

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

**École Nationale Supérieure Agronomique  
d'El-Harrach**

Département de Génie Rural

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de  
Doctorat en sciences

*Option* : Sciences de l'eau

Th è m e

**ÉTUDE HYDRAULIQUE DES FOGGARAS DANS LA  
RÉGION D'ADRAR**

Présenté par : **BENSAADA Mohamed**

Soutenu publiquement le lundi 19 /02 / 2018

devant le Jury :

<i>M<sup>r</sup>.CHABACA MOHAMED Nacer</i>	<i>professeur</i>	<i>E.N.S.A</i>	<i>Président</i>
<i>M<sup>r</sup> REMINI. Boualem</i>	<i>professeur</i>	<i>U.S.T.B</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>M<sup>r</sup> BENMEBAREK Abdelmadjid</i>	<i>professeur</i>	<i>E.N.S.A</i>	<i>Examineur</i>
<i>M<sup>r</sup> ZELLA. Lakhdar</i>	<i>professeur</i>	<i>U.S.T.B</i>	<i>Examineur</i>
<i>M<sup>r</sup> SAAED HAMMOUDI</i>	<i>professeur</i>	<i>U.S.T. Chlef</i>	<i>Examineur</i>

## Remerciements

*Ce travail a pu être mené avec le soutien de l'ensemble des membres de la foggara de M'ghaer, Monsieur EL HADJ DASSIDI Abdesslam et ses fils, plus particulièrement Abdelkader qui m'a aidé à la reconnaissance du terrain. Il est donc pour moi un grand honneur et un réel plaisir de rendre hommage à Monsieur OULDYAHIA Mohamed Benabderrahmane kiel el ma, lui témoigner ma profonde reconnaissance et formuler mes remerciements, d'une manière ou d'une autre, ont apporté leur soutien et contribué à finaliser ce travail.*

*Monsieur Boualem REMINI, Professeur à l'université SAAD DAHLEB BLIDA, m'a fait l'honneur de me compter parmi les chercheurs qu'il dirigeait dans l'élaboration de leurs thèses. Je demeure fasciné par ses qualités scientifiques et humaines. Il m'a accompagné plusieurs fois sur le terrain et il m'a offert l'opportunité de réaliser ce travail de recherche et a bien voulu accepter de le diriger. C'est toujours avec beaucoup d'intérêt et de rigueur que le Professeur Boualem REMINI a dirigé ce travail. Ses nombreux conseils me furent extrêmement précieux, ramenant mon attention aux problèmes essentiels, alors qu'elle se dispersait parfois dans une multitude de détails. Je lui dois beaucoup. Je tiens à lui exprimer ici ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements.*

*Je remercie particulièrement le professeur CHABACA MOHAMED Nacer d'avoir accepté de juger ce travail et me faire l'honneur de présider mon Jury de thèse.*

*Mes vifs remerciements et mes respects les plus distingués vont à Monsieur ZELLA Lakhdhar Professeur à l'université SAAD Dahleb Blida pour avoir accepté d'examiner mon travail de thèse.*

*Un grand merci à Monsieur BENMEBAREK Abdelmadjid Professeur à l'E.N.S.A d' El Harrach pour avoir accepté d'examiner mon travail de thèse.*

Je remercie aussi Monsieur HAMMOUDI SAAED professeur à L'université Hassiba ben Bouali de Chlef d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier très vivement Monsieur Josef SMITZ ainsi que toute l'équipe de l'Unité de Modélisation de l'Aquapôle, Université Liège.

J'ai beaucoup apprécié l'aide tant morale que scientifique de tous mes collègues et amis lors de la préparation de cette thèse. Je citerai en particulier Mr ABADA Abdallah, Mr HADRI Mohamed, Mr Djane Hamed Mohamed et Mr MOKABLI Aissa.

Je n'oublie pas non plus toutes celles et ceux qui enseignants, personnel de soutien, m'ont apporté leur dévouement, leur soutien et leur amitié. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma vive reconnaissance.

Je tiens à remercier mon père, ma mère, mes frères et sœurs, ma défunte grand-mère ; vous tenez tous une place de choix dans la réalisation de cette thèse.

Et pour finir, je remercie ma petite famille, pour son soutien moral et son amour : à ma femme et mes fils Yahia et Rahim, mes filles Merièm Alaa et Marya.

## ملخص

تتسم منطقة أدرار بظروف مناخية صعبة، حيث يمثل الماء عامل أساسي في تنمية النشاط البشري ونظرا للعوامل الطبيعية القاهرة كالجفاف وندرة المياه السطحية وصعوبة استغلال المياه الجوفية من الحوض المائي الجوفي.

لعبت الفقارة دورا هاما في ميدان استغلال المياه الجوفية. وساعدت طريقة الري هذه الحضارات على التطور اقتصاديا واجتماعيا وحتى سياسيا بحيث الماء مملوكة للقطاع الخاص.

قد اهتدى أهالي المنطقة إلى تقنية في جذب المياه الجوفية عن طريق نظام هيدروليكي بتصريفها إلى السطح عبر قنوات جوفية تسمى بالفقارة.

وقد أدى كذلك النمو الديمغرافي إلى زيادة في عدد سكان القصور المالكين الفقارة بتضاعف ورثة مياه هذه الأخيرة مما خلق مشكلة أخرى في التنظيم الاجتماعي والاقتصادي.

ومن بين الأسباب التي أدت إلى تدهور و زوال الفقاقير تنمية الزراعة الحديثة في المنطقة بتسهيل و السماح في إنشاء الري الزراعي عن طريق حفر آبار عميقة لاستغلال المياه الجوفية. و مما تجدر الإشارة إليه أن معظم الفقاقير الميته توجد في المناطق التي تكثر بها النقب و التي تمر بالمناطق العمرانية.

لقد بينت لنا نتائج دراسة الضخ التجريبي أن العامل الأساسي لموت الفقارة هو وضع البئر بجانب هذه الأخيرة و في موضع التغذية المائية للفقارة.

**مفتاح الكلمات :**

الجزائر - الصحراء - الماء - الفقارة - الجوفية الهيدروليكية - توات - قورارة- تيديكلت

## Résumé

La région d'Adrar est une zone hyper aride où l'eau se fait rare, cette contrainte a poussé les habitants de ces oasis à capter l'eau souterraine du Continental Intercalaire par le creusement de galeries souterraines et à la drainer sans utilisation d'énergie grâce à un système hydraulique traditionnel ancestral appelé *foggara*.

Ce système hydraulique a joué un rôle très important sur le plan économique que social et politique où l'eau est une propriété privée, la croissance démographique s'est traduite par une augmentation de la population des propriétaires de la *foggara*. Le nombre d'héritiers de cette dernière a doublé ou triplé faisant diminuer les parts d'eau des propriétaires en créant un problème d'organisation sociale et économique. Or la propriété et les droits de ces eaux individuelles ou collectives peuvent être abandonnés dans le temps. Le développement de l'agriculture moderne dans la région a favorisé la mise en place d'une nouvelle agriculture où l'irrigation est faite à partir d'implantation de forages d'eau profonds. Les résultats des essais de pompage ont révélés une influence nette entre forage et *foggara*. Ce patrimoine culturel mondial est menacé de disparaître par manque de main d'œuvre d'entretien des galeries, ensablement, problèmes sociaux etc.....

### Mots clés

Algérie - Sahara - Eau - Foggara - Hydraulique - Touat - Gourara - Tidikelt

## **Abstract**

The Adrar region is a hyper arid and water is scarce, this constraint has driven the inhabitants of the oasis to capture groundwater of Continental Intercalary by the digging of underground tunnels and without draining energy use thanks to an ancestral traditional hydraulic system called *foggara*.

This hydraulic system has played a very important role in economic, social and political or water is privately owned. Demographic growth has resulted in a population increase of *foggara* of the owners.

The number of heirs of the latter has doubled or tripled by reducing water share of the owners by creating a problem of social and economic organization.

Gold property and the rights of individual or collective water can be abandoned in time. The development of modern agriculture in the region has facilitated the establishment of a new agricultural or irrigation is made from implantation of deep water drilling. Pumping results of the tests have revealed a significant influence between drilling and *foggara*. This World Heritage Site is under threat of disappearing due to lack of maintenance labor galleries, silting, social problems etc

### **Keywords**

Algeria - Sahara - Water - *foggara* - Hydraulic- Touat - Gourara - Tidikelt.

# S o m m a i r e

*Pages*

*Liste des figures*

*Liste des tableaux*

*Liste des photos*

*Glossaire*

*Acronyme*

**Introduction générale**

19

**Première partie : Étude hydrogéologique classique**

**Chapitre I : Présentation du secteur d'étude**

1-1. Situation géographique

23

1-2. Morphologie

24

1-3. Climat

26

1-4. Flore remarquable

26

1-5. Faune remarquable

26

1-6. Caractéristiques écologiques

27

**Chapitre II : Aperçu hydroclimatologique**

II-1. Introduction

29

II-2. La température

29

II-3. La Nébulosité

30

II-5. L'évaporation

32

II-6. Le vent

33

II-7. Etude des précipitations

34

II-8. Les paramètres climatiques

37

Conclusion

42

**Chapitre III Géologie**

III-1. Introduction

44

III-2. Cadre géologique général

44

III-3. Cadre géologique local

46

III-4. Aperçu tectonique

51

Conclusion

52

**Chapitre IV : Géométrie et nature du Ci**

IV-1. Introduction

54

IV -2. Interprétation des différentes coupes

54

IV -3. Interprétation des différentes cartes

57

Conclusion

62

**Chapitre V : Hydrogéologie**

V-1. Introduction	64
V-2. L'aquifère du Continental Intercalaire	68
V-3. Etude du cheminement des eaux souterraines dans la nappe du Ci	70
V-4 Interprétation hydrogéologique	74
Conclusion	75

**Deuxième partie : Étude des foggaras****Chapitre VI : Les foggaras d'Adrar**

Chapitre VI : Les foggaras d'Adrar	77
<b>A/ Les foggaras</b>	78
VI-1 Introduction	78
VI-2. Les foggaras inventoriées dans la wilaya d'Adrar	79
VI-3 Le concept de la foggara	80
VI-3-1. Le captage	81
VI-3-2. Le principe de fonctionnement	82
VI-3-3. Les facteurs influençant le fonctionnement	84
VI-4. Hydraulique et gestion des eaux de la foggara	85
VI-4-1. La répartition de l'eau de la foggara	85
VI-4-2. Le jaugeage de la foggara	87
VI-4-2-1.. La mesure de l'eau	89
VI-4-2-2.. L'unité de mesure	90
VI-4-3. Le partage de l'eau	91
VI-5. La classification des foggaras	93
VI-6. Les facteurs favorisant le tarissement de la foggara	94
VI-6.1 le manque d'entretien de la galerie	94
VI-6.2 Effondrement des puits de la foggara	94
VI-6.3 Ensablement	95
VI-6.4 Pollution urbaine	95
VI-6.5 Implantation de forage d'eau à proximité de la foggara	96
VI-6.6 Le facteur économique	96
VI-6.7 La fraction sociale	96
VI-7 Avantages et inconvénients de la foggara	97
<b>B/ La foggara de M'ghaer</b>	99
VI-8. Historique	99
VI-9. Présentation de la foggara	99
VI-9.1 Plan de distribution et de partage	101
VI-9.2 Historique du débit de la foggara	103

	<i>Pages</i>
<i>Conclusion</i>	104
<b>Chapitre VII : Étude Hydraulique</b>	
VII-1 <i>Introduction</i>	106
VII-2. <i>Hydraulique des puits</i>	106
VII- 2 -1 <i>Interprétation graphique des pompages</i>	107
a). <i>Calcul des paramètres hydrodynamiques</i>	107
b). <i>Le calcul du rayon d'action du puits de pompage ( R)</i>	108
VII- 2 -2 <i>Pompage d'essai du forage (F<sub>4</sub>)</i>	109
VII- 2 -3 <i>Pompage d'essai du forage (F<sub>20</sub>)</i>	112
VII- 2-4 <i>Pompage d'essai du forage (F<sub>5</sub>)</i>	116
VII-3. <i>Etablissement de la carte piézométrique</i>	122
<i>Conclusion</i>	123
<b>Chapitre VIII : Étude Hydrochimique</b>	
VIII-1. <i>Introduction</i>	125
VIII-2. <i>Conductivité électrique</i>	125
VIII-3. <i>Potentiel d'hydrogène</i>	125
VIII-4. <i>Classification et représentation graphique des eaux</i>	126
<i>Conclusion</i>	133
<b>Chapitre IX L'organisation sociale et économique</b>	
IX -1 <i>Introduction</i>	136
IX -2 <i>L'organisation sociale des oasis à foggara</i>	136
IX -3 <i>La stratification sociale des oasis à foggara</i>	137
IX-4 <i>La structure sociale des oasis à foggara</i>	138
IX -5 <i>L'organisation économique</i>	139
IX -6 <i>L'aspect architectural et touristique</i>	141
<i>Conclusion</i>	143
<i>Conclusion générale</i>	145
<i>Recommandations</i>	147
<i>Références bibliographiques</i>	149
<i>Annexes</i>	155

## Liste des figures

	<i>Pages</i>
<i>Fig.1 : Carte de situation du secteur d'étude</i>	23
<i>Fig.2 : Les températures moyennes mensuelles pour la station de Timimoune</i>	30
<i>Fig.3 : Histogramme des nébulosités moyennes mensuelles de la station de Timimoune</i>	31
<i>Fig.4 : L'humidité moyenne mensuelle de la station de Timimoune. Période (1995-2004)</i>	32
<i>Fig.5 : Evaporation moyenne mensuelle pour la station de Timimoune. Période (1995-2004)</i>	33
<i>Fig.6 : Précipitations Moyennes Annuelles pour la station de Timimoune. Période (1975-2004)</i>	34
<i>Fig.7 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Timimoune Période (1926-1950)</i>	35
<i>Fig.8 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Timimoune Période (1980-1993)</i>	36
<i>Fig.9 : Nombre de jours de pluie (1995-2004) l'O.N.M d'Alger</i>	36
<i>Fig.10 : Histogramme de la durée moyenne mensuel des précipitations en heures (1995-2004) l'O.N.M d'Alger</i>	37
<i>Fig.11 : Abaque d'indice d'aridité annuel de De Martonne.</i>	38
<i>Fig.12 : Climagramme d'EMBERGER station de Timimoune</i>	40
<i>Fig.13 : Abaque de calcul de déficit d'écoulement d'après (P. Verdeil 1988)</i>	41
<i>Fig.14 : Les principales unités structurales du Nord-Ouest de l'Afrique</i>	45
<i>Fig.15 : Carte géologique du secteur d'étude</i>	48
<i>Fig.16 : Carte de situation des coupes</i>	54
<i>Fig.17 : Coupe lithostratigraphique Nord-sud</i>	55
<i>Fig.18 : Coupe lithostratigraphique Est-Ouest</i>	56
<i>Fig.19 : Carte d'isobathe du toit du Ci</i>	58
<i>Fig.20 : Carte d'isopaches du Ci</i>	59
<i>Fig.21 : Carte de pourcentage de l'épaisseur des grès par rapport à l'épaisseur du réservoir utile</i>	61
<i>Fig.22 : Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Cambro-ordovicien</i>	65
<i>Fig.23 : Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Silurien supérieur-Dévonien inférieur</i>	66
<i>Fig.24 : Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Silurien supérieur-Dévonien inférieur</i>	67
<i>Fig.25 : Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Trias</i>	68

	<i>Pages</i>
<i>Fig.26 : Aquifère du bassin hydrogéologique du Sahara Algérien</i>	69
<i>Fig.27 : Carte des écoulements d'après le pourcentage des grès</i>	72
<i>Fig.28 : Carte piézométrique du Ci (OSS, 2003), in Ould Baba Sy</i>	73
<i>Fig.29 : La répartition des foggaras à travers le monde</i>	78
<i>Fig.30 : Coupe schématique d'une foggara</i>	81
<i>Fig.31 : Schéma de fonctionnement d'une foggara</i>	84
<i>Fig.32 : Foggara captant un aquifère à nappe libre</i>	93
<i>Fig.33 : Foggara captant un aquifère à nappe captive</i>	94
<i>Fig.34 : Situation géographique de la foggara de M'ghaer</i>	100
<i>Fig.35 : Coupe hydrogéologique de la foggara de M'ghaer</i>	101
<i>Fig.36 : Plan de distribution et de partage d'eau de la foggara de M'ghaer</i>	102
<i>Fig.37 : Évolution du débit de la foggara de M'ghaer</i>	103
<i>Fig.38 : Courbe de descente du forage F<sub>4</sub></i>	110
<i>Fig.39 : Courbe de remontée du forage F<sub>4</sub></i>	112
<i>Fig.40 : Courbe de descente du forage F<sub>20</sub> (Zaouiet el hadj Belkassem)</i>	114
<i>Fig.41 : Courbe de remontée du forage F<sub>20</sub> (Zaouiet el hadj Belkassem)</i>	116
<i>Fig.42 : Courbe de descente du forage F<sub>5</sub></i>	118
<i>Fig.43 : Courbe de remontée du forage F<sub>5</sub></i>	120
<i>Fig.44 : Carte des interférences entre forages et foggaras</i>	121
<i>Fig.45 : Carte piézométrique de la région d'étude(Année 2008)</i>	122
<i>Fig.46 : Classification des eaux selon Stabler</i>	127
<i>Fig.47 : Diagramme de Piper</i>	128
<i>Fig.48 : Classification des eaux d'après Piper</i>	129
<i>Fig.49 : Classification des eaux d'après Schoëller</i>	130
<i>Fig.50 : Classification des eaux d'après Riverside</i>	133
<i>Fig.51 : Stratification générale de la société oasienne (d'après Y.Guillermou)</i>	138
<i>Fig.52 : Quelques aspects du ksar de Timimoun (d'après G. Bisson)</i>	142

## Liste des tableaux

	<i>Pages</i>
<i>Tab.1. : les caractéristiques de station de Timimoun</i>	29
<i>Tab. 2. : Températures moyennes mensuelles pour la station de Timimoun</i>	29
<i>Tab. 3 : Nébulosités moyennes mensuelles de la station de Timimoun</i>	30
<i>Tab. 4. : Humidité relative moyenne de la station de Timimoun</i>	31
<i>Tab. 5. : Évaporation moyenne mensuelle (Piche) en (mm)</i>	32
<i>Tab. 6 : Précipitations Moyennes Annuelles (1975-2004) O.N.M d'Oran</i>	34
<i>Tab. 7. : Moyennes mensuelles des précipitations de la station d'Adrar</i>	35
<i>Tab. 8. : Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Adrar</i>	35
<i>Tab. 9. : Nombre des jours de pluie (1995-2004) O.N.M d'Alger</i>	36
<i>Tab. 10. : Durée mensuelle de précipitations en Heures. (1995-2004)</i>	37
<i>Tab. 11. : Colonne lithostratigraphique du secteur d'étude</i>	51
<i>Tab. 12. : Inventaire des foggaras dans le Gourara (Timimoun)</i>	79
<i>Tab. 13. : Inventaire des foggaras dans le Touat</i>	80
<i>Tab. 14. : Inventaire des foggaras dans le Tidikelt</i>	80
<i>Tab. 15. : Les unités de mesures employées au Gourara</i>	91
<i>Tab. 16. : les unités de mesures employées au Touat</i>	91
<i>Tab. 17. : les unités de mesures employées au Tidikelt</i>	91
<i>Tab. 18. : Caractéristiques générale de la foggara</i>	100
<i>Tab. 19. : Historique des débits de la foggara de M'ghaer</i>	103
<i>Tab. 20. : Données de la descente du forage F<sub>4</sub></i>	109
<i>Tab. 21. : Données de la remontée du forage F<sub>4</sub></i>	111
<i>Tab. 22. : Données de la descente du forage El Hadj Belkassem (F<sub>20</sub>)</i>	113
<i>Tab. 23. : Données de la remontée du forage El Hadj Belkacem (F<sub>20</sub>)</i>	115
<i>Tab. 24. : Données de la descente du forage F<sub>5</sub></i>	117
<i>Tab. 25. : Données de la remontée du forage F<sub>5</sub></i>	119
<i>Tab. 26. : Tableau récapitulatif des résultats des essais de pompage</i>	120
<i>Tab. 27. : Classification des eaux d'après leur pH</i>	126
<i>Tab. 28. : Dureté de l'eau, selon la classification française</i>	131
<i>Tab.29. : Normes de potabilité chimique fixées par la communauté européenne</i>	131

## Liste des photos

	<i>Pages</i>
<i>Photo1 : Sortie de la galerie de la foggara de M'ghaer</i>	82
<i>Photo2. : Kasria principale (kasria lak'bir.)</i>	82
<i>Photo3. : Petits canaux</i>	83
<i>Photo4. : Majen construit en argile en forme circulaire</i>	83
<i>Photo5. : Majen construit en argile en forme L</i>	83
<i>Photo6. : Jardin de palmeraie</i>	83
<i>Photo7. : Seguia ou canal</i>	85
<i>Photo8. : El Moucht ou peigne</i>	85
<i>Photo9. : kasria secondaire</i>	86
<i>Photo10. : kasria tertiaire</i>	86
<i>Photo11. : kasria multiples</i>	86
<i>Photo12. : Madjen en béton</i>	87
<i>Photo13. : Madjen en argiles</i>	87
<i>Photo14. : jaugeage de la foggara de M'ghaer</i>	87
<i>Photo15. : La mesure du débit de l'eau par la plaque de jauge</i>	88
<i>Photo16. : Le louh de la région de Gourara</i>	89
<i>Photo17. : Le louh de la région de Tidikelt appelé chegfa</i>	89
<i>Photo18. : Louh à deux rangées de trous pour les grandes kasria</i>	90
<i>Photo19. : Louh à une seule rangée de trous pour les kasria moyennes</i>	90
<i>Photo20. : Louh à trois rangées de trous pour les petites kasria</i>	90
<i>Photo21. : Registre de la foggara de M'ghaer appelé aussi zmème</i>	92
<i>Photo22. : Ensablement d'une école à Ouled Said</i>	95
<i>Photo23. : Ensablement d'une palmeraie à Ouled Said</i>	95
<i>Photo24. : Présence d'un regard des eaux d'égout à proximité d'un canal de la foggara de M'ghaer</i>	96
<i>Photo25. : Réunion de trois foggaras</i>	97
<i>Photo26et 27 : La mort de jardins suite au tarissement de certaine seguia</i>	103
<i>Photo28, 29, 30 et 31 : L'état des Madjen de l'an 2000 et en 2007</i>	104
<i>Photo32et 33 : Dépérissement de la végétation</i>	121
<i>Photo34. : Fête religieuse</i>	137
<i>Photo35. : Une ruelle au milieu d'un ksar à Ouled Said</i>	141
<i>Photo36. : Construction nouvelle en ville de Timimoun</i>	143

## **Glossaire**

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

**Chahed** : Le témoin de la foggara.

**Djemaâ** : Conseil de la tribu ou du Ksar

**El Hassab** : Le comptable de la foggara qui fait les calculs du débit.

**El fokr** : La pauvreté

**Fadjara** : Creuser

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

**Fakra** : Vertèbre

**Gourara** : Région de Timimoun entre Aougrouit et Zaouiet Debagh.

**Habba** : Graine, unité de mesure du débit de la foggara.

**Halafa, Louh, ou chegfa** : Outil de mesure du débit de la foggara

**Hamada** : Plateau rocheux.

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

**Kébira** : La Grande

**Khorga** : Trou.

**Kial El Ma** : Le mesureur d'eau.

**Kirat** : Carat, unité de mesure de débit.

**Kraa** : Jambe, extension d'une foggara.

**Ksar (pluriel ksour)**: Tour, Ensemble de bâtis d'une agglomération.

**Louh** : Outil de mesure de débit de la foggara « bois plane ».

**Mouchte** : Brosse, construction à la fin de Kasria aide à l'acheminement des parts d'eau.

**Madjen** : bassin d'accumulation et de stockage des eaux dans les jardins, généralement d'une forme rectangulaire.

**Medjra** : canal de distribution.

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

**Qanat** : Canal d'eau souterraine.

**Sbaâ** : Doigt.

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

**Seghéria** : La Petite

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

**Tmen** : Le huitième.

**Zemam** : Registre dans lequel les informations de la foggara sont inscrites

**Ziara** : Fête annuelle

## ***A c r o n y m e***

***ANRH** : Agence Nationale pour les Ressources Hydrauliques*

***Ci** : Continental intercalaire*

***CT** : Complexe terminal*

***DREW** : Direction régionale des ressources en eau de wilaya*

***ERESS** : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional.*

***I.e. b** : Indice d'échange de base.*

***I.T.M.A.S** : Institut Technologie des Moyens Agricoles Spécialisés*

***O.N.M** : Office national de météorologie.*

***O.M.S** : Organisation mondiale de la santé.*

***O.S.S** : Observatoire du Sahara du sahel*

***S.A.R** : Sodium Adsorption Ratio.*

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

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

***T.D.S** : Total Dissolved Solid.*

***UNESCO** : United nation education science culture and organization*

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## Introduction générale

L'approvisionnement en eaux souterraine est l'un des problèmes les plus épineux à résoudre en zone hyperaride. L'hydrogéologie de ces zones comporte un aquifère multicouche d'âge et de nature lithologique différentes appartenant à un immense réservoir d'eau appelé le Continental Intercalaire.

L'occupation de la population en bordure du Sahara ont été à l'origine de construction d'un système de galeries souterraines qui drainent l'eau de la nappe au moyen d'une pente régulière inférieure à la pente générale du sol, connues sous le nom de *Foggaras* en Algérie, *Khettara* au Maroc et *kariz ou kanat* en Iran et *falaj* à Oman au Yémen.

Ces concepts et procédés se sont développés sur une période très longue au fil des siècles, ce qui a permis à l'homme de vivre dans ces régions hostiles en développant et en améliorant ces techniques traditionnelles de captage et de gestion.

Le secteur du Gourara et du Touat constitue, comme en témoigne un chapelet de sebkha qui s'étend du Nord au Sud, un exutoire naturel de la nappe d'eau souterraine à faible profondeur.

L'économie de cette dernière repose essentiellement sur l'agriculture et celle-ci, évidemment, se trouve conditionnée par l'eau.

Ce système hydraulique ancestral a donné une physionomie particulière à la vie économique des palmeraies, c'est un moyen d'irrigation difficile et coûteux

La construction d'une *foggara* est une œuvre collective ; la mise en place de ce système de distribution a conduit les populations locales à développer à travers les siècles, un captage d'eau organisationnel, technique et juridique très élaboré de gestion des eaux et des ouvrages.

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur la foggara, mais avec des problématiques liées aux aspects historiques, socio-économiques et anthropologiques, dont les travaux les plus répandus sont ceux de MARTIN (1908) sur l'historique et la socio-économie, de BISSON J.(1957), qui s'intéressait dans sa thèse à la géographie humaine, les travaux anthropologiques et historiques de BELLIL.R (2003).

Ce système de gestion a été fortement influencé par les fractions sociales, culturelles et géographiques de la région. Chaque individu devient propriétaire

d'une part d'eau, soit aux frais financiers qu'occasionne cette construction, soit en participant à la construction ou l'extension d'une *foggara*.

La région étudiée se situe dans une aire hyper aride dépendant exclusivement des ressources en eaux souterraines. Les objectifs consistent à définir la nature de l'aquifère alimentant les *foggaras*, la ou les directions de l'écoulement régional et de d'étudier l'interférence entre forages et foggaras.

Pour étudier avec précision la problématique de la *foggara* la démarche adoptée dans ce travail est scindée en 2 parties :

La première fait appel aux études hydrogéologiques classiques à savoir :

- Les études géologiques : identification géologique des aquifères, détermination des terrains lithostratigraphiques susceptibles d'être aquifère, et leurs caractéristiques pétrographiques morphologiques et structurales, et formations.

- Les études hydroclimatologiques : ce chapitre traite les caractéristiques du climat de la région du Gourara

- Les études hydrogéologiques : définir l'aquifère principal drainant la *foggara*, évaluer les paramètres hydrodynamiques, de connaître la nature et la géométrie du réservoir

La deuxième partie est consacrée aux *foggaras* :

- Cette partie traitera le concept et la gestion de ce système séculaire telle que les modalités de distribution, la répartition, le partage et la fraction sociale et économique.

Nous nous sommes intéressés plus particulièrement aux facteurs de déclin et de tarissements de ce système millénaire.

Dans cette thèse nous nous intéresserons spécialement aux *foggaras* de Timimoune et plus particulièrement la *foggara* de *M'ghaer*. La plupart des données acquises de forage appartenant au Gourara. Les données de ces forages nous permettent d'étudier les interférences ou les influences entre forages et foggaras.

# Première partie

ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE CLASSIQUE

# Chapitre I

## PRESENTATION DU SECTEUR D'ETUDE

## I-1. Situation géographique

La wilaya d'Adrar se situe au Sud Ouest de la partie centrale du Sahara algérien, elle s'étend sur une superficie de 427968 Km<sup>2</sup>, pour une population globale estimée en 2008 à 355 217 habitants (TRACHE Sidi Mohammed 2011). Elle est limitée :

Au Nord par El Bayadh et au Nord-Ouest par la wilaya de BECHAR.

Au Sud par le MALI. et au Sud-Ouest par la MAURITANIE.

A l'Est par la wilaya de GHARDAIA et TAMANRASSET.

A l'Ouest par la wilaya de TINDOUF.

La wilaya compte 11 Daïras (sous-préfectures) qui composent plus de 300 *Ksour* et palmeraies, réparties souvent en forme éparse, à travers les 28 communes. Elle se caractérise par son système ancestral d'irrigation appelé « *foggara* ».

Elle est divisée en quatre grandes zones constituant le territoire de la wilaya :

Le Gourara (région de Timimoun), le Touat (région d'Adrar), le Tidikelt (région d'Aoulef) et le Tanezrouft (région de Bordj Badj Mokhtar) (*fig.1*).

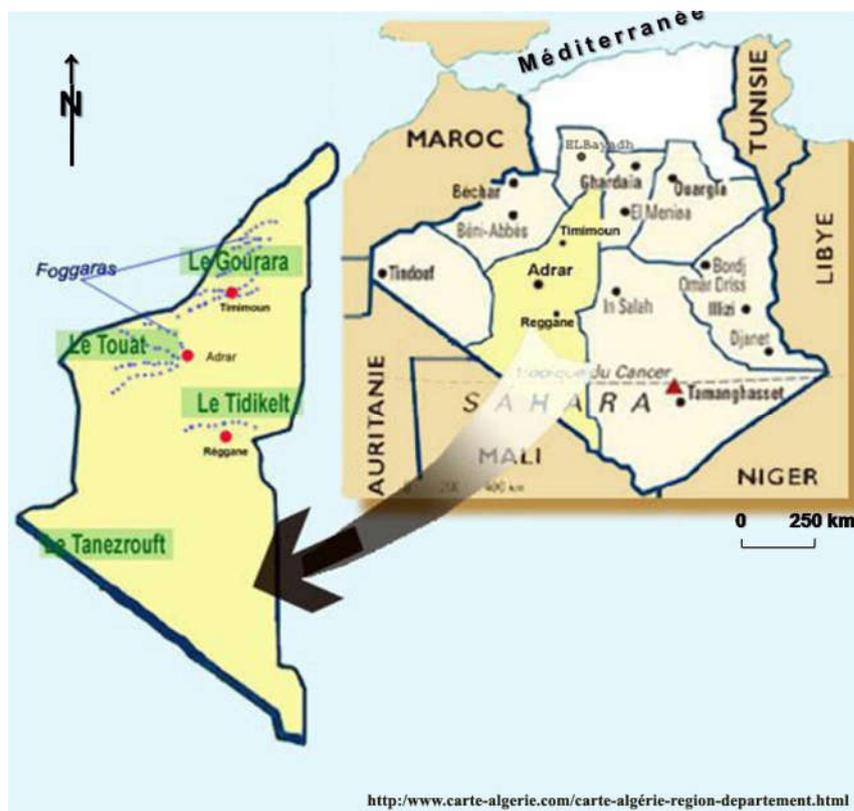


Fig.1 Carte de situation du secteur d'étude

### I-1-1. LE GOURARA

Le mot Gourara, veut dire monticules au pluriel TIGOURARINE, il est situé au Nord de la wilaya d'Adrar d'une superficie de 85940 km<sup>2</sup> (DUBOST.D 2002), il est constituée d'un vaste couloir orienté Nord-Sud, qui couvre la daïra de Timimoun sur une longueur de 250 Km et environ 100 Km de largeur, elle s'étend entre le Grand Erg occidental et le plateau du Tademaït. Ces oasis sont implantées autour de la sebkha de Timimoun, au pied du plateau de M'guiden, le long de l'oued Aougrouit et en bordure de l'Erg Occidental (DESPOIS J et RAYNAL R,1967).

Le Gourara se trouve être le point de contact de trois ensembles géologiques et morphologiques du Sahara septentrional :

- Le Plateau,
- La Sebkha
- L'Erg.

Timimoun est le centre administratif de l'ensemble des palmeraies bordant cette sebkha, longue de 70 km

#### **I-1-2. LE TOUAT**

Le Touat ou Adrar signifie "localité habitée" est une somptueuse vallée de palmeraies qui se situe au Sud-ouest du Tadmait et au Nord-Est de l'Erg Echech.

Le Touat a constitué une véritable plaque tournante, escale de commerçants venant de tous les horizons pour troquer les produits de première nécessité.

La région d'Adrar fut un véritable trait d'union entre les régions du Nord et du Sud en général, et entre le grand Maghreb et les pays dit du "Soudan", autrement dit l'Afrique subsaharienne, en particulier. Les vestiges historiques témoins de ces époques de gloire font aujourd'hui la fierté de toute la région. Ils sont considérés comme un véritable musée à ciel ouvert.

#### **I-1-3. LE TIDIKELT**

Le mot TIDIKELT signifie toujours en berbère "endroit vaste" c'est une région des *ksour*, des *kasbas* antiques et des palmeraies, le Tidikelt est une dépression complexe, morcelée et creusée dans le Continental Intercalaire (DESPOIS J et RAYNAL R, 1967), il se situe au Sud du plateau de Tadmait. Il est caractérisé par les gisements de fossiles marins et de forêts de bois pétrifiés.

Le Tidikelt s'étend d'Aoulef à Ain Salah sur 70 km. Cette région est différente des précédentes par la présence en certains endroits d'un artésianisme des eaux souterraines.

#### **I-1-4. LE TANEZROUFT**

Le mot TANEZROUFT signifie en tamazigh désert, Il s'étend sur environ 600 kilomètres du Nord au Sud. C'est une vaste plaine située à l'ouest des montagnes du Hoggar. Le Tanezrouft est considéré comme un désert absolu du fait de son extrême aridité. C'est une région inhabitée de manière permanente et totalement dépourvue de végétation.

### **I-2. Morphologie**

La région présente des formes morphologiques variées, elle est constituée par des plateaux de grès et de terrasses, les zones les plus basses sont occupées par les sebkhas par contre au Nord et à l'Est de larges surfaces couvertes de dunes (Erg) .

#### **I-2-1. Les plateaux :**

Ils couvrent de très vastes surfaces où l'action de l'érosion éolienne est très intense, la géologie de ces plateaux est constituée par le Continental Intercalaire.

#### **I-2-2. Les regs**

Les regs sont des étendues plates, caillouteuses et graveleuses et constituent le paysage le plus fréquent du Sahara. Les grands regs sont particulièrement inhospitaliers. On peut citer le reg du Tanezrouft, Ils peuvent occuper aussi le sommet des plateaux.

**I-2-3. Les hamadas**

Les hamadas sont des plateaux rocheux tabulaires limités par des falaises. Ils sont d'origine sédimentaire, le plus souvent calcaires. D'après OZENDA (1983), c'est la formation qui couvre les surfaces les plus importantes. Lorsqu'ils sont recouverts de grès, ils sont nommés tassilis. En général la surface montre de la roche nue, lissée par l'érosion éolienne.

**I-2-4. Les dayas**

Les dayas sont des cuvettes d'extension limitée, au fond en général argileux dans lesquelles l'eau de ruissellement peut s'accumuler. Une alternance d'inondation et d'érosion éolienne peut expliquer leur formation. Elles sont parfois d'origine karstique sur les plateaux. Elles constituent des zones de végétation pérennes. On les rencontre surtout au Nord du Sahara.

**I-2-5. Les terrasses****a). Les terrasses d'érosion**

Elles se sont constituées au cours du Quaternaire ancien et moyen. Leur importance varie selon la nature des roches et l'intensité des agents d'érosion. Le secteur étudié est caractérisé par une terrasse d'épaisseur variable : moyenne à l'Est de Timimoun, inexistante au Nord et au Nord Est.

**b). Les terrasses d'apport éolien**

Elles se sont formées durant le Quaternaire récent et la période actuelle, elles sont dues à la rupture de pente entre la terrasse d'érosion et la sebkha. Elles correspondent aux implantations de la plus part des palmeraies.

**I-2-6. Les sebkhas**

Les sebkhas forment des marais salants temporaires. L'eau peut provenir du ruissellement ou de sources temporaires. Elles représentent les points les plus bas de ces régions, ce sont généralement d'anciens lits d'oueds très larges. La sebkha de Timimoun étant la plus importante (70 km de longueur et 10 km de large). Elles sont formées de dépôts d'argiles et gypso – salin.

**I-2-7. Les ergs (Dunes)**

Ce sont des unités géomorphologiques assez importantes qui se distinguent d'une façon étonnante, ils occupent environ vingt pourcent de la surface du Sahara. Certains ont commencé à se former au cours du Pléistocène. Ils sont relativement stables.

On peut citer le Grand Erg Occidental et le Grand Erg Oriental, qui occupent des surfaces considérables.

**I-2-5. Les djebels**

Le terme *djebel* désigne collines ou massifs montagneux plus importants.

**I-2-6. Les oasis**

L'oasis est un milieu naturel et anthropique, n'occupent qu'un millième de la surface du Sahara. Elles sont situées parfois sur le lit de rivières venant se perdre dans le désert ou au pied de massifs produisant des sources ou encore directement au dessus de nappes phréatiques affleurantes ou peu profondes. Les terrains à palmeraies caractérisent la plupart des oasis.

**II-2-7. Les oueds**

Les oueds sont des cours d'eau à écoulement visible temporaire. La majorité du temps sont à sec, des crues violentes peuvent parfois se produire surtout dans les massifs

montagneux. La partie amont naît du rassemblement de chenaux de ruissellement, la partie médiane forme un lit large et dont les limites sont parfois difficiles à reconnaître en plaine et la partie aval peut se diviser en plusieurs bras sur un cône étendu d'alluvions. C'est le long des oueds qu'on observe les seules formations arborées un peu denses dans le Sahara.

### **II-2-8. Les Foggaras**

Les foggaras sont des ouvrages souterrains horizontaux de grande longueur permettant le cheminement de l'eau vers l'oasis, depuis les plateaux ou les massifs montagneux. Cette technique ancestrale à vu le jour dans ce qui est aujourd'hui l'Iran, sous le nom de Qanat.

### **I-3. Climat**

Les conditions climatiques de la wilaya d'Adrar, font de l'eau une denrée rare dans la région. L'évaporation est intense et la sécheresse des sols ne permettent pas à l'eau un écoulement en surface.

Le secteur d'étude se caractérise par un climat hyper aride caractérisé par une forte évapotranspiration, les précipitations sont rares et généralement de faible importance quantitative et variable d'une année à l'autre pour l'ensemble du bassin versant, les moyennes mensuelles varient de 0 mm en juillet à 3,6 mm en octobre, la pluviométrie annuelle est de 10 mm/an, (BENSAADA .M 2001). Les vents sont très désagréables, le nombre maximum des vents dominants sont ceux du nord est qui sont chargés de sables. L'évaporation dépasse largement les précipitations.

La période sèche allant de juin à septembre présente un apport pluvial nul, Le mois le plus froid est janvier (12°C à 16°C), le mois le plus chaud est juillet (36°C à 49°C)..

Les conditions climatiques y sont dures : rareté des pluies, ensoleillement intense, forte évaporation, siccité de l'air, vents de sable,

### **I-4. Flore remarquable**

Il existe ici 2 variétés de palmiers économiquement importantes : Tinnasser et H'Mira. Les cultures maraîchères et la céréaliculture sont de type vivrier (alimentation familiale).

#### **I-4-1. Flore cultivée**

Le palmier dattier est remarquable par le rôle économique et écologique qu'il joue dans l'oasis de Tamentit où 25 variétés sont recensées, dont 2 résistantes au *Fusarium oxysporum* albidius, (Leslie et Summeril. 2006), maladie qui a ravagé beaucoup de palmiers. Il existe aussi de nombreux cultivars locaux, blés sahariens, orges, lentilles, petit pois et la culture du coton.

#### **I-4-2. Flore spontanée**

Parmi la flore spontanée existent des espèces d'intérêt médicinal comme *Zygophillum*, la trigonelle, et la nigelle. Il existe également de nombreux écotypes d'espèces domestiquées comme *Erica sativa*.

### **I-5. Faune remarquable**

La faune est composée de plusieurs espèces qui s'adaptent aux conditions climatiques sahariennes. Malgré son aridité, cette région désertique reste peuplée d'une vie animale relativement variée.

On peut citer le chameau qui est le plus grand mammifère saharien; il constitue l'exemple type d'adaptation à la vie du désert, il résiste à la soif pendant quinze jours sans boire, aux tempêtes de sables, et parcourt quotidiennement de grandes distances; ce qui faisait de lui autrefois le « vaisseau du désert », et l'élément fondamental de la prospérité du commerce caravanier.

On a aussi la Gazelle parmi les espèces sahariennes qui résistent aux longues sécheresses, fréquentent les vallées du Plateau, et les zones tropicales sud.

Les petits animaux sont représentés par des carnivores tels que le chacal et le fennec, des rongeurs: le lièvre, les gerboises, les rats, le porc-épic, des insectivores (le hérisson).

Ce type d'animaux abonde dans le désert profitant de la moindre humidité, de la moindre végétation.

Les reptiles sont les plus nombreux, peuplant les dunes de sable, les vallées et les dayas; en plus de la vipère à cornes du désert, qui est la plus réputée et la plus dangereuse.

On connaît actuellement plus de 100 espèces d'araignées sahariennes, cette région est réputée pour ses scorpions venimeux, qui sont très répandus et redoutés, car ils représentent un danger pour les habitants de cette zone.

Au sein des oasis on distingue les oiseaux puisqu'ils boivent régulièrement, comme le pigeon, le ramier, le moineau....

#### **I-6. Caractéristiques écologiques :**

La végétation de l'oasis est constituée par plusieurs strates, le palmier dattier qui domine dans la strate arborescente, les arbres fruitiers et de nombreuses cultures annuelles. La palmeraie est constituée de nombreuses variétés de palmiers dattiers dont l'importance économique varie d'une variété à une autre.

Le verger fruitier est représenté par l'amandier, le citronnier, la vigne, le figuier, l'oranger, l'olivier, le grenadier et l'abricotier. Les espèces fourragères le sont surtout par les acacias et les plantes annuelles par l'avoine, l'orge, le blé, les plantes maraîchères par la tomate, la pomme de terre, la betterave, le navet, etc.

La culture du henné, plante utilisée pour la teinture des cheveux et des mains, l'arachide, en raison de leurs prix de vente intéressants, occupe également une place importante. Le réseau hydrique et les bassins d'accumulation constituent un habitat particulier pour les poissons, les amphibiens, les libellules et les espèces sauvages qui viennent s'y abreuver.

La sebkha est également un habitat particulier en raison de son caractère temporaire et de la salinité de l'eau. Elle attire de nombreux oiseaux en période de migration.

Enfin, l'oasis est entourée par un système de dunes et de plateaux caillouteux.

# Chapitre II

## HYDROCLIMATOLOGIE

## II.1.Introduction

La région d'étude appartient à une zone désertique, caractérisée par un climat très sec. Les précipitations sont faibles à négligeables n'ayant pas lieu tous les ans et pouvant survenir à tout moment d'une même année.

Les températures minimas et maximas ont un écart assez important, les vents dominants sont de direction Nord Est – Sud Ouest.

L'action du vent atteint son apogée entre le mois de mars et celui de mai, la mobilisation des sables est facile si le taux d'humidité est le plus faible

Pour notre étude, une série de données nous a été fournie par l'O.N.M. (Office National de Météorologie) d'Alger et d'Oran (annexes).

L'étude climatique sera effectuée à partir des données météorologiques de la station d'Adrar et de Timimoun sur une période allant de 1975 à 2004 soit 30 ans d'observations dont les caractéristiques des deux stations sont représentées au tableau suivant :

**Tableau 1.** Les caractéristiques de station de Timimoun et Adrar

Station	Longitude (w)	Latitude (N)	Altitude (m)	Code	Années d'observations
Timimoun	00° 17'	29°15'	321,00	60607	30 ans
Adrar	00° 11'	27°49'	263,00	60620	/

## II.2. La température

Les températures moyennes mensuelles régissent directement en interaction avec les autres facteurs météorologiques (insolation, vitesse et turbulence du vent, précipitation) et biogéographiques, le phénomène d'évapotranspiration et déficit d'écoulement annuel et saisonnier.

Dans ce cadre on ne dispose que des données relatives à la période (1995-2004) pour la station de Timimoun, ce qui est normalement insuffisant, mais sachant que la variable température n'est pas aussi aléatoire que les précipitations, on peut utiliser pour des différents calculs la moyenne correspondant aux données disponibles, (Tableau 2).

