l'eau, 1996).

III.3.2. Etude des paramètres chimiques majeurs.

III.3.2.1. Etude des cations :

A. Le calcium (Ca^{++}) : Une eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 400 mg/l de calcium. Les eaux qui dépassent une teneur de 200 mg/l de calcium présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières.

Les valeurs de calcium (Tab.10) varient entre 43 mg/l et 343 mg/l avec une moyenne de 108,30 mg/l. La plupart des points d'eau présentent des concentrations conformes aux normes de potabilité (200 mg /l) d'après l'OMS.

La carte d'isoteneur en calcium (Fig.34) montre que la valeur minimale est atteinte au puit n°33 à TABELKOZA. Le calcium s'accroît selon la direction Nord vers le Sud pour atteindre un maximum au niveau du puits n° 22 (ITMAS 01). La présence des ions Ca^{2+} dans les eaux souterraines est liée à deux origines géologiques : la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), du Turonien et Sénonien, et des formations gypseuses (CaSO_4) du Sénonien inférieur.

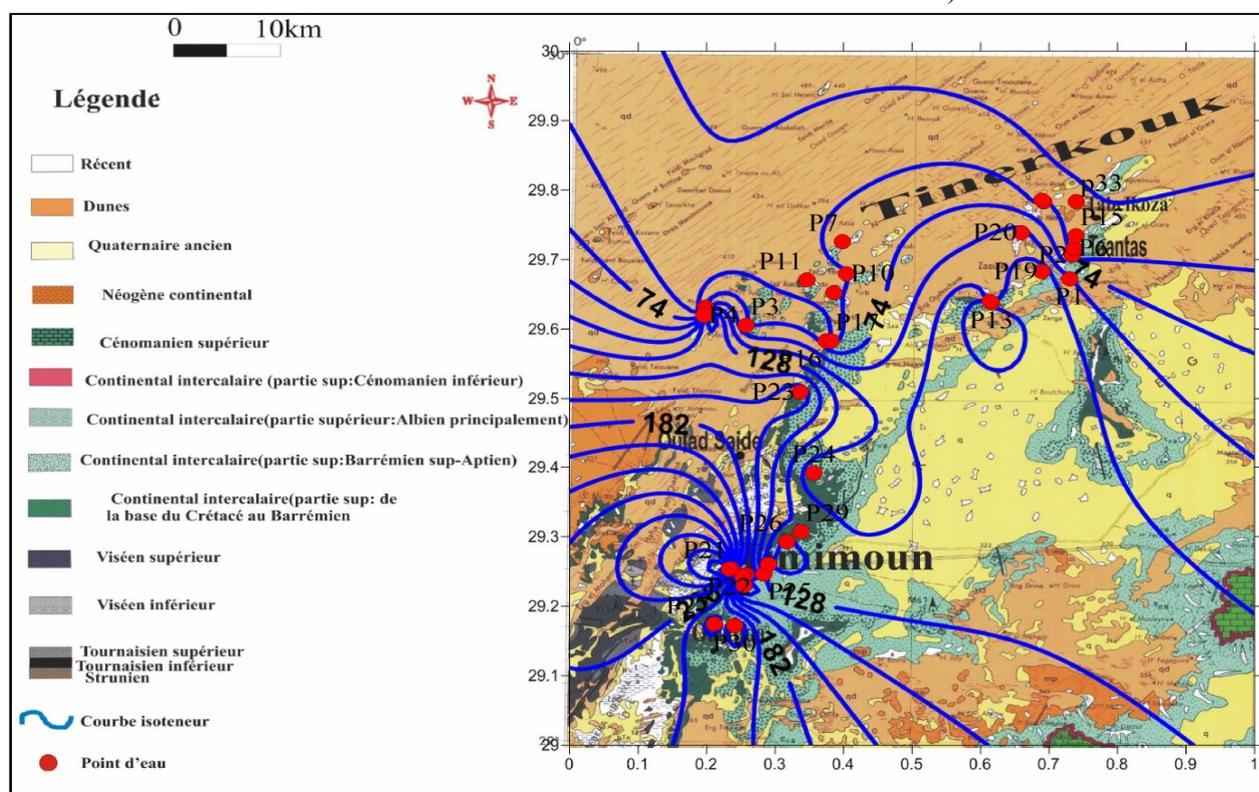


Fig.34 : Carte d'isoteneur en Calcium en mg/l (2012).

B. Magnésium (Mg^{2+}) : L'évolution des teneurs du magnésium est identique à celle du calcium. Les teneurs (Tab.10) sont comprises entre 23 et 136 mg/l avec une moyenne de 59,10 mg/l. La majorité des concentrations sont conformes à la norme de potabilité (150mg/l) d'après l'OMS.

D'après la carte d'isoteneur (Fig.35) de concentration en ion Mg, nous remarquons que la concentration augmente selon le sens principal d'écoulement de la NN-E vers SS-O elle atteint le maximum au point P22 (ITMAS). L'origine du magnésium dans les eaux souterraines est liée à

la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite et dolomite), et dans notre cas on peut dire qu'ils proviennent probablement du Cénomaniens.

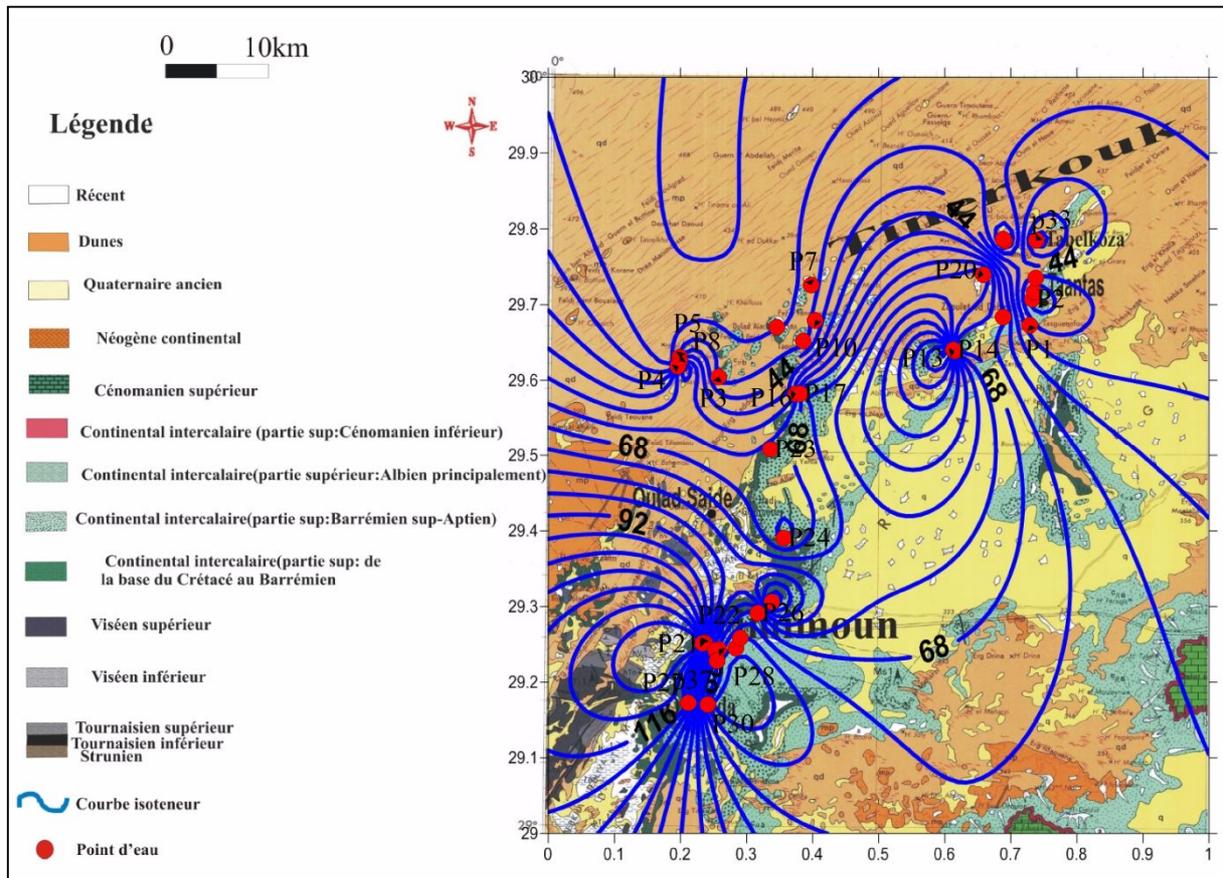


Fig.35 : Carte d'isoteneur en Magnésium en mg/l (2012).

C. Sodium Na^+ : L'origine du sodium dans les eaux est liée principalement au lessivage des dépôts évaporitiques et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base. La dissolution des minéraux salifères se fait selon la relation suivante :



D'après la carte d'isoteneur (Fig.36). La teneur de l'ion sodium est supérieure aux normes de potabilité (200 mg/l) d'après l'OMS dans l'ensemble des forages et peut atteindre parfois 800 mg/l. Cette valeur a été observée dans le forage n°23(OULED SAÏD), Ceci s'explique essentiellement par un lessivage et la dissolution des formations évaporitiques gypso-salines au niveau des zones dépressionnaires (sebkhas, lits d'oued,..., etc.), et les formations argileuses intercalées dans les formations du Crétacé inférieur.

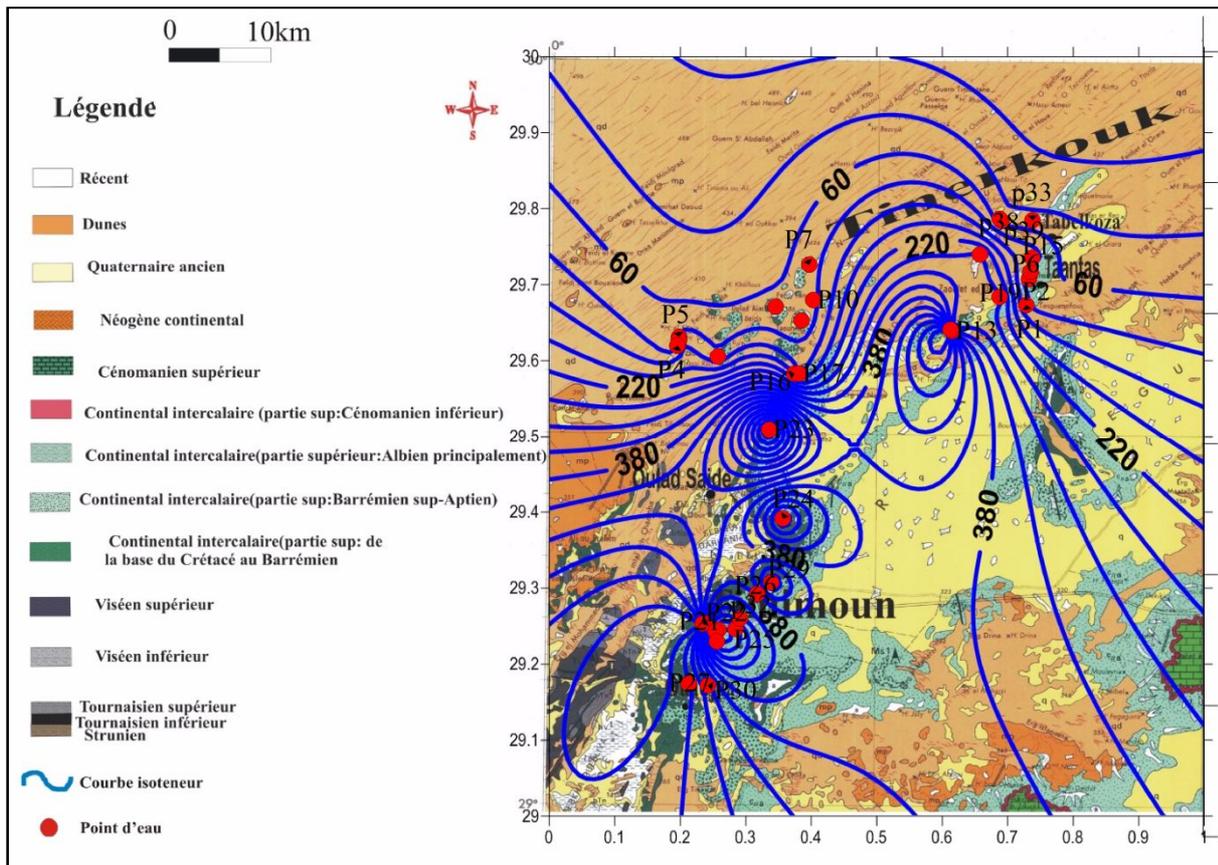


Fig.36 : Carte d'isoteneur en sodium en mg/l (2012).