**Tableau 2.** Températures moyennes mensuelles pour la station de Timimoun.

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>M</b>	19,5	22,1	27,3	31,1	36,6	41,9	45,6	44,2	39,8	32,9	24,9	20,2
<b>m</b>	5,3	7,5	11,7	15,9	20,7	25,4	28,5	28,2	24,6	18,2	10,7	6,4
<b>(M+m)/2</b>	12,4	14,8	19,5	23,5	28,65	33,65	37,05	36,2	32,2	25,5	17,8	13,3
<b>M-m</b>	14,2	14,6	15,6	15,2	15,9	16,5	17,1	16	15,2	14,7	14,2	13,8

Les moyennes mensuelles des précipitations ont permis de tracer l'histogramme suivant :

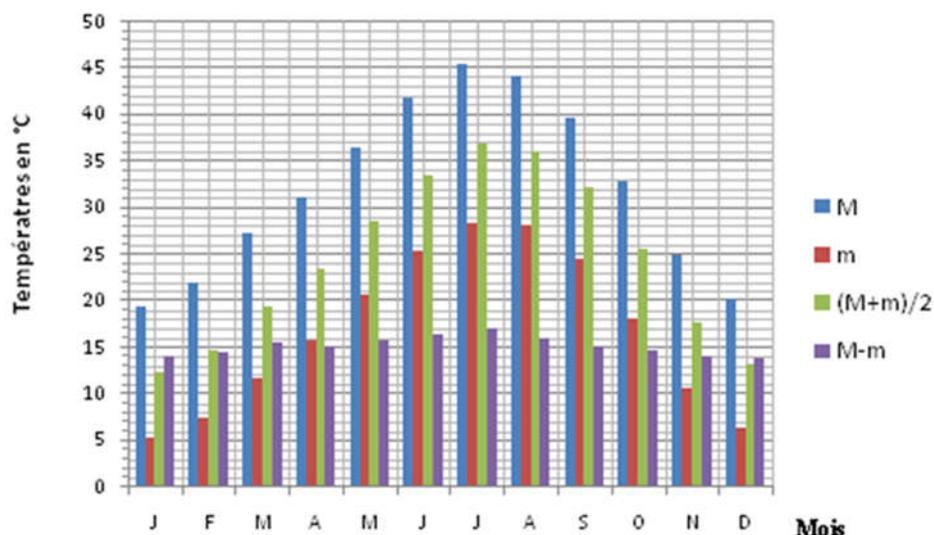


Fig.2 Les températures moyennes mensuelles pour la station de Timimoun,

L’histogramme montre que la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud est de 45°C et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid est de 5.3°C.

Pour la station de Timimoun, le mois le plus froid est janvier (12,4°C) et le mois le plus chaud est juillet (37°C).

Le minimum absolu est de (5,3°C), il se situe au mois de janvier. Le maximum absolu est observé au mois de juillet (45,6°C).

### II.3. La Nébulosité

L'air est constitué d'un mélange de gaz, dont les deux principaux constituants sont l'oxygène et l'azote. Il contient également une quantité relativement importante d'eau. Les masses nuageuses sont la manifestation directe de la présence d'eau dans l'atmosphère.

A l'état gazeux, l'eau ne modifie pas la transparence de l'air mais condensée en fines gouttelettes ou solidifiée en cristaux de glace, l'atmosphère devient alors opaque.

Si le degré d'hygrométrie de l'air (Pression partielle de l'eau/Pression de saturation) est inférieur à 1, il n'y a pas de condensation, l'air est transparent. Par contre, pour un degré d'hygrométrie égale à 1, l'eau pouvant se condenser, une **nébulosité** peut apparaître (nuage, brume ou brouillard).

Les travaux de Dubief J.(1959) indiquent que pour Timimoun, les valeurs moyennes sont comprise entres 1 et 2,1, et une valeur moyenne annuelle de 1,5 (tableau 3).

**Tableau 3.** Nébulosités moyennes mensuelles de la station de Timimoun d’après l’O.N.M d’Alger (1950).

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Val.moy.de nébulosité	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	1,3	1	1,3	1,2	2	2,1	1,6

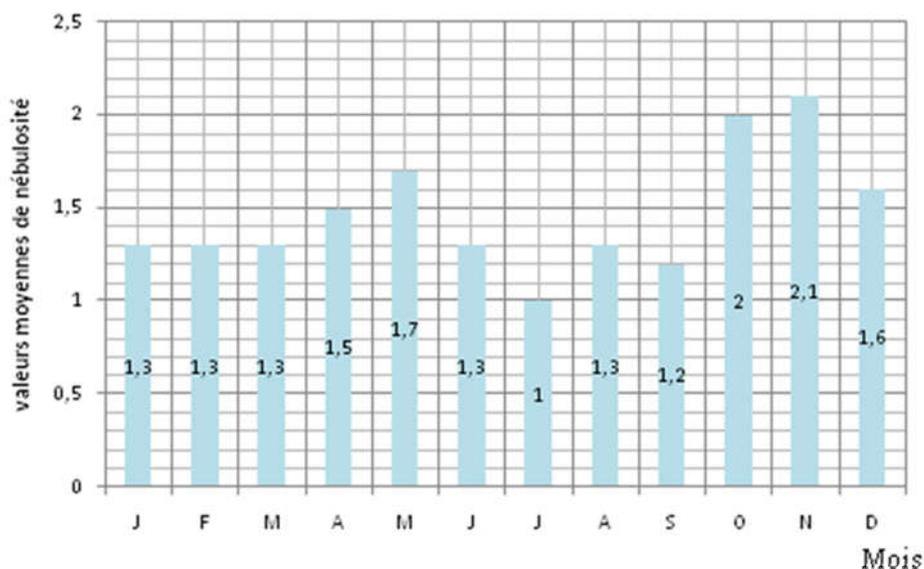


Fig. 3 Histogramme des nébulosités moyennes mensuelles de la station de Timimoun.

La nébulosité est indiquée en dixième la fraction du ciel couverte par les nuages, quelle que soit leur nature.

On donne le chiffre 10 pour un ciel totalement couvert et le chiffre 0 pour un ciel totalement dégagé.

Dans la région de Timimoun, on observe que le mois de juillet est le mois le plus faible en nébulosité et que le mois le plus nébuleux est le mois de novembre et octobre (fig. 3).

#### II.4. Humidité relative

Une série de données a été obtenue par l'O. N. M. d'Alger allant de la période 1995 jusqu'à 2004. (Tableau 4).

Tableau 4. Humidité relative moyenne de la station de Timimoun (1995-2004)

Mois	H <sub>moy</sub> %
Janv.	44
Fév.	37
Mars	28
Avril	23
Mai	18
Juin	15
Juil	13
Aout	15
Sept	22
oct	31
Nov.	39
Déc.	47

La répartition des résultats de l'humidité est l'inverse de la répartition des résultats de la température.

La valeur maximale de l'humidité de l'air est obtenue en hiver (décembre et janvier) de l'ordre de quarante sept (47%), et la valeur minimale en été (juin, juillet) de treize pourcent (13%), (fig. 4)

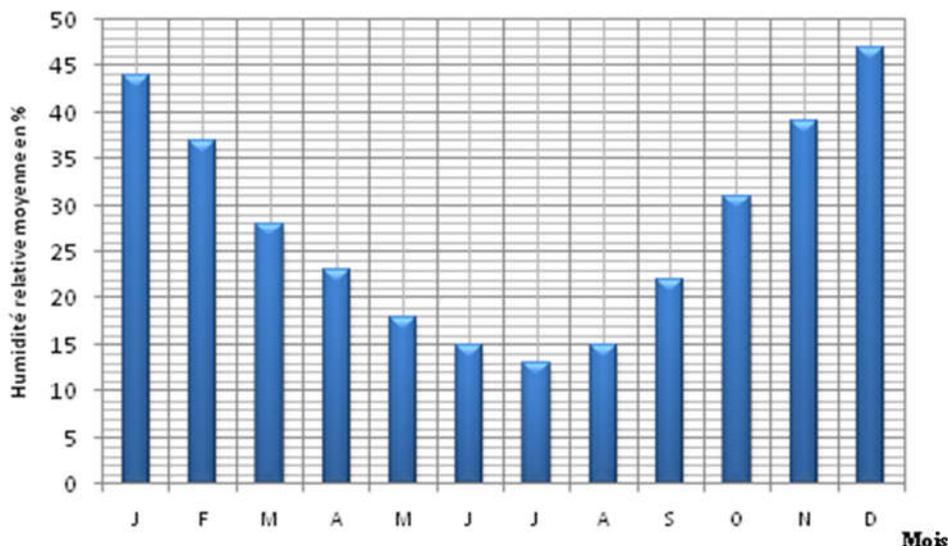


Fig. 4 L'humidité moyenne mensuelle de la station de Timimoun. Période (1995-2004).

## II.5. L'évaporation

Elle traduit le retour de l'eau à l'atmosphère sous forme de vapeur, elle est purement physique et dépend des autres facteurs climatiques : température, insolation, précipitation et humidité.

Elle intéresse aussi bien les surfaces d'eau libre que les quantités d'eau retenues dans les couches superficielles du sol, données fournies par la station d'Adrar Période (1995 à 2004).

Tableau 5. Évaporation moyenne mensuelle en (mm)

Mois	Évaporation. Moyenne en (mm)
Janvier	155,7
Février	187,2
Mars	283
Avril	443,13
Mai	446,6
Juin	506,9
Juillet	578,7
Aout	549,9
Septembre	418,1
Octobre	313,2
Novembre	182
Décembre	143,9
<b>Total</b>	<b>4208.33</b>

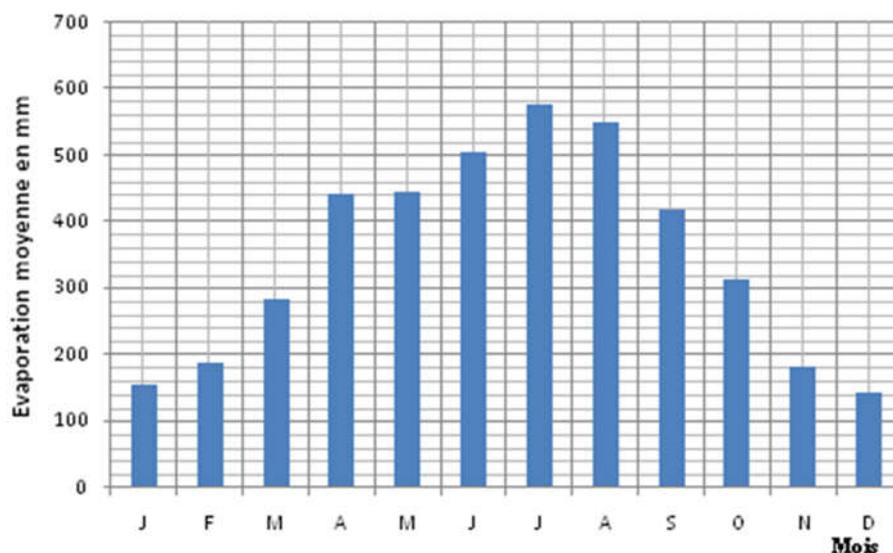


Fig. 5 Evaporation moyenne mensuelle pour la station de Timimoun.  
Période (1995-2004)

L'analyse de l'histogramme montre une évaporation très élevée du fait de l'ensoleillement presque permanent de la région.

Le total annuel est supérieur à 400 mm pour les périodes (1995 à 2004) et avec des maximums en juillet (578,7 mm) et des minimums en décembre (143,9 mm).

## II.6. Le vent

Le vent est un facteur climatique aussi important que la température et l'évaporation. La fréquence du vent dans la région de Gourara est très grande durant toute l'année, notamment le sirocco dont la vitesse peut atteindre les 100 km/h .

Ceux-ci peuvent provoquer des vents de sable qui sont donc fréquents dans la région, surtout de mars à septembre. (J. Dubief .1953).

Généralement, la saison du printemps (mars-avril), connaît une fréquence plus grande de vents de sable.

Les vents dominants ont une direction Nord Est et Nord sauf en juillet et août où ils sont de direction Est et Nord Est, avec une fréquence de 25% pour le secteur Nord Est et seize pourcent (16%) pour le secteur Nord.

L'action du vent n'est en fait dangereuse qu'à partir d'une certaine vitesse, généralement comprise entre 4 et 6 m/s.

A ce seuil il devient efficace, il peut alors exercer une action d'érosion, de transport selon différents modes et enfin en tant qu'agent de formation des dunes.

## II.7. Étude des précipitations

La pluviométrie de la région est très mal connue, à cause de la rareté et de l'irrégularité des précipitations. Il peut pleuvoir durant plusieurs jours du mois, comme il arrive qu'aucune goutte ne tombe durant plusieurs années consécutives.

Pour notre étude de la pluviométrie, nous avons pu disposer de deux séries d'observations :

- La première allant de 1975 à 1995 fournie par l'O.N.M. d'Oran.
- La deuxième allant de 1995 à 2004 fournie par l'O.N.M d'Alger.

Ces observations nous ont permis d'établir un tableau qui regroupe les moyennes annuelles des précipitations sur une période de 30 ans. (Période 1975-2004)

### II.7.1 Variation des précipitations moyennes annuelles.

L'analyse de la variabilité des précipitations se fera sur la base des données de la station pluviométrique situées à proximité de l'aéroport de Timimoun.

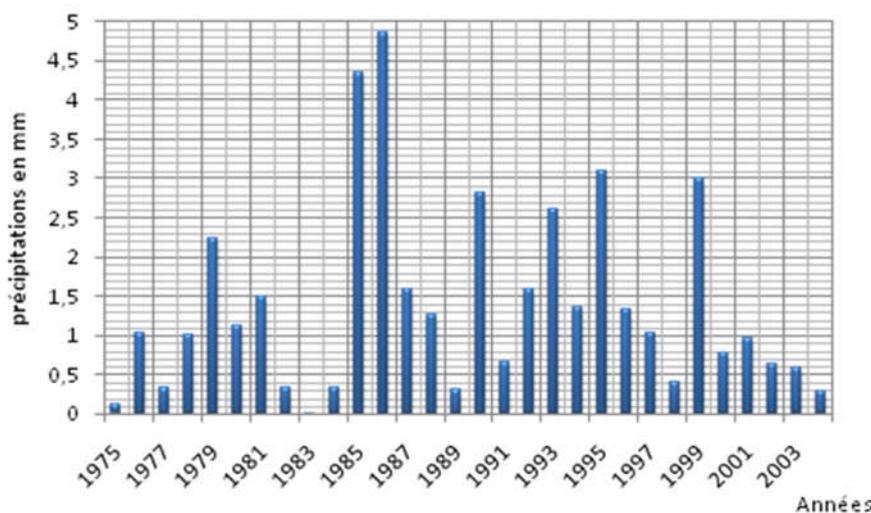
Les précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station de Timimoun pour la période allant de 1975 à 2004 sont mentionnées au tableau ci-dessous, soit une observation de trente années,

:

**Tableau 6.** Précipitations Moyennes Annuelles (1975-2004) O.N.M d'Oran

Années	P (mm)						
1975	0,12	1983	0,01	1991	0,65	1999	2,99
1976	1,03	1984	0,34	1992	1,59	2000	0,78
1977	0,33	1985	4,34	1993	2,61	2001	0,95
1978	1	1986	4,85	1994	1,36	2002	0,64
1979	2,23	1987	1,59	1995	3,09	2003	0,58
1980	1,11	1988	1,25	1996	1,34	2004	0,29
1981	1,49	1989	0,31	1997	1,04	Moy.	<b>1.382</b>
1982	0,34	1990	2,81	1998	0,40		

Les moyennes annuelles des précipitations ont permis de tracer l'histogramme suivant :



**Fig. 6** Précipitations Moyennes Annuelles pour la station de Timimoun. Période (1975-2004)

On remarque que pour les années 1986 et 1985 sont les plus arrosés et ont enregistré un maximum de 4.85 et 4.34 mm, et une pluviométrie non négligeable pour les années 79,90, 93, 95 et 99, le minimum est enregistré pour les autres années, sauf l'année 83 est année sèche

### II.7.2. Variation des précipitations moyennes mensuelles

L'étude a porté sur deux périodes :

- Une étude ancienne de 1926 à 1950, établie par Dubief J. (1963) pour la station Timimoun. (Tab.7 & Fig.7).
- Une autre étude allant de la période 1980 à 1993, basée sur des documents fournis par la station d'Adrar (Tab.8 & Fig.8).

**Tableau 7.** Moyennes mensuelles des précipitations de la station de Timimoun.

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Moy. des précipitations en mm	0,5	0,5	0,8	0,3	0,7	0	0,1	0,9	0,3	1,4	5,6	1,6

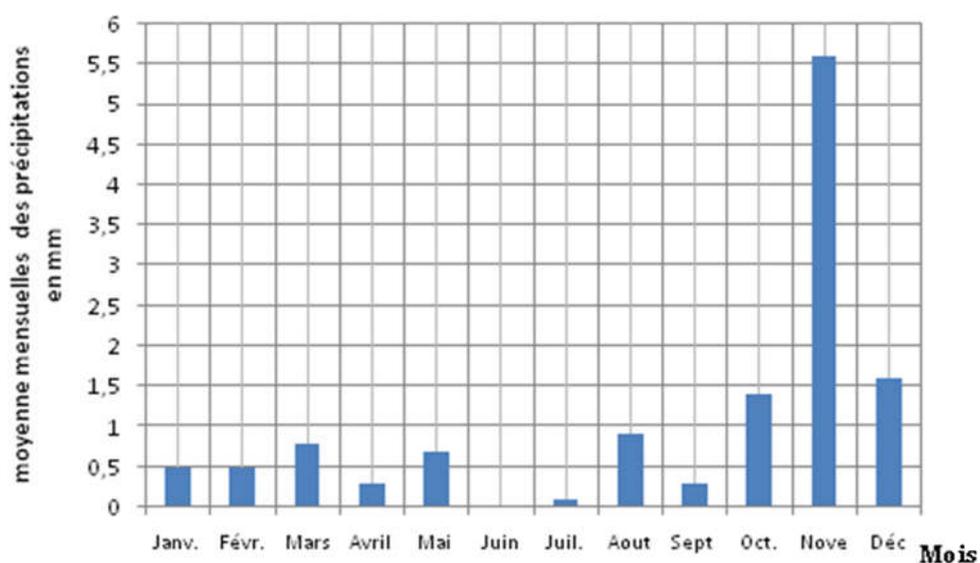


Fig. 7 Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Timimoun (1926-1950).

**Tableau 8.** Précipitations moyennes mensuelles de la station d'Adrar (1980-1993)

Mois	Moyenne en (mm)
Janvier	0,4
Février	1
Mars	2,5
Avril	7,5
Mai	0,6
Juin	0,4
Juillet	0
Août	0,2
Septembre	0
Octobre	3,6
Novembre	0,8
Décembre	1,3

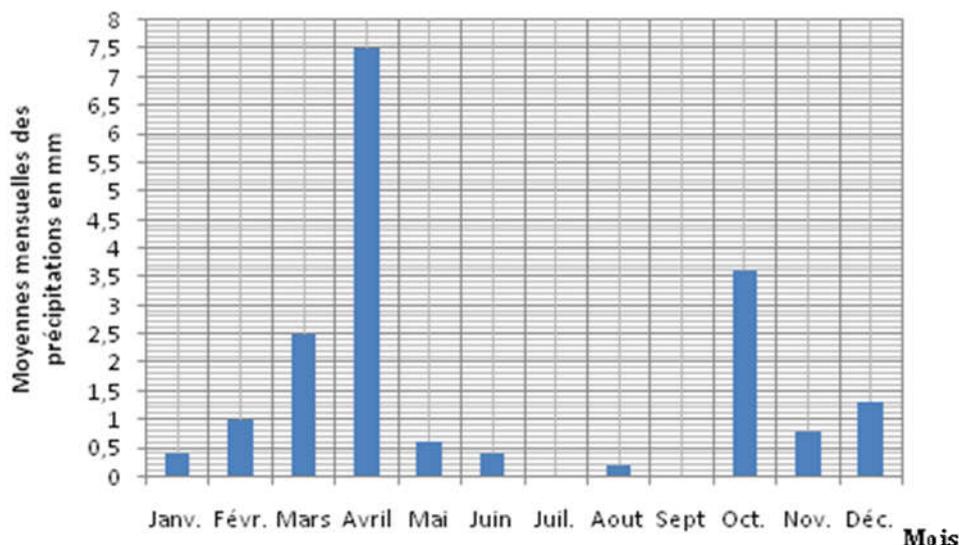


Fig. 8 Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de d'Adrar (période 1980-1993).

Les histogrammes des précipitations moyennes mensuelles (fig.7 et 8) montrent que les précipitations fluctuent beaucoup au cours de l'année et atteignent 7,5 mm pour le mois d'avril.

La période allant de juin à septembre présente la période la plus sèche avec un apport pluvial presque nul pour certaines années, alors que le reste des mois est caractérisé par un apport pluvial extrêmement faible et variable qui s'infiltrer directement dans le sol et donc une partie s'évapore, ce qui fait que le ruissellement dans la zone est généralement nul.

**II.7.3 La moyenne et le nombre de jours de pluies pour la période (1995-2004)**

Tableau 9. La moyenne et le nombre maximum des jours de pluie pour la période (1995-2004) O.N.M d'Alger

Mois Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Moyenne	8	1	1	1,9	9	6	1	7	1,3	1,6	1,1	7
Max.	2	5	2	5	3	2	1	2	6	5	5	2

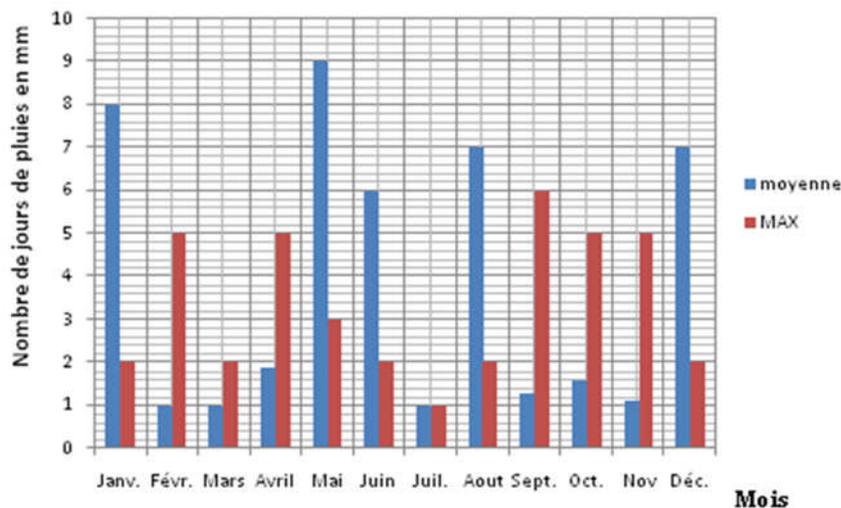


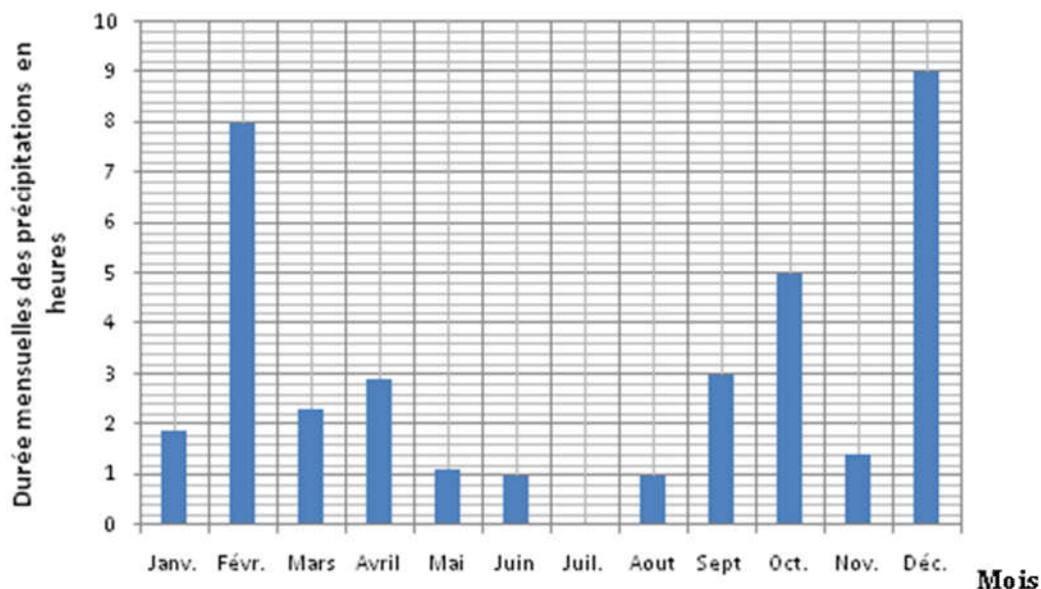
Fig. 9 Nombre de jours de pluie (1995-2004) l'O.N.M d'Alger

En ce qui concerne le nombre de jours de pluies, nous avons en moyenne le mois de mai avec 9 jours de pluies et le mois de juillet avec une seule journée de pluie.

#### II.7.4 Durée moyenne des précipitations

**Tableau 10.** *Durée mensuelle de précipitations en Heures (1995-2004).*

Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Durée mensuelles en h.	1,9	8	2,3	2,9	1,1	1	0	1	3	5	1,4	9



*Fig. 10* Histogramme de la durée moyenne mensuel des précipitations en heures (1995-2004) l'O.N.M d'Alger.

Nous constatons que dans la région, le mois le plus arrosé est le mois de décembre avec une durée de 9 h et le mois qui a enregistré moins de précipitations est celui du mois de juin et août avec une durée d'une heure.

#### II.8. Les paramètres climatiques

L'étude de l'aridité ou la classification des climats se base sur des indices dits climatiques et biogéographiques.

De ce fait, plusieurs indices bioclimatiques et d'aridité ont été proposés en se basant généralement sur la combinaison des précipitations (P), des températures ( $T_{\text{moy}}$ ,  $T_{\text{max}}$  et  $T_{\text{min}}$ ) et du pouvoir évaporant tel que l'évapotranspiration potentiel (ETP).

Ces indices ont été développés en vue de délimiter spatialement les zones bioclimatiques et pour expliquer la distribution géographique de la végétation par la combinaison des différents facteurs climatiques (GAVILAN R, 2005).

##### II.8.1. Indice d'aridité annuelle de DE MARTONNE

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température moyenne annuelles en °C, en appliquant la formule :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

I : indice d'aridité

P : précipitations moyennes annuelles en (mm)

T : températures moyennes annuelles en (°C)

P = 1.382 mm ; T = 24,55 °C.

$$I = \frac{1,382}{24,55 + 10} = 0,04$$

Suivant les valeurs de (I), De Martonne a établi la classification suivante :

20 < I < 30	Climat tempéré
10 < I < 20	Climat semi-aride
7.5 < I < 10	Climat steppique
5 < I < 7.5	Climat désertique
I < 5	Climat hyper aride

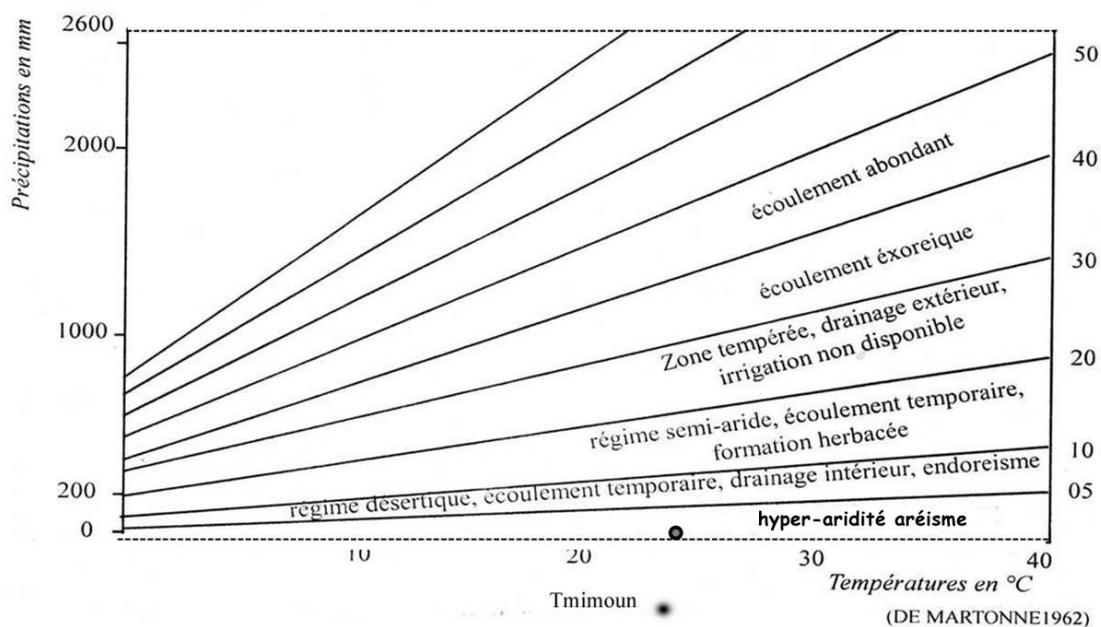


Fig. 11 Abaque d'indice d'aridité annuel de De Martonne

- D'après l'indice de De Martonne, on peut dire que la région de Gourara se caractérise par un climat hyper aride arésisme avec  $I < 5$ , la figure ci-dessus montre la position du secteur d'étude.

### II.8.2. Indice d'Emberger

Pour caractériser un bioclimat, Emberger (1952), a établi un quotient pluviométrique représenté par le rapport entre les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes.

L'expression de ce quotient est la suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

Mais Le Climagramme d'Emberger est adaptée aux régions méditerranéennes. Il permet la classification d'une région parmi les étages bioclimatiques.

En appliquant la formule élaborée par STEWART (1969) pour l'Algérie et le Maroc, soit:

$$Q_2 = \frac{3.43P}{M - m}$$

Ou :

$Q_2$ : le quotient pluviométrique d'EMBERGER

P: Pluviométrie annuelle moyenne en mm.

M: Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C

m: Moyenne minimale du mois le plus froid en °C

Le Climagramme considère une région plus sèche lorsque le quotient est plus petit. Le calcul du quotient  $Q_2$  et leur emplacement sur le Climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique de la région d'étude qui se trouve dans le saharien à hiver tempéré (fig. 12).

P: précipitations moyennes annuelles= 1,382 mm.

M: moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, en degrés absolus

$$M = 45.6 + 273 = 318,6 \text{ °K}$$

m: moyenne des températures minimales du mois le plus froids. En degrés absolus

$$m = 5.3 + 273 = 278,3 \text{ °k}$$

Le calcul donne :  $Q_2 = 0,11762$

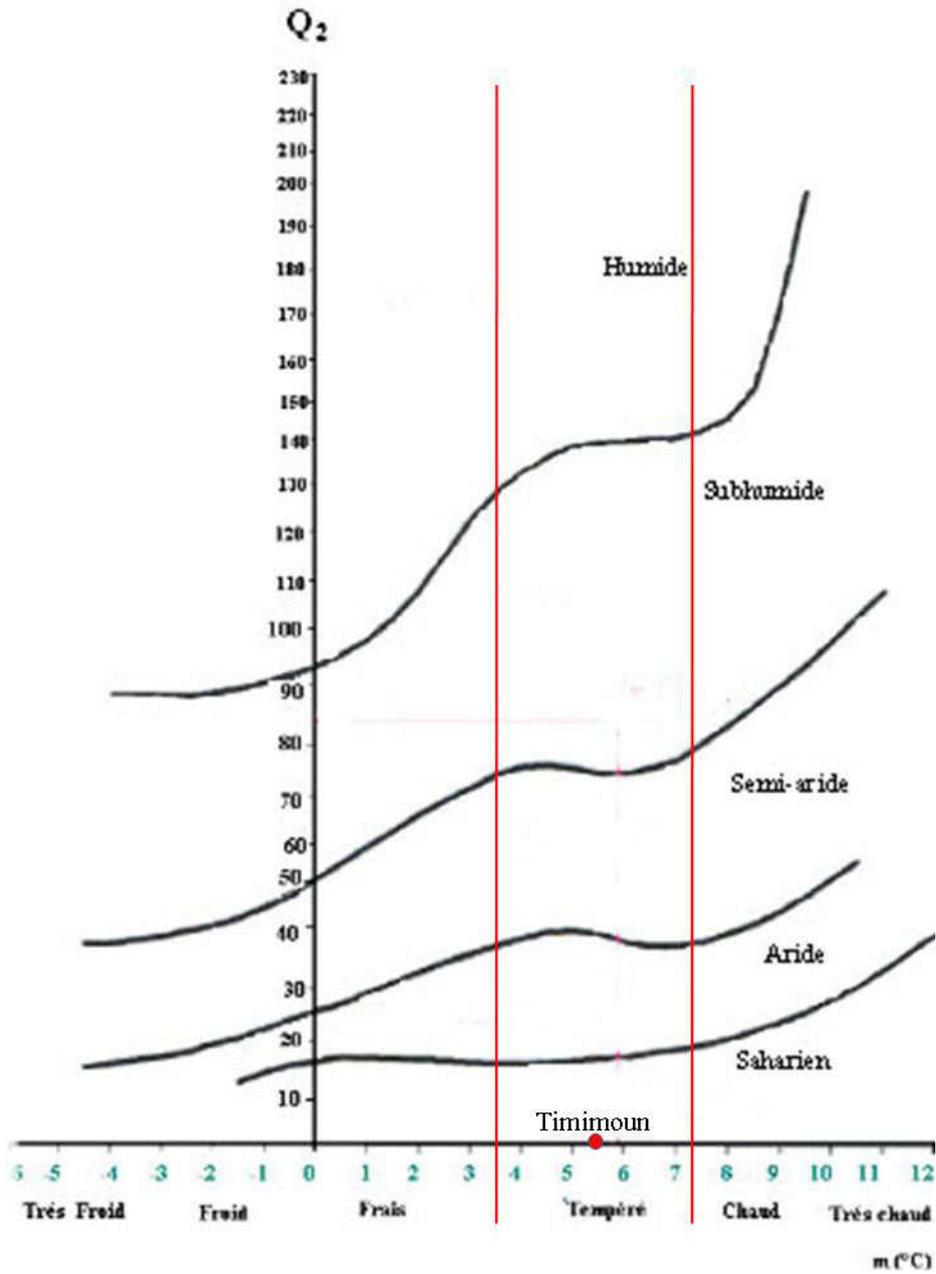


Fig. 12 Climagramme d'EMBERGER station de Timimoun.

La figure permet de conclure que le climat de la région est de type saharien tempéré.

### II.8.3 Évapotranspiration et déficit d'écoulement

L'évapotranspiration est l'émission de la vapeur d'eau et son retour direct à l'atmosphère, elle s'effectue dans tous les milieux et résulte de deux phénomènes :

- l'un physique, l'évaporation de l'eau et des stocks d'eau contenus dans les sols nus.
- L'autre biologique : la transpiration qui correspond à l'utilisation de l'eau par les végétaux.

La différence entre les précipitations et la lame d'eau écoulee traduit le déficit d'écoulement.

Vu la spécificité du climat de la région de Gourara fortement aride, l'utilisation de la plupart des méthodes empiriques d'estimation de l'évapotranspiration est inopérante. A titre indicatif, nous estimerons l'évapotranspiration par la méthode de P.VERDEIL.

#### Méthode de P. VERDEIL

En étudiant le climat de l'Algérie surtout en zones arides et semi arides, P.VERDEIL (1988) a établi un abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en fonction des précipitations (*fig. 13*).

L'interaction avec la droite représentative de  $P = f(D)$ , calculée à partir de l'ensemble des données disponibles au Maghreb donne :

Pour  $P = 1,38$  mm, on a  $D = 1$  mm, ce qui représente 97% des précipitations et un écoulement de 0.38 mm (ruissellement + infiltration).

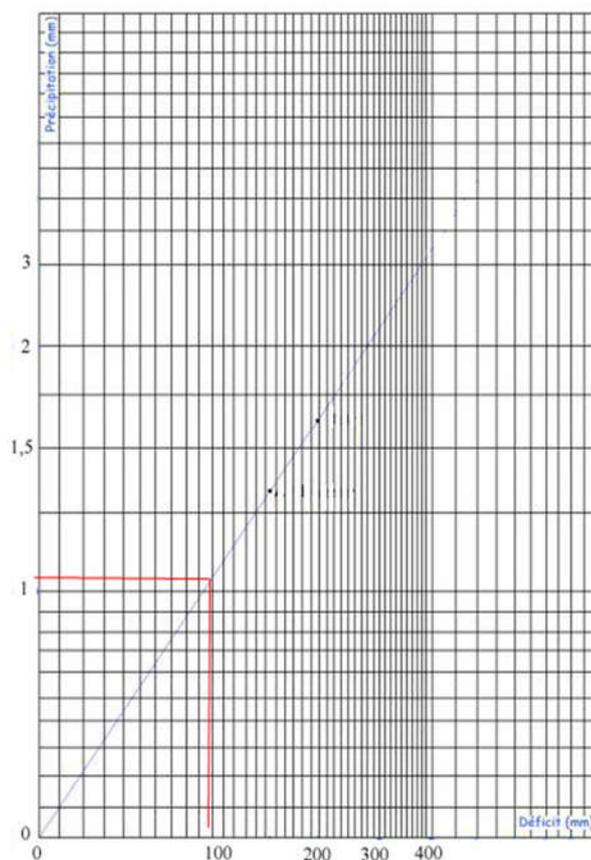


Fig. 13 Abaque de calcul de déficit d'écoulement d'après (P. VERDEIL 1988).

#### **II.8.4. l'infiltration**

Après avoir effectué un ensemble d'observations, Schoeller H (1941) estime que la profondeur d'humidification des sables des dunes ne dépasse pas 2 m même lors des plus fortes pluies, ce qui revient à dire que les eaux de pluie ne peuvent alimenter les nappes profondes.

L'essentiel de l'infiltration alimentant les eaux souterraines, provient en fait essentiellement du ruissellement des eaux de surface.

#### **Conclusion**

Le climat du Gourara est connu par sa température élevée, sa précipitation faible et irrégulière, ses tempêtes de sables violentes, ces conditions rendent le secteur d'étude très hostile.

D'après les données climatiques, la précipitation moyenne annuelle n'atteint pas les 5 mm/an (voir histogramme, *fig. 6*), avec une température moyenne maximale de l'ordre de 37,05°C au mois de juillet, le climat est saharien de type hyper aride.

# Chapitre III

## GÉOLOGIE

## II.1. Introduction

L'étude géologique et structurale de la région étudiée a été basée essentiellement sur la synthèse des travaux effectués par :

C.Killian 1931, Fabre J. 1976, G. Busson 1971, Jean Dubief, Karthala. 1999 et Conrad G. 1969

Elle va nous permettre de préciser la nature lithologique, la texture des différentes formations, leurs successions stratigraphiques.

L'ensemble des paramètres suscités constituera les données de base pour l'approche du comportement hydrogéologique de l'aquifère alimentant les *foggaras*.

## II.2 Cadre géologique général

L'histoire géologique de notre pays s'inscrit dans le processus de géodynamique globale de la tectonique des plaques qui a structuré l'Algérie en deux domaines :

-Au Nord, l'Algérie alpine.

-Au Sud la plate forme saharienne, relativement stable ou la tectonique est moins prononcée.

Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire structurée au paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes (*Fig.14*):. On distingue d'Ouest en Est :

### II.2.1 Les Bassins de Tindouf et de Reggane

Ils sont situés sur les bordures nord et nord ouest du bouclier Reguibat. La couverture sédimentaire atteindrait 8000 m dans le bassin de Tindouf et 6500 m dans celui de Reggane.

### II.2.2 Le bassin de Béchar

Il est limité au nord par le haut atlas, au sud et à l'ouest par la chaîne d'Ougarta, sa couverture sédimentaire atteindrait 8000 m.

### II.2.3 Le bassin d'Ahnet Timimoun

Il est limité au Nord par le haut fond d'oued Namous, à l'Ouest par la chaîne d'Ougarta, au Sud par le bouclier Touareg et à l'Est par la dorsale d'Idjerane - M'zab. La couverture serait en moyenne de 4000 m.

### II.2.4 Les bassins de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya

Ils sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjerane M'Zab et à l'Est par la dorsale Amguid-El biod. Au Sud les sédiments paléozoïques affleurent dans le Mouydir. Au Nord, dans la dépression d'Aguemour Oud-Mya, comblée par une puissante série paléozoïque et Mésozoïque (5000 m à Oued Mya).

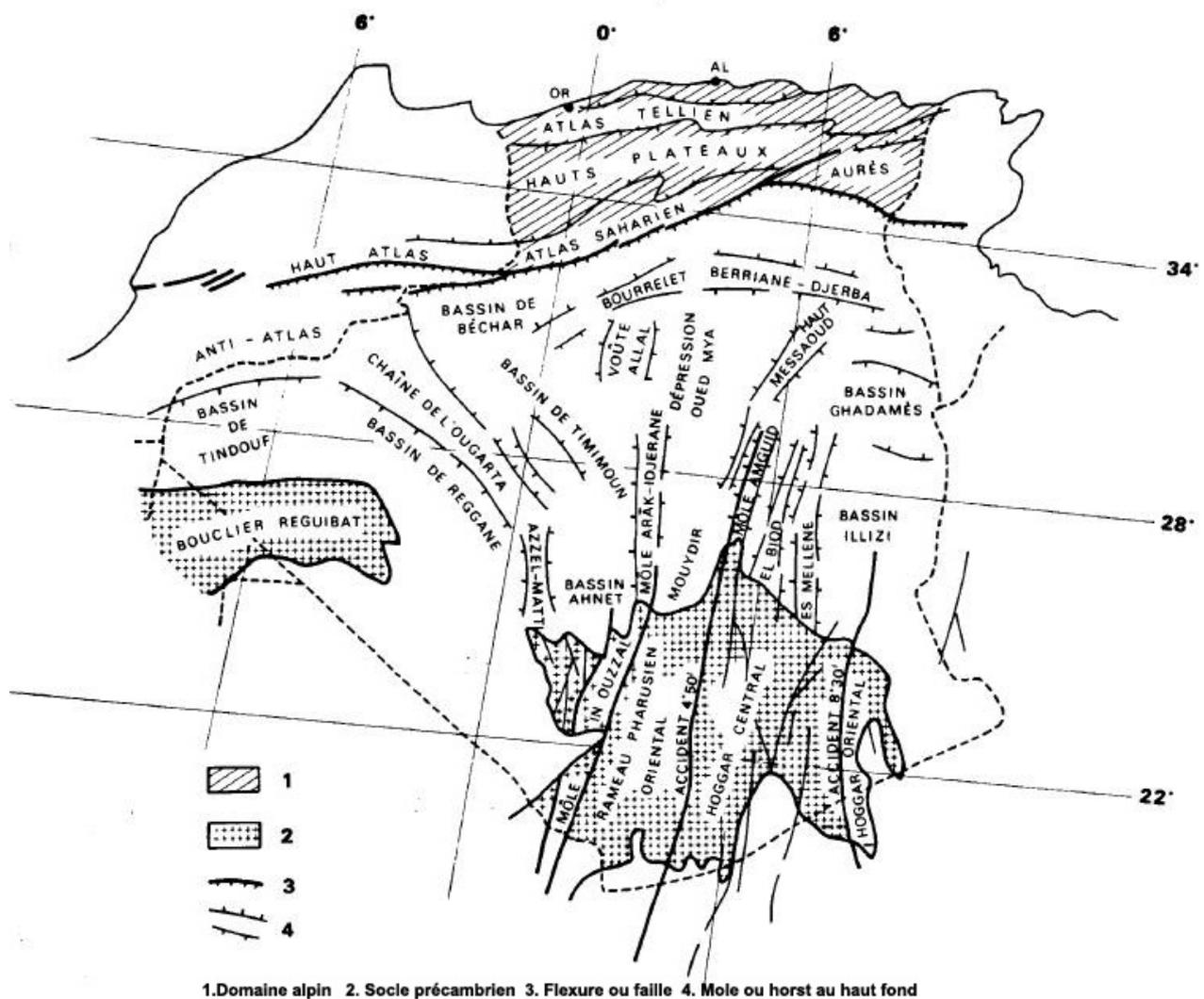


Fig.14 Les principales unités structurales du Nord-Ouest de l'Afrique (BUSSON G.1971b)

### II.2.5 La syneclyse d'Illizi-Ghadames

Elle est limitée à l'Ouest par la dorsale d'Amguid El-Biod et à l'Est par le môle de Tihemboka. Les épaisseurs des séries de la plate forme saharienne allant de 1000m à 8000m, leur nature, les déformations tectoniques et la subsidence, ont modelé la plate forme saharienne en un certain nombre de bassins répartis dans la province occidentale, la province orientale et la province triasique.

#### - La province occidentale

Elle comprend les bassins de Béchar, Tindouf, Reggane, Ahnet, Mouydir, Timimoun. Ces dépressions ont un remplissage paléozoïque, cambrien à Namurien. Le Meso-Cénozoïque y est peu développé.

#### - La province triasique

Elle est située dans la partie septentrionale de la plate forme saharienne, la province triasique est un anticlinorium de direction Est-Ouest ou les éléments majeurs suivants ont été individualisés :

- La voûte de Tilrhemt et le haut fond de Talemzane
- Le système structural de Djemaa-Touggourt.
- Le système de dislocation d'El Agreb-Messaoud
- Le môle de Dahar.

Ces éléments sont séparés par des dépressions (Oued Mya ) où l'on rencontre les séries types de la province triasique. Les dépôts paléozoïques sont souvent très érodés.

#### - La province orientale

Elle est appelée synclise Est- Algérie, elle se compose des bassins d' Illizi-Ghadamès séparés par le mole d' Ahara. La série sédimentaire type discordante sur le précambrien, présente tous les termes du Cambrien à l'actuel.