D. Potassium K⁺:

Le potassium est l'élément le moins répondu dans les eaux souterraines. Il provient de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimique.

Les valeurs observées (Tab.10) montrent que les concentrations en potassium balancent entre 4 et 120 mg/l, avec une moyenne de 27 mg/l. Plus de 95 % des points ont des concentrations supérieures à la limite de potabilité (10 mg/l) d'après l'OMS.

La carte d'isoteneur en potassium (Fig.37) montre que la concentration augmente de l'Ouest (plateau de Tademaït) vers l'Est (dépression de Timimoun) selon le sens principal d'écoulement. Les fortes teneurs se trouvent au niveau des sebkhas.

Les concentrations élevées observées sont liées beaucoup plus aux formations argileuses riches en potassium et beaucoup moins à l'utilisation des engrais chimiques : les engrais sont moins utilisés dans l'agriculture oasisienne, sauf dans quelques nouveaux périmètres liés à une agriculture moderne.

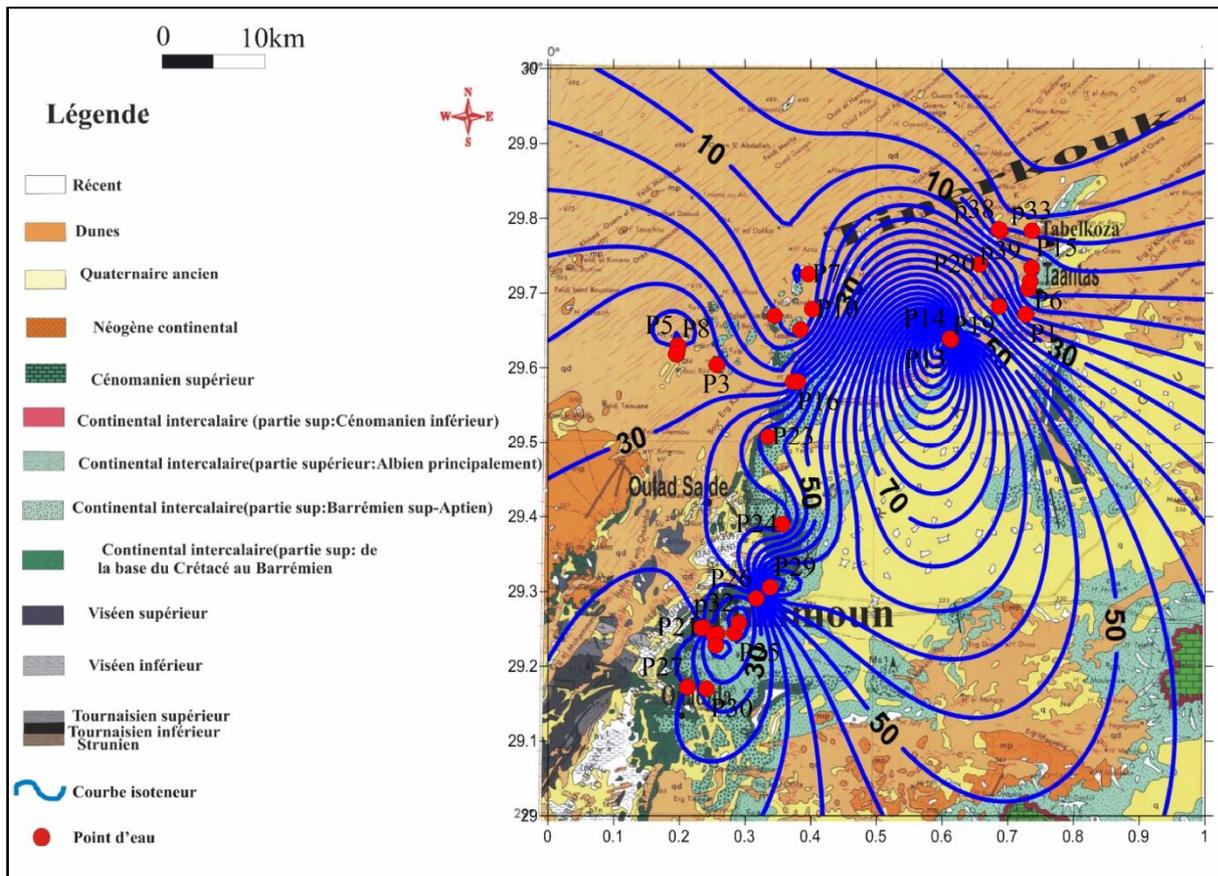


Fig.37 : Carte d'isoteneur en potassium en mg/l (2012).

III.3.2.2. Etude Des Anions.

A. Les Chlorures (Cl⁻) :

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Les chlorures rencontrés en grande quantité dans les eaux souterraines proviennent de la dissolution et lessivage des terrains salifères.

Les teneurs enregistrées dans notre région d'étude (Tab.10) montrent des valeurs importantes qui varient entre 62 mg/l (P39) et 1500 mg/l (P3), elles dépassent la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l. On signale que 51.28 % des puits dépassent cette norme.

D'après la carte d'isoteneur en chlorure (Fig.38), on peut remarquer deux zones, la première caractérisée par une diminution de concentration du NE et SW quant à la deuxième zone, elle est marquée par une augmentation de concentration convergeant vers le point P3. La plus faible valeur de concentration est enregistrée au point P39. Les chlorures (Cl⁻) proviennent du contact permanent des eaux souterraines avec les marnes, de la présence des niveaux argileux dans les alluvions, de l'évaporation intense (climat aride à semi-aride) mais également de la dissolution des engrais et des pesticides utilisés en agriculture ainsi que Le déversement des eaux usées dans les sebkhas peut également contribuer à l'augmentation des teneurs de cet élément dans les eaux souterraines.

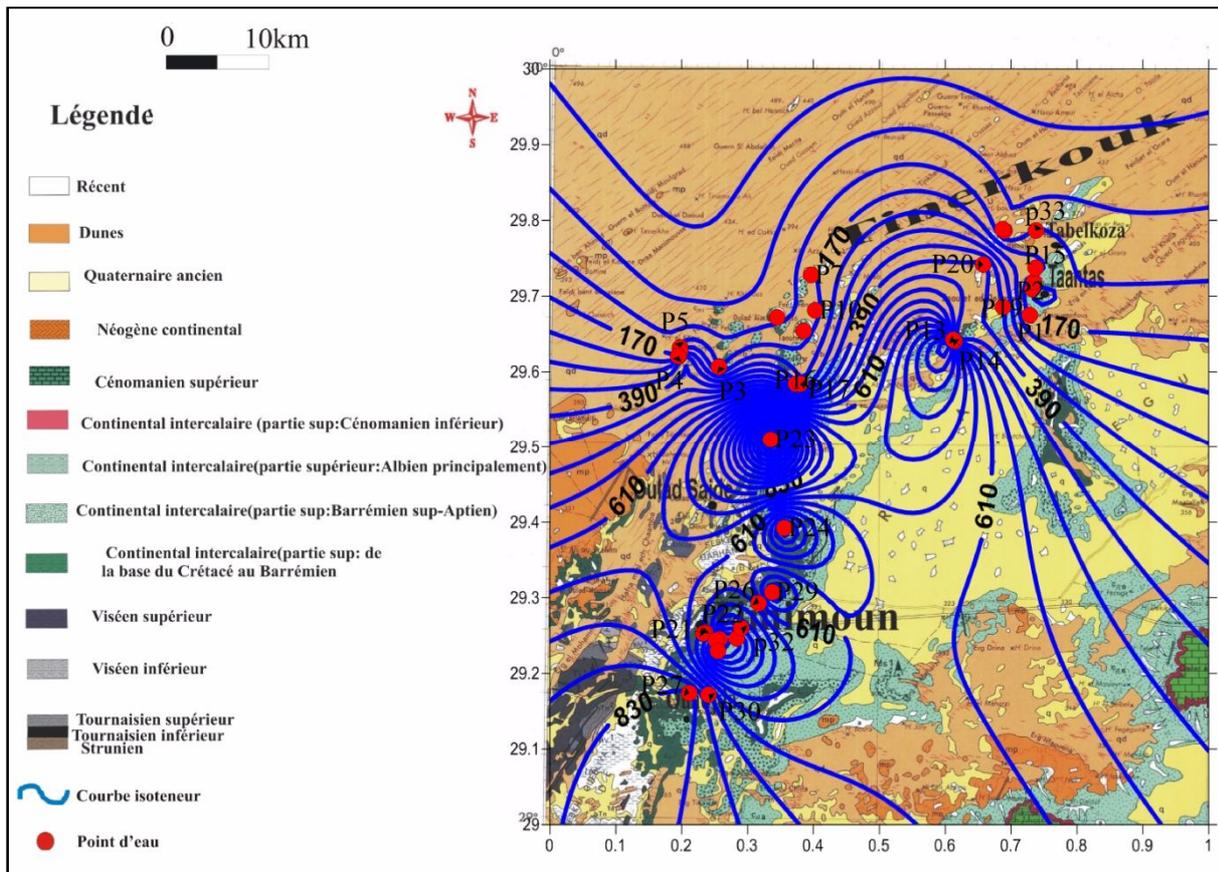


Fig.38 : Carte d'isoteneur en Chlorure en mg/l (2012).

B. Bicarbonates (HCO₃⁻) :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées et par les eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les teneurs enregistrées (Tab.10) montrent des valeurs qui varient entre 15 mg/l et 223 mg/l avec une moyenne de 116.20 mg/l. elles sont inférieures à la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l.

La carte d'isoteneur en bicarbonates (Fig.39) montre une augmentation des teneurs avec le sens d'écoulement, et se concentrent au niveau de la dépression de Timimoun. La présence des bicarbonates est liée au lessivage des terrains et la dissolution des formations carbonatées du Turonien et Sénonien intercalées dans Les formations du CI.

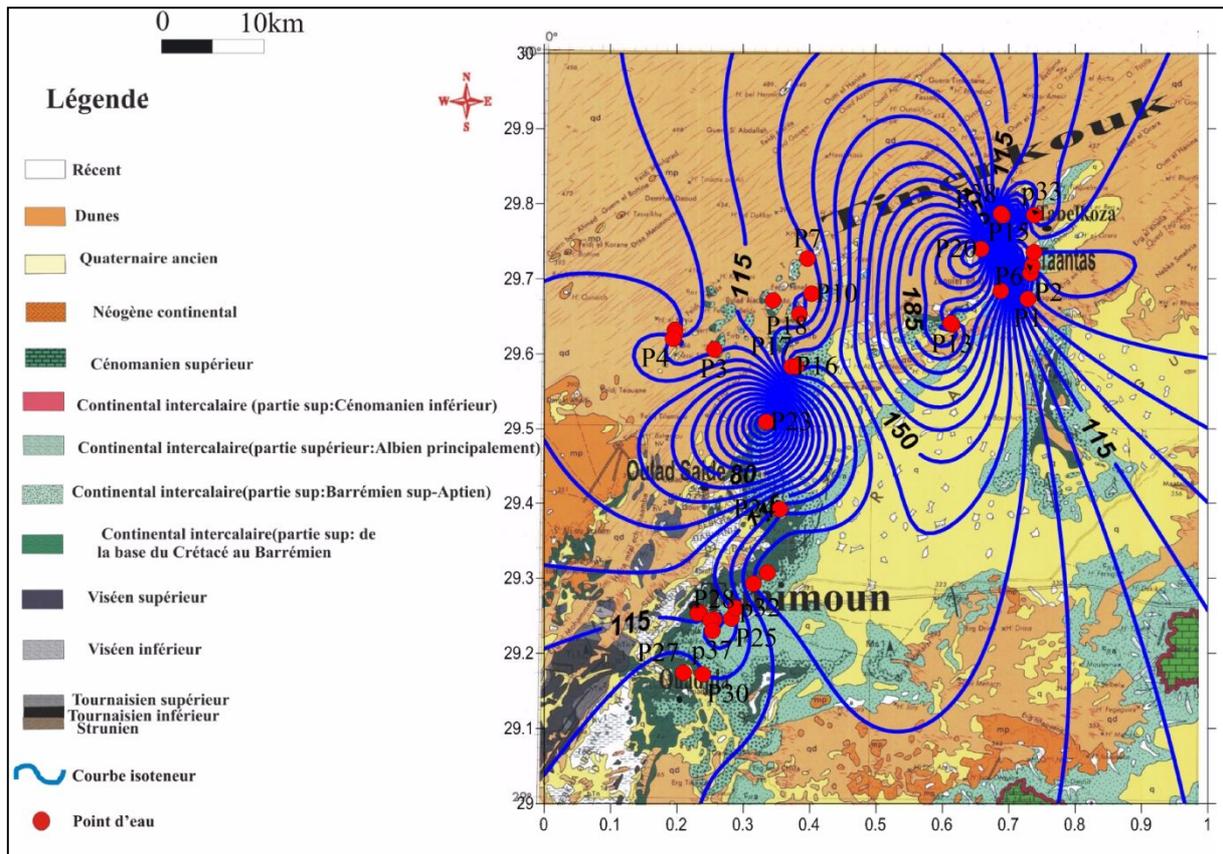


Fig.39: Carte d'isoteneur en Bicarbonates en mg/l (2012).

C. Nitrates (NO₃⁻):

Une partie des nitrates naturels dans le sol résulte de la fixation de l'azote atmosphérique par des bactéries du sol, se trouvant par exemple dans les bulbes des racines de légumineuses. Une autre partie pénètre avec les précipitations par lessivage d'impuretés anthropogènes de l'air ou lors des orages. Dans notre cas, la présence des nitrates est probablement due à une pollution anthropique, à partir de contaminations par le réseau d'assainissement et les fosses septiques d'une part, et par l'utilisation des engrais d'autre part.

Les teneurs observées (Tab.10) varient entre 15 et 88 mg/l avec une moyenne de 131 mg/l, soit 30,7 % des concentrations sont supérieures à la norme de potabilité (50mg/l) d'après L'OMS. Les valeurs les plus élevées (>100 mg/l) sont observées au niveau de point d'eau (P39).

La carte d'isoteneur en nitrates (Fig.40) montre des zones de concentration qui présentent des fortes valeurs, elles sont dues aux activités agricoles dans la région et aux rejets des eaux usées.

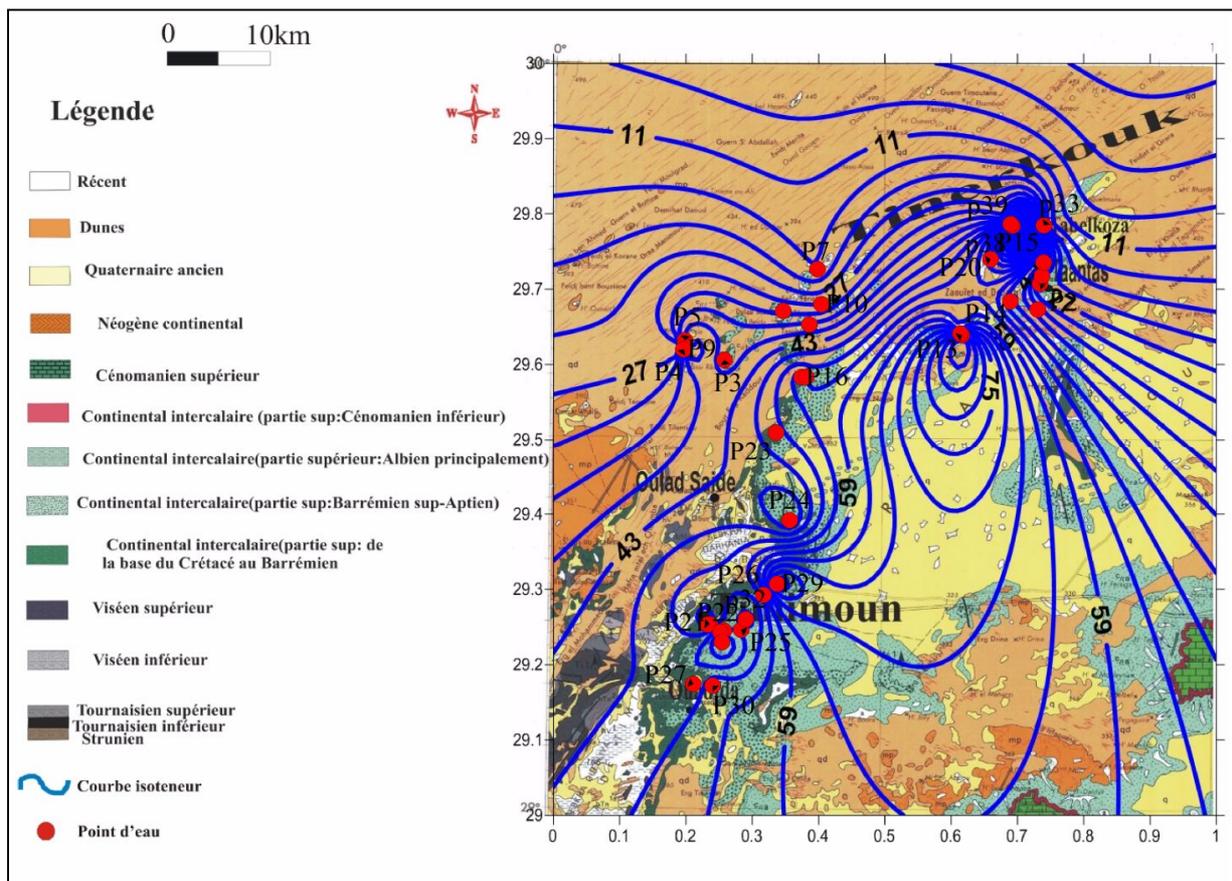


Fig.40 : Carte d'isoteneur en Nitrates en mg/l (2012).

D. Sulfates (SO_4^{-2}) :

Les sulfates peuvent avoir une origine météorique ; comme ils peuvent également provenir de l'activité agricole ou biologique naturelle, ou bien de l'utilisation domestique (détergents), ou de la présence d'évaporites (gypse).

La concentration en sulfate (Tab.10) varie entre 90 mg/l et 1650 mg/l avec une moyenne de 365,02 mg/l. soit 64 % des points présentent des concentrations supérieures à la norme de potabilité d'après OMS (200mg/l).

D'après la carte d'isoteneur en sulfates (Fig.40), on constate que l'évolution de la concentration est similaire à celle de la teneur en calcium. La faible teneur en sulfates est remarquée au puits n° 9 et p n° 18, alors que le maximum est au niveau du puits n° 22 où la présence de gypse au sein de la série carbonatée est beaucoup plus importante.

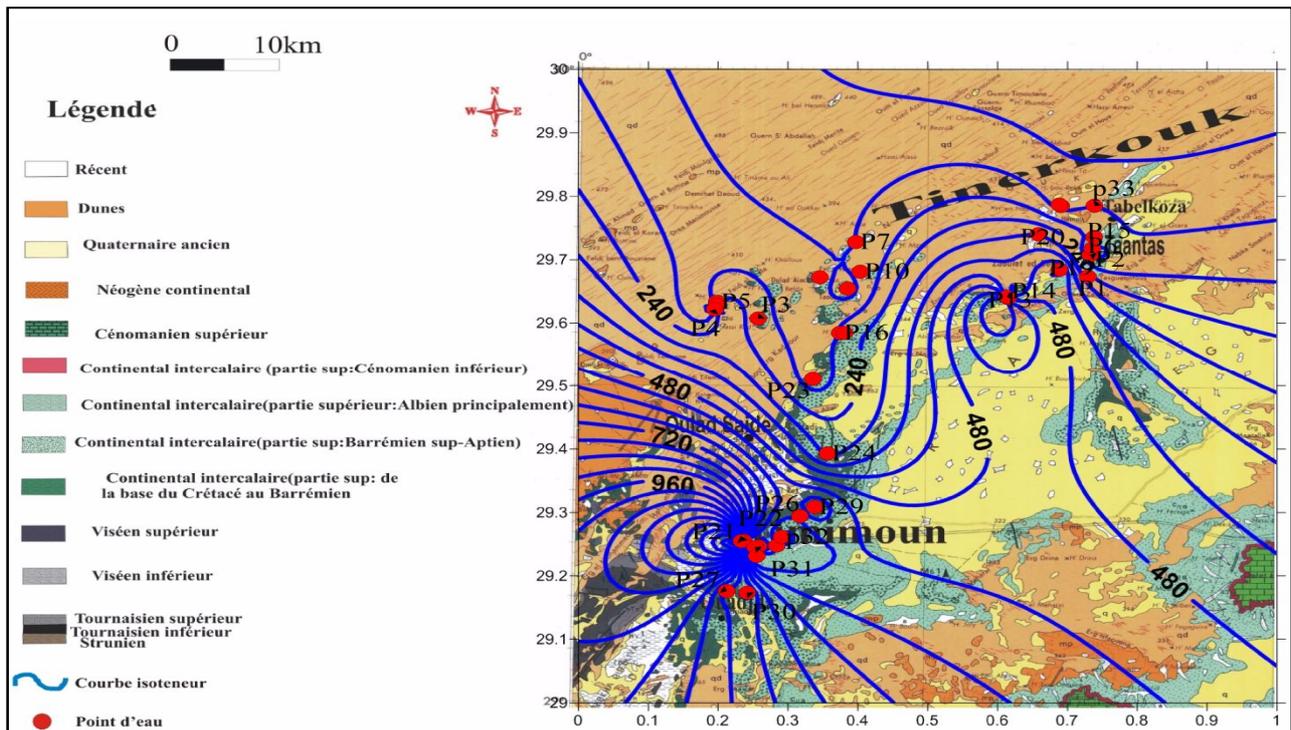


Fig.41 : Carte d'isoteneur en Sulfates (en mg/l, 2013).