### II.3. Cadre géologique local

De Timimoun à Reggane, les terrains sont constitués par des grès du continental intercalaire. Dans le Touat, le faciès est argileux et richement fossilifère, avec des grès à niveaux argileux. Géologiquement, on parle de la dépression du Gourara-Touat, ce qui explique la présence d'eau provenant du plateau du Tademaït et d'El Goléa.

#### II.3.1 Le Précambrien ou Protérozoïque

Les plus anciennes roches de la région étudiée constituent les Eglabs. Les roches des Eglabs affleurant à l'Ouest extrême du territoire de la Wilaya, forment le Socle cristallin.

#### II.3.2 Le Primaire ou Paléozoïque

Les dépôts du Primaire reposent immédiatement sur le socle cristallin. Ils sont formés d'un ensemble géologique plissé par les mouvements Hercyniens, de direction tectonique générale Nord Ouest - Sud Est.

Il constitue le socle imperméable profond de la région. Il est formé de: grès, schistes, argiles, marnes, calcaires (datés du Cambrien au Namurien).

Dans le Gourara on le rencontre au Nord Ouest de la Sebkha de Timimoun (mais en grande partie couvert par le grand Erg occidental) et surtout au Sud Ouest de cette Sebkha jusqu'au Sud de Charouine.

Dans le Touat il en subsiste quelques lambeaux à l'Ouest (la majeure partie ayant été recouverte par l'Erg Chech dans la dépression de l'Oued Messaoud).

##### II.3.2.1 Le Cambrien

Il est largement répandu dans le bassin de Reggane. La coupe du Cambrien est représentée par les grès très grossiers petits galets de roches infracambriennes surmonté par des grès et des quartzites ferrugineuses rougeâtres ainsi que des Schistes grésio-argileux. Son épaisseur atteint 200 à 300 m.

##### II.3.2.2 L'Ordovicien

Il repose sur les grès du Cambrien. Ce sont des argilites, (roche consolidée finement détritique, faisant pâte avec l'eau) et des grès quartzeux habituellement à stratification horizontale. L'épaisseur varie entre 250 et 500 m:

### II.3.2.3 Le Silurien :

Il est présent sur toute l'étendue du secteur, il est représenté par 3 niveaux ou limites :

- ✓ La limite inférieure correspond au grès de Ramades (Ashghillien terminal)
- ✓ La limite moyenne est constituée par une formation argilo-carbonatée
- ✓ La limite supérieure est constituée par une formation argilo-gréseuse, datée du Lochkovien.

Dans le bassin de Timimoun, les épaisseurs augmentent à peu près du Sud vers le Nord avec néanmoins un moindre écart.

### II.3.2.4 Le Dévonien:

Le Dévonien inférieur: Ces dépôts, essentiellement argilo-gréseux, présentent des faciès très variés:

- Le Lochkovien est représenté par des sédiments argilo-gréseux d'une puissance de 200 à 300m
- Le Praguien, plus développé que le Lochkovien, est surtout gréseux, à variation tant latérale que verticale. Les plus fortes épaisseurs ont été enregistrées dans la région Nord de la dépression de Tindouf (340 – 400m).
- L'Emsien, argilo-calcaire à gréseux, termine le Dévonien inférieur. Dans les régions occidentales, sa limite inférieure est à la base d'un banc calcaire appelé: "Muraille de Chine"

Le Dévonien moyen et supérieur: La coupe stratigraphique du Dévonien moyen et supérieur est caractérisée par des lacunes de sédimentation. Les dépôts ont été les plus touchés par l'érosion frasnienne ou faménnienne et pré-mésozoïque.

Le Dévonien moyen, dont l'épaisseur varie de 100 à 250m, est moins développé que la série précédente, la coupe type du Dévonien moyen a été relevée dans les affleurements de l'Ougarta. Le Dévonien supérieur est d'extension identique au Dévonien moyen, sa puissance totale est de 1700 m sous un faciès argilo-gréseux.

### II.3.2.5 Le Carbonifère:

Les affleurements du carbonifère se rencontrent dans les régions de Timimoun et Adrar. Les dépôts du Carbonifère sont représentés par les formations du Tournaisien, Viséen et Namurien.

A la base on a les sédiments élastiques fins, siltstones et argilites ensuite viennent des grès à lentilles à intercalations de calcaires à bioclastes.

Dans la partie supérieure on a de nouveau des siltstones et des argilites. L'ensemble de ces sédiments est désigné sous le nom de formation argile silteuse.

Sa puissance varie de 0 à 180 m.

Puis on distingue les formations silto-gréseuses et argileuses de 0 à 1200 m d'épaisseur qui débutent par les siltstones gréseux, des grès et des argilites noires puis une alternance de siltstones et grès généralement fins (à nombreuses intercalations d'argilites, de lentilles calcaires et de calcaires gréseux).

Cette formation se termine par des argilites gréseuses noires. La fin du Viséen est représentée par des calcaires en plaques et en plaquettes, parfois ils passent en calcaires gréseux et limoneux (laminés exclusivement horizontalement). Par endroit on a noté de minces (quelques cm) lits de gypse. La puissance de cette formation est d'environ 500 m. Le Namurien est représenté par des grès fins à très fins. La puissance de cette série est de 80 m.

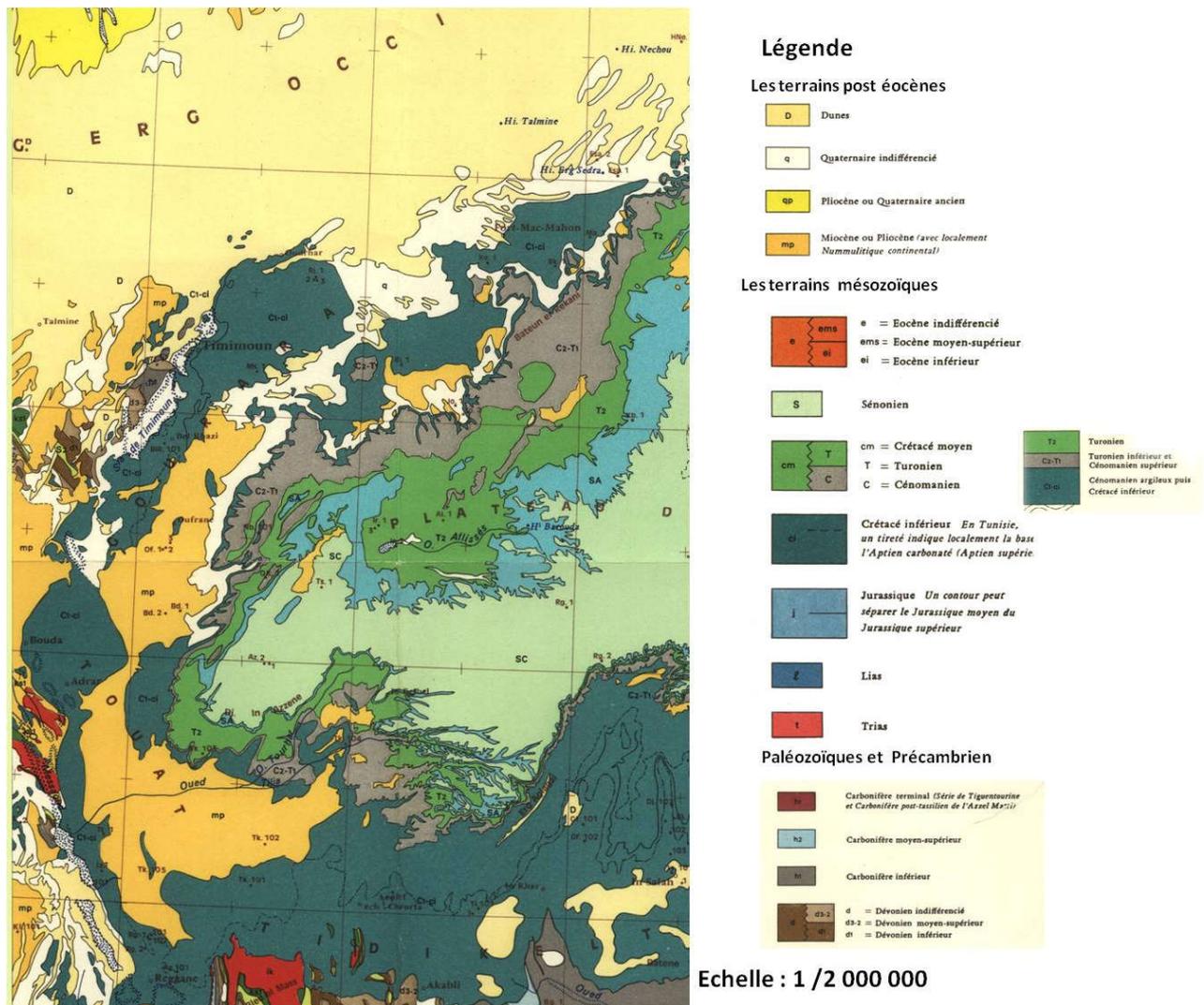


Fig.15 : Carte géologique du secteur d'étude (G.BUSSON 1967)

### II.3.3 Le Secondaire ou Mésozoïque

Il couvre l'ensemble de la région, les séries mésozoïques se répandent sur une surface élaborée par l'érosion Hercynienne. Les premiers dépôts sont datés soit du Lias (partie orientale de Timimoun), soit du Jurassique moyen ou supérieur (fig.15).

Le Mésozoïque est représenté par trois ensembles lithostratigraphiques distincts :

- ✓ Le Lias anhydritique
- ✓ Le Continental Intercalaire
- ✓ Le Crétacé supérieur marin.

#### II.3.3.1 Le Lias

Le Lias a une épaisseur très réduites moins de 15 m, il n'est mis en évidence que dans la partie Nord orientale du secteur. Il consiste en une anhydrite massive parfois argilo-dolomitique avec à la base une argile gypseuse et un banc de dolomie.

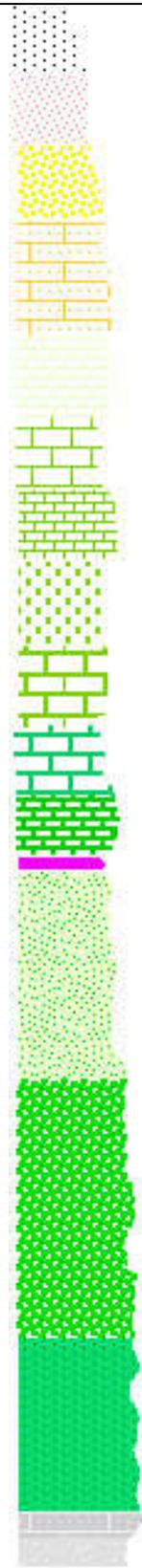
### II.3.3.2 Le Continental Intercalaire:

Le Continental Intercalaire noté Ci représente l'intervalle stratigraphique compris entre le toit du Paléozoïque et le mur du Cénomaniens, d'après C. Killian, il est constitué de la base au sommet par (Tableau.11) :

- **Le Trias** qui est formé par une sédimentation de type lagunaire constituée par des argiles plastiques, des argiles bariolées gypseuses, de l'anhydrite et des dolomies. Dans la partie ouest du secteur où les forages OR1, OR2, OR3, OR4, NIL et NMI montrent que le Trias traversé est représenté par des dolérites et des argiles gypseuses d'une épaisseur comprise entre 45 à 108 mètres.
- **Le Jurassique indifférencié** est constitué par des argiles tendres sableuses parfois micacées admettant de temps à autre des passées de dolomies, des grès et de calcaires dont l'épaisseur est comprise entre 115 m au forage Kel et 247 m au forage ECF1.
- **Le Lias ou jurassique inférieur**, il est formé par des argiles, des dolomies, de l'anhydrite, des calcaires dolomitiques, des calcaires marneux et des argiles plastiques sableuses. L'épaisseur de cet horizon est comprise entre 47 m (forage NMI) et 247 m (forage OR3).
- **Le Jurassique moyen** a été recoupé par les forages Deal et Esal où il est représenté par des argiles multicolores à passées de sables et de dolomies d'une épaisseur variant entre 157 m et 311 m.
- **Le Jurassique supérieur indifférencié** d'une épaisseur de 250 m (forage Ael) a été traversé par les forages Ae1 et AB1 où il est constitué par des argiles sableuses, des calcaires, des calcaires dolomitiques et de petits niveaux de pyrite.
- **Le Malm** a été recoupé au niveau des forages OSB1, ZRF2, HMK1, MGD1, BSB2 et MD1 où il est formé par des argiles légèrement dolomitiques, de dolomies, de calcaires et parfois de grès glauconieux friables oolitiques et lumacheliques.
- **Le Crétacé inférieur indifférencié** est représenté par des terrains sablo-argileux à passées de grès, de sables et calcaires gréseux.
- **Le Néocomien** est constitué par un faciès argilo-sableux dans lequel s'intercalent des horizons argileux, du gypse, de l'anhydrite, des traces de pyrite et de lignite.
- **Le Barrémien** est formé par des grès à ciment argileux ou argilo-dolomitique et des sables à passées d'argiles et de dolomies.
- **L'Aptien** montre un faciès calcaireux-dolomitique parfois marneux ou argileux. L'épaisseur de cet étage atteint 11,5 m au forage KHL1.
- **L'Albien** est constitué à la base par des grès et des sables à ciment argilo-carbonaté dans lesquels s'intercalent des argiles dolomitiques et au sommet par des calcaires microcristallins parfois gréseux.

L'étude lithostratigraphique du Continental Intercalaire montre que cet horizon représente au point de vue hydrogéologique un aquifère multicouche dont les potentialités en eau sont assez variables d'un endroit à un autre et ce à cause des intercalations argileuses qui présentent des variations importantes d'épaisseur et de la structure tectonique.

Tableau 11: Colonne lithostratigraphique synthétique du secteur d'étude  
(Tableau établi à partir de la carte géologique de Timimoun)

Ère	Epoque	Etages	Formations lithostratigraphiques	Figurés lithologiques	Comportement hydrogéologique
Quaternaire	Récant	/	Alluvions des oueds, Sebkhha et des daïas, terres cultivées		Perméable
			Dunes de sables		Perméable
	Ancien	/	Cailloutis des regs, terrasses anciennes		Perméable
Cénozoïque	Néogène	/	Calcaires lacustres à grains de quartz, argile gypso-sableuse.	Perméable	
mésozoïque	Crétacé supérieur	Sénonien supérieur	Calcaire et argile	Semi-perméable	
			Calcaire à silex, banc siliceux à Algues	Perméable	
		Sénonien inférieur	Calcaire à silex rubanés	Perméable	
			Grès d'In Belbel argiles fossilifères	Semi-perméable	
		Turonien supérieur	Calcaire jaunâtre dolomitique et marne	Semi-perméable	
		Turonien inférieur	Calcaire dolomitique gris brun et argile	Semi-perméable	
		Cénomaniens supérieur	Calcaire blanc crème calcaire dolomitique gris	Perméable	
		Cénomaniens inférieur	Argile à gypse d'El Goléa	Semi-perméable	
	Crétacé inférieur	Albien	Continental Intercalaire	Dalles quartzite et grès à sphéroïdes du Gourara et du M'guiden	Perméable
				Grès grossier et gravier	Perméable
				Sable et argile	Semi-perméable
	Paléozoïque	Carbonifère inférieur	Viséen supérieur	Argiles supérieure Timimoun	impermeable
			Viséen inférieur	Argiles inférieures de Timimoun Grès, argiles et dalles à Méraconites	Semi-perméable à imperméable

### II.3.3.3 Le Crétacé Supérieur marin :

Les dépôts du Crétacé Supérieur ont une large extension. On distingue deux séries: Inférieure terrigène, Supérieure carbonatée.

La série Inférieure terrigène est représentée par des grès quartzeux et feldspaths quartzeux à inter lits de grès calcaireux et calcaires gréseux, de graviers et de conglomérats à petits débris. La puissance est de plus de 300 m.

La série Supérieure carbonatée est représentée principalement par des calcaires microcristallins à cristaux en quantité moins importante de calcaires argileux et de marnes avec des interlits à faible épaisseur de silex et de gypse. La puissance de la série est de plus de 60 m.

### II.3.4 Le Tertiaire ou Cénozoïque

On retrouve les affleurements du Tertiaire à l'Ouest de Ouled Saïd et au Sud Ouest de Tiberghamine, à l'Est d'Adrar jusqu'au Nord d'Ouled Messaoud.

Ces terrains, sont toujours horizontaux d'épaisseur et de faciès variables. Ils reposent sur la surface érodée des grès du Continental Intercalaire formés de calcaire gréseux, détritiques a bancs de conglomérats calcaire gréseux, stratifiés horizontalement. Ce complexe a environ 30 m de puissance.

### II.3.5 Le Quaternaire

Il est représenté par les dunes des grands Ergs (Occidental, Oriental, Erg Chech..), de petits Ergs isolés, les dépôts gypso-salins des sebkhas, les sols quaternaires et actuels sont formés par des dépôts éoliens.

La subdivision stratigraphique du Quaternaire désigne les étages stratigraphiques suivants:

- ✓ Le Villafranchien, dont la partie inférieure renferme probablement aussi, la plus haute partie du Pliocène .
- ✓ Le Pléistocène moyen
- ✓ Le Pléistocène supérieur
- ✓ L'Holocène

Pendant tout le Quaternaire, l'action de l'érosion fût très importante et elle a modelé les grandes lignes du relief actuel.

La nature pétrographique des formations du Crétacé est particulièrement vulnérable (grès assez tendres...), elle favorise l'élargissement de vallées (Oued Messaoud, Sebka de Timimoun); l'érosion agit plus en étendue qu'en profondeur dans ces régions.

## II.4. Aperçu tectonique

Du point de vue tectonique, le Sahara algérien est localisé au Nord-Ouest de la plaque Africaine. Dans laquelle, le socle cristallin est considérablement affaissé et recouvert d'une puissante couverture de sédiments paléozoïques et mésozoïques.

Il est limité au Sud par le bouclier Reguibat (massif Yetti-Eglab) et Touareg (massif du Hoggar), et au Nord par l'accident sud-atlasique. Celui-ci sépare une zone relativement stable, depuis la fin du paléozoïque (Plate forme saharienne) et une zone active durant le Méso-Cénozoïque résultant de la formation de chaîne plissée de l'Atlas Tellien et de l'Atlas saharien (*Fig.14*).

La partie centrale du Sahara est occupée par un plateau élevé, le Tademaït (900 m) à partir duquel les altitudes s'abaissent vers le Sud Ouest et vers le Nord Est.

La série sédimentaire comprend deux ensembles sédimentaires séparés par une importante lacune (discordance hercynienne), le tout reposant sur un socle Précambrien métamorphique.

Une série Paléozoïque inférieure formée principalement de dépôts d'âge Cambrien à Carbonifère à dominance de grès et d'argile.

Elle est développée principalement à l'Ouest de la plate forme saharienne; elle affleure sur le pourtour de la cuvette de Tindouf, au Nord du Hoggar, au Sud Ouest, sur les bordures orientales du bassin de Taoudenni, au Nord-Ouest, dans les bassins de la Saoura et de Béchar.

Une série Mésozoïque supérieure discordante sur le Paléozoïque, est présentée par les dépôts salifères du Trias et argilo-gréseux du Crétacé. Le Mésozoïque est développé dans les zones les plus déprimées des bassins sahariens, principalement dans le Sahara Septentrional

### **Conclusion**

Le Sahara algérien est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Occidental, Erg Oriental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme (Adrar Timimoun, El Oued, Ghardaïa, ...), le massif des Eglabs à l'Ouest et le massif du Hoggar à l'Est, forment pratiquement la limite méridionale du Sahara algérien.

La tectonique du Sahara est moins prononcée, elle appartient au Craton Nord Africain, comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes.

Le Continental Intercalaire englobe plusieurs époque géologique représentant l'intervalle stratigraphique compris entre le Trias inférieur du cénozoïque jusqu'au Cénomaniens, le mur du Crétacé supérieur.

Il représente le principal aquifère, un réservoir d'eau souterraine affleurant sur une grande partie de la région. Il est caractérisé par une grande hétérogénéité (grès, sables, conglomérats et argiles) et par une puissance variable, diminuant d'Est en Ouest puis il biseaute à l'Ouest, à l'Est il plonge sous le plateau de Tademaït.

Cette formation hydrogéologique représente un aquifère multicouche dont les potentialités en eau sont assez variables d'un endroit à un autre.

# Chapitre IV

GÉOMETRIE ET NATURE DU CI

**IV.1 Introduction**

Du fait que l'ensemble des *foggaras* captent les formations grés-argileuses du Continental Intercalaire, on s'est intéressé par conséquent à l'étude de sa géométrie et à sa nature lithologique pour approcher son hydrodynamisme qui dépend des variations de faciès et de sa structure tectonique.

Dans ce cadre on s'est basé principalement sur les logs lithostratigraphiques des forages pétroliers SONATRACH (1982) pour l'établissement de coupes et cartes du Ci dont l'interprétation est capitale pour comprendre les relations existantes entre les *foggaras* et ce dernier.

**IV.2. Interprétation des différentes coupes lithostratigraphiques**

Les corrélations entre les différents forages pétroliers ont permis de dresser deux coupes, l'une Nord-Sud, l'autre Est-Ouest passant par Timimoun ( *fig.16* ) qui montrent que l'on a affaire immédiatement au Sud de la flexure sud-atlasique à une structure plissée formée par des anticlinaux et synclinaux à grand rayon de courbure où l'aquifère multicouches du Continental Intercalaire est recouvert en discordance par les terrains du Complexe Terminal .

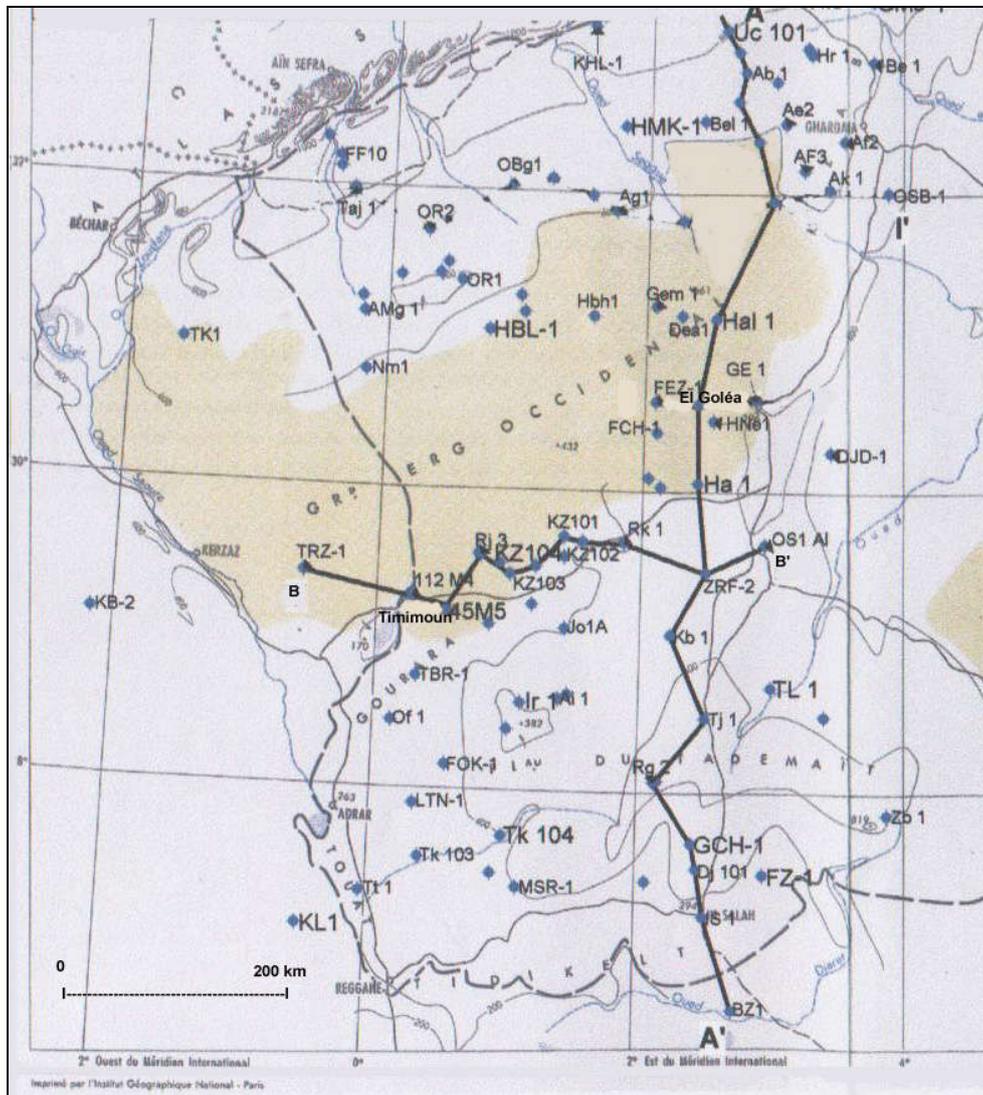


Fig.16 Carte de situation des coupes (BENSAADA.M , ABADA.A, REMINLB)

Les corrélations lithostratigraphiques entre les différents forages pétroliers ont permis d'établir des coupes géologiques synthétiques (fig.17) et (fig.18) qui montrent que l'on affaire immédiatement au Sud de la flexure sud-atlasique à une structure plissée formée par des anticlinaux et synclinaux à grand rayon de courbure où l'aquifère multicouche du Continental Intercalaire est recouvert en discordance par les terrains du complexe terminal.

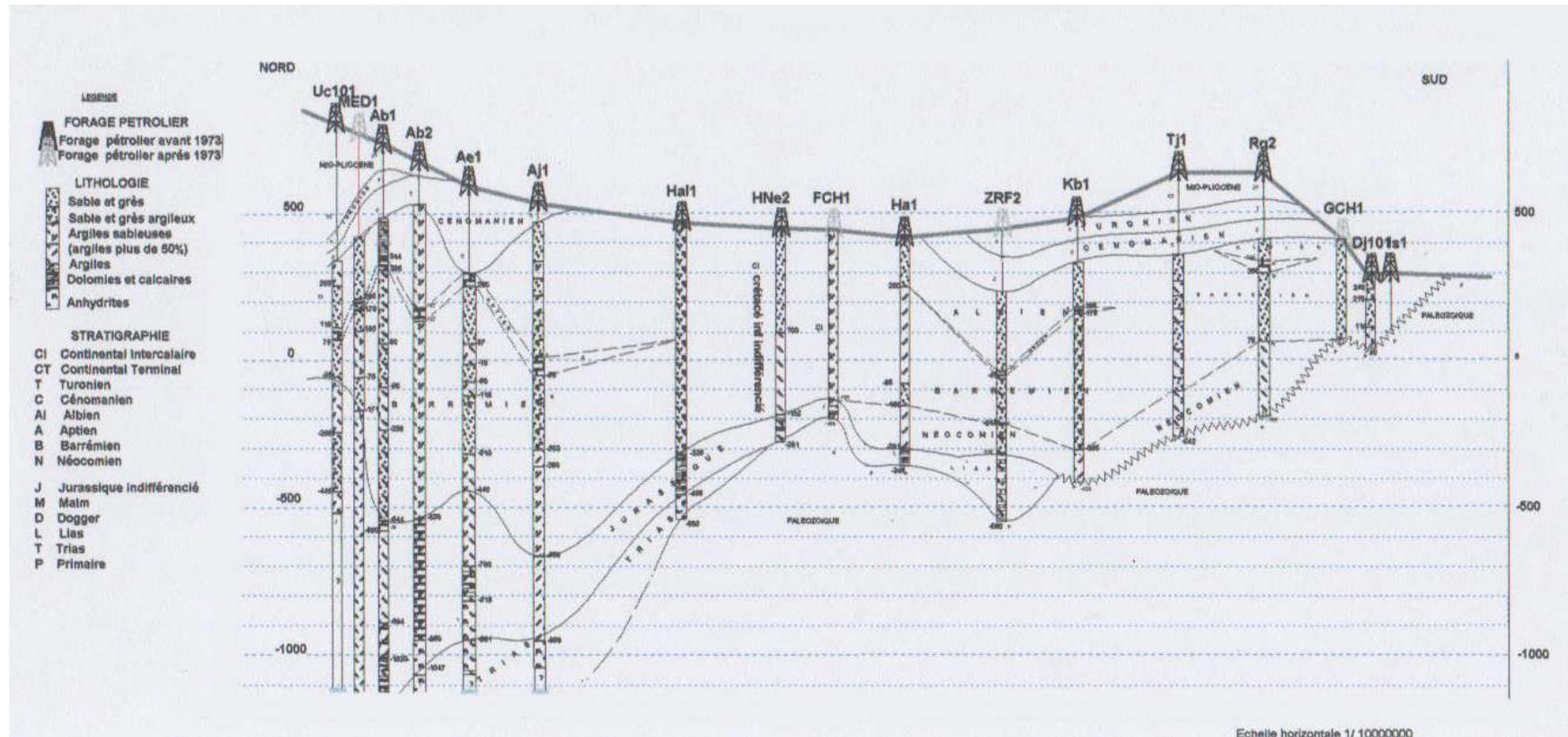


Fig.17 Coupe lithostratigraphique Nord-sud (BENSAADA.M , ABADA.A, REMINI.B)

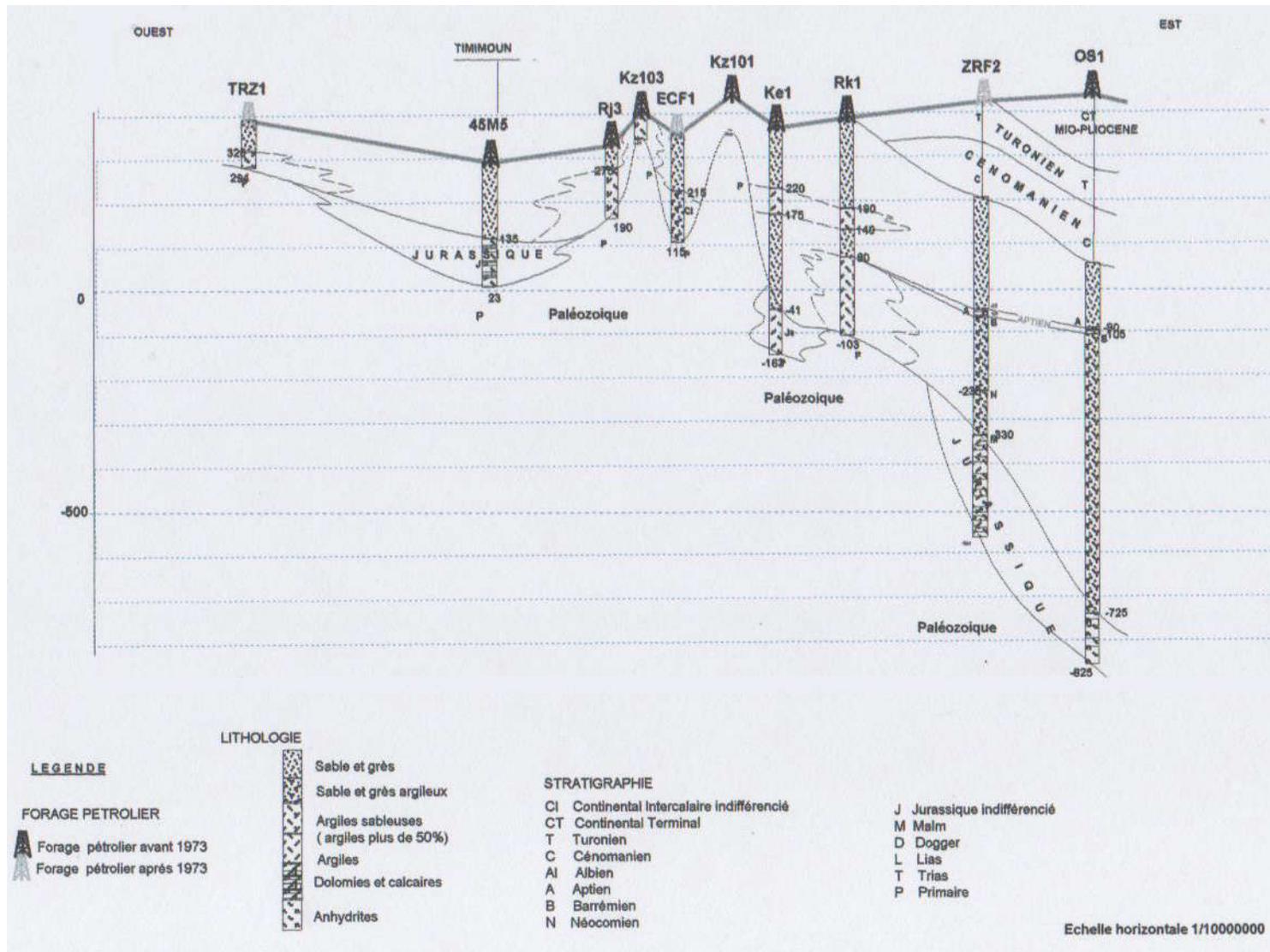


Fig.18 Coupe lithostratigraphique Est-Ouest (BENSAADA.M, ABADA.A, REMINI.B)

### IV.3. Interprétation des différentes cartes

#### IV.3.1 Carte du toit du Continental Intercalaire

Cette carte a été établie à l'aide des côtes du toit du Ci relevées à partir des forages pétroliers, elle nous a permis l'individualisation de trois zones au niveau du secteur d'étude, (fig.19) il s'agit :

- De celle localisée à l'Ouest de l'axe passant par In Salah et les forages Tj1, Kb1, Ge1, Ak1, Af2, et Be1 où le toit du Continental Intercalaire montre une structure plissée d'orientation générale Sud Ouest- Nord Est avec parfois des plis Ouest Nord Ouest- Est Sud Est correspondant aux jeux de failles profondes affectant le socle paléozoïque .

Cette zone constituant la transition entre l'atlas saharien et la plate forme saharienne a été affectée par la phase tectonique alpine.

- De la zone localisée à l'Est de l'axe sus cité, où le toit du Continental Intercalaire surmonté par des formations épaisses du Crétacé supérieur est assez profond.
- De la zone située dans la partie sud du secteur d'étude à l'Est du forage FZ1 où l'enfouissement du Continental Intercalaire sous le recouvrement du Crétacé supérieur est assez important.

#### IV.3.2 Carte d'isopaches du Continental Intercalaire

L'analyse de cette carte montre que le Continental Intercalaire se biseaute au Sud et au Sud – Ouest du secteur d'étude sur les formations paléozoïques et augmente d'épaisseur vers le Nord et le Nord Ouest (au niveau du flanc sud de l'atlas saharien) (fig.20).

Au niveau de la partie centrale du secteur d'étude le Continental Intercalaire montre des variations importantes d'épaisseurs qui sont dues principalement à la structure tectonique (érosion forte au niveau des axes anticlinaux et faible dans les dépressions synclinales)

Dans la partie Est du secteur d'étude le Continental Intercalaire augmente d'épaisseur d'Ouest en Est.



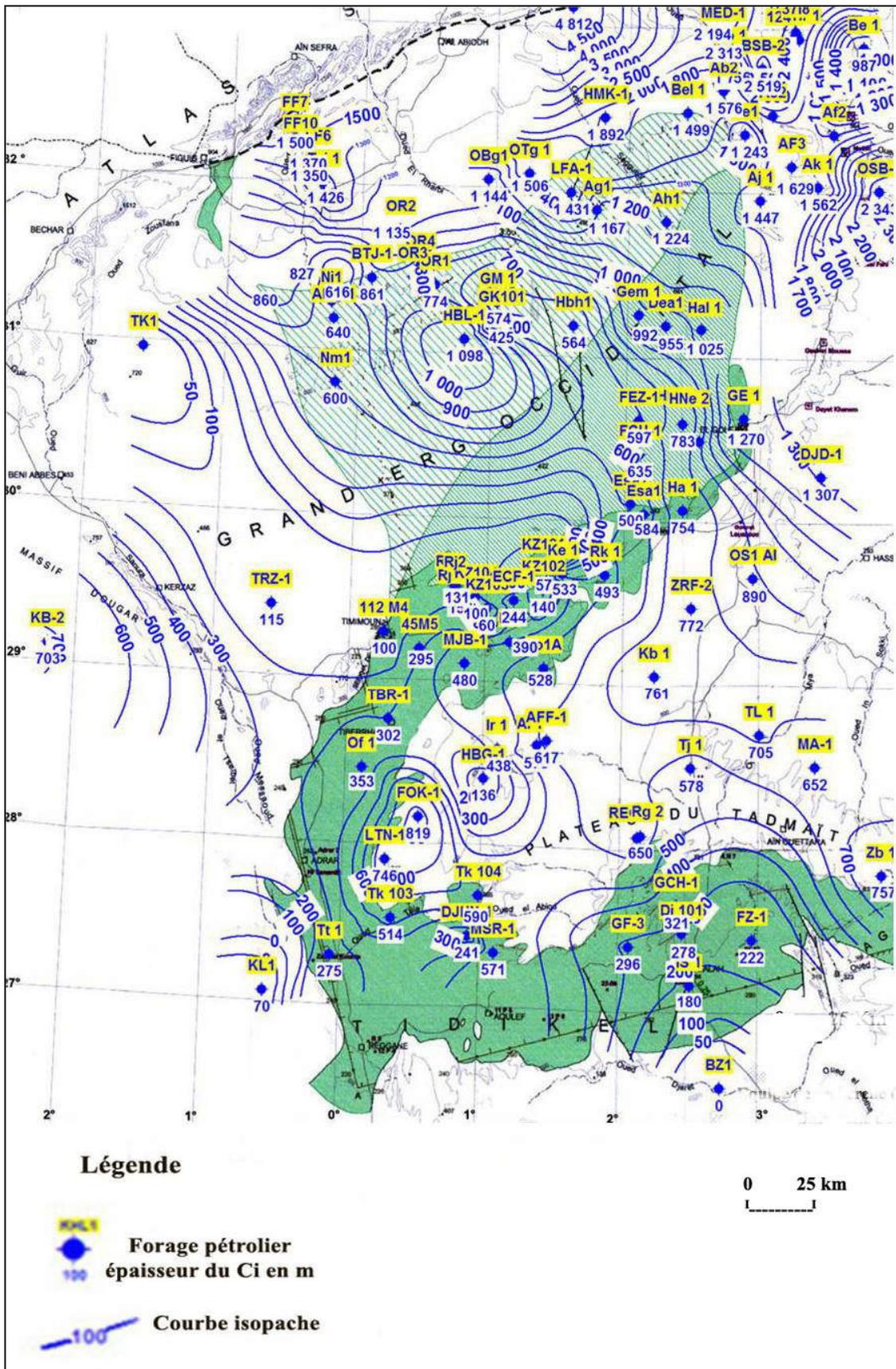


Fig.20 Carte d'isopache du Ci (BENSAADA.M, ABADA.A, REMINI.B)

### **IV.3.3 Carte du pourcentage de l'épaisseur des grès par rapport à l'épaisseur totale du réservoir utile**

L'analyse dans le détail de la lithologie recoupée par les différents forages pétroliers (tableau en annexe) et le calcul du pourcentage des grès par rapport à l'épaisseur totale du réservoir utile permet de mettre en évidence trois zones (*fig.21*).

- Celle située au Nord-Ouest du secteur d'étude où le Continental Intercalaire est essentiellement argileux à argilo- sableux
- Celle où le Continental Intercalaire est constitué principalement par des formations gréseuses dans lesquelles apparaissent deux zones argileuses à argiles sableuses.

(Timimoun –El Goléa et Ain Guetarra – El Goléa) .

- Celle localisée à l'Est de l'axe d'enfouissement, où le Continental Intercalaire est formé par des terrains gréseux subhorizontal profond.

Au point de vue lithologique l'axe d'enfouissement séparant la partie occidentale est constituée par des terrains plissés, dans la partie orientale, les formations subhorizontales du Continental Intercalaire sont effondrées, il est limité immédiatement à l'Ouest par des plages argileuses à argilo-sableuses semi-perméables et représentant une barrière presque étanche aux écoulements des eaux souterraines vers l'Est.

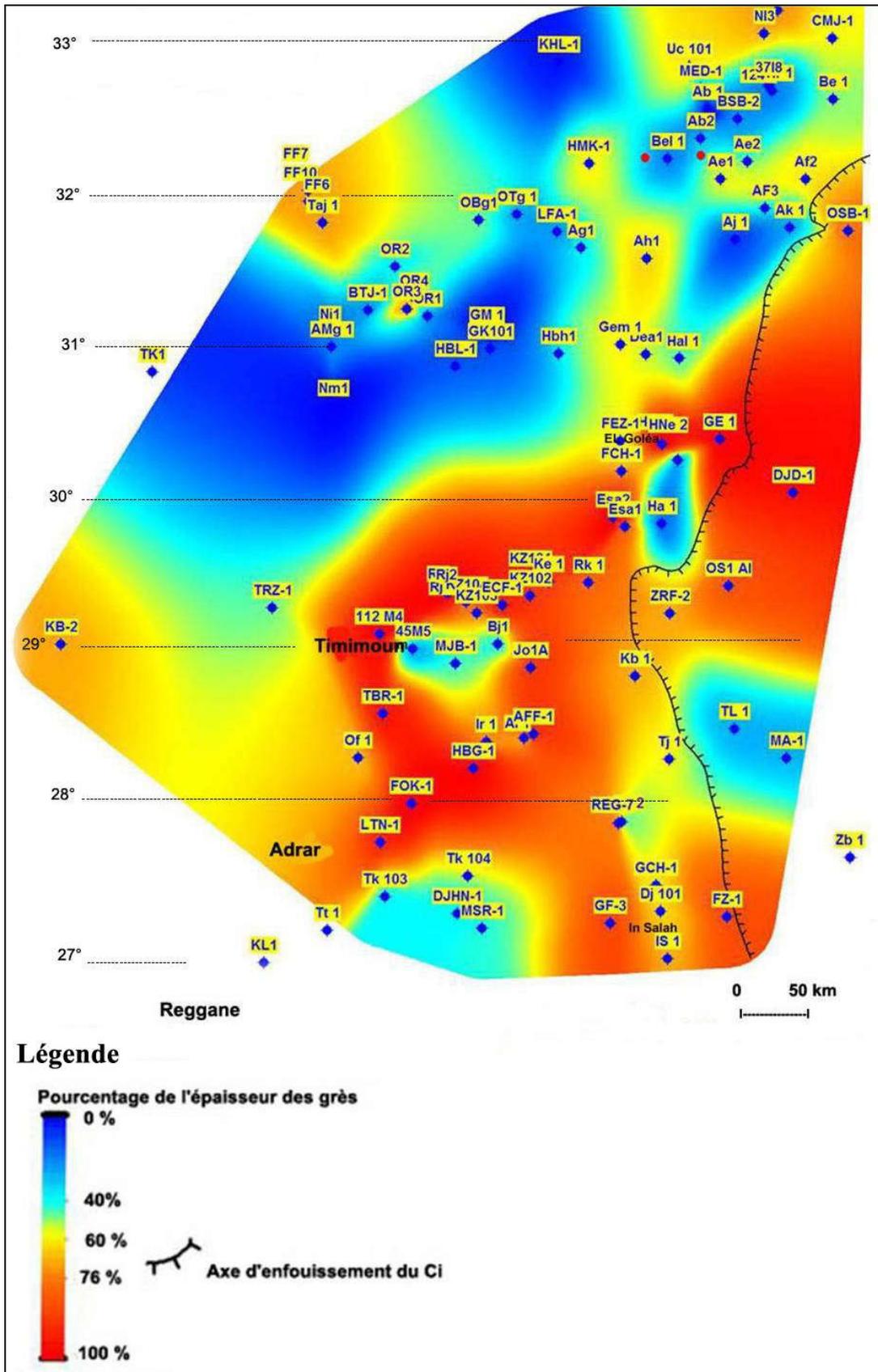


Fig.21 Carte de pourcentage de l'épaisseur des grès par rapport à l'épaisseur du réservoir utile (BENSAADA.M , ABADA.A, REMINILB)

## CONCLUSION

L'établissement et l'interprétation des différentes cartes ont permis de préciser la structure tectonique du secteur d'étude qui est représentée dans :

- La partie occidentale par un ensemble de plis où le Continental Intercalaire est formé par des argiles et des argiles sableuses peu profondes.
- La partie orientale où le Continental Intercalaire est constitué par des grès et s'enfouit sous les terrains du Crétacé supérieur au niveau de l'axe passant au Nord d'Ain Guettara au Sud d'El Goléa et de Ghardaïa.

Il apparaît donc que c'est la géométrie et les variations de faciès du Continental Intercalaire qui vont nous permettre de préciser les zones préférentielles de la circulation des eaux souterraines, Les structures synclinales ou les formations hydrogéologiques sont les plus perméables constitués par des faciès les plus gréseuses.

Les structures anticlinales mises en évidence dans la zone ouest du secteur d'étude constituent les lignes de partage des eaux souterraines.

# Chapitre V

## HYDROGÉOLOGIE

## V.1. Introduction

Le Sahara algérien renferme plusieurs aquifères. Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (BURDON,1977) ; ( MARGAT & SAAD, 1982 et 1984) ; (MARGAT, 1990), ces eaux ont été infiltrées et accumulées au cours de la période pluvieuse du Quaternaire, leur alimentation s'est poursuivie par infiltration sur les affleurements des couches perméables et que l'abaissement du niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (PIZZI et SARTOLI,1984).

Par contre pour d'autres, il existe une alimentation actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (DUBIEF,1953).

Parmi ces réserves d'eau souterraine ou aquifères, on peut citer quatre aquifères profonds présentant des eaux salées situées dans les systèmes suivants :

- ✓ Le Cambro - Ordovicien,
- ✓ Le Silurien supérieur- Dévonien inférieur,
- ✓ Le Dévonien supérieur- Carbonifère et
- ✓ Le Trias,

Ensuite deux grands aquifères superposés l'une du Complexe Terminal et l'autre du Continental Intercalaire notée Ci correspondant à un aquifère multicouches (O.S.S 2002).