III.3.2.3.. Balance ionique : la qualité des analyses testée par la balance ionique, permet de déterminer le Pourcentage d'erreur à l'aide de la relation suivante :

$$e\% = \frac{\Sigma cations - \Sigma anions}{\Sigma cations + \Sigma anions} \times 100$$

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

- ❖ $e < 2\%$ bonne analyse
- ❖ $2\% < e < 5\%$ analyse acceptable
- ❖ $e > 5\%$ mauvaise analyse

Les résultats obtenus sont données dans le tableau n°12 :

Tableau n°12 : pourcentage d'erreur des analyses chimiques.

N° des points d'eau	E%	Analyse
26 ,30	-4	Bonne analyse
13, 25,37	-2	Bonne analyse
31,38	-1	Bonne analyse
9, 19, 15, 27, 32,34	0	Bonne analyse
12 ,28 ,29	1	Bonne analyse
4, 5, 17, 18, 20,35	2	Bonne analyse
3, 11, 16, 22, 39, 36	3	Analyse acceptable
1, 8, 7, 10, 23, 24, 33	4	Analyse acceptable
2, 6, 14, 21	5	Analyse acceptable

Ce tableau montre un pourcentage d'erreur relativement inférieur à 5% pour l'ensemble des échantillons, sauf les points d'eau n°2.6.14.21 qui eux présentent un pourcentage d'erreur supérieur à 5%.

III.4. Classification des eaux :

Il existe plusieurs classifications des faciès des eaux naturelles ; on distingue deux critères fondamentaux de classification : La composition chimique et l'origine et le gisement des eaux.

Les principales classifications basées sur la composition chimique des eaux naturelles sont celles de STABLER-SAULINE, ALKENINE, SCHELLER, PALMER et PIPER, mais les plus utilisées sont celles de STABLER, PIPER et SCHELLER.

III.4.1. Classification de STABLER :

La formule caractéristique de STABLER consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. On obtient la quantité en réaction chimique pour cent r %, puis on classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant de gauche à droite. Les résultats obtenus permettent de distinguer les différents faciès (Tab.13).

❖ **Faciès Chloruré sodique :**

Ce faciès caractérise la majorité des points d'eau (P2, P3, P5, P6, P7, P8, P10,P11, P12, P13, P14, P15, P16, P18, P20, P21,P23, P24, P26, P27,P29, P30,P32, P35), avec 61,53% d'échantillons, il est représenté par la formule caractéristique :



Il est caractérisé par la prédominance des sulfates sur les bicarbonates et calcium sur le magnésium. Ce faciès correspond aux points suivants : Tinerkouk 1 Bis, Tinerkouk 1 Bis, Teganet Statoil 102, Taantas 02, Sidi Mansour, Teganet Staoal 101, Teleghmine, Inguellou, Oudghaghe F, Oudghaghe P, Oudghaghe P Prive, Taantas 01, Ksar Kadour, Timzlene, Tinhenou, Badriane 04, Zakour, Taoursit , El Gasba, El Ouadjda, Meguiden 02, Macine 02.

❖ **Faciès sulfaté sodique :**

Ce faciès représente 15,38% des échantillons, la formule caractéristique est :



Ce faciès se rencontre au niveau de certains forages: Benzita 1 Aep, Itmas 01, Puits Tayara Timimoun, Macine 04bis, Timimoun 06, Meguiden 05.

Il est caractérisé par la prédominance des chlorures sur les bicarbonates et le calcium sur le magnésium.

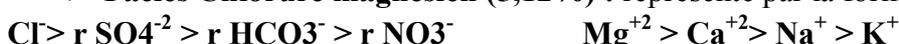
❖ **Faciès Sulfaté calcique :**

Ce faciès représente 10,25% des échantillons, il est représenté par la formule caractéristique :



Il est caractérisé par la prédominance des chlorures sur les bicarbonates et le sodium sur magnésium. Ce faciès correspond aux points d'eau suivants : Tinerkouk 1, P Laouar Timimoun, Tazliza 1 Bis, Tazliza 2.

❖ **Faciès Chloruré magnésien (5,12%) :** représenté par la formule suivants :



Il est caractérisé par la prédominance des sulfates sur les bicarbonates et les chlorures sur le sodium. Ce faciès correspond aux points suivants :(P n°11(**KSAR KADOUR 1 BIS**), et P n°33 (**TABELKOZA**)).

Chapitre III : Etude Hydrochimique

Tableau n°13 : Formule et faciès chimique des eaux de la nappe du continental intercalaire d'après la classification de STABLER.

N°	n de forage	Formule caractéristique	faciès chimique	
1	TINERKOUK 1	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺² > Na ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté calcique
2	TINERKOUK 1 BIS	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
3	BENI AISSI	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
4	TGANET PUIITS 2	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺² > Mg ⁺² > Na ⁺ > K ⁺	Chloruré calcique
5	TEGANET STATOIL 102	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
6	TAANTAS 02	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
7	SIDI MANSOUR	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
8	TEGANET STAOAL 101	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
9	TEGANET STAOAL 101 bis	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺² > Mg ⁺² > Na ⁺ > K ⁺	Chloruré calcique
10	TELEGHMINE	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
11	INGUELLOU	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
12	OUDGHAGHE F	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
13	OUDGHAGHE P	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
14	OUDGHAGHE P PRIVE	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
15	TAANTAS 01	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
16	KSAR KADOUR	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
17	KSAR KADOUR 1 BIS	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Mg ⁺² > Ca ⁺² > Na ⁺ > K ⁺	Chloruré magnésien
18	TIMZLENE	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
19	BENZITA 1 AEP	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté sodique
20	FATIS P	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
21	ITMAS 02	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
22	ITMAS 01	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté sodique
23	TINHENOU	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
24	BADRIANE 04	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Mg ⁺² > Ca ⁺² > K ⁺	Chloruré sodique
25	PUIITS TAYARA TIMIMOUN	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté sodique
26	ZAKOUR	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
27	TAOURSIT	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
28	P LAAOUAR TIMIMOUN	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺² > Na ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté calcique
29	EL GASBA	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
30	EL OUADJDA	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
31	MACINE 04BIS	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté sodique
32	MACINE 02	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
33	TABELKOZA	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Mg ⁺² > Ca ⁺² > Na ⁺ > K ⁺	Chloruré magnésien
34	TIMIMOUN 06	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté sodique
35	MEGUIDEN 02	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > r K ⁺	Chloruré sodique
36	MEGUIDEN 01	Cl ⁻ > SO ₄ ⁻² > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺² > Mg ⁺² > Na ⁺ > K ⁺	Chloruré calcique
37	MEGUIDEN 05	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Na ⁺ > Ca ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté sodique
38	TAZLIZA 1 BIS	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺² > Na ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté calcique
39	TAZLIZA 2	SO ₄ ⁻ > Cl ⁻ > HCO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻	Ca ⁺² > Na ⁺² > Mg ⁺² > K ⁺	Sulfaté calcique

III.4.2. Diagramme de Piper :

La méthode consiste à reporter sur deux triangles les pourcentages des quantités en réaction de chaque cation et anion. Ces eaux sont représentées sur le losange en un seul point qui indique la famille chimique. Ce diagramme permet de regrouper un grand nombre d'analyse sans pour autant faire une subdivision précise.

La majorité des eaux de la nappe du Continental Intercalaire de notre région d'étude sont regroupés en deux principaux faciès selon le diagramme de Piper: Chloruré sodique et Sulfatée sodique. (Fig.42.43).

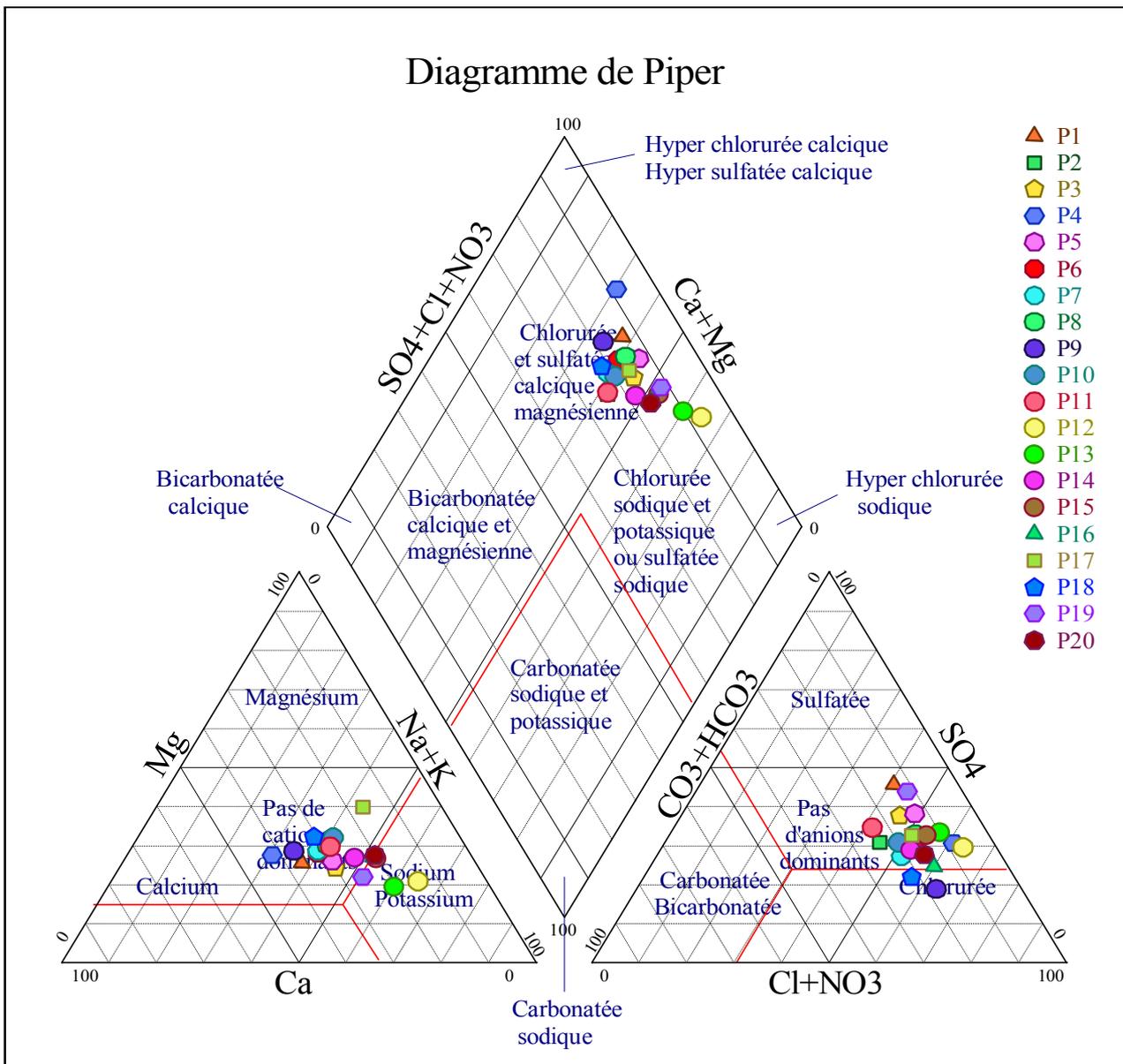


Fig.42 : Diagramme d'analyse d'eaux d'après piper.

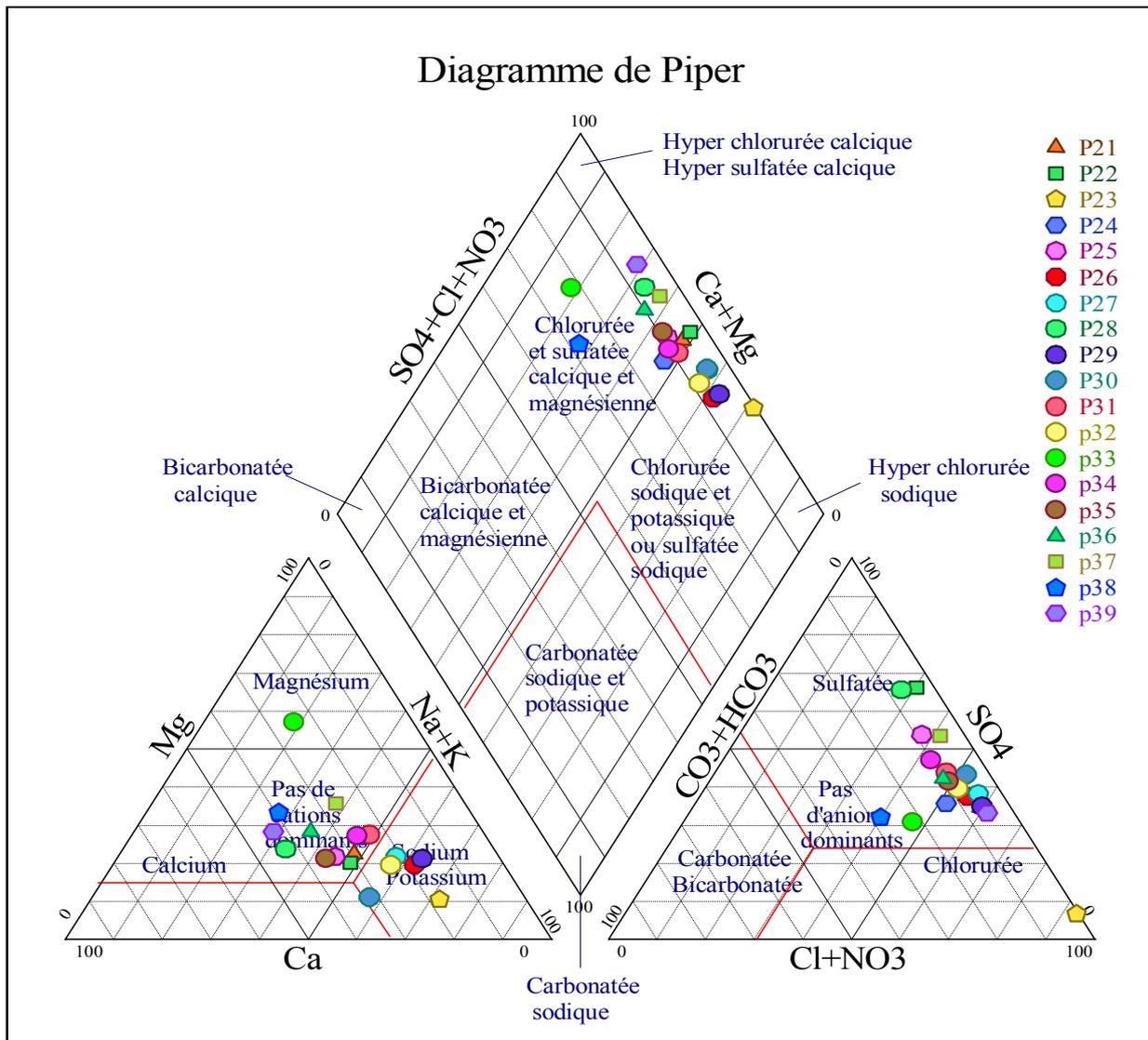


Fig.43 : Diagramme d'analyse d'eaux d'après piper.

III.4.3. Diagramme de Schoeller-Berkaloff :

Ce diagramme à échelle logarithmique, permet de distinguer par simple lecture des échelles, les concentrations des ions dominants et donc de déduire rapidement les différentes familles chimiques. Le report des teneurs sur le diagramme, permet de distinguer trois familles d'eaux :

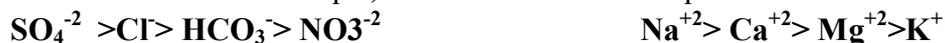
* Des eaux à faciès Chloruré sodique, de formule caractéristique:



* Des eaux à faciès Chlorure calcique, de formule caractéristique :



* Des eaux à faciès Sulfaté sodique, de formule caractéristique :