Ce chapitre va nous permettre de déterminer les directions préférentielles des écoulements et d'alimentation des eaux souterraines de l'aquifère du Ci drainant les *foggaras*, parmi les études antérieures effectués sur le Continental Intercalaire du Sahara, on cite (Cornet. A 1952,1961et 1964), ( Conrad G.&Fontes JC,1970 et 1972)

## V-2. L'aquifère du Combro -Ordovicien :

Il est divisé en trois domaines hydrodynamiques. Une large partie du Sahara (hormis les synclises de Tindouf-Reggane et la province triasique) est caractérisée par des pressions de couche proches des pressions hydrostatiques.

Au sud, les courbes potentielles reprennent les contours des éléments structuraux majeurs. Les aires de charge et de décharge, matérialisées par les zones soulevées et les dépressions avoisinantes, indiquent un régime d'infiltration (WEC Algérie 95).

Les profondeurs des niveaux statiques varient entre 400 m au Nord du Hoggar pour atteindre 1600 m au Sud de l'accident atlasique.

Les dépressions (Reggane-Tindouf) sont en régime d'exfiltration avec des pressions anormalement élevées. Dans la province triasique, les hautes pressions de couche variant rapidement, montrent une absence de communication hydrodynamique. Même si, dans certaines zones, les eaux sont douces en profondeur (Illizi sud, Amguid, Mouydir, etc.), en général, la minéralisation des eaux a un faciès chlorurées calciques qui augmente avec l'enfouissement.

Par endroits, dans le bassin de Reggane, des saumures existent à faible profondeur.

Dans la province triasique, la salinité est accentuée par le Trias salifère (*fig.22*)

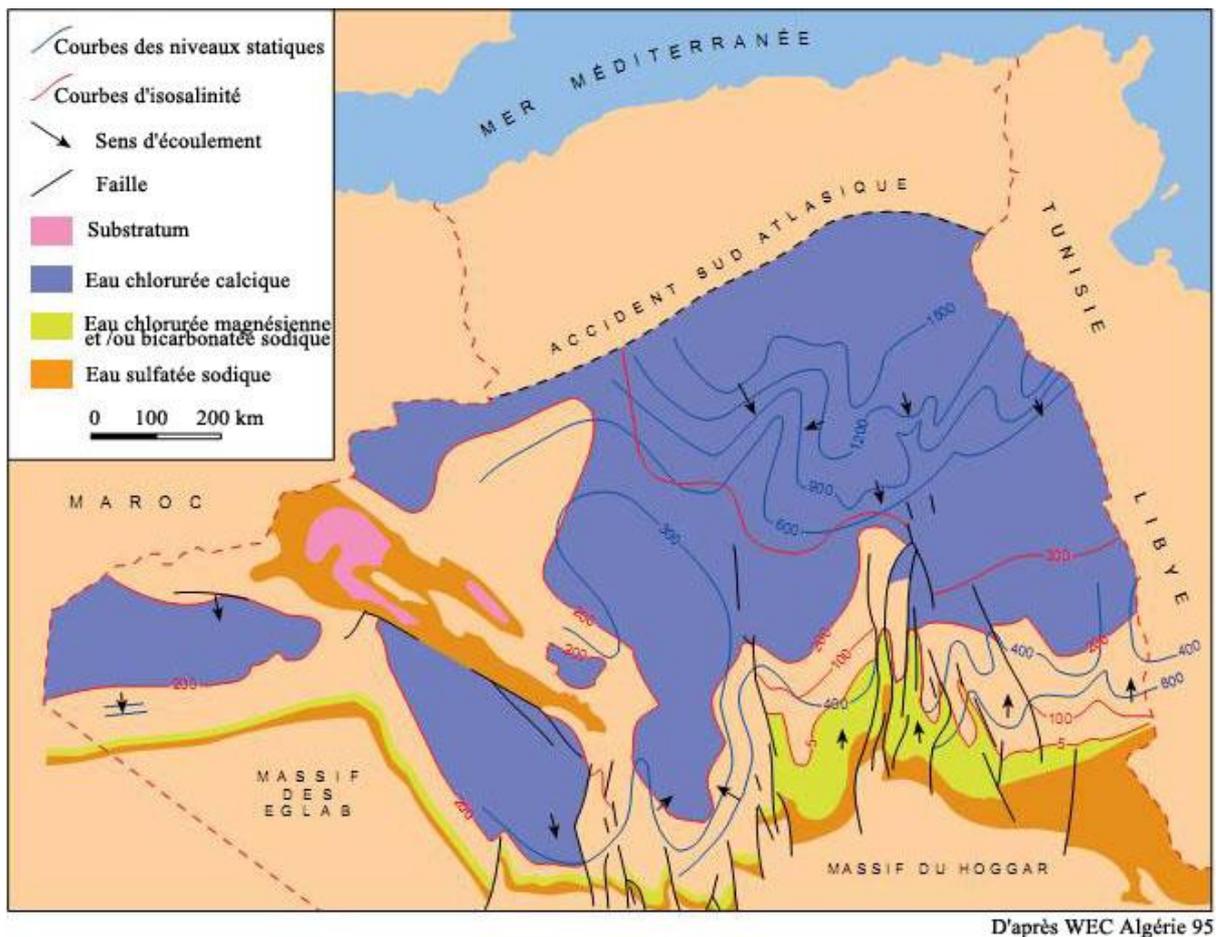


Fig.22 Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Cambro-ordovicien

### V-3. L'aquifère du Silurien supérieur Dévonien inférieur :

Les tendances sont identiques à celles des Cambro-ordoviens et organisées en trois domaines. L'un au nord du Hoggar avec une succession d'anomalies hydrodynamiques positives et négatives correspond aux zones hautes et basses.

L'autre lié aux bordures sud de Tindouf et de Reggane où les courbes potentielles les plus élevées sont localisées au centre des bassins.

Enfin, le domaine triasique où l'on assiste à de brusques variations de pressions potentiométriques, indices d'une discontinuité hydrodynamique.

Les eaux du Dévonien inférieur sont caractérisées par une forte minéralisation et un haut degré de métamorphisme au niveau de la région de Ghadamès, centre des bassins d'Ahnet et Reggane, le faciès a un caractère chlorurée calcique (fig.23)..

Ce n'est que dans les bassins d'Illizi et du Mouydir que l'on rencontre des eaux douces en provenance des affleurements situés plus au sud.

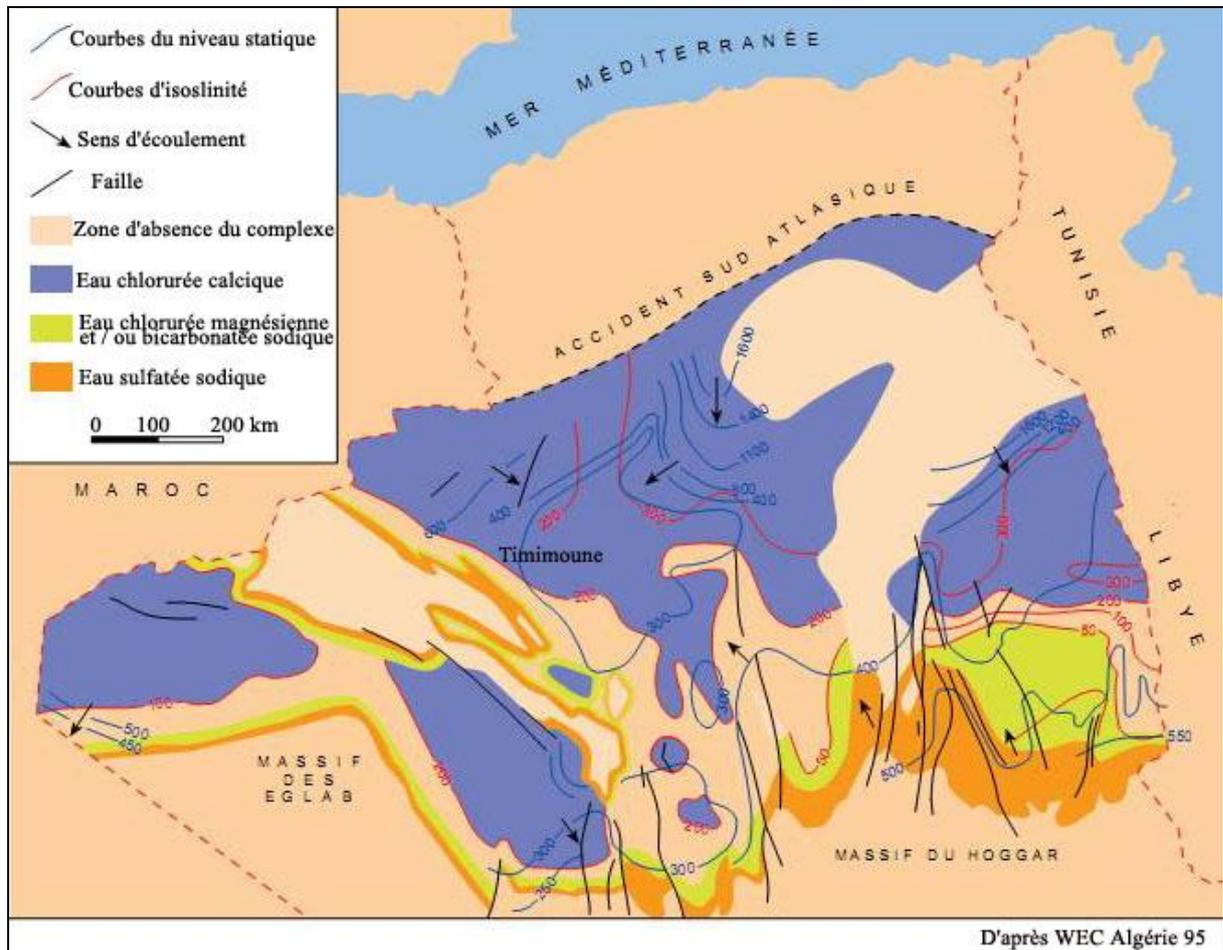


Fig.23 Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Silurien supérieur-Dévonien inférieur

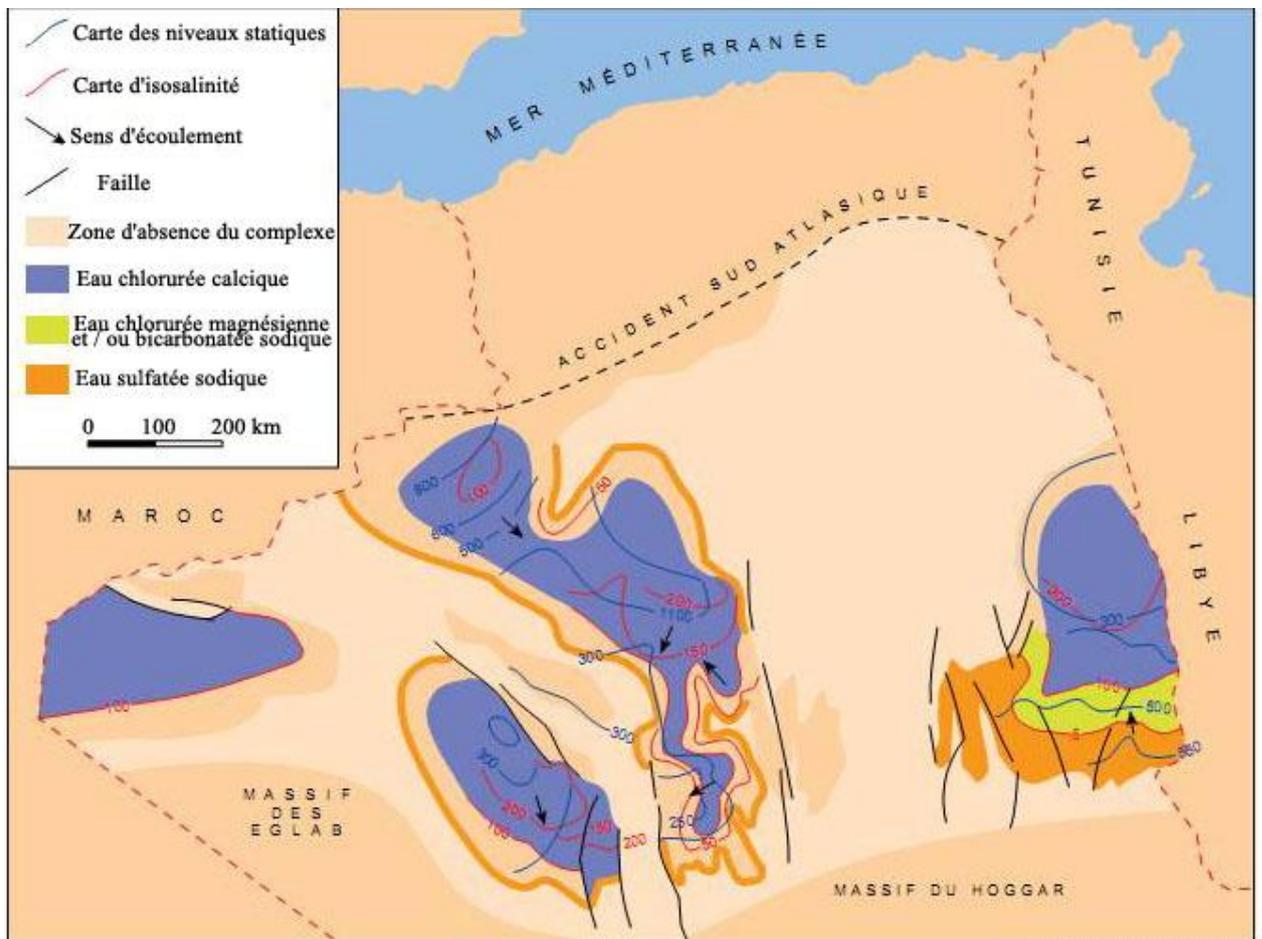
#### V-4. L'aquifère du Dévonien supérieur-Carbonifère :

L'hydrodynamisme est analogue aux précédents. Dans le bassin de Reggane, les gradients de pression sont élevés au niveau du Djebel Heirane et peuvent atteindre une valeur de 1.6 .

Dans la synclise de l'Ahnet-Timimoun, la zonalité hydrodynamique dépend de l'altitude des aires d'alimentation.

Les eaux de ce réservoir sont saumures à faciès chlorurées-calciques, la minéralisation augmente en profondeur et devient plus forte que les complexes sous-jacents (fig.24).

L'aquifère du dévonien est localisée au Nord est du Hoggar et dans la région d'Adrar et de Béchar.les courbes potentielles varient entre 300 m et 800 m.



D'après WEC Algérie 95

Fig.24 Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Silurien supérieur-Dévonien inférieur

### V-5.L'aquifère Triasique :

L'aquifère triasique est captée uniquement au niveau de la province orientale, la profondeur du toit de cet aquifère se situe entre 100 m au niveau de la frontière de la Lybie pour atteindre 1600 m au Nord.

Les eaux souterraines de cet aquifère présente un faciès chlorurées calciques (300 – 380g/l), cette minéralisation est moins forte au sud (fig.25)

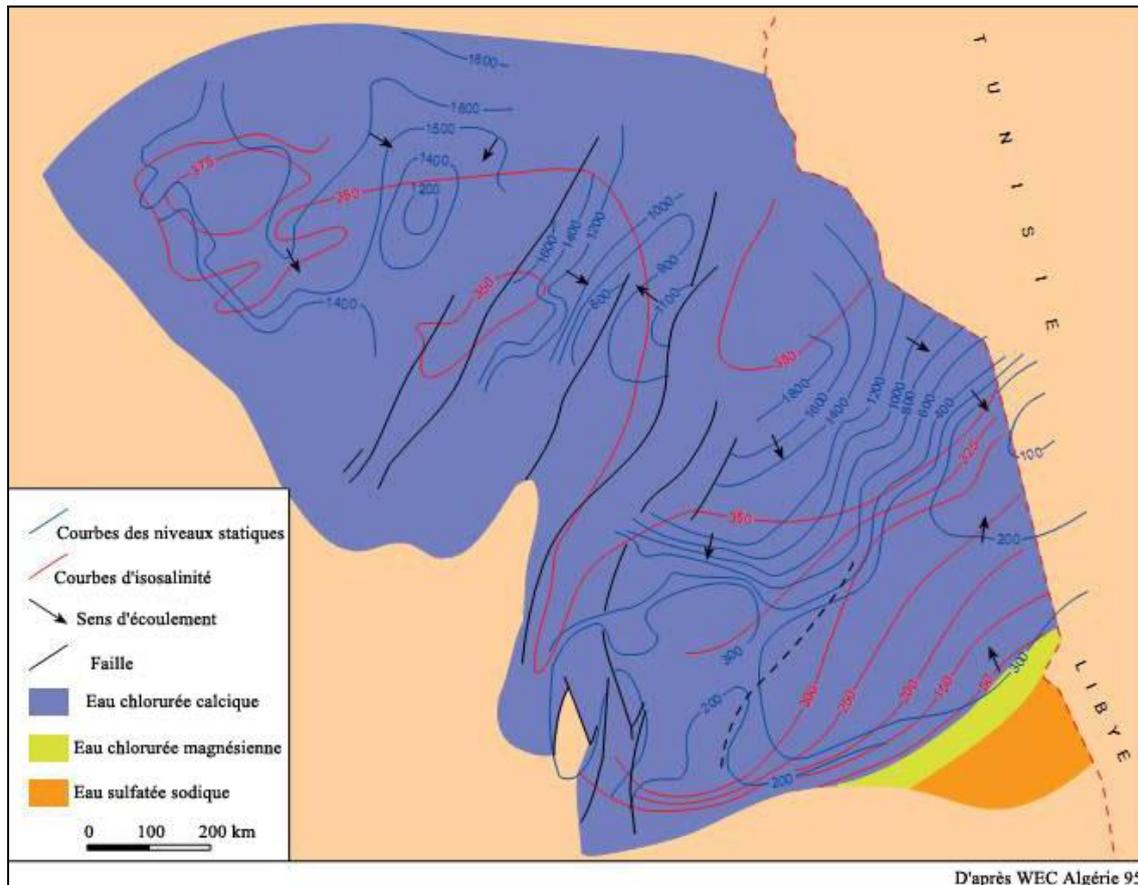


Fig.25 Carte des niveaux statiques de l'aquifère du Trias

#### V-6. L'aquifère du Continental Intercalaire :

C'est la formation hydrogéologique perméable la plus étendue avec des matériaux meubles sablo-gréseux et argilo-sableux, elle englobe les séries comprises entre le toit de l'ère primaire et le mur du Cénomanién.

Les caractéristiques morphologiques et structurales du Sahara algérien permettent de distinguer trois sous-bassins hydrogéologiques, délimités par la dorsale subméridienne, Ghardaïa – El Goléa-In Salah et la région côtière du Golf de Gabès (fig.26) .

- Sous-bassin hydrogéologique occidental, de 280.000 km<sup>2</sup>, drainé vers le Sud et recouvert partiellement par le Grand Erg Occidental.
- Sous-bassin hydrogéologique oriental, le plus étendu avec 500.000 km<sup>2</sup>, drainé vers le Nord Est « dépressions des grands chotts » et occupé en grande partie par le Grand Erg Oriental.
- Sous-bassin hydrogéologique de la *Djeffara* à l'Est dans la zone côtière du Golf de Gabès.

##### V-6.1. L'alimentation du continental intercalaire

Au point de vue hydrogéologique l'aquifère du Continental Intercalaire correspond à une nappe multicouche libre, semi – captive à captive dont l'alimentation principale a lieu à partir de l'Atlas saharien.

L'alimentation de l'aquifère s'effectue par l'infiltration des précipitations sur le Grand Erg Occidental soit par les ruissellements tout au long des Oueds qui descendent des massifs montagneux, notamment de l'Atlas saharien, mais aussi parfois du plateau de Tademaït.

La recharge en eau souterraine dépend de l'état du remplissage de l'aquifère du Ci c'est-à-dire de la charge hydraulique en amont (Atlas saharien) qui aura pour effet de faciliter ou non l'exfiltration à l'aval (El Goléa, Timimoun) et ce par effet piston.

L'exfiltration à l'aval peut être aussi conditionnée par la structure tectonique plissée (Zone amont) où les axes anticlinaux à grand rayon de courbure pourraient constituer des lignes de partage des eaux souterraines dans le cas d'une faible hauteur de charge hydraulique à l'amont.

La circulation générale des eaux dans le bassin occidental se fait du Nord Nord-Ouest vers le Sud Sud-Est avant d'être reprise dans une direction Nord Est-Sud Ouest par le drain de la dépression du Gourara-Touat.

Les axes de flux de l'écoulement de l'eau souterraine mettent en évidence un écoulement de direction à peu près régulière Nord-Sud, à partir de l'Atlas saharien.

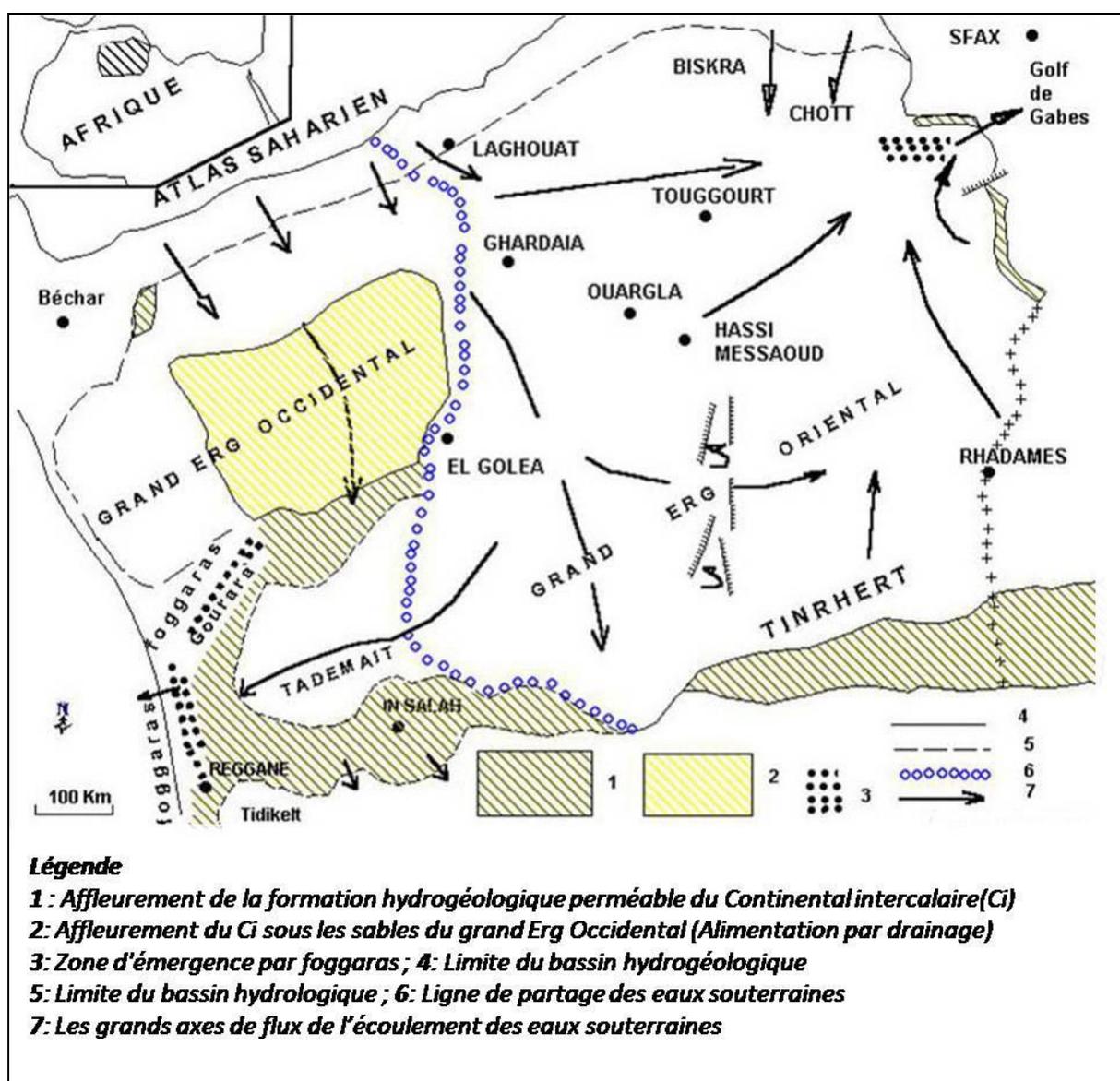


Fig.26 : Aquifère du bassin hydrogéologique du Sahara Algérien. Aquifère du Continental Intercalaire. (UNESCO 1972 IN CASTAGNY)

### V-6.2 L'exutoire du continental intercalaire

A Timimoun le sillon de drainage est très net, la bordure du bassin crétacé étant marquée par un nombre de sebkhas qui s'alimentent de la nappe du Continental Intercalaire.

Ce chapelet de sebkhas constitue l'exutoire des eaux souterraines autour des quelles la surface de la nappe se trouve à faible profondeur où l'aquifère est exploité par puits et *foggaras*.

Tous ces exutoires du Sud-Ouest du bassin expliqueraient la forme des axes de flux dans cette région.

D'autres écoulements se font à partir du plateau de Tademaït et se dirigent soit vers le sillon du Gourara, soit vers Adrar et Reggan, soit enfin vers le Tidikelt sud.

Les exutoires de cette nappe sont principalement la région du bas Sahara. (El Oued, Touggourt) où les eaux sont exploitées par des forages artésiens, et le Touat-Gourara où les eaux sont drainées par les *foggaras*.

### V.6.3. Étude du cheminement des eaux souterraines dans la nappe du Ci

Le cheminement de l'eau au niveau d'un aquifère est régi principalement par trois facteurs essentiels qui sont :

- La lithologie,
- La structure tectonique et,
- La hauteur de charge au niveau de la zone d'alimentation.

Pour la compréhension de la direction des écoulements des eaux souterraines du Sahara septentrional, une approche de la variation de la nature des formations et de la structure du Continental Intercalaire a été réalisée.

A partir de l'analyse des logs de forages pétroliers, en estimant le pourcentage de grès, de sables et de calcaires par rapport à l'épaisseur totale des différents terrains et en effectuant des corrélations lithostratigraphiques.

Le cheminement des eaux mis en évidence semble adéquat et est bien confirmé par les débits d'exploitation plus ou moins élevés et localisés dans les zones préférentielles de circulation des eaux souterraines dans le secteur d'El Goléa et de Timimoun.

#### V-6.3.1 Analyse lithologique des différents forages

La lithologie et la structure de la nappe multicouche libre ou captive du Continental Intercalaire constituent les facteurs essentiels régissant le comportement hydrodynamique et la morphologie de la surface piézométrique de cet aquifère.

Le temps de réponse impulsion – exfiltration dépend principalement de la granulométrie des terrains qui détermine les zones les plus transmissives au cheminement des eaux souterraines.

Pour déterminer les zones privilégiées au cheminement des eaux souterraines et en l'absence de données relatives aux paramètres hydrodynamiques (Transmissivité, perméabilité et coefficient d'emmagasinement), on s'est basé sur une étude relative au pourcentage des grès par rapport aux profondeurs totales des forages pétroliers.

Pour juger la fiabilité des résultats une étude comparative avec les cartes piézométriques schématiques établies a été effectuée.

### V-6.3.2. Détermination des zones de drainage

L'hétérogénéité des faciès au niveau des terrains du Continental Intercalaire et de la structure assez particulière montrant deux ensembles séparés par un axe d'enfouissement correspondant à une flexure qui pourrait probablement jouer un rôle de seuil hydraulique étanche à semi-étanche à certains endroits (*fig.27*).

Dans le but de déterminer le cheminement de la circulation des eaux souterraines au niveau de l'aquifère multicouche, on s'est basé sur une analyse des données lithologiques relatives aux logs pétroliers des différents forages .

Dans ce cadre on a estimé l'épaisseur des grès, grès argileux et calcaires représentant les zones les plus favorables au cheminement des eaux souterraines, en pourcentage par rapport à la puissance totale du Continental Intercalaire, ce qui a permis d'aboutir à l'établissement d'une carte des écoulements d'après le pourcentage des grès (*fig.27*) .

L'interprétation a été basée plus particulièrement par l'orientation des écoulements sur la carte piézométrique établie par l'étude du (UNESCO,1972), système aquifère du Sahara septentrional.

L'analyse lithologique des différentes zones constituant les chenaux principaux à l'écoulement souterrain sont bien mises en évidence sur la carte des écoulements (*fig.27*)

On constate que les directions d'écoulement représentées par les chenaux principaux sont bien confirmées par les débits d'exploitation importants au niveau d'El Goléa et de Timimoun.

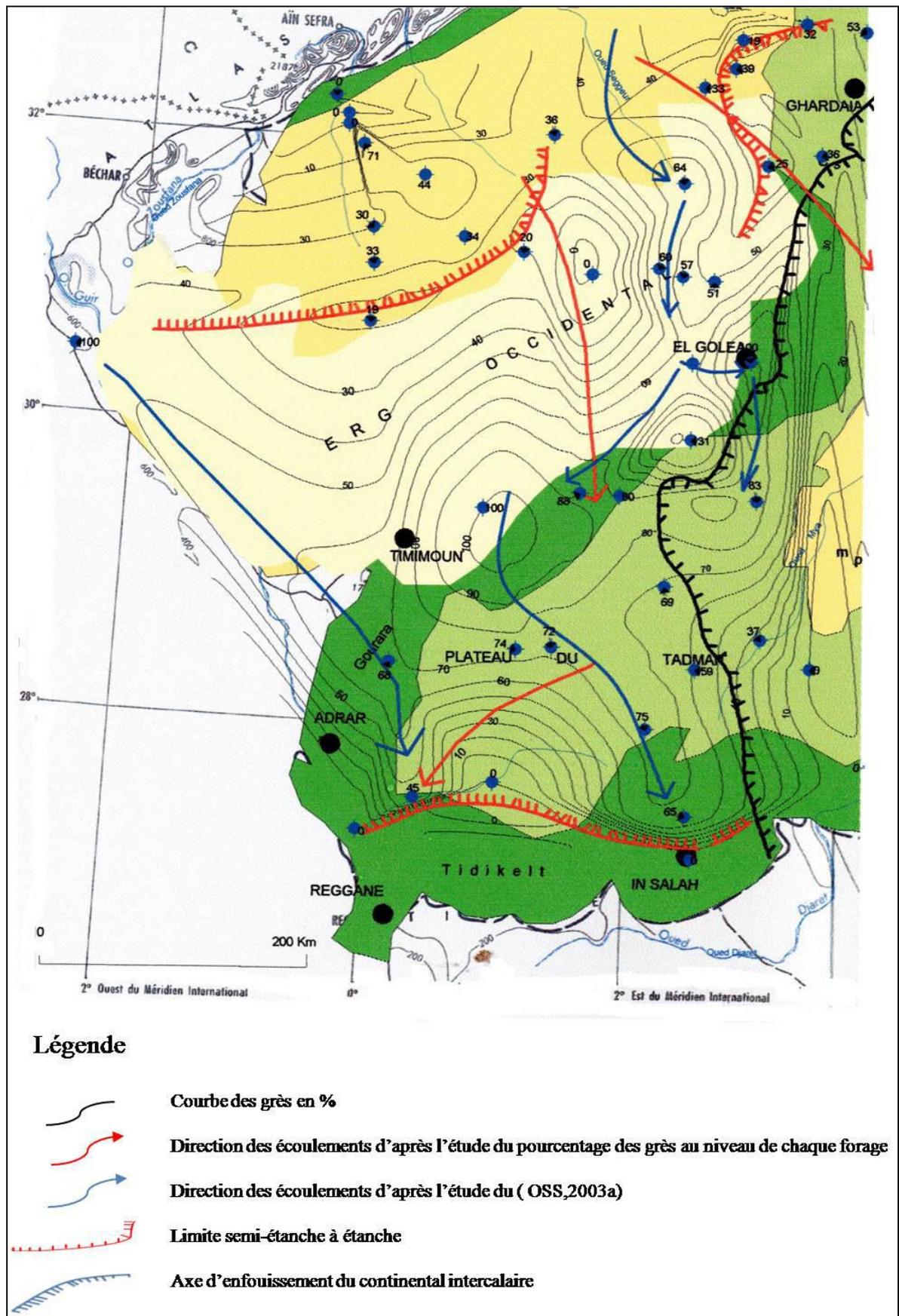


Fig.27: Carte des écoulements d'après le pourcentage des grès Ci  
(BENSAADA.M , ABADA.A, REMINI.B)

### V-6.3.3 Comparaison du cheminement des eaux d'après le pourcentage des grès et celui établi par l'O.S.S

La direction des écoulements de la carte piézométrique établie par (O.S.S, 2003a et b) montre que celle-ci est imprécise, car le cheminement des eaux souterraines est influencé essentiellement par les caractéristiques lithologiques (zone étanches et perméables) et structurales ainsi que la charge hydraulique à l'amont et à l'aval de l'exutoire dont il n'a pas été tenu compte (fig.28).

Le trajet de l'écoulement des eaux souterraines paraît beaucoup plus long par rapport à celui de la carte piézométrique et les eaux souterraines mettent plus de temps pour atteindre la zone de drainage ou les exutoires mis en évidence.

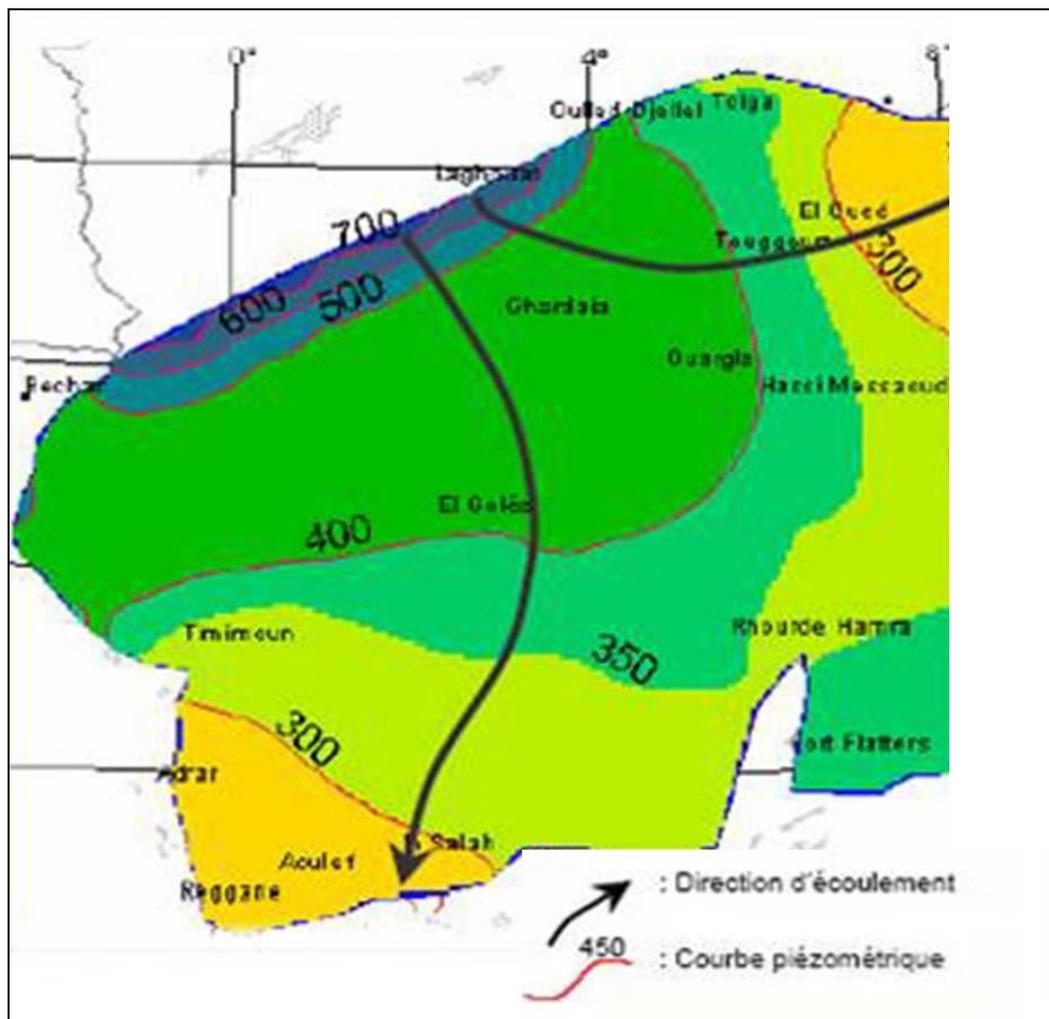


Fig.28 Carte piézométrique du Ci (O.S.S, 2003a e b), in Ould Baba Sy

### V.6.3.4 Zones d'alimentation du Ci à partir des précipitations.

Les débits d'apport principaux en eau de l'aquifère du Continental Intercalaire a lieu à partir de l'Atlas saharien et essentiellement au niveau des zones de drainages sus citées.

Une partie de la recharge peut s'effectuer à partir des crues des cours d'eau lors d'averses importantes ayant une intensité très importante (DUBIEF.J 1953), en plus là où les terrains du Continental Intercalaire affleurent et présentent une perméabilité importante, le pourcentage de grès est élevé.

La carte géologique du secteur d'étude et l'analyse de la partie supérieure des logs de forages ont permis de cartographier les zones d'alimentation (*fig.27*).

### V. 6.3.5 Cheminement des eaux souterraines d'après la granulométrie du Ci

Les zones déterminées précédemment permettent de définir un cheminement approximatif relatif à la circulation des eaux souterraines (*fig. :27*).

L'interprétation du cheminement montre que l'écoulement des eaux souterraines à lieu en général du Nord au Sud-Ouest et que les axes correspondant aux chenaux principaux sont localisés au niveau d'El Goléa et Timimoun.

On constate que l'axe d'enfouissement formé par des terrains semi perméables à imperméables joue un rôle hydrogéologique prépondérant en déviant les écoulements vers le Sud-Ouest (El Goléa et Timimoun), ceci est d'ailleurs confirmé par les débits d'exploitation plus ou moins élevés et prélevés dans les zones sus citées.

Les écoulements à travers la zone semi perméable représentant l'axe d'enfouissement vers le secteur du Sud –Est sont assez limités.

## V.7. Interprétation hydrogéologique

Au point de vue hydrogéologique l'aquifère du Continental Intercalaire correspond à une nappe multicouche libre, semi – captive à captive dont l'alimentation principale à lieu à partir de l'Atlas saharien.

La recharge en eau souterraine dépend de l'état du remplissage de l'aquifère du Continental Intercalaire c'est-à-dire de la charge hydraulique en amont (Atlas saharien) qui aura pour effet de faciliter ou non l'exfiltration à l'aval (El Goléa, Timimoun) et ce par effet piston.

L'exfiltration à l'aval peut être aussi conditionnée par la structure tectonique plissée (Zone amont) où les axes anticlinaux à grand rayon de courbure pourraient constituer des lignes de partage des eaux souterraines dans le cas d'une faible hauteur de charge hydraulique à l'amont.

Pour faciliter la réalimentation de la nappe et permettre une dilution des eaux à l'aval, et éviter que la minéralisation ne devienne excessive, il faudrait maintenir une hauteur de charge maximale à l'amont, en évitant des pompages excessifs dans le secteur plissé de l'aquifère.

**Conclusion**

L'étude hydrogéologique montre que le Sahara algérien est un des plus grands déserts du monde, appartenant à un bassin sédimentaire constituant une vaste formation hydrogéologique perméable d'une superficie de 780.000 km<sup>2</sup> avec un maximum d'épaisseur de 400 à 500 m.

Au point de vue hydrogéologique cette puissante série sédimentaire constitue l'aquifère du Continental Intercalaire correspondant à une nappe multicouche libre, semi – captive à captive dont l'alimentation principale a lieu à partir de l'Atlas saharien

La carte hydrogéologique établie par l'UNESCO (1972) in Castagny 1982 a permis d'individualiser un écoulement souterrain d'orientation Nord Est-Sud Ouest qui est le résultat d'une convergence des eaux vers la sebkha de Timimoun et d'Adrar vers Reggan.

Les écoulements se font de l'Est vers l'Ouest, le gradient hydraulique varie de  $2.10^{-3}$  à  $17.10^{-3}$  et il atteint 6 à  $9.10^{-4}$  dans la sebkha.

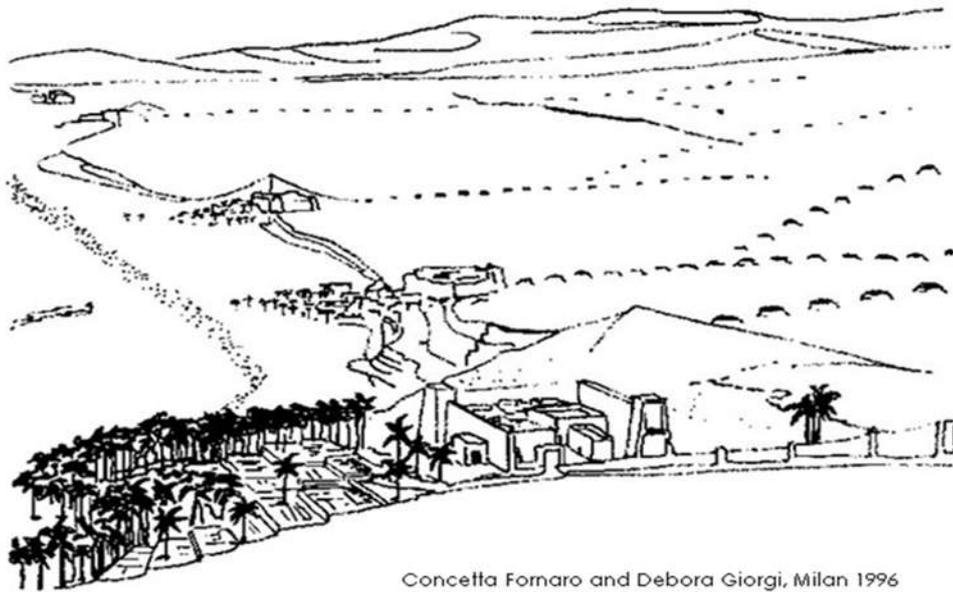
L'alimentation de l'aquifère se fait principalement par infiltration des eaux de ruissellements en provenance du flanc sud de l'Atlas saharien et des bordures du plateau de Tademaït, donc l'ensemble le plus important des formations hydrogéologiques perméables est celui du Continental Intercalaire qui est le réservoir principal du Sahara au point de vue hydraulique.

L'étude de la circulation des eaux souterraine à partir des corrélations lithostratigraphiques des logs de forages pétroliers a permis de tracer les directions préférentielles des écoulements.

Pour faciliter la réalimentation de la nappe et permettre une dilution des eaux à l'aval, et éviter que la minéralisation ne devienne excessive, il faudrait maintenir une hauteur de charge maximale à l'amont, en évitant des pompages excessifs dans le secteur plissé de l'aquifère.

# Deuxième partie

## ÉTUDE DES FOGGARAS



Concetta Fornaro and Debora Giorgi, Milan 1996

# Chapitre VI

## LES FOGGARAS D'ADRAR



Concetta Fornaro and Debora Giorgi, Milan 1996

## A/ Les foggaras

### VI.1 Introduction

Cette partie d'étude a été basée essentiellement sur la synthèse des travaux effectués par : SALEM.A(1988), HAMADI AHMED EL HADJ- IN KOBORI. (1982), GOBLOT H.(1963 et 1979), BISSON .J.(1957), GRANDGUILLAUME G.(1975), GUNTHER G.(1983), HERBAULT I (1934) et ANSARI. T (2005 et 2015) .

L'utilisation des *foggaras* est connue dans les anciens royaumes de la Turquie et en Perse (Iran aujourd'hui), puis s'est propagée au gré des migrations humaines vers l'Est jusqu'en Inde et en Chine, vers le Sud jusqu'en Arabie, l'Égypte et l'Afrique du Nord, vers l'Ouest jusqu'en Espagne, et enfin dans le nouveau monde (Fig.29)

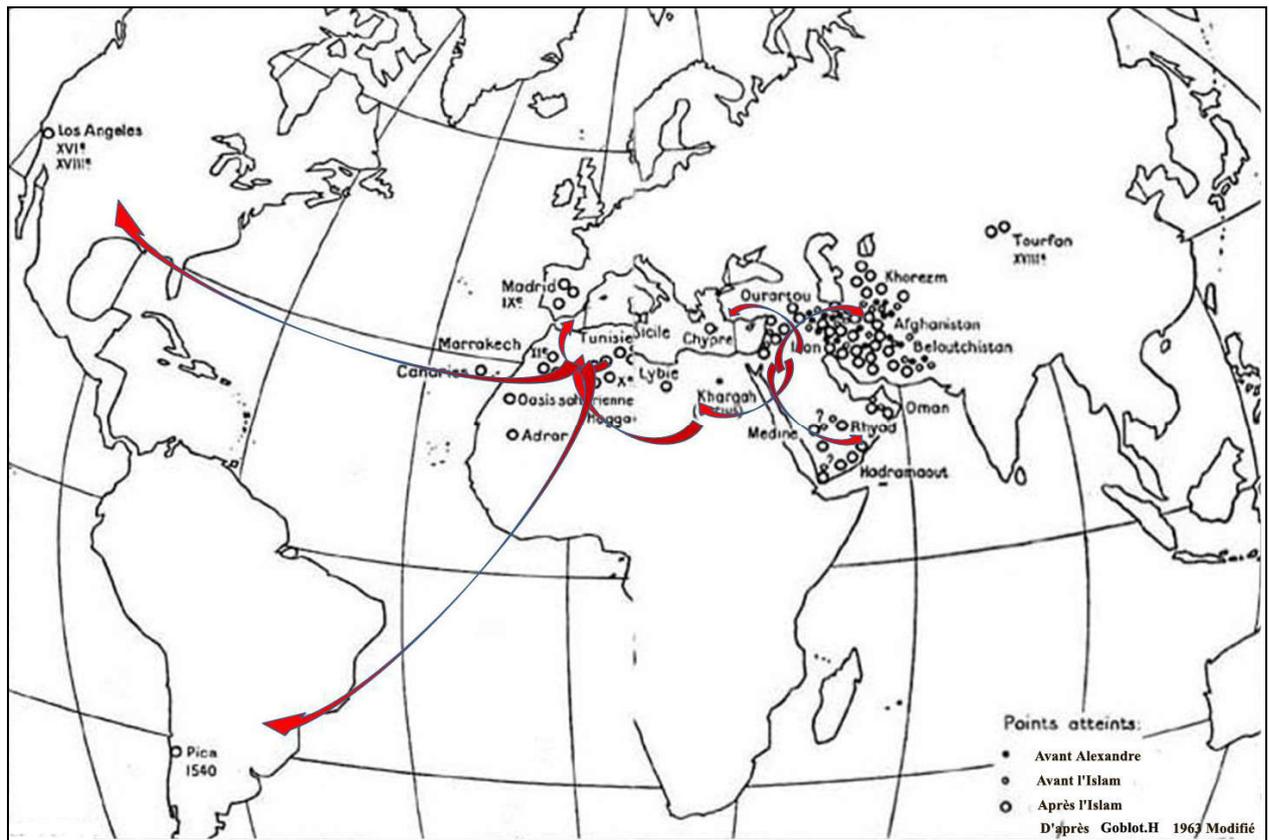


Fig.29.La répartition des foggaras à travers le monde (GOBLOT H 1963)

Le premier document témoignant l'existence et l'emploi des *foggaras* est celui du roi d'Assyrie Sargon II (721-705 av.J.C.) qui a envahi Urartu (Turquie)..

Ce procédé de captage d'eau souterraine par galeries drainantes est connu sous plusieurs noms (Amin Saaidian 2013) :

- *Qanat* ou *kariz* en Iran,
- *Mambo* au Japon
- *Kanerjing* en Chine
- *Kariz* ou *karez* en Azerbaïdjan, Afghanistan et Pakistan
- *Kahriz* en Irak et en Syrie
- *Falaj* en Sultanat d'Oman et Emirats arabes unis
- *Ain* en Arabie saoudite
- *Sahrij* au Yémen
- *Inguttati* en Italie

- *Ain ou Mkoula ou ngoula en Tunisie*
  - *foggara en Algérie*
  - *Khettara au Maroc*
- *Madjirat ou Galleria en Espagne*
  - *Hoyas au Pérou*

L'histoire de la *foggara* est différente d'un pays à l'autre, où l'oasis d'Irbil en Perse semble être la première à la fin du VII<sup>e</sup> siècle av. J-C à utiliser cette technique.

En Afrique du Nord, elle a été introduite par les musulmans almoravides au cours du X<sup>e</sup> et XI<sup>e</sup> siècle. Au Sahara algérien, la *foggara* est présente dans le Gourara, le Touat et le Tidikelt. Selon un ouvrage d'El Malik El Mansour Ben Youcef Tafsit El Korichi, l'oasis de *Tamentit* est très ancienne, elle daterait de sept années avant l'hégire et aurait été habitée à l'époque pharaonique. Elle a été construite par les coptes, dont il subsiste encore une *foggara* dénommée *Hannou* qui porterait le nom de leur dieu. L'oasis citée était entourée de murs et divisée en 18 quartiers.

Selon une hypothèse élaborée au début du siècle par (MARTIN 1908) ces régions auraient disposé jadis de ressources hydrauliques abondantes (lacs, eaux courantes, etc.), et les *foggaras* y auraient directement pris le relais de puits artésiens autrefois jaillissants, par suite de l'abaissement des niveaux piézométriques des nappes.

## VI.2 Les foggaras inventoriées dans la wilaya d'Adrar

En Algérie la plus part des *foggaras* est localisée dans le Sud-Ouest algérien au cœur du Sahara dans la wilaya d'Adrar, elles se répartissent en trois régions :

- Le Gourara,
- Le Touat
- Le Tidikelt

La wilaya d'Adrar réunit 1408 foggaras réparties comme suit :

- 493 *foggaras* taries
- 915 *foggaras* pérennes dont 560 ont été restaurées.

### VI.2.1 Le Gourara

Le Gourara est composé de 10 communes et 04 daïra avec une population de 119.419 habitants d'une superficie 65.203 km<sup>2</sup>. Le nombre de *foggaras* pérennes est de **398** dont **183** ont taries.

**Tableau.12** Inventaire des foggaras dans le Gourara (Timimoun)

	Daïra	Commune	Nombre de foggaras pérennes		%	Nombre de foggaras taries		%
01	Timimoun	Timimoun	134	219	55.03	62	33.88	
02		Ouled Said	85			21	11.48	
03	Charaouine	Charaouine	50	80	20.10	32	17.49	
04		Talmine	6			2	1.10	
05		Ouled Aissa	24			11	6.01	
06	Tinerkouk	Tinerkouk	2	17	4.27	/	/	
07		Ksar kaddour	15			7	3.83	
08	Aougrouit	Aougrouit	21	82	20.60	12	6.56	
09		Deldoul	25			14	7.65	
10		Metarfa	36			22	12.02	
Total			<b>398</b>			<b>183</b>		

D'après A.N.R.H D'ADRAR(2001), in DREW TIMIMOUN

### VI.2.2 Le Touat

Le Touat est composé de 12 communes et 05 daïra avec une population de 186.577 habitants d'une superficie 205.623 km<sup>2</sup>. Le nombre de *foggaras* pérennes est de 473.

**Tab.13.** Inventaire des foggaras dans le Touat

	Daïra	Commune	Nombre de foggaras pérennes		%	Nombre de foggaras tarées	
01	Adrar	Adrar	10	75	15.86	8	2.79
02		Bouda	22			9	3.14
03		Timmi	43			31	10.80
04	Fennoughil	Fennoughil	41	129	27.27	23	8.01
05		Tamest	49			25	8.71
06		Tamentit	39			26	9.06
07	Zaouiet Kounta	Zaouiet Kounta	107	149	31.50	59	20.56
08		Inzeguemir	42			26	9.06
09	Reggane	Reggane	38	71	15.01	28	9.76
10		Sali	33			18	6.27
11	Tsabit	Tsabit	49	49	10.36	34	11.85
12		Sbaa	/	/	/	/	/
Total			<b>473</b>			<b>287</b>	

D'après A.N.R.H D'ADRAR(1998) in DREW TIMIMOUN

### VI.2.3 Le Tidikelt

Le Tidikelt est composé de 05 communes et une daïra qui est la daïra d'Aoulef avec une population de 56668 habitants d'une superficie 24536 km<sup>2</sup>, Le nombre de *foggaras* pérennes est de 44 .

**Tab.14.** Inventaire des foggaras dans le Tidikelt

	Daïra	Commune	Nombre de foggaras pérennes		Nombre de foggaras tarées		%
01	Aoulef	Aoulef	8	44	3	13.04	
02		Akabli	13		7	30.44	
03		Inner	20		12	52.17	
04		Tit	3		1	4.35	
05		Timokten	/		/	/	
/			<b>44</b>		<b>23</b>		

D'après A.N.R.H D'ADRAR(1998 et 2001), in DREW TIMIMOUN

### VI.3 Le concept de la foggara

La *foggara* tire son nom du mot arabe «*fakra*» qui veut dire (*Vertèbre*). D'autres estiment que ce mot provient du mot arabe «*el fokr*» la pauvreté, c'est à dire celui qui creuse une foggara se trouve dans l'obligation d'y investir tellement qu'il finit par tomber dans le besoin avant d'en bénéficier, mais certains pensent que le nom de *foggara* est relatif «*fadjara*» qui veut dire creuser à en arabe (*fig.30*).

La *foggara* est une galerie souterraine très légèrement inclinée qui amène l'eau par gravité vers les zones topographiques relativement basses par rapport à la surface piézométrique.

Elle est constituée d'une succession de puits espacés de 3 à 12 m et d'une galerie dont la largeur est comprise entre 50 et 80 cm et la hauteur entre 90 à 150 cm

Les puits n'ont aucune fonction hydraulique, ils ont servi au creusement de la *foggara* et ils servent actuellement comme cheminées d'aération et de regards de surveillance de la galerie. Ils permettent aussi à l'entretien, le curage et le dessablage.

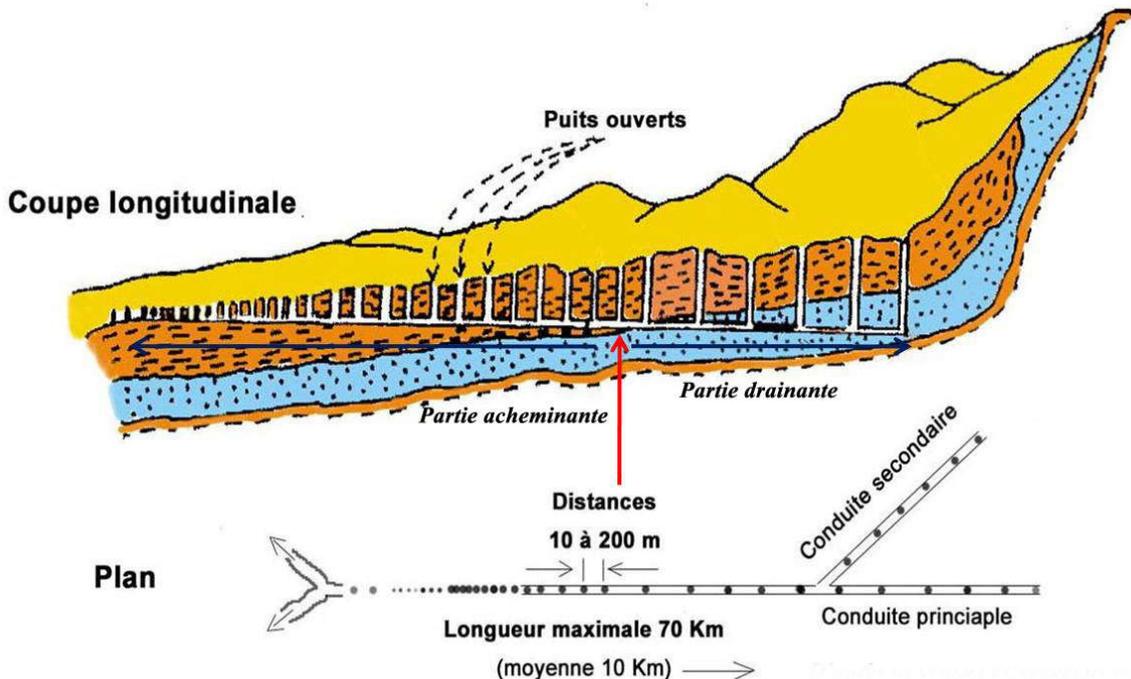


Fig.30 Coupe schématique d'une foggara (GUNTHER ET GARBRECHT 1983)

Une *foggara* peut atteindre cinq cents à six cents puits environ, les puits profonds de trois à quatre mètres au départ du village, atteignent trente à trente cinq mètres sur les hauteurs de certaines foggaras.

Toutes les *foggaras* vont à peu près dans une même direction, elles gardent une distance parallèle, cela est fait, selon les règles, pour éviter tout drainage exagéré au détriment des *foggaras* plus anciennes et voisines, on peut ajouter une branche à une *foggara* appelé bras ou conduite secondaire qui quitte la partie mère dans un sens de 45° environ par rapport à celle-ci, s'appelle aussi «*kraa*» jambe.

La distance respectée entre deux *foggaras* ne doit pas être inférieure à 200 m environ. Ainsi, il n'y a aucune règle qui exige une norme sur la profondeur autorisée.

L'intervalle qui sépare deux puits s'appelle «*Nfad*» ce nom provient du mot arabe «*Nafada*» qui veut dire communiquer enjoignant deux puits sous la terre, ce passage souterrain, qui joint les puits entre eux, suit à peu près le niveau de la nappe superficielle.

### VI.3.1 Le captage

Le captage de la nappe d'eau souterraine commence par un creusement en aval de la l'aquifère, la construction de la *foggara* prend son premier passage à ciel ouvert d'un niveau convenable à la surface à irriguer.

Cette partie (ou canal) se trouve entre le premier puits de la *foggara* dans le village et la *Kasria* principale. Il peut être couvert par des pierres plates ou laissé à l'air libre dans les lieux où il n'y a pas de risque d'ensablement ou d'endommagement.

Aussitôt que la profondeur commence à prendre de l'importance, la canalisation devient souterraine en joignant les puits. Le passage du début ainsi que les premiers puits ne produisent pratiquement rien, le drainage prend de l'importance au fur et à mesure que la galerie pénètre la surface de la nappe d'eau souterraine.

Au début du creusement, le canal ne dépasse guère, à l'intérieur, un mètre de haut et 0.50 m de large mais petit à petit, le canal finit par avoir une hauteur de la taille d'un homme. Ce canal peut avoir 10 km de longueur, ou plus

Donc l'écoulement de l'eau souterraine est acheminé de l'amont de la nappe libre ou captive vers l'aval en direction de la palmeraie en passant par le *ksar*.

Dans une foggara on distingue deux parties :

- Une partie drainante là où l'alimentation en eau s'effectue.
- Une partie non drainante dont le rôle est d'acheminer l'eau vers la palmeraie

Cette partie se trouve au-dessus du niveau piézométrique, elle peut entraîner des pertes d'eau par infiltration si le sol est perméable. Le captage fonctionne comme un drain qui collecte les eaux en amont de l'aquifère (*fig.30*).

### VI.3.2 Le principe de fonctionnement

Le principe est simple si la topographie de la région présente un relief provoquant une inflexion du profil piézométrique des nappes libres, des aquifères locaux qui ne trouvent d'exutoires que dans les zones dépressionnaires (*Sebkha*).

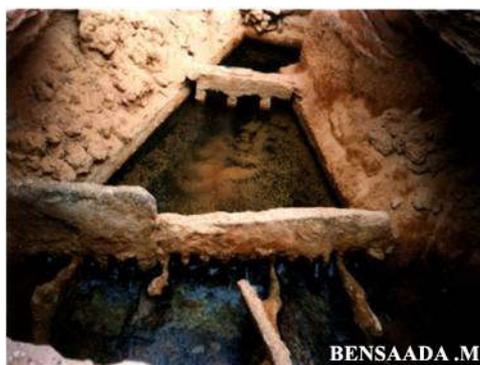
La construction d'une *foggara* n'est possible que lorsque le toit de la nappe se situe à une côte supérieure aux zones à alimenter. La partie amont de la galerie de la *foggara* pénètre sous la surface de la nappe, par contre la partie aval achemine l'eau vers le *ksar* et les palmeraies.

A la sortie de la foggara, l'eau est canalisée jusqu'à un partiteur en forme de peigne (*photo.1*) construit en pierres et en argile, dont le rôle est de la répartir selon des proportions données, l'eau est divisée et canalisée par une série de canaux en argiles vers les terrains à irriguer par un bassin triangulaire appelé *kasria l'kbira* (*Photo2*).



Photo1 : Sortie de la galerie de la foggara de M'ghaer

Photo2 : Kasria principale (kasria lak'bira.)



A différents niveaux de la palmeraie, l'eau est à nouveau divisée par d'autres peignes et conduite vers les parcelles par des canaux plus petits.



*Photo.3 Petits canaux*

Les canaux parcourent ainsi un réseau de distribution très dense dont les ramifications se terminent dans un bassin de collecte appelé le *madjen* (Photo.4 et 5).



*Photo 4: Madjen construit en argile en forme circulaire*



*Photo 5 : Madjen construit en argile en forme L*

Le bassin de récupération est utilisé pour régulariser l'eau qui arrive en minces filets liquides et qui est distribuée en quantité suffisante pour irriguer les jardins.



*Photo.6 : Jardin de palmeraie.*

### VI.3.3 Les facteurs influençant le fonctionnement hydraulique de la foggara

#### a) Pente

La pente de la *foggara* est estimée entre 0.5% et 0.6% cette pente est insuffisante pour assurer une circulation des eaux assez rapide, entraînant les matériaux étrangers et évitant l'ensablement (SALEM.A, 1988).

#### b) Rabattement

Le rabattement est la différence de côte entre l'eau dans la foggara et la surface de la nappe superficielle. La figure ci dessous montre qu'il varie en chaque point de la foggara :

Au point **C**, il est nul, entre **C** et **B** c'est la *foggara* qui alimente la nappe par perte d'infiltration, de **C** à **F** il croit.

Ce rabattement est provoqué par le drainage opéré par la galerie et le point **D** qui aura tendance à se déplacer vers l'amont, lorsque le débit drainé est égal au débit affluent, il s'établit un régime constant et le point **D** se stabilise à une position donnée.

Le déplacement de ce point vers l'amont provoque un allongement de la zone des pertes par infiltration appelée «tête morte» qui contribue à une baisse de débit.

#### c) Position du point D

Il est nécessaire de connaître, pour chaque *foggara* la position de ce point où la galerie coupe la surface de la nappe, en effet dans la partie avale de la *foggara* le débit diminue au fur et à mesure qu'il arrive à la sortie vers la palmeraie donc il faudrait l'imperméabiliser si l'on voulait l'aménager rationnellement.

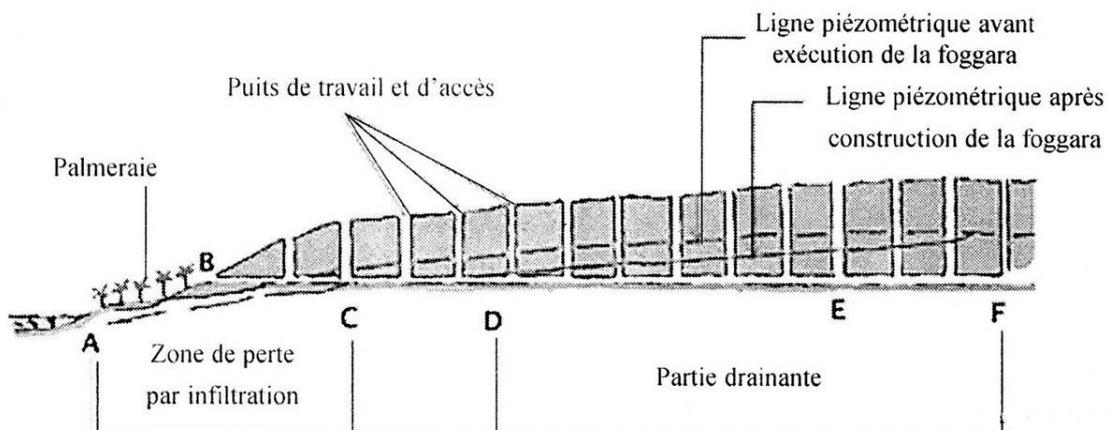


Fig.31 Schéma de fonctionnement d'une foggara (SALEM.A 1988)

#### d) Débit

Lors d'enquête menée sur site, les pertes d'eau par infiltration dans la partie avale ont été estimées de 10% à 20% du débit total drainé (SALEM.A1988) .

Une augmentation du débit de la *foggara* passe nécessairement par un prolongement de la galerie, mais les travaux sont devenus de plus en plus difficiles et problématiques.

Du fait de la pente du sol, la profondeur des puits augmentent et rendent le creusement difficiles à réaliser avec les moyens manuels.

A titre d'exemple, il faut creuser des puits de 40 m de profondeur pour allonger de 10 m les *foggaras* de la zone de Timimoun. Le creusement des *foggaras* et leur développement dans la

région de Touat et Gourara n'était possible que grâce aux conditions hydrogéologiques et topographiques favorables.

#### VI.4- Hydraulique et gestion des eaux de la *foggara*

La *foggara* est une organisation sociale traditionnelle, elle permet d'assurer une gestion durable de l'ouvrage, une distribution et un accès équitable à la ressource pour toute la population du *Ksar*

##### VI.4.1 La répartition de l'eau de la *foggara*

Dans la région de Touat et Gourara l'eau est répartie en volume, selon ce système, chaque bénéficiaire reçoit continuellement le débit qui lui revient.

La répartition de l'eau se fait par un système de peigne installé dans chaque *kasria* selon une règle coutumière ancestrale. Chaque famille achemine ensuite sa part d'eau vers son jardin par une série de canaux appelés *séguias*. (Photo.7.)

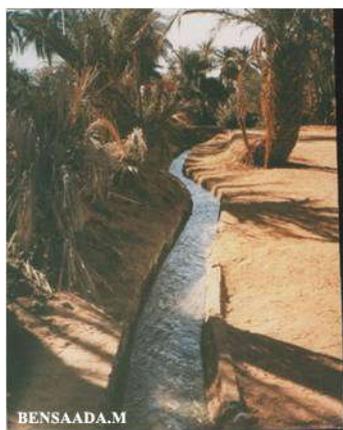


Photo.7 : Seguia ou canal,

##### a).La *kasria* principale

Elle se situe juste à la sortie de la *foggara*, l'eau est dirigée vers un bassin triangulaire nommé la *kasria principale* appelée aussi la *kasria-lak'bira*. Il est barré par un grand peigne ou partiteur principal, ce dernier est construit par une pierre tendre et facile à gratter, jouant le rôle de stabilisateur d'eau.

Le *moucht* ou peigne est muni par un nombre suffisant d'ouvertures pour que l'eau sorte facilement sans faire de retour en arrière.



Photo.8 : El Moucht ou peigne

Cette technique consiste à calmer l'eau avant sa répartition, c'est une sorte d'ouvrage hydraulique tranquillisant.

La *kasria* principale répartit le débit de la *foggara* généralement en trois, quatre ou cinq grandes rigoles qui sont des (*majari*) au singulier (*majra*).

A partir de ce bassin, les canaux vont en éventail dans tous les sens vers les parcelles à irriguer. Au bout de ces *mjara* d'autres *kasria* secondaires permettent à l'eau s'écouler dans

des rigoles ou canaux qui peuvent être à nouveau divisé par un autre peigne et ainsi de suite dans toutes les directions vers les palmeraies.

#### **b).La *kasria* secondaire**

C'est un nouveau bassin aussi important, on le retrouve après le premier, ce bassin est caractérisé par un partage familial de chaque tribu ou groupe participant à la réalisation de la *foggara*.



Photo 9 : *kasria* secondaire



Photo 10: *kasria* tertiaire

#### **c).La *kasria* tertiaire**

D'autres *kasria* minimales se trouvent tout le long des différents parcours suivant la nécessité. Ces *kasria* viennent après la répartition secondaire, elle aussi répartit l'eau en plusieurs canaux menant vers d'autres *kasria* multiples et ainsi de suite, certains de ces rigoles conduisent l'eau vers les *madjens*.



photo 11: *kasria* multiples

#### **d).Le *Madjen***

C'est un bassin de récupération et de régularisation peu profond prenant une forme quelconque ou rectangulaire. Il se trouve à l'endroit le plus haut du jardin où l'eau s'accumule pendant vingt quatre heures.

L'irrigation se fait en général le matin de bonne heure en été et dans la grande matinée en hiver. Chaque jardin possède un *madjen*, il est construit en argile ou en béton afin d'éviter une déperdition inutile dans des irrigations en surplus ( *photo 12 et 13*).

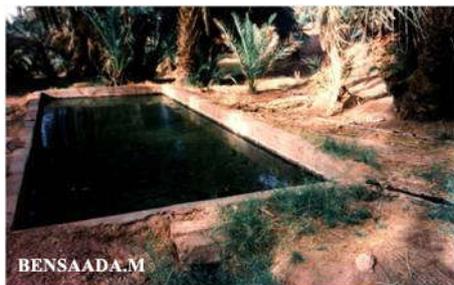


Photo.12 : Majen en béton



Photo.13 : Majen en argiles

#### VI.4.2 Le jaugeage de la foggara

Chaque *foggara* est caractérisée juridiquement par un débit fictif invariable qui correspond au débit qu'elle avait lors de sa création.

Ce débit fictif invariable peut être à un moment donné supérieur, inférieur ou égal au débit d'eau réel (Photo 14).

Le débit réel peut être mesuré par la plaque de jauge (*Louh*).

La plaque de jauge est un instrument de mesure au service d'une arithmétique particulière, les calculs sont effectués en numération de base 24.

Un débit s'écrit comme suit:

$$\mathbf{X Hb} \pm \mathbf{Y k} \quad \text{ou} \quad \mathbf{X Hb} \pm \mathbf{Y kk}$$

Ou  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$  sont des variables,  $\mathbf{Hb}$  : habba,  $\mathbf{k}$  : Kirat,  $\mathbf{kk}$  : Kirat du kirat

Le *kirat* et le *kirat du kirat* sont des unités de calcul, le *louh* ne matérialise que leurs multiples. La plus petite unité matérialisée est le *thmène* (1/8) soit 3 kirats.

Le débit d'un *kirat du kirat* appelé (*khararib*) est négligeable.

La précision dans le calcul est nécessaire lors d'opération complexe de vente, de location ou de travaux sur la *foggara*.



Photo 14 : jaugeage de la foggara de M'ghaer

La mesure du débit se fait par une plaque de jauge appelée le *louh*, elle nécessite la présence de tous les membres de l'association de la *foggara* ainsi que les propriétaires et un investissement très important.

On commence par la préparation de la patte d'argile pour construire le petit bassin de mesure et pour boucher tous les trous du *louh* ..

Avant toute mesure on doit faire une plate forme bien nivelée entre la *kasria* et les canaux en supprimant une partie suffisante des lits de toutes les rigoles (*souagui*) partant de cette *kasria*. Le *louh* doit être placé et maintenu à l'aide de l'argile dans l'axe de la *kasria* et à 80 cm. Pendant la mesure, on ne laisse personne prendre l'eau de la *foggara*, tout au moins sur 100 m et ce afin de ne pas gêner l'écoulement constant de l'eau (*Photo.15*).



*Photo.15*: La mesure du débit de l'eau par la plaque de jauge

Pour cela une surveillance est assurée par un où deux gardiens pendant l'opération. Le *kial el ma* commence la mesure par l'ouverture la plus à droite de la *kasria*.

Pendant la mesure de cette dernière l'eau des autres ouvertures coule librement en désordre dans les canaux (HAMADI AHMED EL HADJ- IN KOBORI. 1982).

Le mesureur construit avec la patte d'argile un petit chenal bien étanche, de façon que la totalité de l'eau déversée par l'ouverture qui se mesure, coule directement vers le *louh* par le portillon.

Il laisse certains nombres de trous ouverts sur la paroi. Tous les autres trous sont bouchés par de l'argile. Si l'eau coule par la partie supérieure du *louh* il ouvre d'autres trous.

Si au contraire, elle n'arrive pas à ce niveau, il en bouche un où plusieurs trous.

Quand le niveau de l'eau dans le *louh* se maintient exactement au niveau supérieur de la plaque de jauge, la mesure est considérée juste.

Il marque alors sur une tablette en argiles, préalablement préparée, le nombre de *thmène* où *habba* obtenues.

IL procède, ainsi, successivement à toutes les autres ouvertures du peigne. Tout cela qui a rendu impossible de jauger la foggara choisie comme étude.

#### VI-4-2-1. La mesure de l'eau

La mesure des débits est réalisée par un mesureur d'eau constitué par une plaque en cuivre, cet instrument de mesure est différent d'une région à l'autre et il porte le nom de "*Luh ou Louh* " dans la région de Gourara , et "*chegfa ou hallafa* à Tidikelt.

Il est de forme rectangulaire dans la région de Gourara et Touat et cylindrique dans la région de Tidikelt (*photo.16 et 17*). Il est ouvert d'un côté et percé de trous de plusieurs dimensions.

Ces trous matérialisent l'unité de débit avec ses multiples et ses sous multiples.

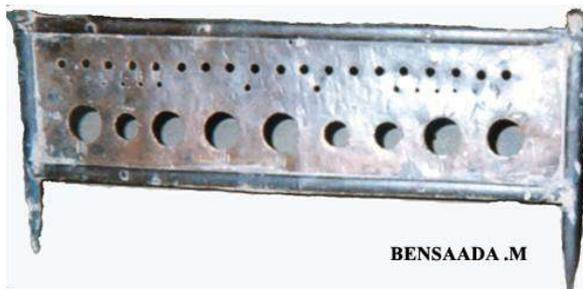


Photo16 : Le *louh* de la région de Gourara

Photo 17: Le *louh* de la région de Tidikelt appelé *chegfa*

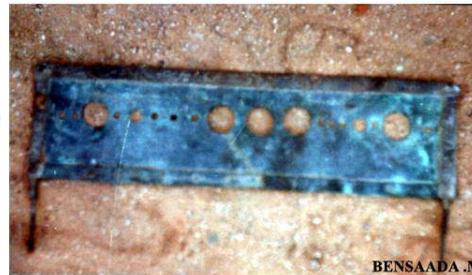


A Timimoun on a trois types de plaques de mesure ou *louh* :

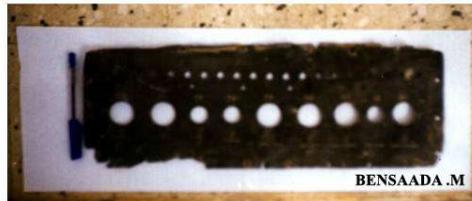
**Photo 18 : Louh à deux rangées de trous pour les grandes kasrias**



**Photo 19 : Louh à une seule rangée de trous pour les kasrias moyennes**



**Photo 20 : Louh à trois rangées de trous pour les petites kasrias**



Ce dernier est percé de trois rangées de trous soit :

- ✓ La rangée supérieure est perforée de trous égaux dont le débit est le un huitième de habba.
- ✓ La deuxième rangée ou la rangée du milieu de fraction de  $(1/8)$  "*thmane*":  $1/2.1/4.1/6$
- ✓ La rangée du bas de multiple de *thmane*, 10, 15, 20,...

Les mesures se font par une série de jaugeages successifs pour évaluer la totalité du débit d'une *foggara* ou d'un grand canal.

#### **b). L'unité de mesure**

L'unité employée est la *Habba* ou *Habba Zrig*, Koburi.I (1982) selon les régions, appelée aussi "*majel*" qui est égale à un huitième ( $1/8$ ). Elle correspond en moyenne au débit fourni par une ouverture de 1 à 1,5 cm, la *habba* est égale à peu près à 2.6 l/min., son nombre est variable (Tab.15, 16 et 17).

A noter, que l'unité de mesure est différente d'une région à l'autre suivant les tableaux ci-dessous :

**Tableau.15 : les unités de mesures employées au Gourara**

Région	Unité	l/mn
Timimoune	Thmène	1.36 à 1.57
Deldoul	Elmajel	1
Charaouine	Doigt (Sbaa)	5
Tinerkouk	El Oud	3.8
Aougrout	Khorga	4.1
Ouled Saïd	Habba	2.6

**Tableau.16 : les unités de mesures employées au Touat**

Région	Unité	l/mn
Touat	Doigt (Sbaa)	5
Fenoughil	Habba Sghira	El madjel
	Habba Ghlidha	06 Habba Sghira

**Tableau.17: les unités de mesures employées au Tidikelt**

Région	Unité	l/mn
Aoulef	Habba Zrig	8

### VI-4-3. Le partage de l'eau

Le partage de l'eau se fait suivant des règles précises et strictes, tous ceux qui ont participé à l'établissement de la *foggara* soit par leur travail, soit par leurs capitaux, procédant à une première répartition, purement théorique.

On fixe pour chacun une part proportionnelle à son apport, au début l'eau est divisée en partie appelée « *Guesma* », chaque « *Guesma* » (part d'eau) se divise en « *Majen* » qui se subdivisent elles même en unités plus petite appelée « *Habba* » ou « *Habba cerira* ».

Les parts d'eau de chaque copropriétaires sont déterminées, parfois avant même l'achèvement des travaux, selon un mode de calcul original qui ne tient pas compte du débit réel de la *foggara*.

Chaque *foggara* possède un registre dans lequel sont inscrits les nombres de parts revenant aux différents propriétaires.



Photo 21: Registre de la *foggara* de *M'ghaer* appelé *Ez.zmème*

### Exemple de mesure et partage d'eau d'une *foggara* de six propriétaires.

Le partage d'eau d'une *foggara* d'un débit juridique total calculé lors de sa création, est de 885 kirats. Ce débit juridique est réparti par une *kasria principale* de 06 canaux appelé *majaras ou souaguis*

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Le 1<sup>er</sup> canal a : 4Hb + 8k</li> <li>➤ Le 2<sup>ème</sup> canal a : 6Hb + 16k</li> <li>➤ Le 3<sup>ème</sup> canal a : 3Hb</li> <li>➤ Le 4<sup>ème</sup> canal a : 12Hb + 15k</li> <li>➤ Le 5<sup>ème</sup> canal a : 8Hb + 12k</li> <li>➤ Le 6<sup>ème</sup> canal a : 1Hb + 18k</li> </ul> | } | <p>Parts juridiques de tous les propriétaires</p> |
|---|---|---|

Débit total ( $\Sigma$ ) : 34 Hb + 69k

36 Hb + 21k

 : débit juridique total de la *foggara* après conversion des 69 k

### La mesure du débit de la *foggara* :

la mesure du débit réel est faite par une plaque de jauge de trous de différents diamètres a donné les résultats suivants :

- Le 1<sup>er</sup> Type d'ouverture est de 100 Hb
- Le 2<sup>ème</sup> Type d'ouverture est de 10 Hb
- Le 3<sup>ème</sup> Type d'ouverture est de 1Hb

La somme est 111 Habbas, débit réel , d'où un total de  $111 \times 24 = 2664$  kirats

### Le calcul de la part juridique :

$$\frac{\text{Débit réel}}{\text{Débit juridique}} = \frac{2664}{885} = 3 \text{ k}$$

### Le calcul des parts de chaque canal (seguia) :

$$\frac{\text{part juridique} \times 3}{24}$$

- Le 1<sup>er</sup> canal est égal à **13 Hb**
- Le 2<sup>ème</sup> canal est égal à **20 Hb**
- Le 3<sup>ème</sup> canal (segua) a : **9 Hb**
- Le 4<sup>ème</sup> canal (segua) a : **37 Hb + 21 k**
- Le 5<sup>ème</sup> canal (segua) a : **25 Hb + 1/2 k**
- Le 6<sup>ème</sup> canal (segua) a : **5 Hb + 1/4 k**

Après avoir calculé les parts juridiques de chacun, on mesure les parts d'eau réelle à l'aide de la plaque de jauge en respectant les valeurs obtenues ci-dessus.

### VI-5 La classification des foggaras

La *foggara* est un système hydraulique complexe puisqu'il réalise à la fois le captage et l'acheminement de l'eau souterraine vers les zones à alimenter. Suivant la façon dont s'opère le captage, on peut distinguer plusieurs types de *foggaras*. Tantôt la galerie capte directement les eaux artésiennes dont le niveau piézométrique est supérieur au toit de l'aquifère dans le cas où la nappe est captive, tantôt elle draine un aquifère à nappe libre.

Les *foggaras* peuvent recevoir divers qualificatifs relatifs à la nature géologique de l'aquifère, à ses conditions hydrodynamiques.

#### VI-5-1 Critères géologiques

- Les *foggaras* captant l'aquifère du Continental Intercalaire

La plupart des *foggaras* de la région d'étude sont creusées dans le Ci (grès grossier)

- Les *foggaras* captant l'aquifère quaternaire du Grand Erg Occidental (dunes de sables)

Ces *foggaras* se localisent à l'extrémité Nord du Gourara, captant les eaux provenant de l'Erg.

- Les *foggaras* captant l'aquifère du plateau de Tademaït (calcaires)

#### VI-5-2 Critères hydrodynamiques

On distingue trois types de foggaras :

- **Foggara captant un aquifère à nappe libre**

En nappe libre la libération de l'eau est gravitaire, la surface piézométrique se confond avec le toit de la nappe, dans ce type de captage la galerie pénètre dans la nappe d'eau souterraine afin de drainer une quantité d'eau suffisante à atteindre la palmeraie.

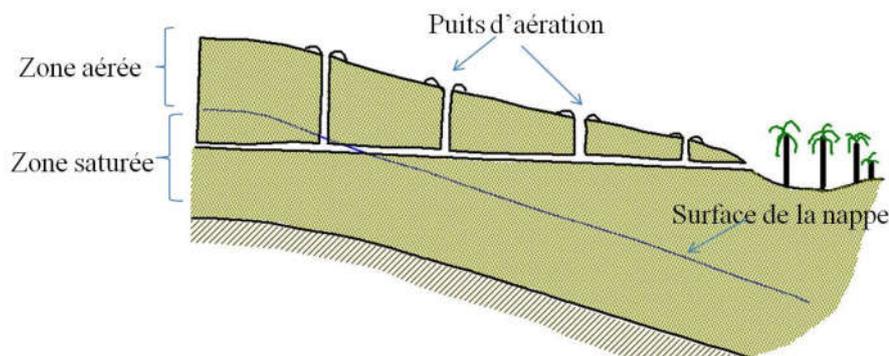


Fig.32 foggara captant un aquifère à nappe libre

### ➤ **Foggara captant un aquifère à nappe captive**

En nappe captive l'eau est emprisonnée entre deux formations géologiques imperméables ou la pression de l'eau est supérieure à la pression atmosphérique, le toit de la nappe est à un niveau inférieur à la surface piézométrique, quand on perce le toit de l'aquifère l'eau est libérée par expulsion et décompression. Ici la pente de la galerie est extrêmement faible à négligeable.

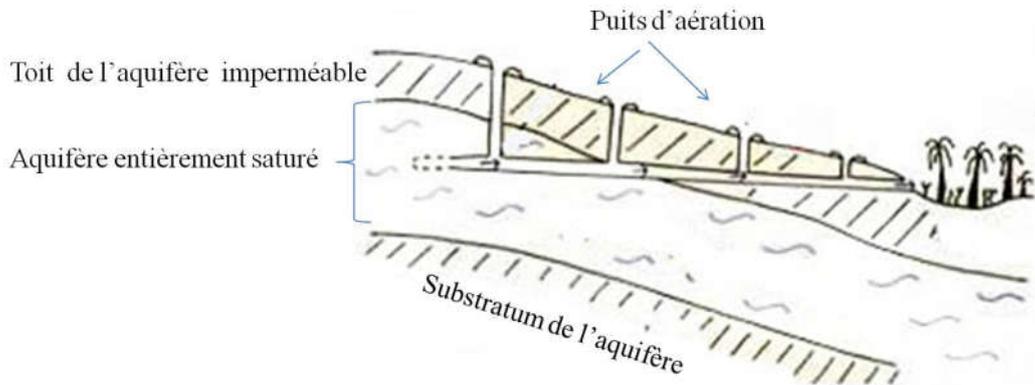


Fig. 33 Foggara captant un aquifère à nappe captive

Dans ce cas de figure la *foggara* ressemble à un captage de source artésienne

### ➤ **Foggara captant un aquifère à nappe semi captive**

En nappe semi captive le toit de l'aquifère est constitué par une formation hydrogéologique semi-perméable. Celle-ci permet dans certaines conditions des échanges verticaux ascendant ou descendant appelés phénomènes de drainance avec un aquifère superposé ou sous-jacent. On parle alors d'aquifère multicouche. Ce type de *foggara* peut capter plusieurs niveaux aquifères.

## VI-6. Les facteurs favorisant le tarissement de la *foggara*

### VI-6-1. Le manque d'entretien de la galerie

Le manque d'entretien et de main-d'œuvre qualifiée, a contribué à faire baisser leur débit. Une *foggara* demande un entretien périodique et un curage une fois par an au moins, le coût du curage est excessivement élevé, mais ce savoir-faire n'a pas été transmis de génération en génération.

L'entretien normal d'une *foggara* (curages et dessablages périodiques) destiné au maintien du débit nécessiterait 16 à 18 mois de travail par an par kilomètre de galerie.

En raison des dangers que présente le curage des puits et du réseau souterrain, les générations nouvelles ne veulent pas s'aventurer à de telles opérations, la plupart de la main d'œuvre a vieilli, à terme la réfection de ces ouvrages sera compromise.

### VI-6-2. L'effondrement des puits de la *foggara*

Le non-revêtement des parois des puits d'aération les rend vulnérables à l'effondrement. L'écoulement des eaux dans la galerie provoque une érosion des bordures du canal puis l'effondrement des parties supérieures et avec le temps, la section transversale de la galerie augmente jusqu'à l'effondrement total de la *foggara*

### VI-6-3. L'ensablement

La partie nord du Gourara ou la plupart des *ksour* et oasis sont situés à proximité de l'Erg, la *foggara* est menacée par l'ensablement. C'est une préoccupation quotidienne, dans la mesure où les propriétaires entretiennent constamment le réseau aérien de cette dernière.

Le processus d'ensablement pourrait envahir l'oasis même ou toute une agglomération, si les populations ne luttent pas avec les moyens locaux comme par exemple la fixation des dunes par de la palme sèche. Cette technique est très efficace mais elle demande la mobilisation de beaucoup de main d'œuvre.



Photo 22 et 23: Ensablement d'une école et une palmeraie à Ouled Said

La population se plaint du manque de moyens (engins) pour désensabler et d'aide de la part des autorités. Les tentatives menées pour juguler le phénomène restent des actions personnelles avec des résultats aléatoires (Photo 22 et 23).

L'action du vent sur ces milieux fragiles et dépourvus de toute protection revêt une grande importance. En effet ce dernier est perçu en tant qu'agent érosif, de transport et de formation des dunes. A partir d'une vitesse comprise entre 4 et 6 m/s il soulève les particules du sol et provoque leur migration, il devient alors efficace et provoque le phénomène de l'ensablement, dès la rencontre d'un quelconque obstacle sur sa trajectoire.

Le sable mis en mouvement par le vent finit par accumuler des dépôts considérables. Ce phénomène d'accumulation intervient à partir du moment où un obstacle se dresse perpendiculairement à la direction du vent.

### VI-6-4. La pollution urbaine

On a remarqué que les *foggaras* traversant un milieu urbain sont polluées par les infiltrations des eaux usées. D'autres sont devenues des dépôts à ordures contribuant à polluer la nappe d'eau souterraine.

Une autre remarque aussi importante la plupart des réseaux d'assainissement passe soit à proximité de la galerie le long du trajet de la *foggara* soit à côté des canaux de distributions.

Les eaux usées de ces réseaux s'infiltrent un peu partout par le biais de fuites.



Photo 24 : présence d'un regard des eaux d'égout à proximité d'un canal de la foggara de M'ghaer

### VI-6-5. L'implantation de forages d'eau à proximité de la foggara

Le développement de l'agriculture moderne dans la région a favorisé la mise en place d'une nouvelle agriculture basée sur la grande exploitation en monoculture et l'irrigation à partir de creusement de forages d'eau profonds.

Ce système gros consommateur d'énergie et de capitaux est à l'origine d'un rabattement de la nappe ce qui a pour conséquence une diminution et un tarissement du débit de la *foggara*, les oasis actuelles sont en sursis à la longue c'est tout le système oasien qui semble être condamné si des mesures ne sont pas envisagées pour sauvegarder la *foggara* et avec elle un patrimoine écologique, biologique, social, culturel et de valeur mondiale.

#### VI.6.6- Le facteur économique

Les *foggaras* ont donné une physionomie particulière à la vie économique des palmeraies, c'est un moyen d'irrigation difficile et coûteux.

L'économie du Touat et Gourara repose essentiellement sur l'agriculture et celle-ci, évidemment, se trouve conditionnée par l'eau.

La croissance démographique a entraîné une urbanisation rapide qui s'est manifestée par une dégradation de ces eaux.

Les débits prélevés par les *foggaras* sont devenus insuffisants pour assurer une irrigation correcte et rationnelle de quelques hectares sur lesquels doivent vivre ces habitants.

Dans l'état actuel, l'agriculture étant la base de toute l'économie de cette région, elle est menacée d'asphyxie si des remèdes et solutions ne sont pas apportés rapidement.

Pour redresser une telle situation, il conviendrait de satisfaire les besoins en eau, nécessaire à une irrigation correcte.

#### VI.6.7- La fraction sociale

Ce système de gestion a été fortement influencé par les fractions sociales, culturelles et géographiques de la région. Chaque individu devient propriétaire d'une part d'eau, soit aux frais financiers qu'occasionne cette construction, soit en participant à la construction ou l'extension d'une *foggara*, donc la *foggara* est une propriété privée, il est à noter que le nombre d'héritier pour chaque *foggara* est devenu important, d'où les nombres de parts deviennent négligeables.

La population des *ksour*, porteurs de trésors et de richesses authentiques, souffrent de multiples visages de la pauvreté : malnutrition, paupérisation, analphabétisme, perte des droits...

## VI.7 Avantages et inconvénients de la *foggara*

### VI.7.1-Les avantages:

- ✓ Elles n'exploitent les réserves d'eau souterraines qu'à un certain point et jamais au-delà du seuil de réapprovisionnement naturel.
- ✓ La *kasria* fonctionne comme un véritable bassin de décantation, permettant de maintenir la qualité agricole des sols, Elles canalisent un écoulement libre qui se régule de lui-même dans des limites fixées par la nature et ne menacent pas ainsi l'équilibre hydrologique et écologique de la région.
- ✓ Ce système efficace de production d'eau garantit un aménagement approprié des ressources hydrauliques et la préservation de l'écosystème animal et végétal.
- ✓ Un microclimat est maintenu dans la palmeraie avec un taux d'humidité rafraîchissant.
- ✓ Le maintien des liens communautaires d'entraide et de forte solidarité.
- ✓ Le débit est à peu près constant,
- ✓ Possibilité d'accroître le débit par allongement de la galerie ou l'ajout d'un bras appelé *Kraa* (jambe), l'augmentation de débit peut se faire aussi par la réunion de *foggaras*. Prenant l'exemple de la *foggara* de **Badgha** à Ouled Saïd où 06 *foggaras* réunis en trois *foggaras* où deux groupées en une donnant 03 *kasria* (photo. 25)



Photo.25 : Réunion de trois foggaras

### V.7-2 Les inconvénients

- ✓ Les débits prélevés sont généralement faibles par rapport aux forages d'eau
- ✓ La nécessité de stocker l'eau dans des *majen* provoquant des pertes par évaporation, et la dégradation de la pureté de l'eau fournie, qui provoque aussi l'appauvrissement des sols (CAPOT-REY R 1951,)
- ✓ L'entretien des *foggaras* représentent des tâches excessivement pénibles et dangereuses, compte tenu des risques d'éboulement où combien d'hommes, au cours des siècles, ont péri ensevelis en s'efforçant d'assurer à leur communauté l'accès à l'eau et donc à la vie.
- ✓ La construction de la foggara : On ne creuse plus de *foggaras* aujourd'hui, la main-d'œuvre étant trop coûteuse.