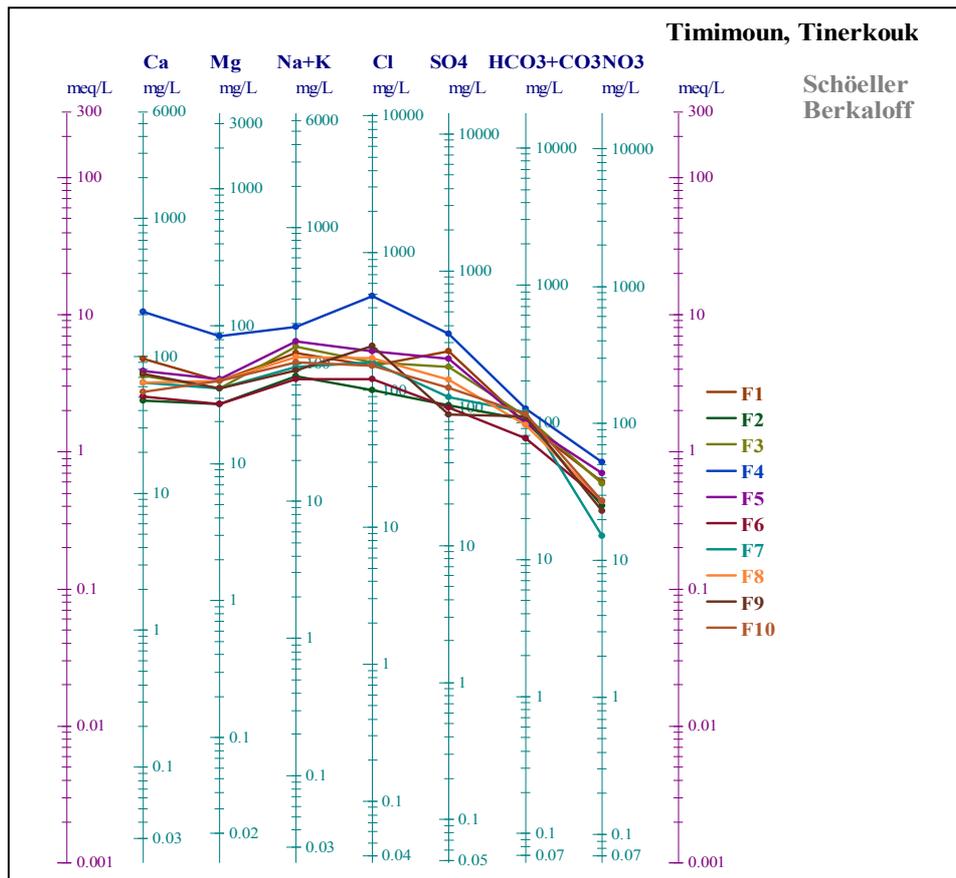


Fig.44: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

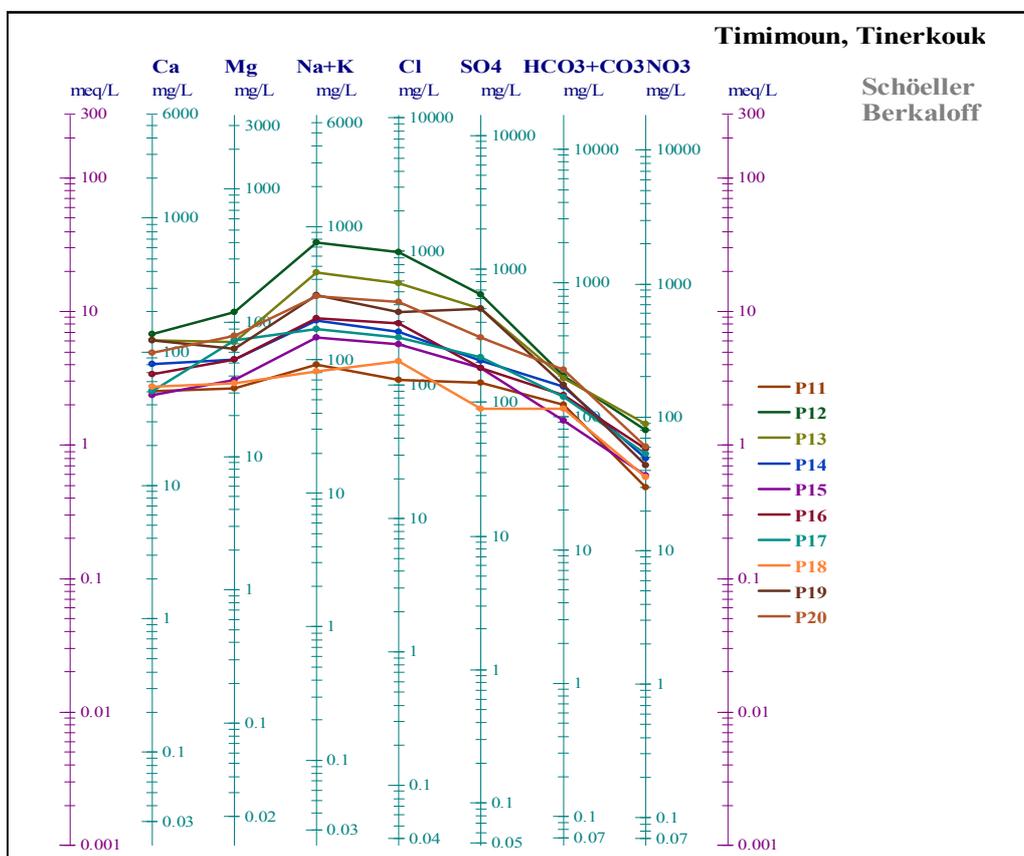


Fig.45: Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

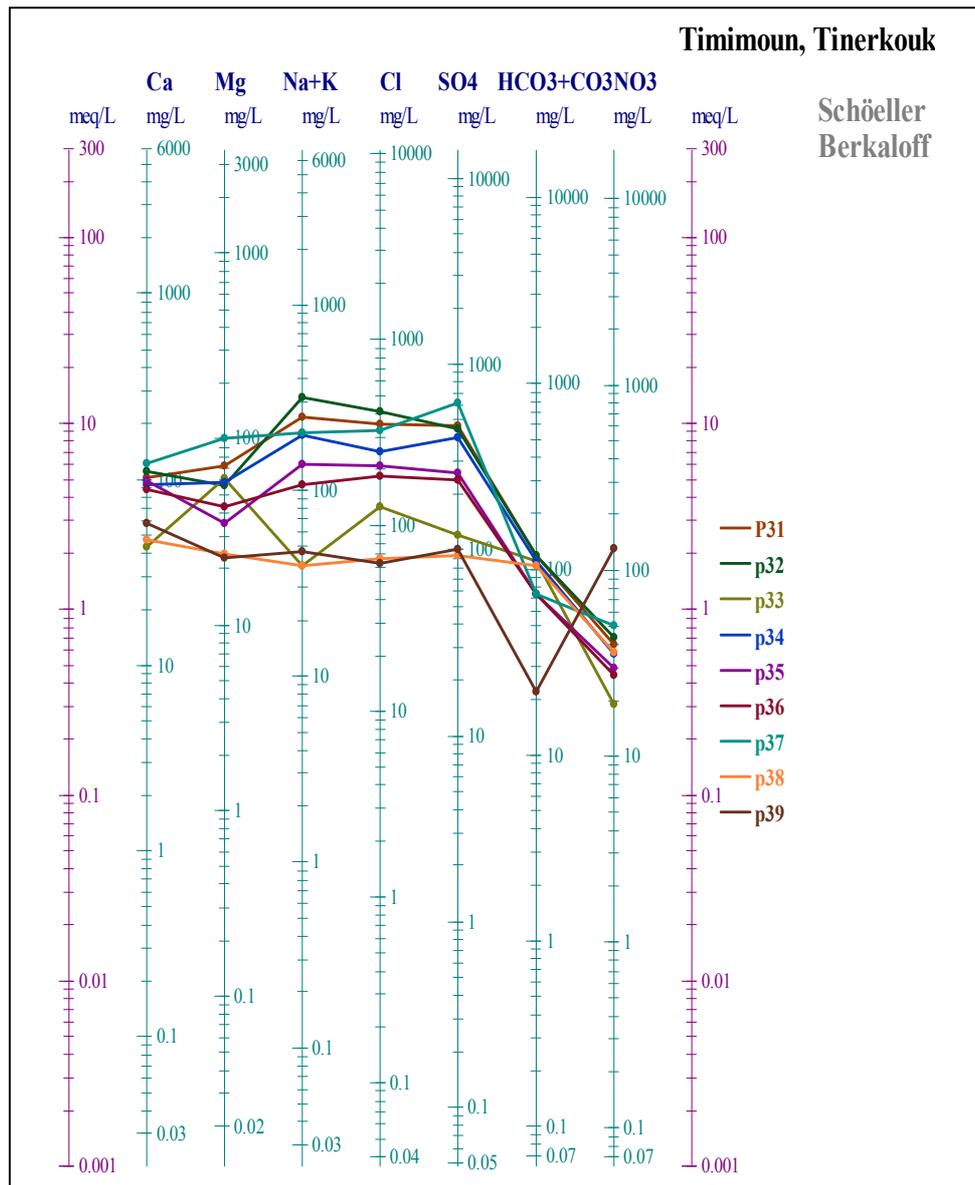


Fig.46 : Représentation graphique des eaux sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

III.5. Etude des rapports caractéristiques : L'étude des rapports caractéristiques les plus courants en hydrochimie permet de préciser le milieu de provenance des eaux souterraines et de comparer leur concentration en éléments chimiques. L'étude a concerné les rapports suivants : r_{SO4}/r_{CL} , r_{Na}/r_{Mg} et r_{Mg}/r_{Ca} .

Chapitre III : Etude Hydrochimique

Tableau n°14 : Calcul des rapports caractéristiques.

<i>Point d'eau</i>	<i>r (Mg/Ca)</i>	<i>r (SO₄/CL)</i>	<i>r (Na/Mg)</i>
P1	0,694	1,289	1,347
P2	0,947	0,776	1,397
P3	0,802	0,924	1,663
P4	0,663	0,533	1,026
P5	0,867	0,885	1,446
P6	0,873	0,616	1,297
P7	0,902	0,554	1,309
P8	1,031	0,696	1,213
P9	0,78	0,316	1,001
P10	1,199	0,690	1,213
P11	1,035	0,958	1,297
P12	1,455	0,485	2,839
P13	0,965	0,637	2,845
P14	1,079	0,609	1,627
P15	1,298	0,665	1,894
P16	1,285	0,459	1,831
P17	2,393	0,723	0,947
P18	1,049	0,443	1,078
P19	0,858	1,056	2,274
P20	1,346	0,535	1,819
P21	0,757	0,616	2,096
P22	0,643	2,302	2,378
P23	0,59	0,073	6,739
P24	1,035	0,744	1,599
P25	0,643	1,599	1,983
P26	1,067	0,719	3,104
P27	1,027	0,696	2,601
P28	0,55	2,715	1,308
P29	1,324	0,624	2,797
P30	0,346	0,871	5,074
P31	1,164	0,982	1,722
P32	0,84	0,808	2,888
P33	2,339	0,71	0,309
P34	1,035	1,189	1,644
P35	0,589	0,915	2,002
P36	0,797	0,959	1,253
P37	1,354	1,403	1,040
P38	0,842	1,053	0,786
P39	0,654	1,192	0,937

III.5.1. Rapport caractéristique (rMg^{2+}/rCa^{2+}) :

Ce rapport est inférieur à 1 pour la majorité des points d'eau (54%) (forages n° :1,2,3,4,5,6,7,9,13,19,21,22,23,25,28,30,32,35,36,38,39), cela traduit la prédominance du calcium sur le magnésium, dû à la dissolution du massif carbonaté (Carbonifère), Les autres points présentent un rapport supérieur à l'unité, ce qui implique la prédominance du Mg, qui provient du lessivage du faciès gypseux(Quaternaire).

III.5.2. Rapport caractéristique (rSO_4^{2-}/rCl):

Les rapports sont généralement inférieurs à l'unité pour la totalité des points d'eau de notre région d'étude. Ce qui montre une concentration élevée des Chlorures, probablement dû à la dissolution des sels par le lessivage des terrains salifères (évaporation en climat semi-aride) et des rejets des eaux usées d'origine domestique et industrielle.

Les autres points d'eau présentent un rapport supérieur à l'unité, montrant la prédominance de SO_4 liée plus souvent au lessivage des terrains argileux et à la dissolution du gypse.

III.5.3. Rapport caractéristique (rNa^{2+}/rMg^{2+}) :

* $rNa^{2+}/rMg^{2+} >1$ pour la majorité des Points d'eau analysés ce qui détermine la prédominance du sodium sur le magnésium (présence d'évaporite).

* $rNa^{2+}/rMg^{2+} <1$ pour des points n° : P17, P33, P38, P39. Cela implique la prédominance du Mg qui provient du lessivage du faciès gypseux.

III.6. Qualité des eaux d'irrigation : Les eaux superficielles et souterraines peuvent être utilisées aussi bien pour l'A.E.P que pour l'irrigation ou l'industrie.

Pour l'irrigation, en raison de l'effet de leurs éléments minéraux sur les végétaux, la méthode du taux d'absorption du sodium mis au point en 1969 par le Geological Survey a été appliquée. Cette méthode fait intervenir la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Le S.A.R donné par la

$$\text{formule : } SAR = \frac{rNa}{\sqrt{(rCa+rMg)/2}}$$

la concentration de chaque ion est exprimées en méq/l. selon le taux d'absorption de sodium (S.A.R), on a la classification suivante (Tab.15) :

- **SAR<10** : eau à faible danger d'alcalinisation des sols, (eaux excellentes).
- **10<SAR<18** : eau avec un danger d'alcalinisation assez appréciable (eaux bonnes).
- **18<SAR<26** : eau avec un danger d'alcalinisation important (eaux convenables).
- **SAR>26** : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort(eaux médiocres).

Le tableau n° 15 ci-dessous permet de voir après le calcul de S.A.R que la majorité des eaux de la nappe de notre région sont excellentes pour l'irrigation et qui peuvent être utilisée avec peu de risque d'alcalinisation des soles.

La nature et le pourcentage des éléments chimiques dissous dans l'eau présentent une influence sur le type de culture pratique.

Le sodium est un élément de base des alcalins et alcalino-terreux jouant un rôle dans le maintien de la perméabilité des sols. Le pourcentage du sodium (voir le tableau n°15) est un

Chapitre III : Etude Hydrochimique

coefficient important dans l'application de la qualité des eaux d'irrigation, il est donné par la formule : $\%Na = (Na+K)*100/Ca+Mg+ (Na+K)$

Tableau n°15 : Classification de qualité des eaux en fonction des valeurs du S.A.R.

Nom	Na%	S..A. R	L'analyse
P1	47,26	2,17	eaux excellentes
P2	52,25	2,02	eaux excellentes
P3	55,78	2,62	eaux excellentes
P4	38,95	2,37	eaux excellentes
P5	55,17	2,52	eaux excellentes
P6	50	1,83	eaux excellentes
P7	49,1	2,13	eaux excellentes
P8	51,85	2,18	eaux excellentes
P9	45,20	1,56	eaux excellentes
P10	51,89	2,26	eaux excellentes
P11	52,51	2,09	eaux excellentes
P12	74,60	9,57	eaux excellentes
P13	69,81	6,75	eaux excellentes
P14	59,33	3,41	eaux excellentes
P15	63,47	3,46	eaux excellentes
P16	62,76	3,99	eaux excellentes
P17	57,48	2,73	eaux excellentes
P18	47,36	1,82	eaux excellentes
P19	61,91	4,93	eaux excellentes
P20	62,72	4,92	eaux excellentes
P21	56,86	5,21	eaux excellentes
P22	56,79	6,92	eaux excellentes
P23	77,66	13,09	eaux bonnes
P24	57,73	3,49	eaux excellentes
P25	53,33	3,60	eaux excellentes
P26	70,83	7,23	eaux excellentes
P27	66,28	7,89	eaux excellentes
P28	41,69	2,56	eaux excellentes
P29	72,32	8,68	eaux excellentes
P30,	63,31	7,31	eaux excellentes
P31	58,86	4,28	eaux excellentes
P32	65,63	5,82	eaux excellentes
P33	27,27	0,80	eaux excellentes
P34	56,53	3,59	eaux excellentes
P35	50,92	2,87	eaux excellentes
P36	45	2,18	eaux excellentes
P37	47,96	3,17	eaux excellentes
P38	35,45	1,04	eaux excellentes
P39	36,71	1,12	eaux excellentes

III.7. Conclusion :

L'étude hydrochimique des eaux du CI dans la région de Gourara, montre que : Ces eaux présentent une forte salinité, elles sont caractérisées par :

- une minéralisation relativement élevée (3292 mg/l) en moyenne 1292 mg/l.
- La température des eaux varie de 19 à 25°C et le pH mesuré varie de 5,56 à 7,53.
- Selon la classification chimique, deux faciès sont prédominant : Chloruré Sodique et Sulfaté Sodique.
- L'étude du S.A.R a confirmé que les eaux du secteur étudié sont excellentes pour l'irrigation.
- L'observation du contexte géologique de la région et la répartition spatiale des éléments chimiques montre que son origine est liée principalement à la dissolution des formations essentiellement carbonaté, grésos-argileuses, gypso-salines du CI, et aussi avec les concentrations liées à l'activité agricole et aux rejets des eaux usées.
- Les eaux de la région sont dures à très dure (la majorité) parce que la dureté TH >32

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre zone d'étude fait partie de Sahara Septentrional. C'est une région caractérisée par un relief saharien qui a été modelé au cours du Quaternaire ancien à l'actuel, suite aux phénomènes d'érosion intensives.