D'après certaines estimations, le creusement d'une *foggara* de 4 km de long à une profondeur moyenne de 12 mètres nécessiterait environ 1500 journées de travail, soit le travail ininterrompu (à raison de 6 jours sur 7) de 40 ouvriers pendant 4 ans (GRANDGUILLAUME G, 1973). Or, si leur taille est extrêmement variable, certaines *foggara* dépassent 6 km de long et 25 m de profondeur moyenne.

Prenons l'exemple d'un creusement d'une foggara longue de 1km et appartenant à 17 propriétaires, les travaux ont commencé en juillet 1987 et se sont terminés en février 1992.

Les puits ont une profondeur moyenne de 25 m et se succèdent tous les 10 m environ. Il a fallu de 2 à 6 semaines pour creuser un puits avec deux personnes (une au fond et une au treuil).

Lors de creusement, la galerie proprement dite est percée à partir de deux puits par deux personnes qui vont à la rencontre l'une de l'autre en se dirigeant à l'ouïe.

Au cours des travaux, il peut y avoir un accident et cause la mort d'une ou plusieurs personnes.

Il est à noter que l'imperméabilisation des terrains à proximité de l'aéroport a contribué aussi à faire baisser le débit.

## B/ La foggara de M'ghaer

### V.8 Historique de la foggara de M'ghaer

Originnaire de Perse où elle serait propagée au gré des migrations humaines au moyen Orient, avant d'être introduite par les arabes au Maghreb.

La foggara de M'ghaer est la plus grande foggara de la région de Timimoun, elle a été forée à une époque qu'on ne peut plus préciser, elle aurait été développée par le marabout Sidi-Othmane et son fils qui vivait au 9ème siècle de l'hégire, il y a 450 ans.

Avec la venue de Sidi Moussa Ould Messaoud, la foggara a connu une extension de huit kilomètres de longueur et environ trois cents puits reliés entre eux par le canal souterrain.

La profondeur des puits est de 1,5 m en aval jusqu'à atteindre 43 m en amont de la foggara. Elle comptait 4566 *Habba*, 750 *madjen*, et irriguait 250 ha. Elle était partagée entre 259 propriétaires et faisait vivre 1295 habitants.

### V.9 Présentation de la foggara

La foggara se situe entre la longitude 00°13'09" E et la latitude 29°15'34", elle se compose d'une galerie drainante de hauteur correspondant la taille d'un homme courbé, la largeur est de 70 à 100 cm et d'une succession de 380 puits espacés de 3 à 09 m. (fig.34)

La galerie a une longueur de 11 km, traversant le milieu urbain de Timimoun, d'une direction orientée Sud Est-Nord Ouest, l'amont de la foggara est à proximité de l'aéroport, son aval (sortie de la foggara) est à côté de la Zaouia de Sidi-Othmane (BENSAADA.M 2001).

La ville de Timimoun se situe entre la latitude 28° N et la longitude 0° 14'w s'étend sur une superficie 14000 km<sup>2</sup> environ (fig.34).

Elle s'appelle l'oasis rouge (BOUALGA.1981), c'est la capitale du Gourara, elle était le relais entre le Touat et le M'Zab, a connu une croissance démographique remarquable depuis 1954.

Cet essor démographique s'est traduit par un étalement spatial important, faisant basculer l'oasis du rationalisme *ksourien* vers une forme d'agglomération saharienne étalée.

La croissance fut liée au développement de ses équipements, au renforcement de son statut administratif ainsi qu'à son rôle touristique.

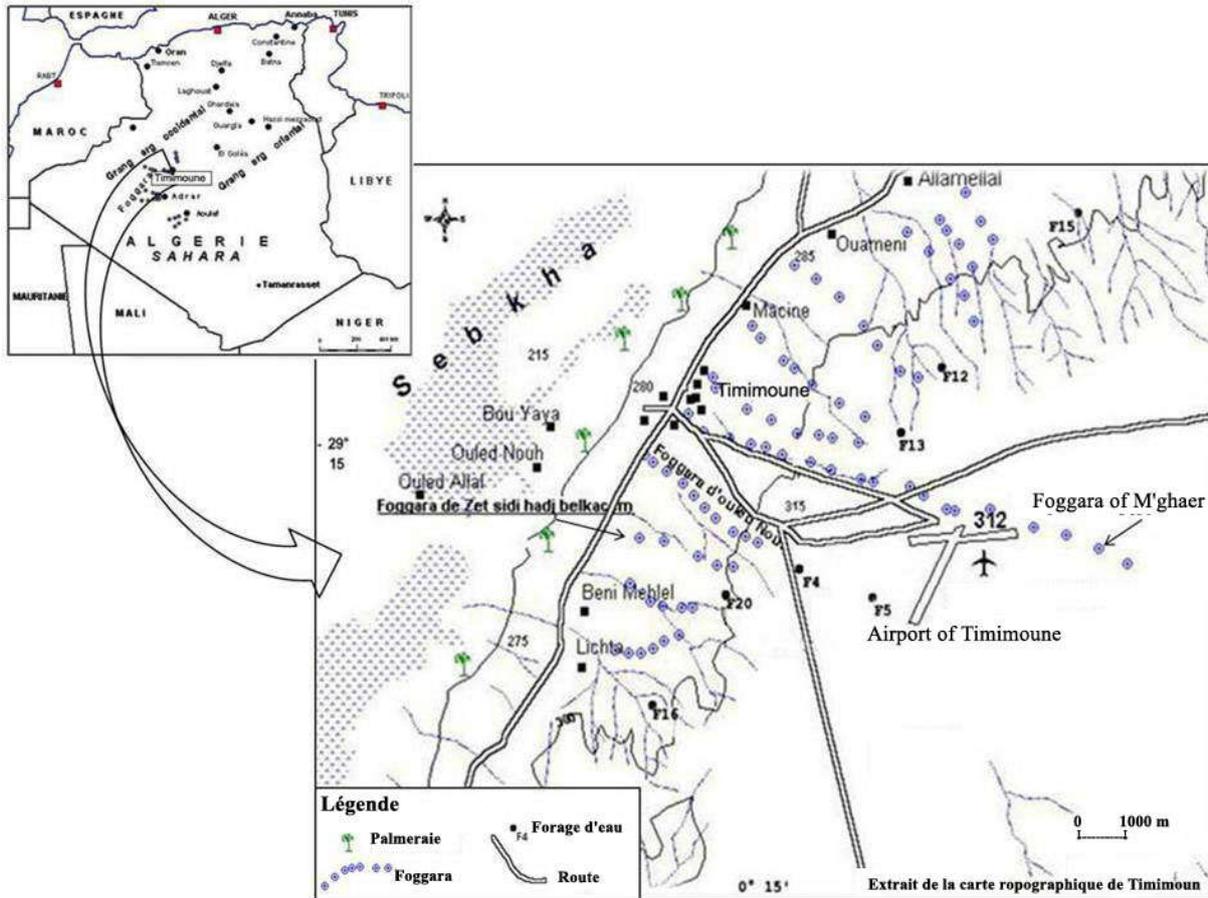


Fig.34 Situation géographique de la foggara de M'ghaer (BENSAADA.M & REMINI.B)

Les caractéristiques principales de la foggara sont représentés le tableau ci dessous.

Tab.18. Caractéristiques générale de la foggara

	Caractéristique de la foggara
Longueur ancienne de la galerie	09 km
Longueur actuelle de la galerie	11 km
Nombre de puits	380
Section de la galerie	Hauteur 50 à 80 cm Largeur 70à 100 cm
Pente de la galerie	faible
Utilité des puits	Accès pour l'aération, entretien, et le curage
Débit ancien	180 à 200 l/s
Débit actuel	3 à 1.5 l/s
Type de porosité	A porosité d'interstices
Mode d'exploitation	Ecoulement gravitaire
Profondeur des puits	5 à 40 m
Type de nappe	Nappe libre
Nombre de propriétaires	281
Nombre de fellahs	600

L'établissement de la coupe hydrogéologique à partir de la carte géologique de Timimoun montre que la *foggara* est creusé dans le Continental intercalaire (fig.35), la lithostratigraphie est formée par un faciès hétérogène de grès, sables, argiles et graviers du Continental Intercalaire.

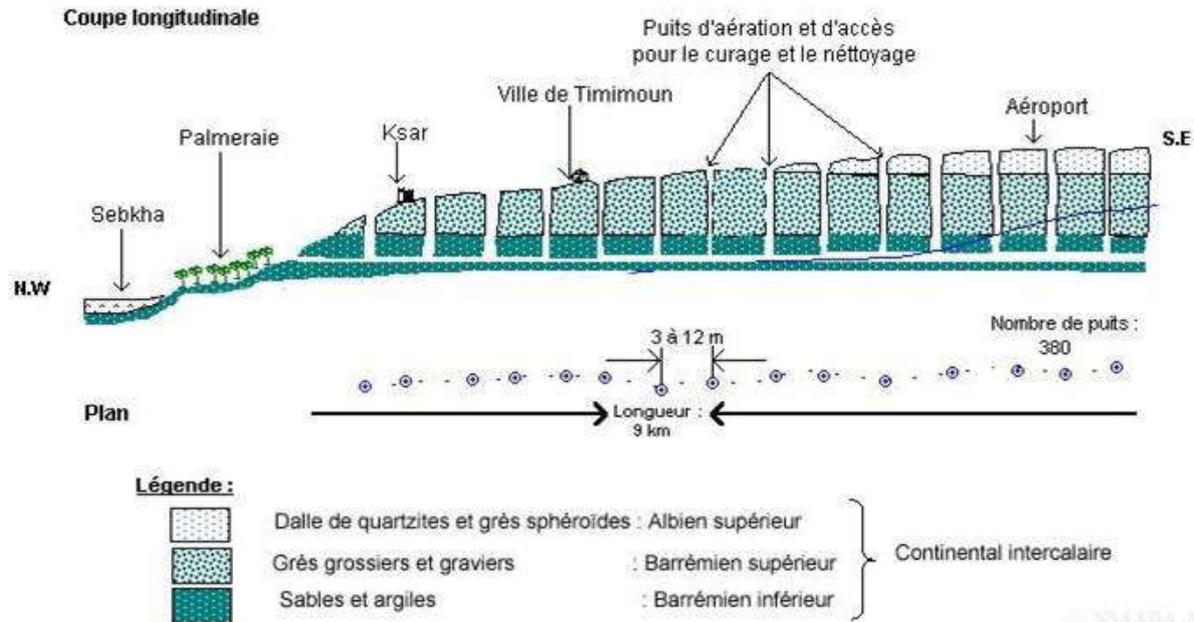


Fig.35 : Coupe hydrogéologique de la foggara de M'ghaer (BENSAADA.M & REMINI.B)

### V.9.1 Plan de distribution et de partage

Après la distribution et le partage de l'eau qui a été fait suivant les règles de l'art, le propriétaire de l'eau fait circuler ou couler l'eau par le biais de constructions de canaux vers sa palmeraie ou son terrain à irriguer par un réseau hiérarchisé selon la figure ci-dessous .

Ce principe fondamental de la région semble être à l'origine du concept de propriété de l'eau.

La population de la région considère l'eau comme une propriété privée. Celui qui possède une part, il peut l'utiliser ou pas suivant ses besoins ou la vendre s'il le désire.

Dans la plupart de cas c'est la louer, donc la terre ne constitue pas le vrai capital, elle n'a pas de valeur que par les droits d'irrigation qui lui sont rattachés.

La figure ci-dessous montre la répartition et la distribution de l'eau de la foggara de M'ghaer

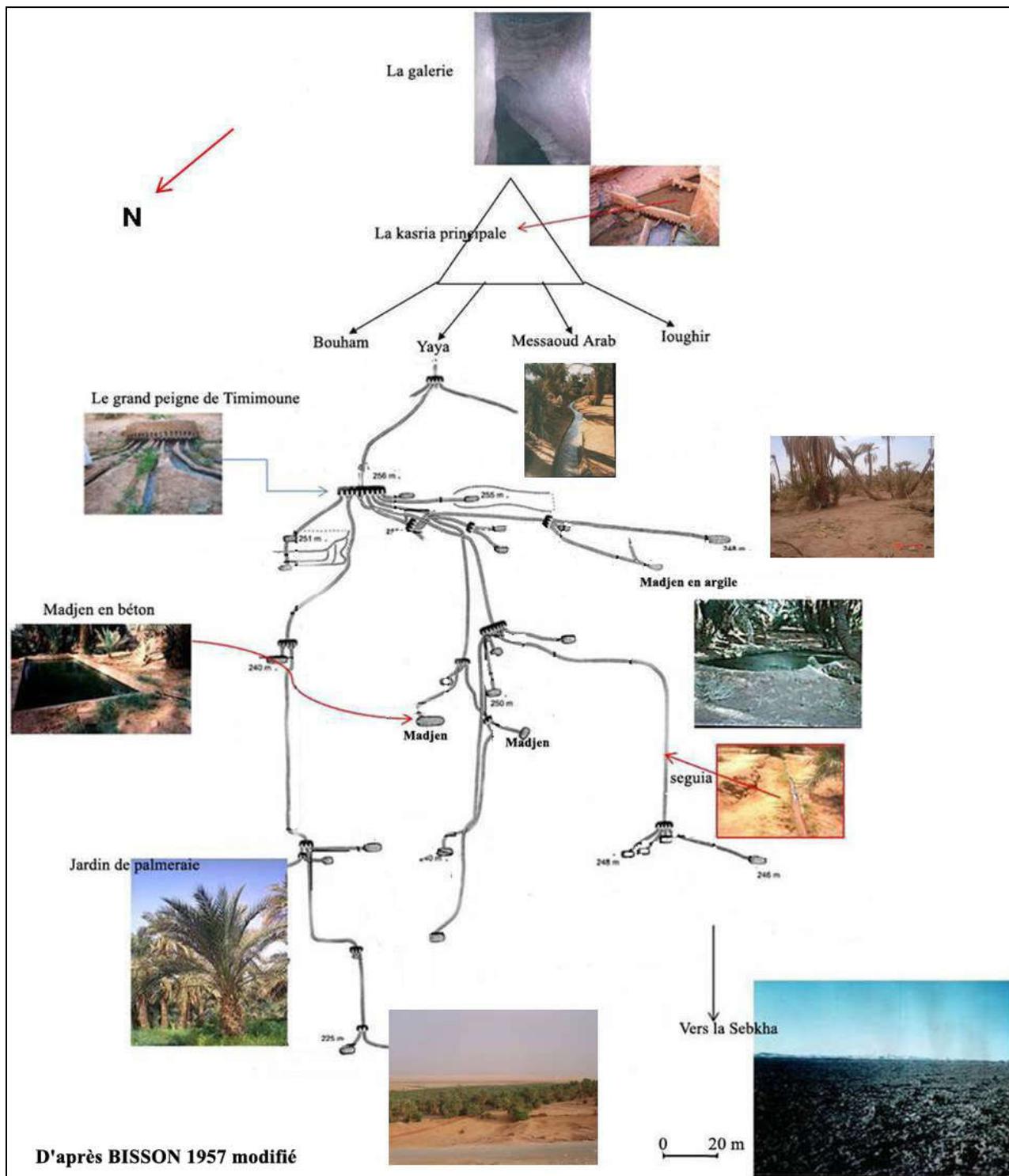


Fig. 36 Plan de distribution et de partage d'eau de la foggara de M'ghaer

### VI.9.2-Historique du débit de la foggara

Pendant l'époque coloniale la foggara avait un débit de 900 Litres /minute, (BISSON J.1957).

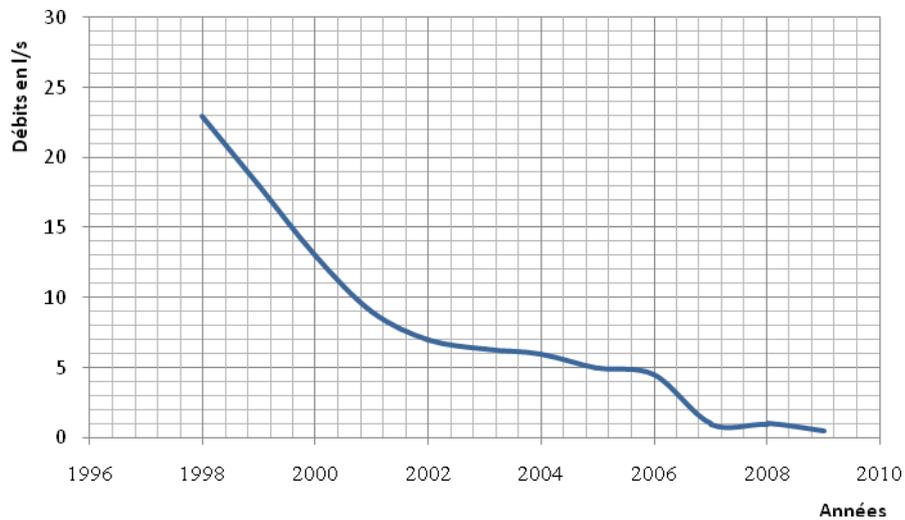
Suite aux travaux d'améliorations effectués, le débit était de 1200 L/mn en 1900, puis le débit est passé à 1710 litres / minute en 1950 à 2173 L/mn jusqu'à 2376 L/mn en 1962. Ensuite le débit a été augmenté à 9000 litres /mn, en 1975.

Le suivi de la variation du débit de la foggara de 1998 à 2009 a permis de confirmer une mort lente de cette dernière (Tableau .19, fig.37)

**Tableau.19** : Historique des débits de la foggara de M'ghaer

Années	1998	1999	2000	2001	2002	203	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Q. l/s	23	18	13	9	7	6.3	6	5	4.5	1	1	0.5

La figure ci-dessous montre une baisse nette du débit de 23 l/s en 1998 à 13 l/s en 2000 jusqu'à atteindre un débit 4,5 l/s en 2006 à faible et négligeable en 2010.



*Fig.37* Évolution du débit de la foggara de M'ghaer (BENSAADA.M & REMINI.B)

Actuellement la plupart des palmerais sont en voie de disparaître car certains *madjen* sont à sec (Photo. 26 et 27).



*Photo 26,27* : la mort de jardins suite au tarissement de certaine seguia

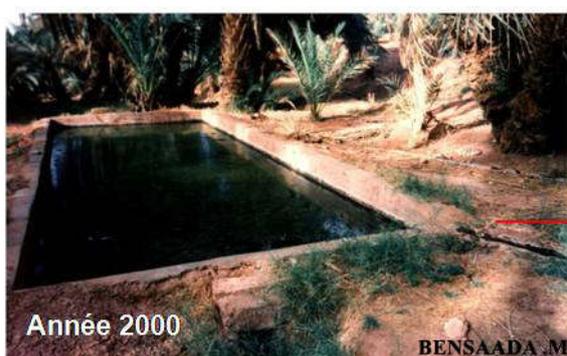


Photo. 28, 29, 30 et 31 : L'état des madjen de l'an 2000 et en 2007

### Conclusion

Les *foggaras* sont connues dans les montagnes du Kurdistan dans l'ouest de l'Iran, de la Turquie, et le Nord de l'Irak. Il ya plus de 3000 ans qu'elles existent, les *foggaras* constituent par exemples l'essentiel du système d'alimentation en eau de l'Iran

La construction de la *foggara* en Algérie a demandé beaucoup de temps, des milliers d'individus anonymes les ont creusés afin que les habitants de ces zones hyper arides puissent disposer d'eau. Il est rare qu'on sache à quel point les *foggaras* ont été indispensables à l'épanouissement de certaines civilisations.

L'eau est le véritable foncier, elle est vendue, achetée et nécessite une mesure délicate qui a ses spécialistes (*Kiel el-ma*), ses instruments (*chegfa* ou *louh*) et ses archives (*zmâm*). Elle a aussi ses unités de mesures, *habba*, *Kirat*..

Une *foggara* demande un entretien périodique et un curage une fois par an au moins, mais le coût de celui –ci est excessivement élevé et ce savoir-faire n'a pas été transmis de génération en génération.

Ce mode de distribution et de partage tel que usité au Sud Ouest du pays n'existe qu'en Algérie.

# Chapitre VII

## ÉTUDE HYDRAULIQUE DES PUIITS AVOISINANT LA FOGGARA

### VII.1. Introduction

La nappe du Continental Intercalaire couvre les deux grands bassins sahariens : le bassin occidental en nappe libre et le Bas Sahara où la nappe est captive.

L'exploitation de cette nappe est passée durant ces dernières années par une phase de mobilisation intensive des eaux souterraines, ce qui s'est traduit par l'accroissement des forages d'exploitation qui ont négativement influencé le jaillissement des sources et les débits artésiens.

Cette situation est à l'origine de la baisse du débit des foggaras captant la nappe du Ci et des sources exploitant également cette nappe.

Cette exploitation croissante est susceptible d'entraîner à long terme, dans les zones vulnérables, des changements dans la qualité de l'eau.

Les forages captant le Continental Intercalaire ne pénètrent que partiellement le réservoir dont l'épaisseur dépasse parfois 500 m.

L'exploitation des données de forages inventoriés par l'ANRH (1997), ont permis de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère alimentant les *foggaras* de Timimoun. En conséquence, les valeurs de la transmissivité déduites des essais hydrodynamiques que nous avons interprété (*voir courbes des figures 38 à 43*) varient en fonction de l'épaisseur de la formation captée et sont rarement représentatives de la transmissivité totale du réservoir.

Les valeurs des transmissivités déterminées par pompages d'essai sur des forages implantés dans le bassin du Grand Erg Occidental sont généralement comprises entre 10 et  $30 \cdot 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$  (O.S.S.2003).

### VII.2. Hydraulique des puits

Le pompage dans un puits ou dans un sondage, exploitant l'épaisseur ( $b$ ) de la nappe abaisse le niveau d'eau dans l'ouvrage et dans le terrain, créant un «cône de dépression» de rayon noté ( $R$ ). La différence entre le niveau piézométrique et le niveau dynamique obtenu en cours de pompage est la dépression ou rabattement noté  $\Delta$ .

Deux hypothèses pour le traitement mathématique des données : débits ( $Q$ ) et rabattements ( $\Delta$ ) du pompage, elles correspondent à deux groupes de formules:

-Formules de DUPUIT (hypothèse d'équilibre).

-Formules de JACOB ou de THEIS (hypothèse de non-équilibre).

Des essais de débits par pompage, sont effectués par afin d'évaluer la transmissivité noté  $T$  et le coefficient d'emmagasinement noté  $S$ .

Tous ces travaux aboutissent à la détermination du volume d'eau emmagasiné dans l'aquifère, des caractéristiques de l'écoulement souterrain et du renouvellement des eaux souterraines.

Ils sont complétés par des renseignements sur la qualité des eaux : pH, dureté, température, résistivité, analyse chimique.

Le but de l'essai de nappe est de déterminer le rayon d'action de chaque puits ainsi que les interférences ou influences entre forages et *foggaras*.

Pour notre étude on a choisi trois forages d'eau :

- Le forage ( $F_4$ ), implanté à l'amont de la foggara d'Ouled Nouh.
- Le forage ( $F_{20}$ ) implanté à l'amont de la foggara de *Zaouiët* de Sidi El Hadj Belkassem et la foggara de Beni Mehlel et d'Amokrane.

- Le forage (F<sub>5</sub>), est situé à proximité de l'aéroport.

Les données lithostratigraphiques de ces forages sont représentées en annexes.

### VII- 2 -1 Interprétation graphique des pompages d'essai

L'exécution et l'interprétation des données mesurées, rabattements et temps ont été basés par l'emploi de la formule de Dupuit et celle de l'expression de l'hydrodynamique souterraine établie par (C.E.Jacob ,1950)

$$\Delta_{r_0} = \frac{Q}{4\pi T} \text{Log} \frac{2,25 Tt}{r_0^2 S}$$

Ou :

**Δr<sub>0</sub>**: Le rabattement mesuré dans l'ouvrage de pompage, en mètres

**Q** : Le débit de pompage constant, en (m<sup>3</sup> /s)

**T**: La transmissivité en (m<sup>2</sup> /s)

**t** : Le temps de pompage, en secondes.

**r<sub>0</sub>** : Le rayon du puits de pompage, en pouces.

**S** : est le coefficient d'emmagasinement, sans dimension

#### a).Calcul des paramètres hydrodynamiques (T, S) :

##### a<sub>1</sub>-Relation rabattements temps (La courbe de décente) :

La transmissivité est calculée par la pente de la droite représentative :

- ❖ La pente est déterminée par l'accroissement des rabattements (ou des profondeurs des niveaux d'eau), au cours d'un module logarithmique, noté c, la transmissivité est calculée par l'expression :

$$T = \frac{0.079 Q}{C}$$

Ou C est :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}t_2 - \text{Log}t_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}}$$

- ❖ Le coefficient d'emmagasinement est obtenu par calcul numérique dans le deuxième terme de l'expression :

$$(\Delta_{r_0})_0 = \frac{Q}{2\pi T} \text{Log} \frac{1.5 \sqrt{Tt_0 / S}}{r_0}$$

Ou plus simplement, avec t<sub>0</sub> lorsqu'il peut être déterminé, par l'expression :

$$S = \frac{2.25 Tt_0}{r_0^2}$$

**a<sub>2</sub>- Relation rabattements résiduels temps (La courbe de remontée) :**

Les données de la remontée des niveaux, après arrêt du pompage permettent d'établir le graphique traçant la droite représentative de l'expression de C.E.Jacob .(1947)

$$\Delta_r = \frac{0,183 Q}{T} \cdot \text{Log} \frac{t + t'}{t'}$$

Ou :

$\Delta_r$ : le rabattement résiduel mesuré à un instant donné pendant la remontée

$t$  : le temps écoulé depuis le début du pompage, en secondes.

$t'$  : le temps compté depuis l'arrêt du pompage (temps de remontée).

Les rabattements résiduels, exprimés en m, sont portés en ordonnées linéaires, la valeur  $t+t'/t'$  en abscisses logarithmiques.

Seule la transmissivité peut être calculée avec l'expression :

$$T = \frac{0,183 Q}{a}$$

Ou  $a$  est la tangente de la droite de la descente (rabattements /débits).

**b).Le calcul du rayon d'action du puits de pompage ( R):**

Le rayon d'action est la distance à laquelle le rabattement, calculé par l'expression de C.E.Jacob (1947) est nul. Il est fonction de la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement.

Considérons que le régime est permanent, le rabattement dans un forage de rayon  $r_0$  est donné par la formule de Dupuit:

$$\Delta_{r_0} = \frac{Q}{2\pi T} \cdot \text{Log} \frac{R}{r_0^2} = 0$$

Dans le cas d'une nappe non réalimentée par drainance ou par une limite, on peut exprimer ce rayon d'action du puits en fonction du temps de pompage, en appliquant l'approximation logarithmique de Jacob, au forage lui-même :

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}}$$

Ou

**R** : Le rayon d'action du puits en mètres, et

**t** : Le temps de pompage.

**S** : Le coefficient d'emmagasinement

**VII- 2 -2 Pompage d'essai du forage (F<sub>4</sub>)****a). Le tracé de la courbe de descente du forage d'eau (F<sub>4</sub>):**

Les données obtenues par l'expérimentation du pompage sont mentionnées ci-dessous :

- Niveau statique: 40.14 m
- Niveau dynamique final : 54.22 m
- Rabattement final : 14.08 m
- Rayon du puits de pompage : 0,305 m
- Temps de pompage : 48 heures

**Tab.20.** Données de la descente obtenues  
par l'expérimentation de pompage du forage F<sub>4</sub>  
Débit constant : 50 l/s . 12 au 14 / 04 / 90 ANRH D'ADRAR

t ( sec )	Δ ( m )	t ( sec )	Δ ( m )	t ( sec )	Δ ( m )
0	0	3300	12.27	39600	13.70
30	6.26	4200	12.33	41400	13.70
60	7.36	4800	12.36	43200	13.71
90	7.90	5400	12.41	46800	13.72
120	8.31	6000	12.46	50400	13.73
150	9.30	6600	12.52	54000	13.74
180	9.56	7200	12.61	57600	13.75
210	9.64	8100	12.81	61200	13.78
240	9.70	9000	12.86	64800	13.82
270	7.76	9900	12.96	68400	13.85
300	9.80	10800	13.06	72000	13.94
360	9.86	12000	13.11	75600	13.98
420	10.11	13200	13.16	79200	14.00
480	10.23	14400	13.25	82800	14.02
540	10.34	16200	13.28	86400	14.04
600	10.45	18000	13.35	93600	14.06
720	10.49	19800	13.36	100800	14.07
840	10.64	21600	13.46	108000	14.07
960	10.70	23400	13.51	115200	14.08
1080	10.82	25200	13.56	122400	14.08
1200	11.13	27000	13.60	129600	14.08
1500	11.61	28800	13.64	136800	14.10
1800	11.86	30600	13.65	144000	14.09
2100	12.03	32400	13.67	151200	14.08
2400	11.99	34200	13.68	158400	14.08
2700	12.15	36000	13.69	165600	14.08
3000	12.21	37800	13.70	172800	14.08

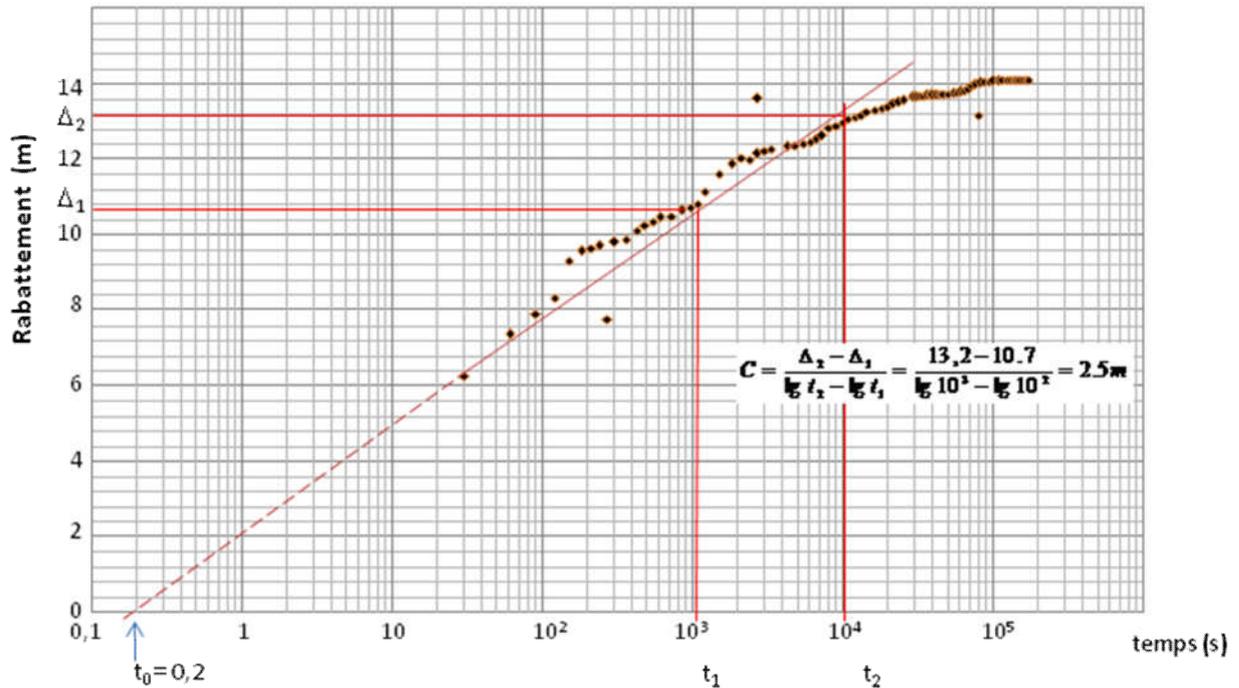


Fig.38 : Courbe de descente du forage F<sub>4</sub>

Les profondeurs du niveau d'eau en mètre et le temps de pompage en secondes sont reportées sur un papier graphique semi-logarithmique, donnent une droite représentative (fig.38 ).

L'effet de capacité du puits est marqué en début d'essai puis il s'atténue rapidement après 150 secondes. C'est du au fait que le diamètre du puits d'essai est relativement petit et que la transmissivité est élevée.

Le temps à l'origine  $t_0$  est de 0.2 secondes et la valeur de la pente de la droite représentative est  $C=2,5$  m, aboutissent au calcul de la transmissivité  $T$  et du coefficient d'emmagasinement,  $S$ .

$$T = \frac{0.079Q}{C} = \frac{0.079 \times 50 \times 10^{-3}}{2.5} = 1.58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$T = 1.58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r_0^2} = \frac{2.25 \times 1.58 \times 10^{-3} \times 0.2}{0.305^2} = 0.007$$

$$S = 0,007$$

**b).La courbe de remontée :**

Les résultats de l'arrêt de l'essai de pompage du forage F<sub>4</sub> sont donnés dans le tableau suivant :

**Tab.21:** Données de la remontée après arrêt de pompage obtenues par l'expérimentation de pompage du forage F<sub>4</sub> du 14 au 16 / 04 / 90 ANRH D'ADRAR

$\frac{t + t'}{t'}$	$\Delta_r$ (m)	$\frac{t + t'}{t'}$	$\Delta_r$ (m)	$\frac{t + t'}{t'}$	$\Delta_r$ (m)
0.00	14.22	73.00	01.97	7.40	00.41
5761.00	12.20	65.00	01.80	7.00	00.39
2811.00	09.10	58.60	01.74	6.64	00.37
1921.00	08.60	53.36	01.60	6.33	00.36
1441.00	07.00	49.00	01.46	6.05	00.36
1153.00	06.04	42.14	01.32	5.80	00.34
961.00	05.80	37.00	01.20	5.57	00.33
823.85	05.75	33.00	01.10	5.36	00.33
721.00	05.50	29.80	01.00	5.17	00.33
641.00	04.80	27.18	00.96	5.00	00.32
577.00	04.62	25.00	00.90	4.69	00.31
481.00	04.48	22.33	00.86	4.42	00.30
412.42	04.28	20.20	00.82	4.20	00.30
361.00	03.90	18.45	00.78	4.00	00.28
321.00	03.80	17.00	00.74	3.82	00.26
289.00	03.60	15.40	00.70	3.66	00.24
241.00	03.40	14.09	00.66	3.52	00.24
206.71	03.20	13.00	00.61	3.40	00.22
181.00	02.90	11.66	00.58	3.28	00.22
161.00	02.64	10.60	00.55	3.18	00.21
145.00	02.64	9.72	00.50	3.08	00.21
116.20	02.41	9.00	00.48	3.00	00.20
97.00	02.28	8.38	00.46	/	/
83.28	02.15	7.85	00.44	/	/

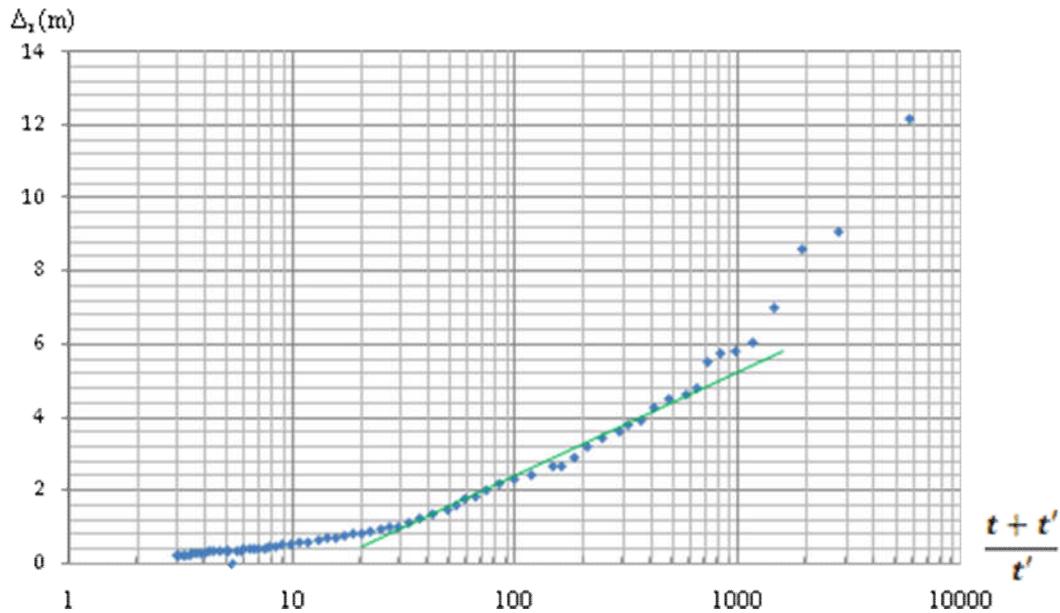


Fig.39 : Courbe de remontée du forage  $F_4$  (BENSAADA.M & REMINI .B)

Les données du tableau, rabattements et valeurs de  $(t+t'/t')$ , permettent de tracer la droite représentative de pente (fig.21) :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}t_2 - \text{Log}t_1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}}$$

$$C_1 = 5,2 - 2,4 = 2,8 \text{ m}$$

La transmissivité est calculée par la relation :

$$T = \frac{0.079Q}{C} = \frac{0.079 \times 50 \times 10^{-3}}{2.8} = 1.41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{s}$$

### C). Le rayon d'action du puits $F_4$

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}} = 1,5 \sqrt{\frac{1,58 \cdot 10^{-3} \times 172800}{0.007}} = 296,175 \text{ m}$$

## VII- 2 -3 Pompage d'essai du forage de $Z^{\text{et}}$ Sidi El Hadj Belkhacem ( $F_{20}$ )

### a) La Courbe de descente :

Les résultats obtenus par l'expérimentation du pompage sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

- Niveau statique : 34,80 m
- Niveau dynamique final : 54,90 m
- Rabattement final : 20,10 m
- Rayon du puits de pompage : 0,305 m
- Temps de pompage : 48 heures

**Tab.22** : Données de la descente obtenues  
par l'expérimentation de pompage du forage El Hadj Belkassam (F<sub>20</sub>)  
. Débit constant :45l/s . 14 au 16 / 02 / 97 ANRH D'ADRAR

t ( sec )	Δ (m)						
0	0	1800	18.7	19800	19.55	75600	20.02
30	5.2	2100	18.75	21600	19.6	79200	20.02
60	8.3	2400	18.8	23400	19.63	82800	20.04
90	11.8	2700	18.85	25200	19.66	86400	20.06
120	13.2	3000	18.9	27000	19.7	93600	20.07
150	16.3	3300	19.02	28800	19.72	100800	20.08
180	16.5	3600	19.18	30600	19.74	108000	20.09
210	16.72	4200	19.25	32400	19.77	115200	20.1
240	17	4800	19.3	34200	19.8	122400	20.1
270	17.3	5400	19.32	36000	19.83	129600	20.1
300	17.4	6000	19.34	37800	19.85	136800	20.1
360	17.5	6600	19.36	39600	19.87	147600	20.1
420	17.6	7200	19.37	41400	19.88	151200	20.1
480	17.7	8100	19.4	43200	19.9	158400	20.1
540	17.85	9000	19.41	46800	19.92	165600	20.1
600	17.98	9900	19.42	50400	19.93	172800	20.1
720	18.1	10800	19.43	54000	19.94	187200	20.1
840	18.3	12000	19.44	57600	19.95	201600	20.1
960	18.4	13200	19.45	61200	19.96	216000	20.1
1080	18.5	14400	19.46	64800	19.97	230400	20.1
1200	18.55	16200	19.47	68400	19.98	244800	20.1
1500	18.6	18000	19.49	72000	19.99	259200	20.1

Les données du pompage, rabattements en mètres et temps de pompage en secondes, ont permis d'établir le graphique (*fig. 40*): On remarque que l'effet de capacité du puits marqué en début d'essai s'atténue rapidement après 150 secondes.

Les rabattements montrent un accroissement normal Ensuite ils marquent une certaine stabilité après les 3600 secondes.