Le réseau hydrographique dans l'ensemble du Sahara Septentrional témoigne des écoulements endoréiques de surface au cours des périodes humides du Quaternaire.

L'analyse climatologique, basée sur les données disponibles, a permis d'aboutir aux résultats suivants :

Cette région est caractérisée par un régime climatique Saharien hyperaride, ou la sécheresse est permanente et l'aridité est nettement exprimée. Ce type de climat est caractérisé par deux saisons :

- une saison froide relativement courte ;
- une saison chaude où la température est nettement supérieure à 20°C (s'étale sur une période d'environ 7 à 8 mois) ;
- Le taux d'humidité est très faible, il indique un signe de sécheresse accentuée ;
- Les températures sont très élevées, elle dépasse les 45°C en période estivale avec une moyenne annuelle de l'ordre de 25-26 °C ;
- Les précipitations sont quasi nulle et irrégulières dans le temps et dans l'espace, elles ne dépassent pas les 25 mm /an ;
- La fréquence des vents est considérable, elle est de l'ordre de 3 à 4 m/s durant toute l'année avec une accentuation en mois de Mars, Avril et Mai.

De point de vue géologique les terrains du Crétacé inférieur affleurent largement dans la région, ils sont essentiellement grés-argileux, ils reposent en discordance sur les terrains du paléozoïque. Ces terrains sont recouverts par des terrains argilo-gypseux provenant de la transgression cénomanienne, qui sont eux même surmontés par une dalle calcaire d'âge Turonien et Sénonien.

L'approche hydrogéologique a permis de montrer que la nappe du continental intercalaire appelée aussi nappe albienne constitue la seule ressource en eaux souterraine dans la région, elle est contenue dans les formations grés-argileuses du Crétacé inférieur. Elle possède une grande extension régionale, elle forme avec la nappe du complexe terminal ce qu'on appelle le système aquifère du Sahara septentrionale (SASS). Cette nappe est captive dans la partie centrale et orientale du bassin, et libre sur la partie occidentale du bassin qui forme l'exutoire naturel de la nappe.

D'après la carte élaborée par l'OSS sur la teneur en ^{14}C , les eaux de notre zone d'étude ont un âge varié entre 1000 à 10 000 ans. Nous venons donc de voir que ces réserves datent des périodes humides du Quaternaire, qu'elles sont soumises à une dynamique et qu'elles présentent enfin une faible recharge actuelle à vérifier si nous n'avons pas enlevé l'âge).

La carte piézométrique régionale de la nappe du CI, montre deux directions principales d'écoulement: généralement du Nord vers le Sud (piémonts de l'atlas saharien vers Gourara et Touat) et de l'Est vers l'Ouest (du Plateau de Tademaït vers Touat).

Les courbes représentatives des essais de pompages dans la région prouvent que cette nappe possède une grande extension régionale et possède des potentialités hydrodynamiques importantes.

L'étude des transmissivités permet d'évaluer la productivité des captages dans notre aquifère. Les terrains aquifères du crétacé inférieur présentent une bonne transmissivité, elle a été évaluée de l'ordre de 10^{-1} à 10^{-2} m/s.

L'interprétation des résultats de la géophysique a permis de confirmer la diversité litho stratigraphique du Continental Intercalaire par :

-la nature détritique (répétition des séquences argiles-grés d'ordre métrique, caractérisant presque l'ensemble des formations.

- les passages latéraux de faciès.

L'étude hydrochimique des eaux de la nappe du CI constitue un complément indispensable à l'étude hydrogéologique, elle permet d'apporter de nombreuses informations sur le milieu dans lequel les eaux souterraines circulent, la nature de l'encaissant,..., etc.

L'importance de la minéralisation des eaux de la nappe du CI trouve en grande partie son explication dans la nature géologique des terrains du Crétacé inférieur (gréso-argileux, carbonates, et sablo-argileux gypso-évaporitiques), elle est comprise entre 409 et 3292mg/l.

D'autres facteurs de moindre importance peuvent être énoncés, notamment l'activité humaine (rejets domestiques, décharges, rejets industriels, pratiques agricoles,..., etc.), et la zonalité climatique qui est fonction du degré d'aridité.

Ces facteurs provoquent des concentrations et des dilutions plus ou moins grandes des eaux. Elle est accentuée par les phénomènes d'évaporation, et elle est plus sensible à l'effet de la température, en raison de sa faible profondeur).

Deux faciès chimiques caractérisent les eaux de la région : un faciès prédominant c'est le faciès chlorurées sodiques, et l'autre de moindre importance le sulfatés sodiques.

L'étude des principaux rapports caractéristiques confirme que le lessivage et la dissolution des formations gypso-évaporitiques, gypso-calcaires et sablo-argileuse sont à l'origine de la minéralisation des eaux de la nappe du CI.

Les échantillons utilisés dans cette étude présentent un SAR généralement < 10 , Qui peuvent être utilisés avec peu de risque d'alcalinisation des soles.

Les coefficients de corrélation témoignent de l'influence des formations salifères et gypso-salifères sur la minéralisation des eaux de la région, et les éléments bien corrélés entre eux auraient la même origine, tel que les chlorures et le sodium d'une part et les sulfates et le calcium d'autre part.

Il convient de souligner que ces recommandations doivent être prises en considération par toutes les wilayas qui exploitent la nappe du CI à l'échelle nationale, et par les trois pays frontaliers (l'Algérie, la Tunisie et la Libye) à l'échelle du bassin entier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **AMRANI A. (2011)** : Ressource en eau souterraines : mobilisation, utilisation et gestion le cas de région de Gourara. Univ. Mentouri Constantine.
- **ANRH. (1992)** : Les données des essais de pompage.
- **ANRH. (2010)** :Fiches techniques des forages.
- **BUSSON(1970)** : Le Mésozoïque saharien, 2^{ème} partie Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse Paris, 464p.
- **CONRAD G. (1984)**: Les séries carbonifères du Sahara central Algérien, stratigraphie, sédimentations et évolution structurale, Thèse Doct., Univ., Aix, Marseille.
- **Conrad, Pareyn et Weyant, 1970 et Metchnikoff, 1935-1949 et Conrad, 1984, et Legrand-Blain, 2002.** La géologie Locale
- **CHIKHAOUI, 1974 et CHIKHAOU & DONZEAU, 1977.** La Litostratigraphique
- **CORNET A. (1964)** : Introduction à l'hydrogéologie saharienne ; Rev. de géogr. phys. et de géol. dyn. (2), vol. VI, fasc.1 ; pp5-72.
- **P. LE FRANC, 1975** : Coupe lithologique de Crétacé inférieur de la région d'étude
- **KASSIR A. (1982)** : Hydrogéologie du Gourara (Sahara. Occ, Algérie). Thèse 3^{ème} cycle Univ. Sc et Tech, H. Boumediene, Alger.
- **KHALDIA A. & OMARI S.(2011)** : lithostratigraphie et environnements sédimentaires des Terrains du dévonien inférieur de charouïn (transition Saoura-Timimoun, Algérie).
MIMOUNI 2012 : Carte de situation de la zone d'étude
- **ONM de Timimoun** : Donnée climatique de la région de Timimoun
- **OSS (2003a)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS. Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.
- **UNESCO. (1972)** : Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional.
- **UNESCO. (1974)** : Carte Hydrogéologique du Sahara Nord Occidental d'après G. Gonfiantini, G. Conrad, J-C. Fontes, Sauzay et B. R. Payne

Site web et Encyclopédie électroniques :

Encarta 2009

Google earth, Google maps.

- **Internet (Google).**, carte en isohyètes moyennes annuelles (mm) au Sahara algérien période : (1940- 1961), d'après Cahiers de Sécheresse, No : 1/98

Logiciels informatiques :

(Surfer 8, mapinfo 7,5, Exel2007, Word2007, Diagramme, Aquitest,)

Annexes

DONNEES ESSAI DE POMPAGE LONGUE DUREE (DESCENTE).

Enterprise : S.E.F.H.Y.T		Forage : Tinerkouk		coordonnée : x = 00°43'47"E y = 29°40'21"
Essai de pompage long duré		Durée : 72 Heurs		
Q = 20l/s	A Descente	ND : 55-56		

DATE	TEMPS			ND(m)	DATE	TEMPS			ND(m)			
	HEUR	MIN	SEC			HEUR	MIN	SEC				
4/8/2008	18 H00	0	0	10.20	05/08/2008	00 H 00	30	0	24.72			
		0	30				0	0	24.73			
		1	0	17.87		01 H 00	30	0	24.76			
		1	30				0	0	24.77			
		2	0	19.66		02 H 00	30	0	24.78			
		2	30				0	0	24.81			
		3	0	20.52		03 H 00	30	0	24.82			
		3	30				0	0	24.83			
		4	0	21.14		04 H 00	30	0	24.84			
		4	30				0	0	24.85			
		5	0	21.59		05 H 00	30	0	24.86			
		6	0	21.71			0	0	24.87			
		7	0	21.92		06 H 00	30	0	24.87			
		8	0	22.10			0	0	24.85			
		9	0	22.18		07 H 00	0	0	24.87			
		10	0	22.32		8 H 00	0	0	24.89			
		12	0	22.48		9 H 00	0	0	24.90			
		14	0	22.63		10 H 00	0	0	24.88			
		16	0	22.75		11 H 00	0	0	24.89			
		18	0	22.85		12 H 00	0	0	24.86			
		20	0	22.96		14 H 00	0	0	24.87			
		25	0	23.15		16 H 00	0	0	24.84			
		30	0	23.30		18 H 00	0	0	24.81			
		35	0	23.44		20 H 00	0	0	24.82			
		40	0	23.52		22 H 00	0	0	24.88			
		45	0	23.65		06/08/2008	00 H 00	0	0	24.91		
		50	0	23.71		06/08/2008	02 H 00	0	0	24.92		
		55	0	23.78			04 H 00	0	0	24.90		
		19 H00	0	23.86			06 H 00	0	0	24.89		
				10			0	23.96		0	0	
				20			0	24.06		0	0	
				30			0	24.13		0	0	
40	0			24.19	0		0					
50	0			24.26	0		0					
20 H00	0	24.31	0	0								
		15	0	24.37	0		0					
		30	0	24.43	0		0					
		45	0	24.49	0		0					
21 H00	0	24.54	0	0								
		20	0	24.57	0		0					
		40	0	24.60	0		0					
22 H00	0	24.62	0	0								
		30	0	24.67	0		0					
		23 H00	0	24.71	0		0					

Enterprise : S.E.F.H.Y.T		Forage : Taantas02		Coordonnée :	
Essai de pompage long Durée		Duré: 72 heurs s		X= 00°44'17"E	
Q = 42l/s	A Descente	NS = 4.26 m		Y= 29°43'04"N	