La figure rabattements temps nous permet de tracer deux droites pour le calcul de T et S

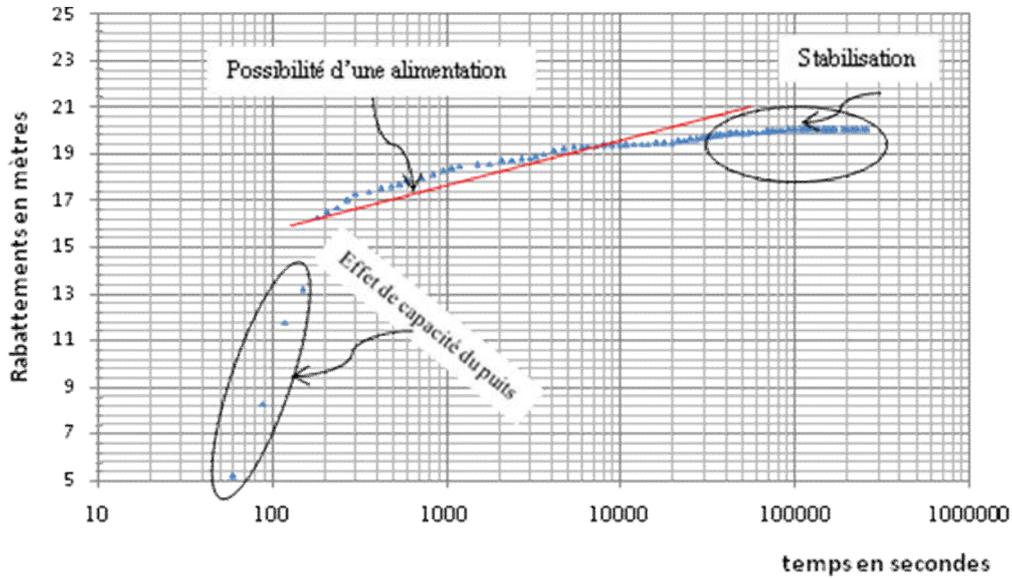
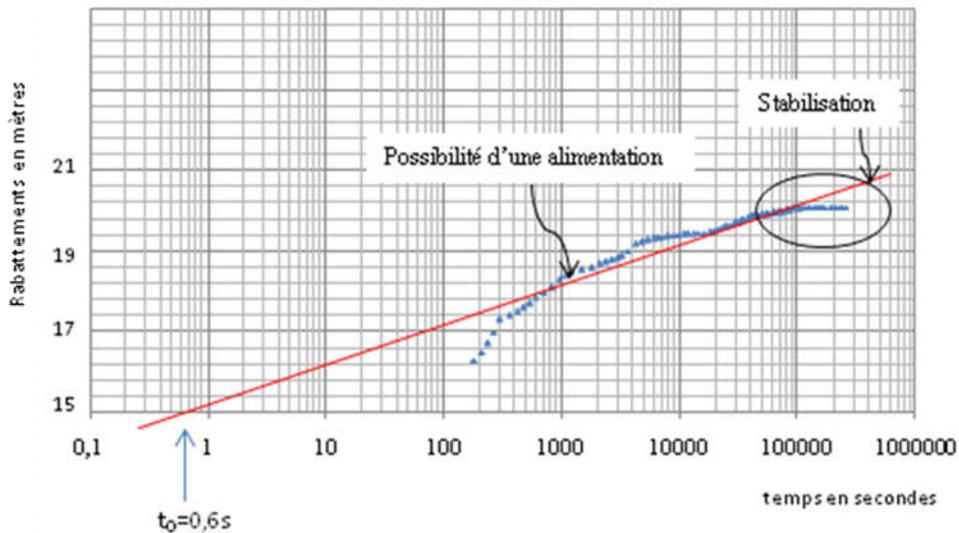


Fig.40: Courbe de descente du forage F<sub>20</sub> (Zaouiet el hadj Belkassem)  
(BENSAADA.M & REMINI .B)

Pour le calcul du coefficient d'emménagement on doit prolonger la droite jusqu'à l'intersection avec l'axe des abscisses ou  $\Delta = 0$  ; d'où on tire le  $t_0$



Le diagramme ci-dessus nous permet de lire  $t_0 = 0,6$  secondes et le calcul de la pente de la droite :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}}$$

$C_2 = 19.1 - 18.2 = 1.9$  m, aboutissent au calcul de la transmissivité T et du coefficient d'emménagement S. :

$$T = \frac{0.079Q}{C} = \frac{0.079 \times 45 \times 10^{-3}}{1.9} = 1,87.10^{-3} m^2 / s$$

$$T = 1,87.10^{-3} m^2/s$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

$$S = \frac{2,25 \cdot 1,87.10^{-3} \cdot 0,6}{0,305^2} = 0,027$$

**b) La courbe de remontée :**

Les résultats de l'arrêt de l'essai de pompage du forage F<sub>20</sub> sont donnés dans le tableau suivant :

**Tab.23** Données de la remontée après arrêt de pompage obtenues par l'expérimentation de pompage du forage (F<sub>20</sub>)

du 17 au 18 / 02 / 97

ANRH D'ADRAR

$\frac{t+t'}{t'}$	$\Delta_r$ (m)						
0	19.4	33	1.8	271	3.29	8.2	1
8641	12.2	29.8	1.75	241	3.2	7.85	0.96
4321	6.5	27.18	1.7	217	3.1	7.54	0.93
2881	5.55	25	1.65	173.8	3.03	7.26	0.9
2161	5.2	22.6	1.6	145	2.8	7	0.87
1729	5	20.63	1.54	124.44	2.73	6.53	0.84
1441	4.6	19	1.5	109	2.5	6.14	0.81
1235.28	4.45	17	1.47	97	2.4	5.8	0.78
1081	4.3	15.4	1.43	87.4	2.38	5.5	0.76
961	4.2	14.09	1.38	79.54	2.3	5.23	0.74
865	3.9	13	1.35	73	2.25	5	0.7
721	3.7	12.07	1.31	62.71	2.1	4.78	0.68
618.14	3.65	11.28	1.27	55	2.06	4.6	0.66
541	3.55	10.6	1.23	49	2	4.42	0.65
481	3.42	10	1.2	44.2	1.95	4.27	0.64
433	3.38	9.47	1.15	40.27	1.9	4.13	0.63
361	3.34	9	1.1	37	1.85	4	0.62
309.57	3.3	8.57	1.05				

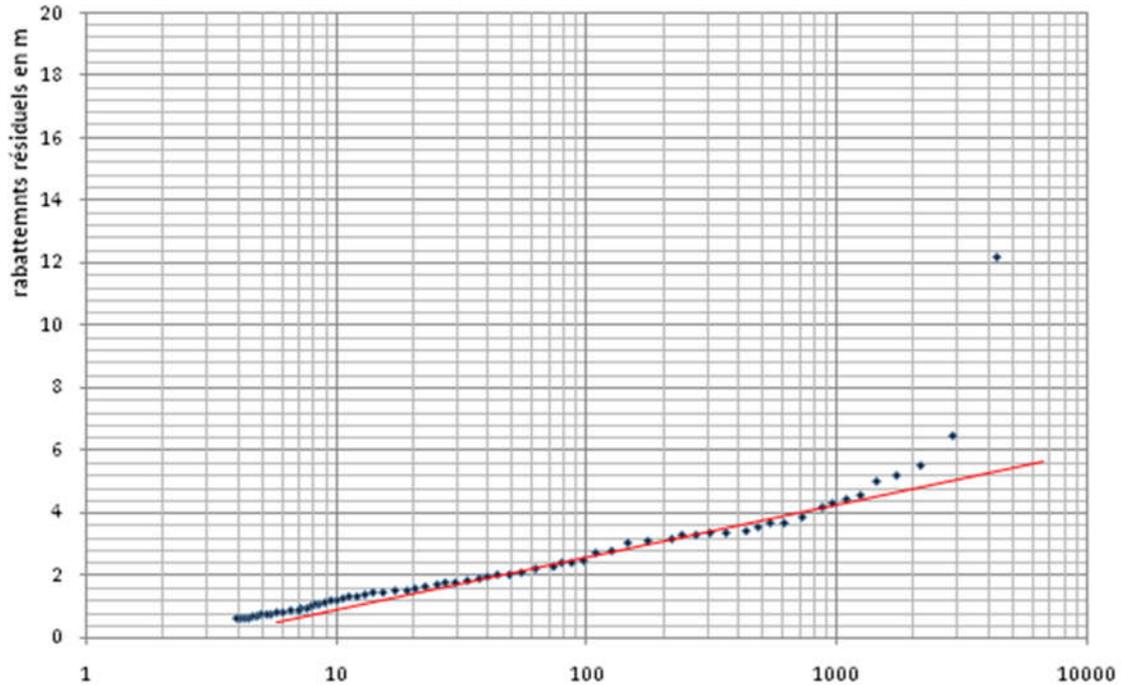


Fig. 41: Courbe de remontée du forage  $F_{20}$  (Zaouiet el hadj Belkassem)  
(BENSAADA.M & REMINI .B)

Le couple de donnée rabattements résiduels et temps de  $(t+t'/t')$ , donnent une droite représentative de pente :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}} = 4,2 - 2,4 = 1,8 \text{ m}$$

La transmissivité est égale à :

$$T = \frac{0,079 \times 45 \times 10^{-3}}{1,8}$$

$$T = 1,97 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

C). Le rayon d'action du puits  $F_{20}$

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}} = 1,5 \sqrt{\frac{1,87 \cdot 10^{-3} \times 259200}{0,027}} = 200,97 \text{ m}$$

## VI I- 2-4 Pompage d'essai du forage ( $F_5$ )

### a) La Courbe de descente :

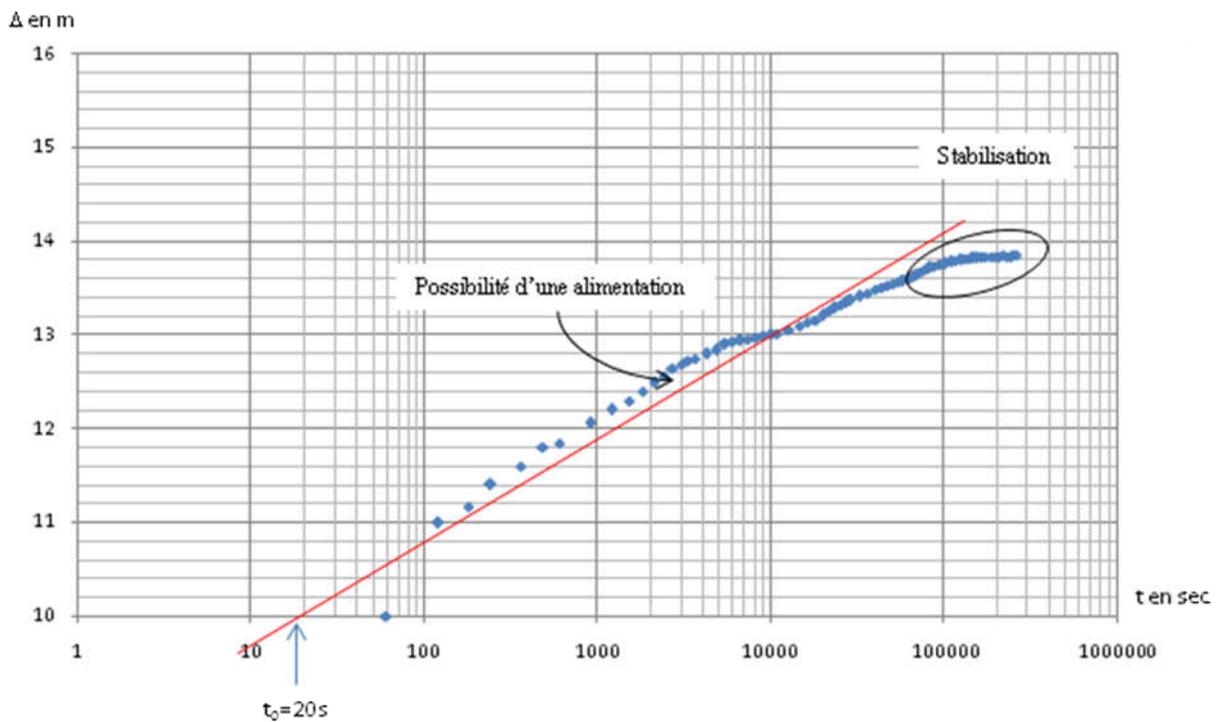
Les résultats obtenus par l'expérimentation du pompage sont mentionnés donnés dans le tableau ci-dessous :

- Niveau statique : 33,45 m
- Niveau dynamique final : 47,30 m
- Rabattement final : 13,85 m
- Rayon du puits de pompage : 0,305 m
- Temps de pompage : 72 heures

**Tab.24 :** Données de la descente obtenues  
par l'expérimentation de pompage du forage (F<sub>5</sub>)  
. Débit constant 35l/s .17 au 18 / 04 / 97 ANRH D'ADRAR

t ( sec )	Δ(m)	t ( sec )	Δ(m)	t ( sec )	Δ (m)
0	0	9000	12.99	75600	13.69
60	10	9900	13	79200	13.71
120	10.99	10800	13.01	82800	13.72
180	11.17	12600	13.05	86400	13.73
240	11.4	14400	13.1	93600	13.75
360	11.6	16200	13.13	100800	13.76
480	11.8	18000	13.15	108000	13.78
600	11.85	19800	13.21	115200	13.79
900	12.06	21600	13.26	122400	13.8
1200	12.2	23400	13.29	129600	13.81
1500	12.3	25200	13.32	136800	13.81
1800	12.4	27000	13.35	144000	13.82
2100	12.49	28800	13.37	151200	13.82
2400	12.56	32400	13.41	158400	13.83
2700	12.64	36000	13.45	165600	13.83
3000	12.69	39600	13.48	172800	13.83
3300	12.72	43200	13.51	183600	13.84
3600	12.75	46800	13.53	194400	13.84
4200	12.8	50400	13.55	205200	13.84
4800	12.84	54000	13.57	216000	13.85
5400	12.9	57600	13.58	226800	13.84
6000	12.93	61200	13.6	237600	13.84
6600	12.94	64800	13.62	248400	13.85
7200	12.95	68400	13.64	259200	13.85
8100	12.97	72000	13.67	/	/

Les profondeurs du niveau d'eau en mètre et le temps de pompage en secondes sont reportées sur un papier graphique semi-logarithmique, donnant une droite représentative (fig.42 ).



.Fig. 42: Courbe de descente du forage F<sub>5</sub> (BENSAADA.M & REMINI .B)

Le temps à l'origine  $t_0 = 20$  secondes et la pente de la droite représentative

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}} = 13 - 11.9 = 1,1 \text{ m}$$

Le calcul de la transmissivité T .

$$T = \frac{0,079 \times 35 \times 10^{-3}}{1,1}$$

$$T = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Le calcul du coefficient d'emménagement

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} = \frac{2,25 \times 2,5 \times 10^{-3} \times 20}{0,305^2}$$

$$S = 0,12$$

**b).La courbe de remontée**

Les résultats de l'arrêt de l'essai de pompage du forage F<sub>5</sub> sont donnés dans le tableau suivant :

**Tab.25** : Données de la courbe remontée après arrêt de pompage obtenues par l'expérimentation de pompage du forage Timimoun (F<sub>5</sub>) du 18 au 20 / 02 / 97 ANRH D'ADRAR

t+t'/t' (sec)	$\Delta_r$ (m)	t+t'/t' (sec)	$\Delta_r$ (m)
0	13.85	49	1.25
12961	4.9	44.2	1.2
2161	4.15	40.27	1.15
1441	3.8	37	1.1
1081	3.6	33	1.05
721	3.45	29.8	1
541	3.25	27.18	0.95
433	3.1	25	0.88
289	2.7	21.57	0.82
217	2.33	19	0.78
173.8	2.1	17	0.74
145	2.01	15.4	0.71
124.42	1.83	14.09	0.67
109	1.74	13	0.64
97	1.65	11.28	0.58
87.4	1.59	10	0.53
79.54	1.53	9	0.48
73	1.49	8.2	0.43
62.71	1.4	7.54	0.4
55	1.31	7	0.37

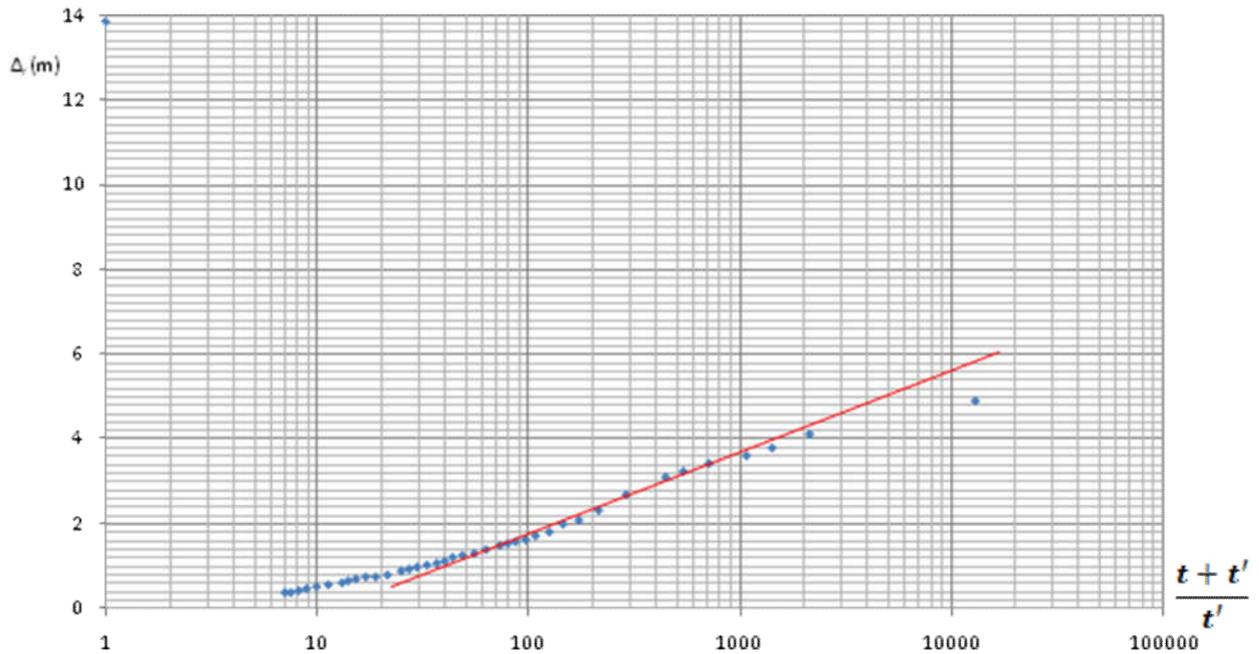


Fig.43 : Courbe de remontée du forage F<sub>5</sub> (BENSAADA.M & REMINI .B)

Le couple abatement temps ( t+t'/t' ), donnent une droite représentative où la pente est égale ::

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Cycle logarithmique}} = 3.7 - 1.8 = 1,9 \text{ m}$$

La transmissivité calculée de cette droite est de :

$$T = \frac{0,079 \times 35 \times 10^{-3}}{1,9}$$

$$T=1,4.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

**C). Le rayon d'action du puits F<sub>5</sub>**

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{Tt}{S}} = 1.5 \sqrt{\frac{2,5.10^{-3} \times 172800}{0.12}} = 90 \text{ m}$$

Le tableau ci-dessous nous résume les caractéristiques hydrodynamiques des forages d'eau étudiés :

A partir des résultats obtenus des droites représentatives de la descente des pompes d'essai des forages on a obtenue les valeurs suivantes :

**Tab. 26** Tableau récapitulatif des résultats des essais de pompage

	F <sub>4</sub>	F <sub>20</sub>	F <sub>5</sub>
<b>Q</b> ( l/s)	50	45	35
<b>T</b> (m <sup>2</sup> /s)	1,58.10 <sup>-3</sup>	1,87.10 <sup>-3</sup>	2,5.10 <sup>-3</sup>
<b>S</b>	0,007	0,027	0,12
<b>R</b> (m)	296,17	200,97	90

Les valeurs obtenues du rayon d'influence des forages (F<sub>4</sub>, F<sub>20</sub> et F<sub>5</sub>) peuvent être appliquées aux autres forages du fait que l'on a affaire à un même aquifère (Continental Intercalaire), ce qui montre l'impact direct de ce dernier sur la foggara de M'ghaer où l'on assiste actuellement à un débit négligeable et un dépérissement de la végétation par manque d'eau (photo 32 et 33), et la mort de la foggara de Zaouiet Sidi El Hadj belkacem, de la foggara d'Ouled Nouh et la foggara d'Amokrane (fig.44).



photo 32 et 33 : Dépérissement de la végétation

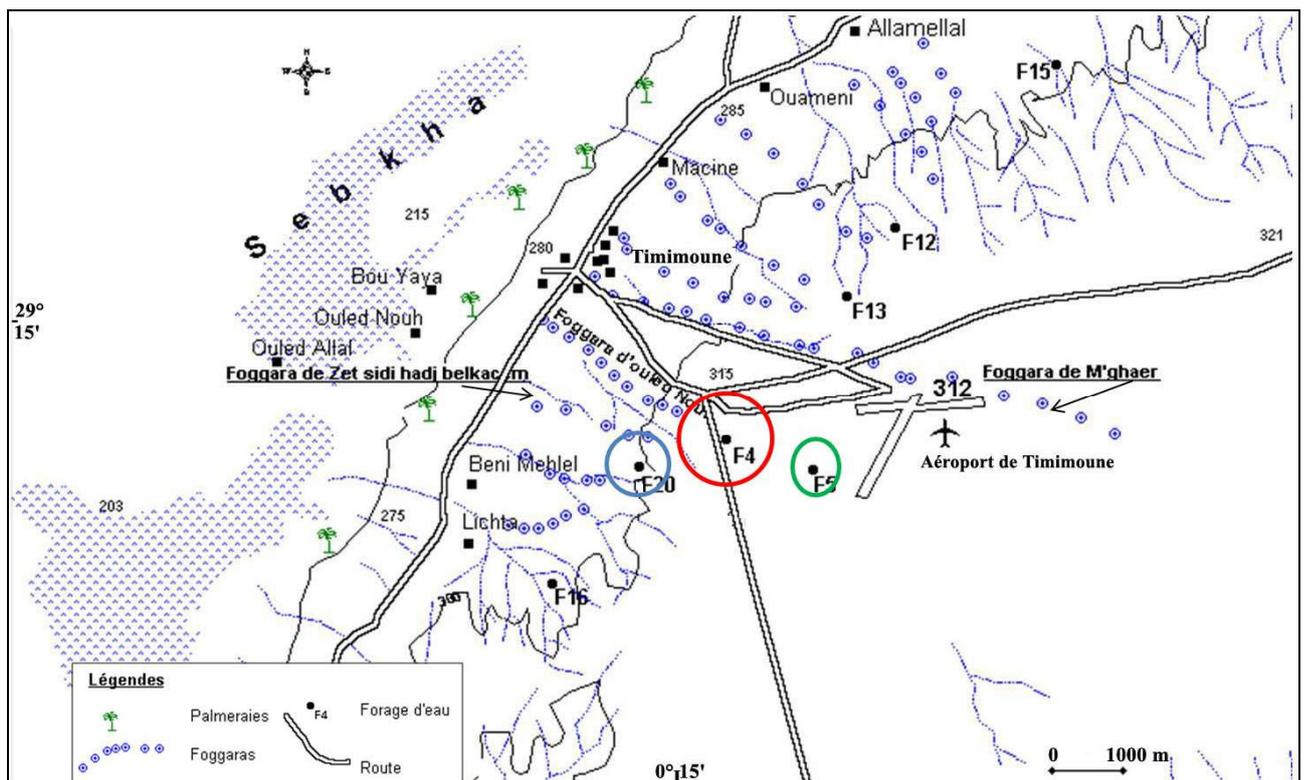


Fig. 44 Carte des interférences entre forages et foggaras (BENSAADA.M & REMINI .B)

### VII-3. Etablissement de la carte piézométrique

L'établissement et l'interprétation de la carte piézométrique à l'aide des données relatives à la période de 2006 que nous avons effectué, montre les directions d'écoulement suivant :

-Un axe de drainage Sud -Est Nord-Ouest au Nord de Timimoun.

-Dans la partie centrale du secteur, on assiste à une zone de convergence vers les forages d'exploitation F<sub>5</sub> et F<sub>4</sub>, ce qui explique la diminution du débit de la foggara de M'ghaer d'une part et mettant à sec d'autres foggaras tel que la foggara de Z<sup>et</sup> Sidi EL Hadj Belkacem et la foggara de Amokrane .

Le gradient hydraulique est de  $3.7 \cdot 10^{-3}$  au nord et de  $4 \cdot 10^{-3}$  au Sud, au niveau de l'aéroport de Timimoun la pente est très forte de l'ordre de  $6.4 \cdot 10^{-3}$  expliquant l'augmentation de la profondeur du dernier puits de la foggara qui est de 40 m.

L'alimentation de l'aquifère se fait principalement par infiltration des eaux de ruissellement en provenance du flanc sud de l'atlas saharien et des bordures du plateau de Tademaït.

Les foggaras et les forages constituent dans le secteur les exutoires principaux de l'écoulement souterrains du Continental Intercalaire, une partie des débits non captés par les foggaras est évaporée au niveau des sebkhas.

Avant l'implantation des forages le positionnement des foggaras était perpendiculaire aux courbes isopièzes montrant que la foggara est alimentée par la nappe, le drainage était logique, les directions des écoulements se faisant vers la sebkha en direction de l'amont des foggaras vers l'aval au niveau de la sebkha.

L'établissement de la carte piézométrique affirme que le tarissement de ce patrimoine n'est pas du uniquement à l'entretien mais aussi et surtout par l'implantation des forages situés en amont ou à proximité de la foggara.

Le problème primordial de la foggara est bien le forage qui a fait changé l'allure de toute la piézométrie la région.

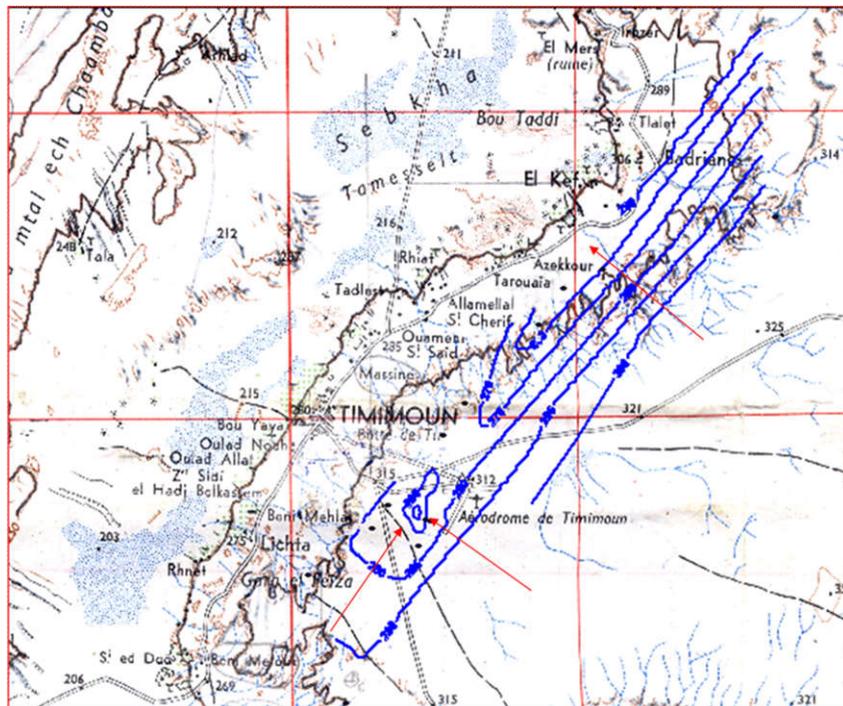


Fig. 45 Carte piézométrique de la région d'étude(Année 2008) (BENSAADA.M & REMINI .B)

**CONCLUSION**

Les essais de pompages ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère tel que la transmissivité, le coefficient d'emmagasinement et le rayon d'influence.

Le résultat essentiel obtenu par cette étude pour comprendre les raisons de l'assèchement des trois *foggaras* ( Ouled Nouh, Zaouiet El Hadj Belkjacem et celle de Beni Mehlel) et la diminution du débit de celle de M'ghaer, ce résultats a montré aussi que ce n'est nullement l'influence des pompages directes a des différents forages dont les rayons d'action n'atteignent pas la galerie de la *foggara* de M'ghaer, mais la chose importante, c'est la situation de ces ouvrages en amont et au niveau des directions principales d'écoulement alimentant les *foggaras* qui en est la cause principale, ceci a été mis en évidence à partir de la carte piézométrique réalisée.(fig.45)

Pour faire face aux problèmes posés et éviter la disparition de ce patrimoine universel, il est nécessaire de gérer efficacement l'exploitation des différents forages implantés par :

- L'éloignement des forages en amont bien loin des *foggaras*
- Faire des corrections de débits des forages qui existent dans les champs de captage des *foggaras*, le procédé de correction des débits des forages permet d'éliminer ou réduire l'interférence réciproque entre les points de captage.
- Imperméabiliser le lit du canal de la *foggara* pour récupérer ce volume d'eau perdu par infiltration
- Renforcer les *foggaras* par des puits équipés de pompes a énergie solaire ou éolienne.
- Un nettoyage et un curage régulier
- Moderniser les moyens d'entretien et de curage de la galerie.

Pour sauvegarder ce patrimoine hydraulique, nous devons trouver un compromis entre les deux techniques de captage d'eau souterraine : moderne et ancienne.

Pour qu'il n'y ai pas d'interférences avec les *foggaras*, pour ce faire il faudrait procéder à une diminution des débits de pompage, et ne pas imperméabiliser les terrains dans les environs immédiats de ces galeries séculaires.

# Chapitre VIII

## ÉTUDE HYDROCHIMIQUE

### IIIX-1.Introduction

L'hydrochimie est utilisée pour la compréhension des circulations des eaux souterraines au sein d'un aquifère, l'étude de la répartition dans l'espace et de l'évolution dans le temps des concentrations en ions majeurs et de préciser le faciès géologique des terrains traversés par l'eau (SCHOELLER H.1962).

Cette partie de notre étude s'intéresse seulement à faire une esquisse de l'étude hydrochimique des ions majeurs de la campagne d'analyse effectuée, de déterminer les faciès chimique des eaux, d'apprécier leurs qualités chimiques et d'établir une comparaison entre l'eau de la *foggara* et l'eau des forages.

Les données hydrochimiques rassemblées dans cette étude sont issues de la campagne de prélèvements réalisée sur quelques puits et la *foggara* de M'ghaer de la région de Timimoun durant l'année 2012 (Annexes).

Les éléments physico-chimiques analysés sont la température, le pH, la conductivité électrique et les ions majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ).

Les échantillons d'eau prélevés ont été analysés au laboratoire de l'ANRH (2005) d'Adrar et celui de Soumaa,

### IIIX-2.Conductivité électrique

La mesure en micro ou milli Siemens par cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$  ou  $\text{mS}/\text{cm}$ ) de la conductivité électrique des eaux a été effectuée à l'aide d'un conductimètre de terrain. Elle est utilisée essentiellement pour la surveillance de la qualité des eaux.

La conductivité représente la résistance qu'une eau oppose au passage d'un courant électrique. Elle est proportionnelle à la minéralisation de l'eau. Plus l'eau est riche en sels minéraux ionisés, plus la conductivité est élevée. Elle varie également en fonction de la température.

La conductivité électrique des eaux a été classée selon le degré de minéralisation comme proposé par Rodier (1996 ET 2009) et cité aussi par Zourhi et Carlier (2002). Cette classification a été également utilisée par Ahoussi (2008), Soro.G (2010), Kouassi et al. (2010) pour :

- $100 < \text{CE} < 250 \mu\text{S}/\text{cm}$ , eau faiblement minéralisée ;
- $250 < \text{CE} < 500 \mu\text{S}/\text{cm}$ , eau peu minéralisée ;
- $500 < \text{CE} < 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , eau minéralisée ;
- $1000 < \text{CE} < 3000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , eau fortement minéralisée

Les eaux du secteur présentent globalement une minéralisation importante, ils sont fortement minéralisée. Cette conductivité est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau en annexes.

A partir de ce tableau, les valeurs de la conductivité électrique mesurées oscillent entre 960 et 5310  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### IIIX-3.Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions  $\text{H}^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de (0 à 14), 7 étant le pH de neutralité.

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. Le Ph a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de terrain.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature géologique des terrains traversés.

**Tableau 27.** Classification des eaux d'après leur pH

<b>pH &lt; 5</b>	Acidité forte $\Rightarrow$ présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
<b>pH = 7</b>	pH neutre
<b>7 &lt; pH &lt; 8</b>	Neutralité approchée $\Rightarrow$ Majorité des eaux de surface
<b>5,5 &lt; pH &lt; 8</b>	Majorité des eaux souterraines
<b>pH = 8</b>	Alcalinité forte, évaporation intense

D'après RFEA (Réseau Francophone sur l'eau et l'assainissement)

En région du Gourara, les eaux des puits ont un pH basique ( $>7$ ), sauf le puits d'El Ouajda et le puits de l'I.T.M.A.S ont un pH acide ( $<7$ ),

En règle générale, le pH est sensiblement lié à la dureté. Une eau très douce a tendance à avoir un pH acide et instable, alors qu'une eau minéralisée possède plus souvent un pH élevé et stable.

#### **IIX-4. Classification et représentation graphique des eaux**

Le tracé des différents diagrammes et la classification des eaux ont été effectués à l'aide du logiciel d'hydrochimie Roland SIMLER. (2013).

##### **IIX-4-I Diagrammes de faciès chimique ne pouvant représenter qu'un seul échantillon d'eau**

###### **Diagramme de Stabler**

Le diagramme de Stabler représente la contribution de chaque espèce ionique à la somme cationique ou à la somme anionique.

Les unités sont donc des équivalents par litre ou le plus souvent, des milliéquivalents par litres. Le diagramme se décompose en deux barres, l'une pour les anions, l'autre pour les cations. Elles ont donc même longueur car les solutions sont électriquement neutres et la somme des anions est égale à la somme des cations.

Ce diagramme est très utile pour l'étude des équilibres carbonatés. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle calcite et les alcalinités résiduelles généralisées.

Cette classification fait intervenir les ions dominants comme indice de classification : Les différents éléments ont été exprimés en quantités de réaction en pourcentage par rapport aux ions de même signe.

$$r\% = 100 \times r/c$$

Ou :

$$\left\{ \begin{array}{l} r : \text{Quantité en réaction de l'ion considéré en méq/l} \\ c : \text{Concentration totale en méq/l} \end{array} \right.$$

La formule de Stabler nous a dégagé deux classes :

- Sulfatée sodique fortement calcique pour l'eau de la foggara
- Chlorurée sodique fortement calcique

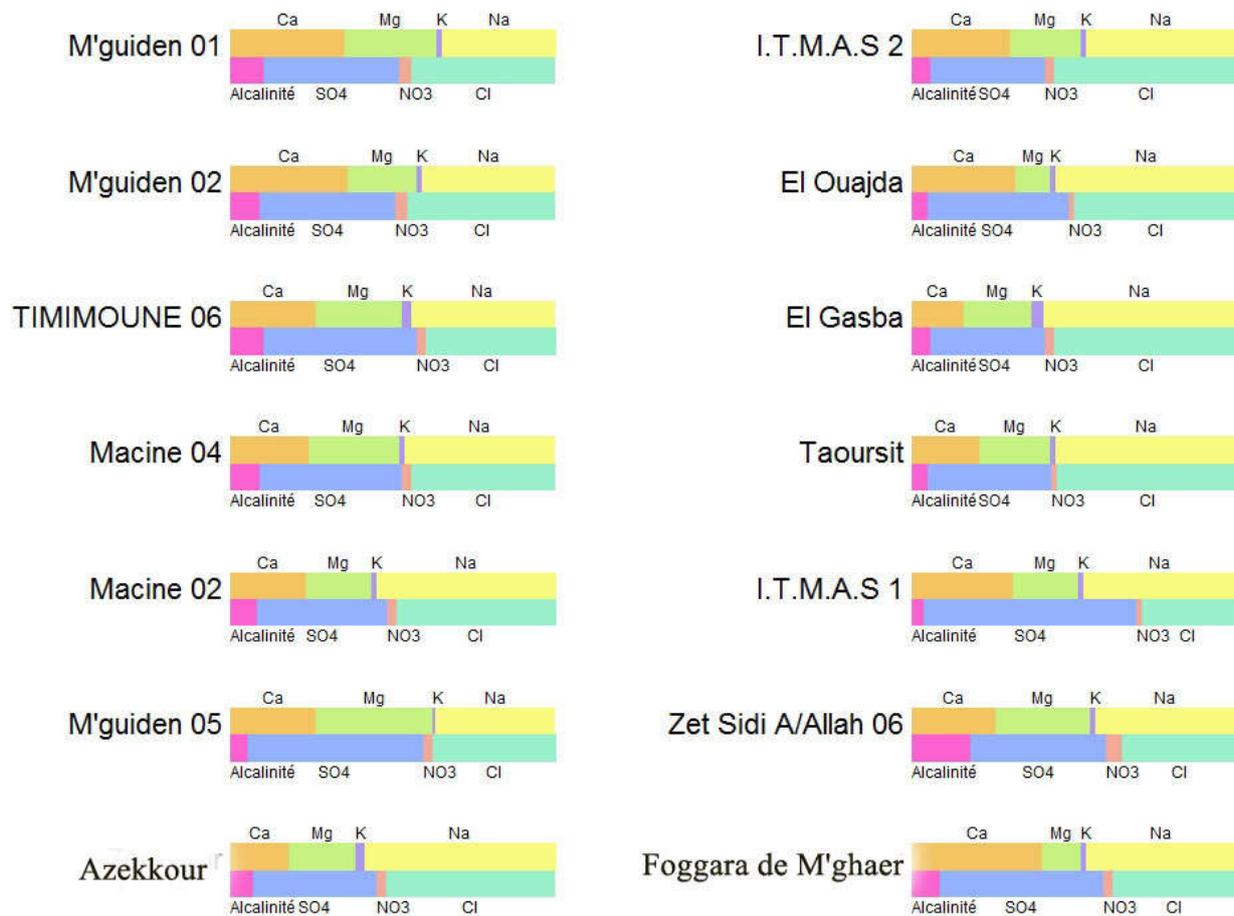


Fig.46 Classification des eaux selon Stabler

En fait l'eau de la *foggara* est sulfatée sodique par contre l'eau de la plupart des eaux des forages ont un faciès chlorurée sodique, d'autre ont un faciès chloruré sodique.

## II-4-2. Diagrammes de faciès chimique pouvant représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément

### Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eaux.

Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global, figure ci-dessous.

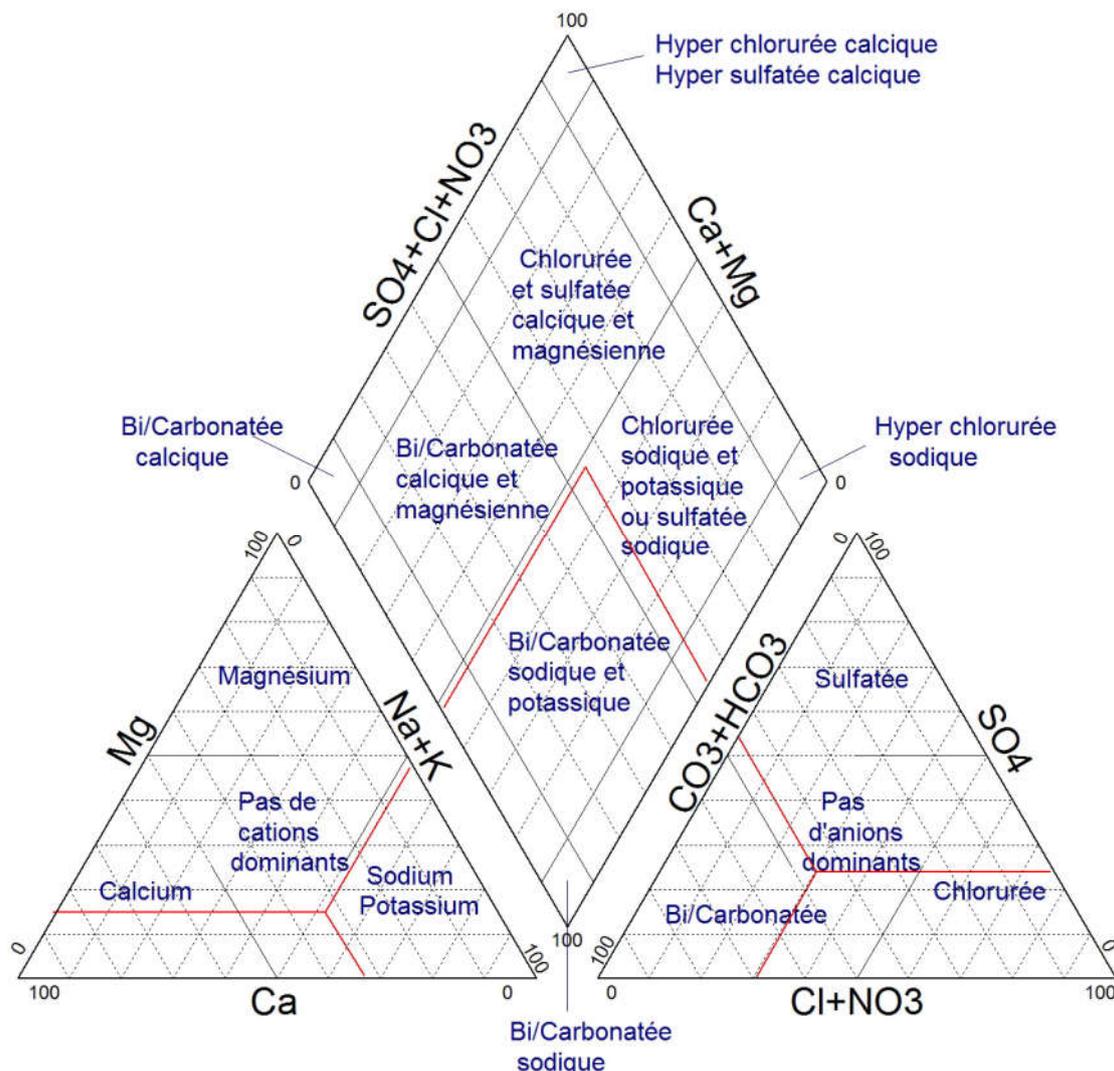


Fig. 47 Diagramme de Piper

Ce type de diagramme est particulièrement adapté pour étudier l'évolution du faciès des eaux lorsque la minéralité augmente ou bien pour distinguer des groupes d'échantillons.

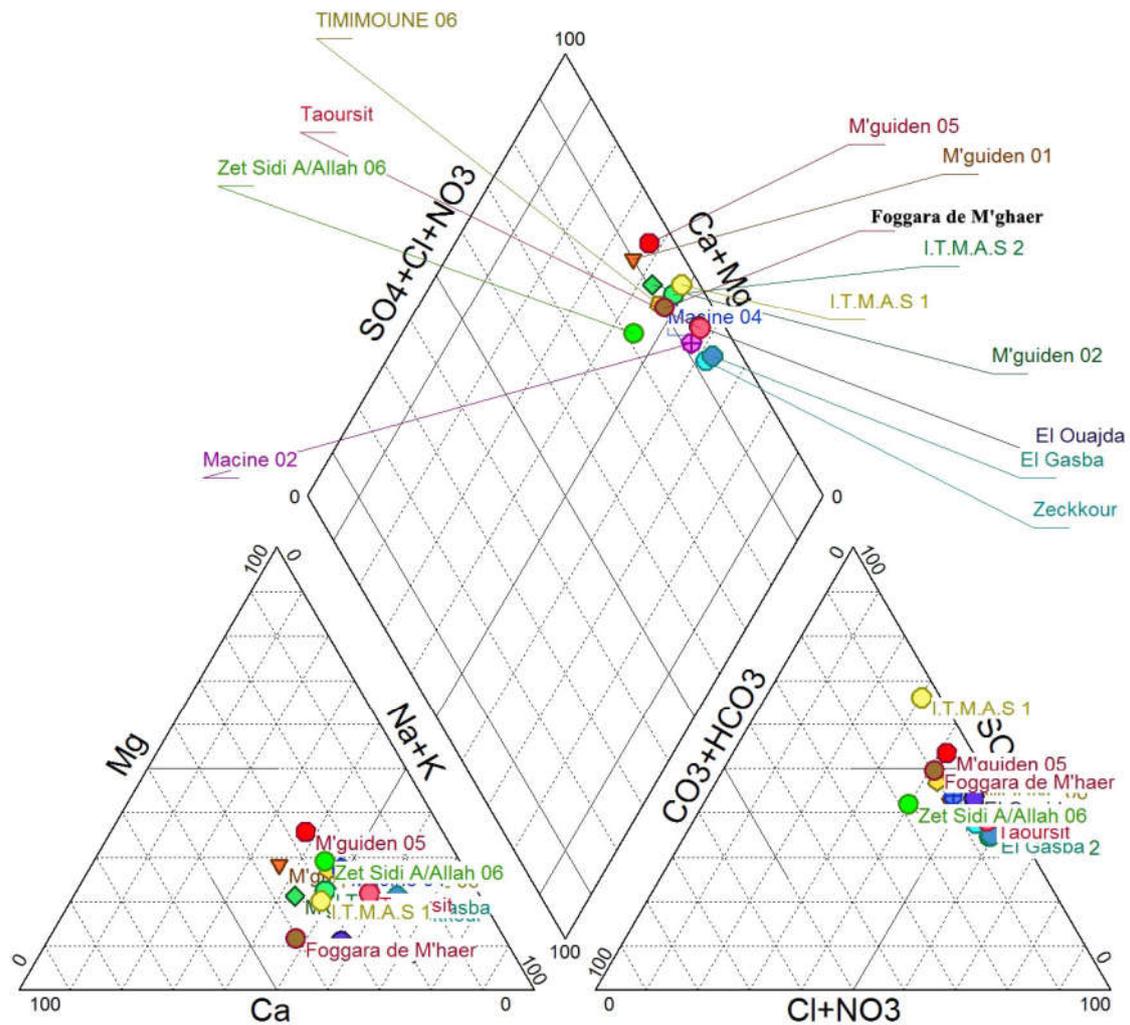


Fig. 48 Classification des eaux d'après Piper

Le graphique losangique de Piper ci-dessus nous permet de classer les eaux comme suit :

La foggara de M'ghaer : Chlorurée et Sulfatée Calcique et magnésienne

Les forage: Chlorurée sodique et sulfatée

### II-4-3. Diagramme semi-logarithmique de Schoëller Berkalo

Le diagramme de Schoëller Berkalo permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée.

La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques.

Un groupe d'eau de minéralité variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles.

Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence. Il est ainsi possible de visualiser à la fois le faciès chimique, comme pour le diagramme de Piper, mais aussi la minéralisation de l'eau, ce qui est appréciable.

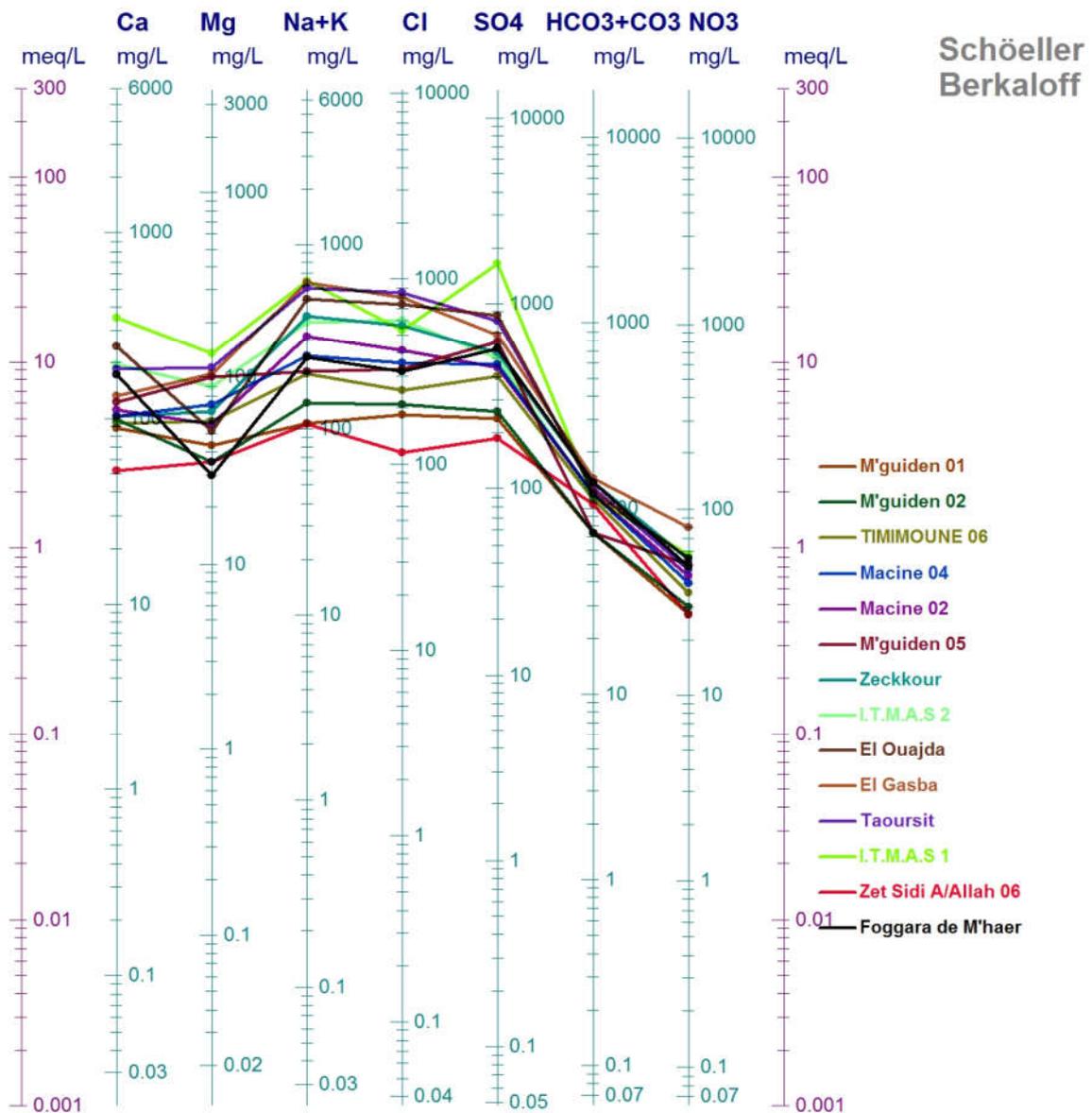


Fig. 49 Classification des eaux d'après Schoëller

C'est une représentation qui tient compte de l'analyse des principaux anions et cations et qui permet de bien voir le domaine de variation de la composition chimique. Elle confirme celle de Stabler (Fig.42).