DATE	TEMPS			NIVEAU DYNsMI (m)	O B S	DATE	TEMPS			NIVEAU DYNsMI (m)	O B S
	Heur	Min	Sec				Heur	Min	Sec		
11/05/1990	16	0	0	7.20		11/05/1990		30	0	42.80	
		0	30	8.50			22	0	0	42.86	06 heures
11/05/1990	17	1	0	10.50		12/05/1990		30	0	42.92	
		1	30	14.54			23	0	0	42.99	
		2	0	23.80				30	0	43.06	
		2	30	26.00			0	0	0	43.12	
		3	0	27.32				30	0	43.18	
		3	30	29.22			1	0	0	43.43	
		4	0	30.44					30	0	43.47
		4	30	36.02			2	0	0	43.50	
		5	0	38.26				30	0	43.54	
		6	0	40.10	Contrôle		3	0	0	43.60	
		7	0	40.26	débit			30	0	43.62	
		8	0	40.56	46 l/s		4	0	0	43.66	
		9	0	40.64			5	0	0	43.82	12 heures
		10	0	40.75			6	0	0	43.96	toutes heures
		12	0	40.99			7	0	0	44.06	
		14	0	41.20			8	0	0	44.12	
		16	0	41.26			9	0	0	44.26	
		18	0	41.36			10	0	0	44.36	
		0	0	41.42			11	0	0	44.45	
		25	0	41.46			12	0	0	44.52	
30	0	41.52		13	0	0	44.60				
35	0	41.59		14	0	0	44.66				
40	0	41.64		15	0	0	44.68				
45	0	41.70		16	0	0	44.74				
50	0	41.76		18	0	0	44.84	24 heures			
55	0	41.84		20	0	0	44.99	tout 4heures			
0	0	41.90	01 heure	22	0	0	45.24				
10	0	41.96		0	0	0	45.46				
20	0	42.10		13/05/1990	2	0	0	45.05			
30	0	42.21			4	0	0	45.66			
40	0	42.26			6	0	0	45.62			
50	0	42.34	Contrôle		8	0	0	46.10			
18	0	42.39	debit		10	0	0	46.30			
	15	0	42.42		46 l/s	12	0	0	46.42		
	30	0	42.45			14	0	0	46.62		
	45	0	42.49			16	0	0	46.84		
19	0	0	42.54			20	0	0	47.10	28 heures	
	20	0	42.59			0	0	0	47.39	tout 2heures	
	40	0	42.62			14/05/1990	4	0	0	47.69	
20	0	0	42.65				8	0	0	47.86	
	30	0	42.70				12	0	0	48.26	
21	0	0	42.75				16	0	0	48.62	72 heures

Enterprise : S.E.F.H.Y.T		Forage : Taantas 01		Coordonnée: X= 00°44'19"E Y= 29°44'05"N	
Essai de pompage long duré		duré: 72 heures			
Q = 46 l/s	NS = 5.00m	descente			

DATE	TEMPS			NIVEAU DYNMI (m)	O B S	DATE	TEMPS			NIVEAU DYNMI (m)	O B S	
	neur	min	sec				neur	min	sec			
04/05/1990	18	0	0	5.00		04/05/1990		30	0	44.54		
		0	30	116.31			0	0	0	44.66	06 heures	
04/05/1990		1	0	21.40				30	0	44.76		
		1	30	22.80		1	0	0	44.84			
		2	0	23.90				30	0	44.92		
		2	30	24.80		2	0	0	45.72			
		3	0	28.40				30	0	45.81		
		3	30	30.00		05/05/1990	3	0	0	45.32		
		4	0	33.82					30	0	45.45	09 heures
		4	30	34.20		4	0	0	45.69			
		5	0	35.53				30	0	45.70		
		6	0	36.21	Contrôle débit 46 l/s	5	0	0	45.79			
		7	0	36.70					30	0	45.82	
		8	0	36.91			6	0	0	45.97		
		9	0	38.84			7	0	0	46.06	12 heures	
		10	0	38.67		8	0	0	46.18	toutes heures		
		12	0	38.92		9	0	0	46.87			
		14	0	39.07		10	0	0	46.10			
		16	0	39.56		11	0	0	46.48			
		18	0	39.76		12	0	0	46.54			
		0	0	40.16		13	0	0	46.62			
		25	0	40.42		14	0	0	46.70			
	30	0	40.68		15	0	0	46.84				
	35	0	40.86		16	0	0	46.98				
	40	0	41.20		17	0	0	47.10				
	45	0	41.34		18	0	0	47.58				
	50	0	41.56		20	0	0	47.34	24 heures			
	55	0	41.73		22	0	0	47.50	tout 4heures			
19	0	0	41.85	01 heure	16/05/1990	0	0	0	47.73			
	10	0	41.97			2	0	0	47.90			
	20	0	42.10			4	0	0	48.04			
	30	0	42.25			6	0	0	48.24			
	40	0	42.50			8	0	0	48.46			
	50	0	42.63	Contrôle débit 46 l/s		10	0	0	48.66			
	20	0	42.74				12	0	0	48.85		
		15	0	42.86			14	0	0	49.13		
		30	0	42.96			16	0	0	49.32		
		45	0	42.15			18	0	0	49.54		
21	0	0	43.21		22	0	0	49.84	28 heures			
	20	0	43.34		2	0	0	50.10	tout 2heures			
22	40	0	44.12		6	0	0	50.26				
	0	0	44.25		10	0	0	50.42				
	30	0	44.36		14	0	0	50.62				
23	0	0	44.45		18	0	0	50.87	72 heures			

Enterprise : S.E.F.H.Y.T		Forage : Beni Melouk		Coordonnée: X= Y=	
Essai de pompage long duré		duré: 72 heures			
Q = 14 l/s	NS = 30.53m	descente			

DATE	TEMPS			NIVEAU DYNSMI (m)	O B S	DATE	TEMPS			NIVEAU DYNSMI (m)	O B S	
	heur	min	sec				heur	min	sec			
24/02/1992	8	0	0	30.53		24/02/1992		30	0	71.47	06 heures	
		0	30	48.95			14	0	0	71.63		
		1	0	50.15				30	0	71.81		
		1	30	52.41			15	0	0	72.00		
		2	0	54.20				30	0	72.25		
		2	30	55.36			16	0	0	72.04		
		3	0	56.00				30	0	72.41		
		3	30	56.63			17	0	0	72.55		
		4	0	57.05				30	0	72.67		
		4	30	57.60			18	0	0	72.60		
	5	0	50.15		30	0	72.95					
	6	0	58.81		25/02/1992	19	0	0	73.10	12 heures		
	7	0	59.63				30	0	73.22			
	8	0	60.05			20	0	0	73.30			
	9	0	60.75				30	0	73.40			
	10	0	61.40			21	0	0	73.50			
	12	0	61.06				30	0	73.61			
	14	0	62.51			0	0	0	73.72			
	16	0	63.00			1	0	0	73.80			
	18	0	63.63				30	0	73.91			
20	0	64.15	2			0	0	74.00				
25	0	64.87		30	0	74.10						
30	0	65.31		26/02/1992	3	0	0	74.15	48 heures			
35	0	66.02				4	0	0		74.20		
40	0	66.57			5	0	0	74.25				
45	0	67.05				6	0	0		74.25		
50	0	67.39			7	0	0	74.30				
55	0	67.62				8	0	0		74.30		
0	0	67.87			01 heures		10	0		0	74.25	
10	0	68.10				12	0	0		74.40		
20	0	68.35				27/02/1992	14	0		0	74.42	72 heures
30	0	68.60						16		0	0	
40	0	68.85	18	0			0	74.46				
50	0	64.05		20			0	0	74.48			
0	0	69.30	22	0			0	74.50				
15	0	69.59		0			0	74.52				
30	0	69.80	2	0			0	74.54				
45	0	70.00		4			0	0	74.56			
0	0	70.27	01 heures				6	0	0	74.58		
20	0	70.59		8			0	0	74.60			
40	0	70.82		26/02/1992	12	0	0	74.62	tout 2herres			
0	0	71.01				16	0	0		74.63		
30	0	71.18			20	0	0	74.64				
0	0	71.30		0	0	0	74.65					
4	0	0	74.65		4	0	0	74.65				
8	0	0	74.65		8	0	0	74.65				

Enterprise : S.E.F.H.Y.T		Forage : Tazliza	Coordonnée: X= 00°41'29"W Y= 29°47'01"
Essai de pompage long duré		duré: 72 heures	
Q = 20 l/s	NS = 30.53m	descente	

DATE	Heur	MIN	Sec	Niveau dynamique	débit Q = L / S
23/09/1993	0	0			
13H		0		2,75	20L/S
		1		26,10	20 L/S
		2		28,95	20 L/S
		3		31,90	20 LS
		4		33,21	20L/S
		6		34,30	20L/S
		8		35,02	20L/S
		10		35,30	20L/S
		15		37,95	20L/S
		20		37,67	20L/S
		25		38,00	20L/S
		30		38,25	20L/S
		35		38,45	20L/S
		40		38,66	20L/S
		45		38,79	20L/S
	50		38,98	20L/S	
	55		39,21	20L/S	
14H	01 H	0		39,37	20L/S
		10		39,60	20L/S
		20		39,79	20L/S
		30		39,94	20L/S
		40		40,12	20L/S
		50		40,27	20L/S
15H	02H	0		40,38	20L/S
23/10/1993					
		15		40,49	20L/S
		30		40,60	20L/S
		45		40,70	20L/S
16H	3H	0		40,79	20L/S
		30		40,96	20L/S
	4	0 0		41,13	20L/S
		30		41,28	20L/S
	5	0		41,48	20L/S

DATE	Heur	MIN	Sec	Niveau dynamique	débit
		30		41,57	20L/S
	6	0		41,70	20L/S
		30		41,81	20L/S
20H	7	0		41,89	20L/S
		30		41,95	20L/S
	8	0		42,01	20L/S
	9			42,10	20L/S
	10			42,21	20L/S
24H	11			42,30	20L/S
24/10/1993	12			42,40	20L/S
	13			42,45	20L/S
	14			42,50	20L/S
4H	15			42,54	20L/S
	16			42,57	20L/S
	17			42,60	20L/S
	18			42,63	20L/S
8H	19			42,65	20L/S
	20			42,68	20L/S
24/10/1993					
	21			42,70	20L/S
	22			42,73	20L/S
12H	23			42,76	20L/S
	24			42,78	20L/S
	26			42,82	20L/S
	28			42,85	20L/S
	30			42,88	20L/S
21H	32			42,90	20L/S
	34			42,93	20L/S
	36			42,95	20L/S
25/10/1993	38			42,97	20L/S
5H	40			42,99	20L/S
	42			43,00	20L/S
	44			43,01	20L/S
	46			43,02	20L/S

Enterprise : S.E.F.H.Y.T	Forage : Tabelkoza	Coordonnée : X= 00°44'21"E Y= 29°47'03"N
Essai de pompage long duré	Durée : 72 h	
Débit = 42 L/S	Niveau Statique =	

DATE	Heur	Minute	Seconde	Niveau Dynamique	
26/10/1993	0	0		4.26	
	12 H00	1		16.06	
		2		17.29	
		3		17.78	
		4		18.04	
		6		18.46	
		7		18.74	
		10		18.90	
		15		19.07	
		20		19.17	
		25		19.29	
		30		19.40	
		35		19.51	
		40		19.60	
		45		19.66	
		50		19.72	
		55		19.75	
		13 H 00	0		19.79
			10		19.85
			20		19.89
			30		19.93
			40		19.97
			50		20.00
		14 H 00	0		20.03