Le diagramme de Shoeller Berkaloff fait apparaître les faciès suivants :

- Eau chlorurée sodique pour le forage
- Eau sulfatée sodique pour la foggara

### II-4-4. Indice d'échange de base

L'indice d'échange de base a été défini par Schoëller en 1934 par la relation suivante :

$$i. e. b = \left\{ \frac{r_{Cl} - r(Na + K)}{r_{Cl}} \right\}$$

Les teneurs en chlorures, sodium et potassium sont exprimées en milliéquivalents par litres (még/l).

L'i.e.b indique le sens des échanges ioniques qui se font entre l'eau et les terrains encaissants :

- **i.e.b < 0** : les eaux échangent les ions  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  contre les ions Na du terrain encaissant

- **i.e.b > 0** : les eaux échangent les ions  $Na^+$  contre les ions  $Ca^{++}$ , et  $Mg^{++}$  du terrain encaissant

Les résultats obtenus après le calcul de l'i.e.b montrent que les échantillons ont un i.e.b négatif, on remarque donc une légère prédominance des échanges entre le Calcium et le magnésium de l'eau contre le  $Na^+$  des terrains encaissants.

L'i.e.b de la majorité des forages est < 0 sauf pour les deux forages de la plaine M'guiden où l'i.e.b est > 0 soit 0.127 et 0.011, en outre l'i.e.b de la *foggara* est de - 0.14

Le faciès chimique obtenu confirme cet échange puisqu'il est chloruré sodique et sulfaté sodique.

### II-4-5. Qualité chimique des eaux

#### II-4-5-1. Degré hydrotimétrique

Il indique la teneur totale en sels de calcium et de magnésium et exprime la dureté d'une eau, il est calculé en degré français.

$$dH^{\circ} = (r_{Ca^{++}} + r_{Mg^{++}}) \times 5^{\circ}F$$

**Tableau 28** : Dureté de l'eau, selon la classification française

dH°	0-7	7-22	22-32	32-54	> 54
Dureté de l'eau	Douce	Modérément douce	Assez douce	dure	Très dure

Le forage F<sub>4</sub> a une dureté de dH° = 50.5°F

La *foggara* a une dureté de dH° = 55.5°F

On remarque que les eaux de la région sont dures à très dures.

**Tableau 29**: Normes de potabilité chimique fixées par la communauté européenne.

Qualité	Na+	K+	CL <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Minéralisation totale (mg/l)
Très bonne	< 60	< 10	< 100	< 150	< 25	< 750
Bonne	60-100	10	100-200	150-250	25-50	750-1000
Médiocre	100-150	12	200-250	250-300	50-100	1000-1500
Mauvaise	> 150	> 12	> 250	>300	> 100	>1500

Les eaux du secteur sont fortement minéralisées et dépassant les 1500 mg/l

### IIX-4-5-2. Agressivité ou incrustante des eaux

Le caractère agressif ou incrustant d'une eau est déterminé à partir de la comparaison entre le pH mesuré et celui déduit du diagramme Shoeller Berkaloff.

Si le pH d'équilibre est inférieur au pH mesuré : l'eau est incrustante

Si le pH d'équilibre est supérieur au pH mesuré : l'eau est agressive.

Si le pH d'équilibre est égal au pH mesuré : l'eau est neutre.

En ce qui nous concerne nous avons des échantillons présentant un caractère agressif pour les forages d'eau et un caractère incrustant pour la foggara.

### IIX-4-6. Qualité des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation apportent avec elles un certain nombre de sels dont les plantes ne relèvent qu'une partie au niveau des racines.

Les sels non utilisés s'accumulent et accroissent ainsi la salinité propre du sol. Les teneurs en sels des eaux d'irrigation doivent donc être bien inférieures au seuil de salinité du sol considéré comme critique.

L'influence des sels sur la croissance des plantes se manifeste sous plusieurs aspects participation aux effets osmotiques, perturbation de la nutrition par antagonisme (par exemple entre la nutrition potassique et la nutrition azotée), effet toxiques, modification des propriétés physiques du sol (des teneurs trop élevées en sodium peuvent provoquer une alcalinisation du sol), effets nutritifs (nitrates et phosphates).

Les critères retenus pour estimer la qualité d'une eau destinée à l'irrigation sont physiques et chimiques. En ce qui concerne la conductivité, la limite pratique est de 700 micron Siemens (ou 0.7 millimohs) correspondant à une concentration totale de 450 mg/l et à une pression osmotique de 025 bar.

En ce qui concerne le sodium, l'alcalinisation des sols provoque une dégradation de leur structure, cet effet vient s'ajouter à l'effet toxique de cet élément lorsqu'il est en excès.

De façon à déterminer la capacité d'adsorption du sodium par le sol à partir d'une eau d'irrigation donnée, on utilise le taux d'adsorption de sodium (SAR) tel qu'il est donné par le laboratoire Américain de la salinité :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{1/2(Ca^{++} + Mg^{++})}} \text{ en még/l}$$

- Si le SAR < 10 L'eau a un faible danger d'alcalinisation des sols
- Si le 10 > SAR > 18 Danger d'alcalinisation assez appréciable
- Si le 18 > SAR > 26 Danger d'alcalinisation important

En plus des effets de la salinité, certains ions ont des effets variables sur la croissance des plantes. Ces critères d'appréciation de la qualité d'une eau à des fins d'irrigation concernant la composition chimique de cette eau, la texture des sols irrigués, les espèces végétales irriguées (tolérance au sel) mais aussi les conditions climatiques.

D'après le calcul du SAR les eaux d'irrigation ont un faible danger d'alcalinisation du sol

**Diagramme de Richards (Riverside)**

Le diagramme de Riverside repose sur le croisement de deux critères.

- le premier est la conductivité électrique (C.E.) ou la charge totale dissoute (CTD). Ce critère vise à quantifier la charge en sel de la solution et par voie de conséquence le risque de salinisation (i.e. d'accumulation de sel dans les sols). Les eaux sont classées de C1 à C5 selon le risque croissant de salinisation.
- le second est le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) de l'eau ou bien le taux de sodium échangeable induit par l'eau dans le sol (Na/T). Ce second critère permet d'évaluer le risque de sodium dans le sol par l'eau d'irrigation. Les eaux sont classées de S1 à S3 selon le risque croissant de sodisation.

Ce diagramme a été proposé par Richards, chercheur à l'USDA de Riverside en Californie, en 1956 ! Il a été très utilisé et l'est encore de nos jours.

Ce diagramme est très utile et fiable pour caractériser une eau.

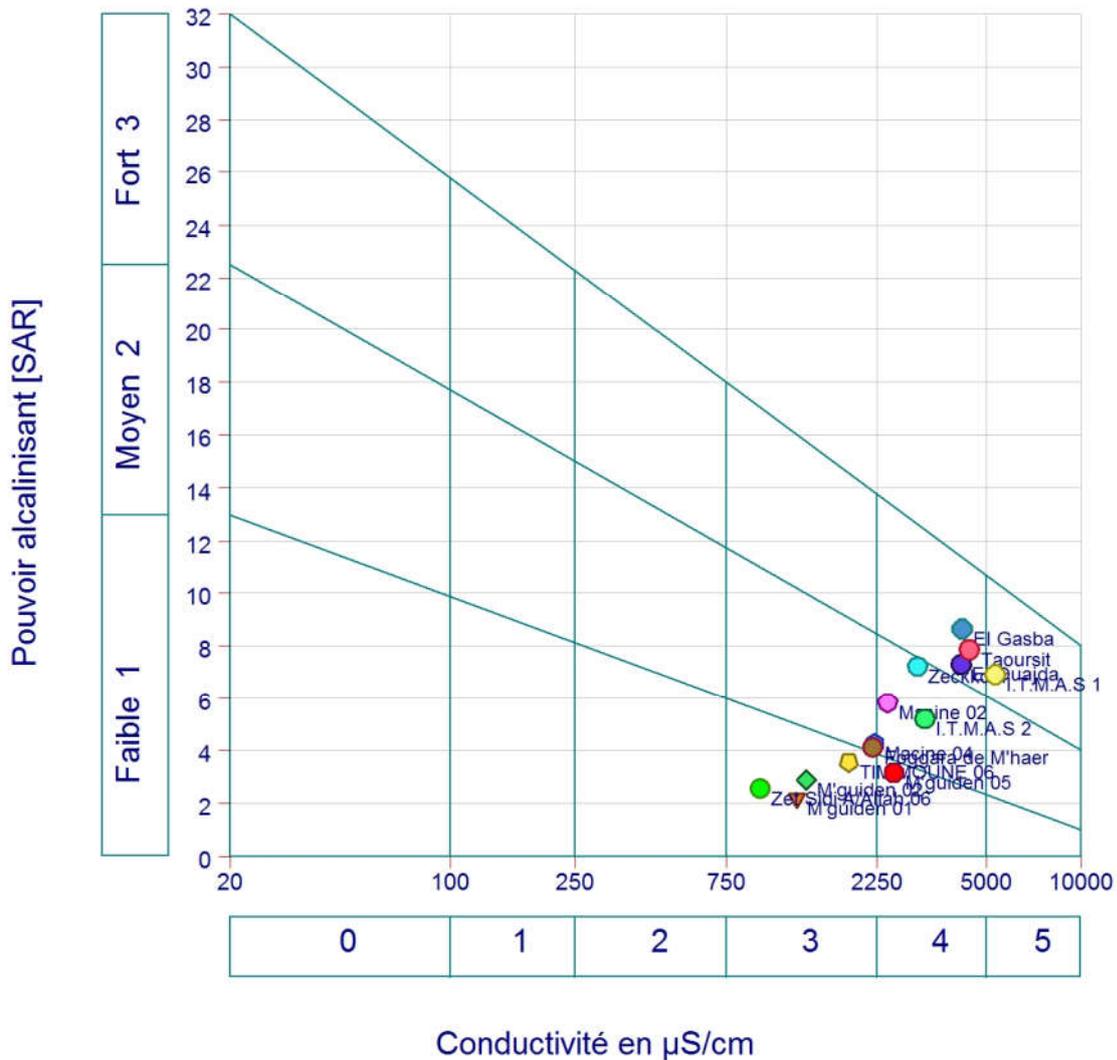


Fig. 50 Classification des eaux d'après Riverside

Les eaux du secteur sont toutes faiblement concentrées et figurent dans la classe C3S1, C4S1 et C5S1 c'est-à-dire risque faible de salinisation et de sodisation.

### CONCLUSION

La représentation des eaux sur diagramme semi-logarithmique de (Schoeller Berkaloff ) et l'utilisation de la classification de Stabler permettent de définir les mêmes faciès :

Famille des eaux Chlorurées

Famille des eaux Sulfatées

La minéralisation est assez élevée présentant un résidu sec supérieur à 1400 mg/l.

L'eau analysée de la *foggara* est Sulfatée sodique et celle des forages d'eau est Chlorurée sodique. Du point de vue dureté elles sont dures à très dures.

# Chapitre IX

## ORGANISATION SOCIALE ET ÉCONOMIQUE

### IX-1. Introduction

D'après Martin (1908), l'organisation sociale est divisé en trois phase, une phase historique, de structure féodale, une phase de tentative de réforme agraire fondée sur l'ouverture vers les marchés internationaux et une phase plus récente orientée vers la satisfaction d'un nouveau marché local induit par les migrations du Nord vers le Sud.

La *foggara* contribue par ailleurs à maintenir des liens communautaires d'entraide et de solidarité forts. Elle a exercé une influence extraordinaire sur l'existence et l'évolution des oasis de cette région, à tel point que les conditions sociales elles-mêmes dépendent des particularités de l'organisation hydraulique.

En ce qui concerne l'organisation socioculturel et architectural, les travaux les plus répandus sont de : BELLIL R (1985, 1989 , 1993 et 2002), OUGOUAG-KEZZAL, C. (1978 et 1979), SCHACHT J.(1954), MAMMERI M.(1984) et BASSET A.(1937).

### IX- 2 .L'organisation sociale des oasis à *foggara*

L'organisation sociale de l'oasis repose sur l'appropriation et le contrôle de l'eau. La propriété des sols reste secondaire, d'autant que celle des palmiers peut être distincte.( J.P. CHEYLAN.J. P.1990) .

Les experts de l'eau occupent une place importante dans la, hiérarchie sociale, ils sont désignés par l'assemblée des propriétaires de la *foggara*

La *foggara* est une organisation sociale permettant d'assurer une gestion durable, une distribution et un accès équitable à la ressource pour toute la population du *Ksar*, et une préservation de la qualité de l'eau. Les acteurs de cette organisation sociale sont :

#### a) *La Djemâa*,

C'est un groupe ou assemblée générale des copropriétaires, elle décide des travaux de réparation ou d'entretien à entreprendre, arbitre et règle les conflits ou approuve les changements, ventes, locations ou partages des parts d'eau par leurs propriétaires.

#### b) *Le Chahed*

C'est un témoin qui est choisi pour sa sagesse et son honorabilité, c'est en général *l'imam*

#### c) *L'imam*

*L'imam* de la mosquée joue le rôle de secrétaire général de la *Djemâa*, il tient le registre de la *foggara* dans lequel sont notées toutes les informations concernant la *foggara* : liste des copropriétaires avec leur part, les transactions d'eau et en contrepartie il reçoit une part d'eau gratuite.

#### d) *Kial el ma*

C'est le mesureur d'eau, il détient tout le savoir faire en matière de mesure de l'eau sur le terrain. Il utilise cette opération par une plaque de jauge nommée le *louh* ou *Chegfa* qui a une base de calcul bi-duo-décimale dont l'unité de base est *El Habba* ou *El Habba Z'rig*. La mesure brute est inscrite immédiatement sur des tablettes d'argiles qui sont conservées après séchage.

#### e) *El hassab*

C'est le spécialiste en matière de calcul des parts d'eau de chaque propriétaire de partages et d'héritages.

Bien que l'eau soit considérée comme bien des copropriétaires de la foggara, toute la population du *ksar* y a librement accès pour une utilisation domestique. Cet accès est garanti au niveau du canal principal qui traverse le village. En retour toute la population participe aux travaux d'entretien et de réfection de l'ouvrage.

L'organisation sociale est représentée aussi par d'autres personnalités comme *El F'kih*, *Cheïkh Ezaouya*, *EL Mokadem*. (ROGET, J. 1945)

La «*touiza*», une sorte d'entraide sociale ancestrale, répond à la demande de personnes qui, à un moment donné, ont besoin d'aide de leurs semblables.

Elle est instaurée dans les cas suivant : entretien des *foggaras*, récolte des dattes, constructions diverses (*Dar Ezzaouiya*, école coranique et centre d'aide aux personnes et familles pauvres).

Elle est également organisée lorsqu'il s'agit d'un profit collectif, comme pour les *Ziarates* (*Essbou*), les fêtes religieuses *photo.34* des «Wali (saint ou marabout)».



Photo. 34 : fête religieuse

La région de Gourara comprend plusieurs wali, dans chaque *Ksar* on a au minimum 1 à 2 wali (soit 1 ou 2 *Ziarates* par an), prenant l'exemple la commune de Ouled Saïd, elle comprend 24 walis, chaque *Ksar* renferme une ou plusieurs *Zaouïa*, lieu d'enseignement coranique.

### IX-3. La stratification sociale des oasis à *foggara*

La stratification sociale est fortement hiérarchisée et s'appuie sur une superposition de groupes d'origines différentes (BELLIL.R.2002). Au sommet de cette pyramide, nous avons la strate des religieux qui comprend deux groupes nettement différenciés au plan du statut social et de l'autorité :

#### IX-3-1. La strate des religieux

- -Les *chorafas* ou *chorfas* : Ils possèdent la presque totalité des droits d'eau et des palmiers et n'ont quasiment pas d'activité productive.
- les *mrabtin* qui constituent des lignages rattachés à un ancêtre reconnu par tous comme *wali* (homme saint : *Salah*).

Ensuite, la strate des hommes libres (*Ahrar*), ils possèdent une faible partie des droits d'eau et des palmiers, ils sont composés en deux entités distinctes :

**IX-3-2 . La strate des hommes libres**

- Les Zénètes berbérophones, sédentarisés depuis longtemps, fondateurs d'oasis et bâtisseurs de nombreuses forteresses qui ont évolué pour former les *ksour*
- Les descendants de nomades arabes qui se sont progressivement sédentarisés eux aussi.

**IX-3-3 La strate des dominées**

Enfin, la strate des dominés, constituée par deux groupes différents :

- Les *Harratins* qui sont de statut libre, fournissent la quasi-totalité de la main d'œuvre attachés au travail de la terre, sans en être propriétaires.
- les esclaves appelés en zénatiya : *ijemjan* (sing. *ajemj*). Ces derniers sont les descendants des noirs ramenés de Soudan.

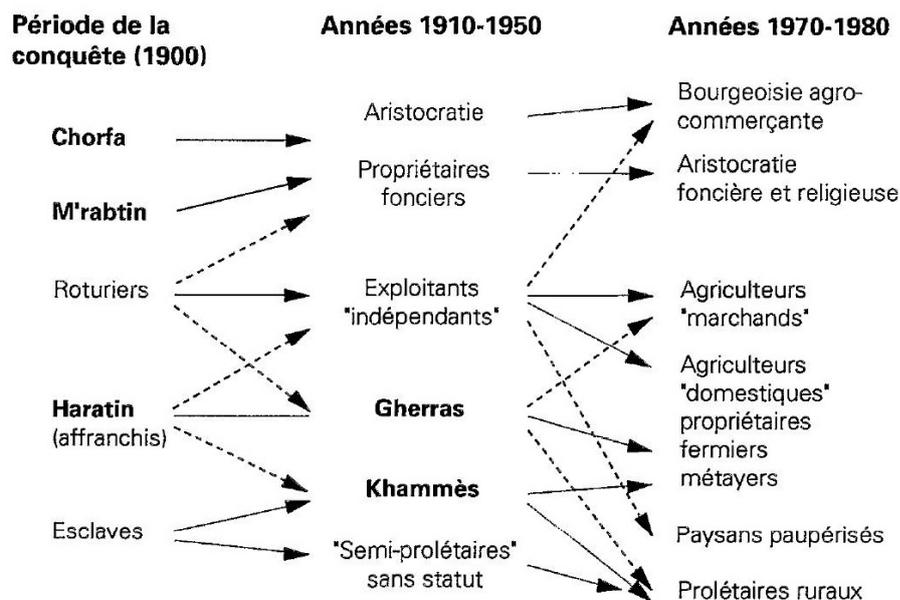


Fig.51 Stratification générale de la société oasienne d'après Guillermou.Y (1993).

**IX-4 . La structure sociale des oasis à foggara**

La structure sociale est composée de trois éléments qui s'emboîtaient l'un dans l'autre : la famille, le lignage et la tribu.

- a) **La famille** : C'est un ensemble de personnes ou individus ayant un lien de parenté ou de même descendance vivant sous le même toit (*taâwa* en zénète) qui constitue la cellule de base plus ou moins élargie, avec une filiation patrilinéaire. Les familles sont regroupées dans le lignage (*lqum*) nettement individualisé dans l'espace par son habitat qui peut être soit la forteresse isolée (*agham*) soit le quartier dans le cas des *ksour* importants.

- b) Le lignage :** il relie les différentes familles qui en font partie à un lien de parenté par le sang qui remonte à un ancêtre commun plus ou moins éloigné, son sens varie considérablement, selon qu'il reconnaît indifféremment toutes les lignes généalogiques qui descendent de l'ancêtre commun ou qu'il privilégie au contraire l'une d'entre elles.
- c) La tribu :** Un terme autrefois utilisé pour caractériser un groupe de personnes partageant des coutumes, un langage et un territoire. Une tribu est souvent de petite taille, assez limitée dans ses contacts avec d'autres sociétés. La caractéristique la plus importante d'une tribu est les ressemblances linguistiques et culturelles.

### IX-5. L'organisation économique

L'économie de la région repose essentiellement sur l'agriculture qui se trouve conditionnée par l'eau. Les débits prélevés par les *foggaras* sont insuffisants à une irrigation correcte et rationnelle de quelques hectares sur les quels doivent vivre les habitants.

De plus, les frais élevés exigés pour l'entretien des *foggaras* grève fortement le prix du mètre cube d'eau extrait par ce procédé.

Dans l'état actuel l'agriculture est la base de toute l'économie de cette région, est menacée d'asphyxie si des remèdes et solutions ne sont pas apportés rapidement.

Pour redresser une telle situation, il conviendrait de satisfaire les besoins en eau nécessaire à une irrigation correcte tout en baissant le prix de revient de cette eau.

La caractéristique essentielle du Gourara est la présence d'une dépression sur une longueur de 80 km d'une orientation Sud ouest- Nord est avec la présence d'une grande sebkha.

L'activité dominante demeure l'agriculture avec la coexistence d'un système d'irrigation par *foggara*. Le poids de la ville de Timimoun par rapport aux autres Dairas est considérable.(Vieux chef lieu, commune, daïra).

Les principales activités économiques de la région de Gourrara sont :

- ❖ L'agriculture.
- ❖ L'industrie et le commerce.
- ❖ Le tourisme et loisir

#### IX-5-1 L'agriculture

Elle occupait une place centrale et est caractérisé par :

- Une agriculture traditionnelle avec un système d'irrigation par *foggara*, appelée aussi agriculture *ksourienne*, c'est le domaine de la palmeraie, arbre adapté aux conditions climatiques du désert.
- Une récolte insuffisante de céréales (blé et orge).
- Des cultures diverses dont le rendement est faible à l'arboriculture, est pratiquement inexistante, on trouve quelques arbres fruitiers dont le rendement est très faible (figuiers, grenadiers, abricotiers, pêchers, amandiers...).
- L'élevage est une activité d'appoint des familles, elle reste secondaire au regard de l'activité agricole, elle est déterminée à l'autoconsommation.

Actuellement l'agriculture saharienne s'est développée d'une façon étonnante, elle a conquis des terres nouvelles a renouvelé ses méthodes et se présente comme un vaste front pionnier

multiformes et multi-lieux (Marc Côt.2002). Un seul indice : le nombre de palmiers dans le Sahara algérien est passé, entre 1959 et 2000, de 5.5 millions à 12 millions.

La mondialisation, l'économie de marché, l'entrée dans la modernité au XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, n'auraient dû que parachever cette évolution et faire disparaître complètement cet artefact qu'était l'agriculture saharienne.

Certes, dans le Sahara d'aujourd'hui, l'agriculture n'est pas la seule ressource et n'est souvent pas la ressource de base. Mais elle tient sa place, fait vivre une partie de la population et sert de cadre au développement général.

Le Gourara, Touat, et Tidikelt, présentent une situation identique entre eux, se trouvant sur le pourtour du plateau du Tademaït et un mode de drainage des eaux identique qui est la *foggara*. Ils sont ainsi marqués par les mêmes paysages et les mêmes problèmes d'adaptation aujourd'hui.

Cette technique ancestrale n'a plus sa place dans le monde actuel. La moitié des *foggaras* ne fonctionnent plus aujourd'hui. Mais la région a trouvé un second souffle. Les *foggaras* ont été doublées par des forages, les populations ont développé le créneau de la culture de la tomate exportée vers le nord, les pouvoirs publics ont introduit la technique de la rampe-pivot pour culture céréalière. Ainsi aujourd'hui, le pays des *foggaras* juxtapose sur courte distance les formes les plus modernes aux plus traditionnelles. Il n'a cependant pas encore pleinement trouvé son profil.

#### **IX-5-2. L'industrie et le commerce**

L'activité industrielle se résume actuellement au bâtiment et travaux publics sauf quelques industries comme la présence d'une carrière d'agrégat de graviers en plus une centrale électrique à proximité de l'aéroport, qui emploie une vingtaine d'ouvriers.

Le commerce offre très peu d'emploi du fait même type existant. (Parc, dépôt, fabrication de matériaux de construction.).

L'artisanat local est très recherché par les touristes nationaux et étrangers, la poterie de la région est spécifique, on y pratique la vannerie, l'argenterie, la cordonnerie et la tannerie.

#### **IX-5-3 Le tourisme et loisir**

La région se distingue par le grand Erg Occidental, le Touat, le Gourara et le Tidikelt ont toujours été les lieux de transit de caravanes commerçantes assurant la jonction entre l'Afrique noire et l'Afrique du Nord. La région est connue pour le brassage de cultures différentes se traduisant par la richesse du folklore et de la poterie. Les vestiges concernent des *foggaras* et des forteresses séculaires.

De nombreux circuits et boucles éco-touristiques pédestres ou à dos de chameaux sont organisés. Des visites guidées des vieux *Ksour*, par l'admiration de l'architecture locale basée sur le façonnage des briques à partir de l'argile locale et les troncs du palmier dattier.

La *foggara* elle aussi constitue également une curiosité que tout visiteur doit voir.

Actuellement le tourisme, constitue de plus en plus une préoccupation dans toute réflexion sur la problématique du développement et particulièrement dans le Sahara en raison du manque de devise du à la situation actuelle que traverse le pays.

La pratique de la médecine traditionnelle « *Erredim* » est un traitement médical traditionnel et naturel d'arthralgies qui consiste en un enfouissement d'une personne dans le sable des dunes entourant la palmeraie.

La région de Gourara possède des atouts lui permettant d'utiliser sa richesse culturelle et historique pour tirer profit et améliorer la condition de vie de la population locale, car

l'implantation d'un projet touristique n'exige pas des matières premières particulières et un personnel hautement qualifié pour son exploitation.

Si l'opération de développement du secteur touristique est lancée, la ville va avoir des retombées positives dans le secteur d'activité, car le projet de nature touristique permet de dynamiser les moyens de communication, l'artisanat, le commerce de détail, les institutions administratives et financières.

A noter le tourisme peut sauvegarder la *foggara* tout en créant les conditions de l'épanouissement culturel, social et économique des populations locales

### IX-6 L'aspect architectural et touristique

Le Gourara possède des atouts touristiques tel que :

- -L'architecture locale des vieux *ksour* de la région datant depuis des millénaires.
- -Les traditions artisanales et les manifestations culturelles de la région où pratiquement chaque *ksar* a sa propre fête annuelle (*Ziara*).

L'artisanat local est représenté par la confection de sacs à main à partir de palmiers, burnous pour femme (poils de chameau), le *knâa* et la poterie rouge. «*Erredim*» .

Le Gourara doit sa répartition touristique à son site bien particulier, en effet la proximité du Grand Erg Occidental, la palmeraie et le réseau d'irrigation sont ainsi à l'origine de l'attraction de nombreux visiteurs.

#### IX-6-1 L'architecture

La région d'étude présente deux sortes d'architectures:

- -Le ksar (architecture ancienne)
- -Le village colonial (architecture nouvelle).

##### IX-6-1-1 Le Ksar

C'est une structure urbaine ancienne furent réalisées en harmonie avec le climat qui sévit dans les zones sahariennes.

Les premiers constructeurs des *ksour* ont pris en considération ce paramètre qui adapté aux conditions climatiques du Sahara; leur permettaient de construire aisément des habitations très fraîches en été et assez chaude en hiver.



Photo 35: une ruelle au milieu d'un ksar à Ouled Said

Les *ksour* en tant que structure urbaine ancienne contrôlaient les grandes routes d'échanges commerciaux entre les villes côtières du Maghreb et l'Afrique subsaharienne et occidentale, l'origine de l'importance socio-économique qu'il avait aux siècles passés (*photo.35*).

Il n'y a pas un seul *ksar* au Sud du pays qui ne dispose pas d'une *zaouia*, lieu de repos des voyageurs et centre de rayonnement culturel et religieux (*fig.52*).

La *zaouia* a sa propre hiérarchie et fonctionne comme une école, car elle dispense un enseignement religieux important, c'est grâce aux *zaouias* que l'islam a pu s'étendre en Afrique subsaharienne et occidentale du fait du nombre d'élèves qui venaient étudier l'islam et apprendre le coran comme le cas le plus répandu de la *Zaouia* d'ADRAR.

Les *ksour* furent à l'origine de la construction de nombreuses villes dans le Sud du pays.

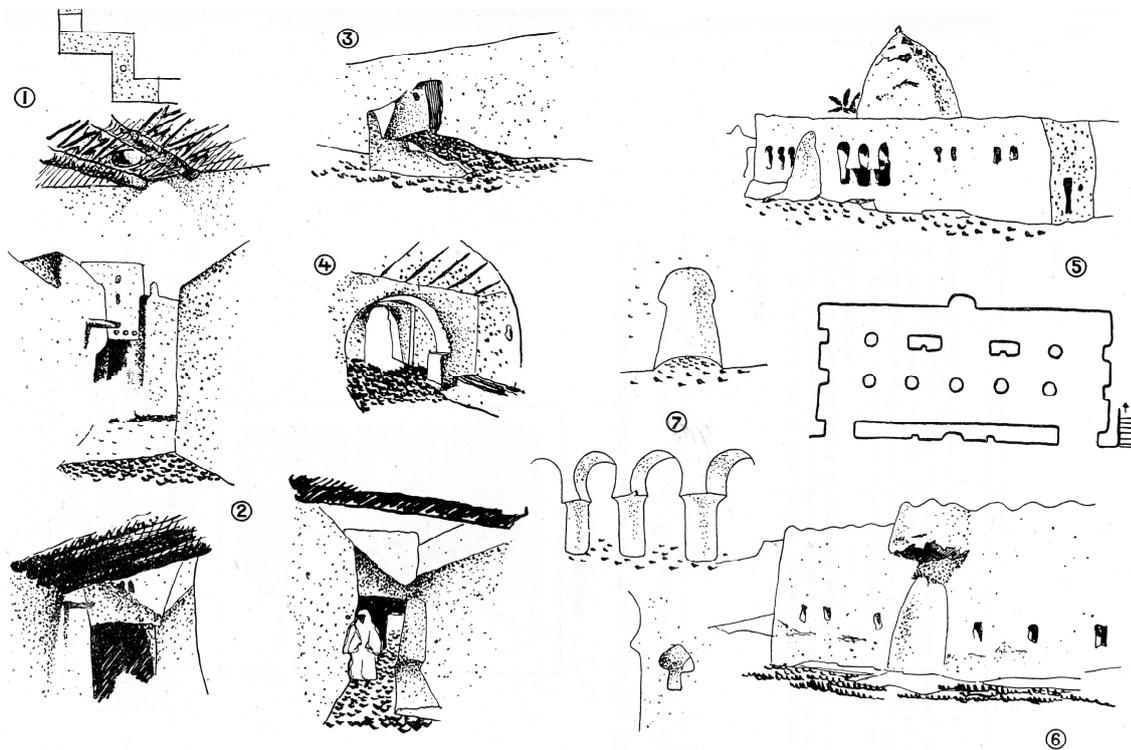


Fig.52 Quelques aspects du *ksar* de Timimoun (d'après G. Bisson 1957).

- |   |  |
|---|--|
| 1 : passage couvert avec détail de plafond : petit regard circulaire ; poutres ( <i>khechbas</i> ) et palmes. |  |
| 2 : rues avec passage couvert.  | 5 : mosquée Sidi Brahim avec ses deux <i>mihrab</i> superposés |
| 3 : entrée d'une maison.  | 6 : mosquée. Sidi Othman.                                      |
| 7 : détails : <i>mihrab</i> , arcades, niche  |  |

### IX-6-1-2. Le village colonial

Le village colonial ou architecture nouvelle, implanté face au *ksar*, il occupe les côtes les plus élevées et réalise avec le *ksar* une ligne de démarcation.

Cette limite abrite aussi des lieux que partageait le village avec le *ksar* tels que le marché et la mairie.

Sa structure morphologique reflète la tradition des grands tracés des villes européennes du vingtième siècle (*Photo .35*).



Photo 36: Construction nouvelle en ville de Timimoun

### Conclusion

La *foggara* est l'élément essentiel de l'organisation de cet espace oasien. La répartition de l'eau des *foggaras* fait l'objet de traditions et de règlements complexes. Elle est vendue et achetée.

Elle fait l'objet de mesures précises et délicates confiées à des spécialistes : *Kiel el-ma, el hassab, chouhoud*. Elle a ses archives, *Ez zemam*.

Le vocabulaire est riche de termes techniques, juridiques et agronomiques. ce patrimoine socioculturel est l'objet de fierté de ces sociétés oasiennes, actuellement il est en voie de disparition en même temps que la technique de la *foggara*.

La *foggara* contribue par ailleurs à maintenir des liens communautaires d'entraide et de solidarités. Les *foggaras* ont exercé une influence extraordinaire sur l'existence et l'évolution des oasis de cette région, à tel point que les conditions sociales elles-mêmes dépendent des particularités de l'organisation hydraulique.

Le *ksar* se trouve toujours sur le cheminement hydraulique. Pour des raisons économiques des eaux, la partie habitat du *ksar* se situe toujours en amont des jardins de palmeraies permettant ainsi à l'eau de servir en premier lieu aux besoins domestiques avant d'atteindre la palmeraie.

Sur le plan culturel une grande activité basée sur les visites (ou *ziarates*) des mausolées ou sont enterrés des personnalités religieuses (marabout) est présente durant toute l'année, les habitants de la région et venant d'autres contrées s'y rencontrent pour un fêter le *Mawlid Ennabaoui*, ces activités ont un grand attrait touristique et attirent de nombreux visiteurs étrangers.

# Conclusion générale et recommandations

## CONCLUSION GENERALE

Le Sahara algérien s'étend sur une superficie de deux millions de km<sup>2</sup>. Il couvre quatre vingt quatre pour cent de la surface de l'Algérie et le quart de la totalité du désert saharien.

Il est caractérisé par trois reliefs bien distincts, les Ergs, formés par d'immenses zones couvertes de dunes, les Regs qui sont des étendues caillouteuses formés de graviers et de galets et les Hamadas qui sont recouvertes de plates formes rocheuses.

Le secteur d'étude se situ au Sud-ouest algérien est caractérisé par à un climat hyper aride à forte évapotranspiration, les précipitations sont rares à faible importance quantitative et variable d'une année à l'autre. Les vents dominants proviennent du Nord Nord-est, l'ensablement menace les *foggaras* et les palmeraies.

La géologie de la région est dominée par l'affleurement du continental intercalaire gréseux qui plonge sous le vaste plateau du Tademaït et se biseaute à l'ouest. L'écoulement des eaux souterraines est orienté Nord est - Sud ouest de Timimoun vers Adrar.

La géométrie et la nature du Continental Intercalaire nous a permis de déterminer les zones préférentielles de la circulation des eaux souterraines ainsi que les structures anticlinales mises en évidence dans la zone ouest du secteur d'étude.

L'étude hydrogéologique a permis d'individualiser un écoulement souterrain d'orientation Nord-Sud ouest qui est le résultat d'une convergence des eaux vers la sebkha de Timimoun et d'Adrar vers Reggan, l'alimentation de l'aquifère se fait principalement par infiltration des eaux de ruissellements en provenance du flanc sud de l'Atlas saharien et des bordures du plateau de Tademaït

Cependant la foggara ne s'arrête pas à sa fonction technique, une conduite d'aménée de l'eau de la nappe souterraine aux terrains à irriguer grâce à une pente appropriée, mais elle constitue un élément essentiel dans l'organisation sociale et économique de la région.

Les débits prélevés par les *foggaras* sont devenus insuffisants pour assurer une irrigation correcte et rationnelle .Dans l'état actuel, l'agriculture étant la base de toute l'économie de cette région est menacée d'asphyxie si des remèdes et solutions ne sont pas apportés rapidement. Pour redresser une telle situation, il conviendrait de satisfaire les besoins en eau, nécessaire à une irrigation correcte.

La technologie moderne a permis l'exploitation des eaux souterraines sans se soucier des limites de réalimentation naturelles. On peut augmenter les débits prélevés mais tôt ou tard les réserves s'épuiseront tandis que l'agriculture et toute l'économie risquent de connaître un point de non-retour, causant ainsi de graves incidences socio-économiques.

Aujourd'hui cette technique d'hydraulique traditionnelle est devenue une des principales caractéristiques de la région, est menacée par la disparition et le tarissement. L'absence de creusement de nouvelles *foggaras*, s'ajoutant à l'inexistence d'entretien de celles qui existent provoquera sans nul doute le déclin du système des *foggaras*.

Ce phénomène ne fait que s'amplifier d'année en année, et en moins d'un demi-siècle le réseau ancien de plus d'un millier de *foggaras* a accusé une régression considérable. Si l'on comptait plus de mille *foggaras* dans la région de Touat- Gourara et Tidikelt au début des années soixante, aujourd'hui on ne recense que quelque 915 *foggaras* pour toutes ces régions.

Ce déclin est favorisé par l'implantation de forages profonds, la création d'emplois non agricoles, l'urbanisation rapide, l'utilisation généralisée de l'énergie électrique, sont autant de facteurs aggravant dans le sens de la mort programmée du système séculaire des *foggaras*.

Si le système de pompage par forages permet d'irriguer des surfaces importantes il n'en demeure pas moins qu'il reste onéreux. Par contre le système de *foggaras* plus rentable, parce qu'il permet d'amener l'eau par gravité, ne permet que l'irrigation d'une surface limitée.

Comme nous l'avons indiqué, l'implantation de forage d'eau profond à proximité de la *foggara* a un impact direct sur celle-ci par l'abaissement du niveau piézométrique de la nappe d'eau souterraine, entraînant une diminution du débit de cette dernière et la programmation de sa mort lente.

Les résultats des essais de nappes ont confirmés l'influence des forages implantés à proximité de la *foggara* par l'exploitation des données de test de la nappe. L'interférence entre forage et *foggara* a été déterminée par le calcul du rayon d'action noté R de trois forages d'eau implantés en amont de la *foggara* de Ouled Nouh, celle de Zaouiât Sidi El Hadj Belkacem, de Lichta et Beni Mehlal. Ces dernières ont tarié après l'exploitation des ces forages.

Par contre le débit de la *foggara* de M'ghaer a beaucoup baissé et il est devenu presque négligeable.

L'analyse chimique de l'eau a dégagé deux faciès prédominants, le chloruré sodique et le sulfaté sodique.

La stratification sociale est fortement hiérarchisée et s'appuie sur une superposition de groupes d'origines différentes.

Au sommet de cette pyramide, nous avons la strate des agents religieux qui comprend deux groupes nettement différenciés au plan du statut social et de l'autorité.

La *foggara* contribue par ailleurs à maintenir des liens communautaires d'entraide et de solidarité. Les *foggaras* ont exercé une influence extraordinaire sur l'existence et l'évolution des oasis de cette région, à tel point que les conditions sociales elles-mêmes dépendent des particularités de l'organisation hydraulique.

Les besoins grandissants (augmentation de la démographie) en eau de la population du Sahara nécessitent des techniques nouvelles qui ont un effet négatif sur la nature. D'où la préservation des *foggaras* est primordiale pour garder l'équilibre naturel.

Pour éviter la disparition de ce patrimoine millénaire universel, il est nécessaire de planifier la gestion de l'exploitation efficace des différents forages pour qu'il n'y ai pas d'interférences avec les *foggaras*, pour ce faire il faudrait procéder à une diminution des débits de pompage, un nettoyage régulier, l'éloignement des forages d'eau en amont de la *foggara* par une distance supérieure à 500 mètres et ne pas imperméabiliser les terrains dans les environs immédiats de ces galeries séculaires.

## Recommandations

*Pour sauvegarder ce patrimoine il faut introduire des techniques modernes, tel que le revêtement des parois des puits et l'utilisation des pipes solides ou en logeant dans la galerie une conduite étanche et suffisamment résistante pour éviter l'écrasement, cette conduite supprimerait également les travaux actuels de dessablages et de curage.*

*- Retenir les parois des puits par un revêtement pour éviter tout éboulement ou effondrements.*

*Faire revivre les foggaras mortes par l'implantation de forages d'eau en amont par alimentation de la galerie.*

*Refaire les essais de pompage de tous les forages d'eau avoisinant les foggaras dans le but de réduire le rayon d'influence et déterminer les nouveaux débits d'exploitations.*

*Il faut éloigner les forages d'exploitation vers la plaine de M'guiden afin d'éviter toute interférence avec les foggaras.*

*Une surveillance des réseaux d'assainissement traversant la foggara afin d'éviter toute pollution possible, Sensibiliser et former les jeunes pour la préservation de ce patrimoine précieux.*

Références  
bibliographiques

## Références Bibliographiques

- MARTIN, A.G. P. 1908** ; Les oasis sahariennes (Gourara, Touat, Tidikelt). Paris
- BISSON J.1957** ; Le Gourara. Etude de géographie humaine, Institut de Recherches Sahariennes, Mémoire n°3, Alger
- BELLIL R.2003** ; Ksour et saints du Gourara. Dans la tradition orale, l'hagiographie et les chroniques locales, C.N.R.P.A.H, ALGER
- TRACHE Sidi Mohammed .2011** ; Adrar, des ksour à la grande ville, *Insaniyat / إنسانيات*, 51-52 | 2011, pp.149-163
- DESPOIS J.,RAYNAL R., 1967** ; Géographie de l'Afrique du Nord-Ouest, Paris, Payot,570p
- DUBOST D., 2002** ; Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algérienne. Ed, CRSTRA. Alger .423p. **DAJOZ R., 1974.** Dynamique des populations. Ed. Masson, Paris 295p.
- OZENDA, P-1983-** Flore du Sahara - PP 662.
- BENSAADA.M .2001** ; Étude Hydraulique de la Foggara de M'ghaer (Timimoune), mémoire de magister Université SAAD DAHLEB de Blida.
- LESLIE JOHN F AND SUMMERIL A, 2006** ; The Fusarium laboratory Manuel Blackwell Publishing, USA, 387 p
- O.N.M. d'Alger** Office National de Météorologie Données climatiques pour la période de 1950 et de la période (1995-2014)
- O.N.M. d'Oran** . Office National de Météorologie Données climatiques pour la période de (1975-2004) et la période de 1980-1993)
- O.N.M. d'Adrar et Timimoun** . Office National de Météorologie Données climatiques de la période de (1995-2004)
- DUBIEF J.1959** ; Le climat du Sahara. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie, Alger, in Idrotecneco (1982c).
- DUBIEF J. 1953** ; Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie ; Service des Etudes Scientifiques ; Alger, Algérie. 451p.
- DUBIEF J.1963** ; Le climat du Sahara .I.R.S. Mémoire hors série tome II Alger 314p
- GAVILAN R. 2005**; The use of climatic parameters and indices in vegetation distribution. A case of the Spanish Sistema Central. Int. J Biometeorol, 50:111-120.
- DE MARTONNE .1962** ; Une nouvelle fonction climatologique : L'indice d'aridité, la météorologie, pp.440-458
- EMBERGER.1952** : une classification biogéographique des climats. Université Montpellier Série botanique, fac7 : 3-47p.
- VERDEIL, P., 1989** ; Abaque pour le calcul du déficit d'écoulement en Algérie. Sem. Sci. Terre, Alger
- SCHÖLLER H. 1941** ; L'influence du climat sur la composition chimique des eaux souterraines vadoses ..(5) , t.11,p. 267-289.

**KILIAN C. 1931** : Les principaux complexes continentaux du Sahara. C.R. Soc. Géol. Fr. Paris, p.

**FABRE J.1976** ; Introduction à la géologie du Sahara algérien. 422p ; SNED , Alger. Algérie

**BUSSON G.1971b** ; Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse, Université Pierre et Marie Curie Paris.

**BUSSON G.1967** ; Carte géologique du bassin Mésozoïque du Sahara Algéro -Tunisien et de ses abords, Planche 2, sous-directeur au Muséum National d'histoire naturelle. Travaux graphiques exécutés par J.Lebeau

**JEAN DUBIEF, KARTHALA.1999** ; L'Ajjer , Sahara central , nombreux domaines abordés concernant une zone du Sahara, notamment orographie , géophysique , géologie , climat , hydrologie ., du tassili au fezzan , du fadnoun à la tadrart .

**CONRAD G. 1969** : L'évolution continentale post-hercynienne du Sahara algérien (Saoura, erg Chech-Tanezrouft, Ahnet-Mouydir). Centre de recherche sur les zones arides. Série géologie n°10, CNRS, Paris, 527p.

**SONATRACH 1982** ; Géologie de l'Algérie Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement.

**BURDON D.J.1977**; Flow of fossil groundwater. Q. J. Eng. Géol. Vol.10. 97-124, 11 fig. 6 tabl.

**MARGAT J. & SAAD K. F. 1984** ; Les nappes souterraines profondes : des mines d'eau sous les déserts ? Unesco ; Nature et Ressources Vol. XX, n°2, avril-juin 1984

**MARGAT J.1990** ; Les gisements d'eau souterraine. La recherche n°221. mai, 1990.

**MARGAT J. 1992** ; Les eaux fossiles. Afrique contemporaine, N°161 (Spécial) 1er trimestre

**PIZZI G. & SARTORI L.1984**; Interconnected groundwater systems simulation (IGROSS) – Description of the system and a case history application. J. Hydrol., 75: 255-285.

**O.S.S.2002** ; Système Aquifère du Sahara Septentrional : De la concertation à la gestion commune d'un bassin aquifère transfrontière. Projet SASS. Rapport interne. Tunis, Tunisie. 58p.

**CORNET A.1952** ; Essai sur l'hydrologie du Grand Erg Occidental et des régions limitrophes. Les foggaras, Alger : travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, t. VIII.

**CORNET A.1961** ; Initiation à l'hydrogéologie saharienne. Hydraulique et équipement rural. Service des études scientifiques. Rapport, Alger, Algérie. 108p.

**CORNET A. & ROGNON P.1961** ; Les débits circulant dans la nappe du CI Sahara alg. Pub. 57 AISH (coll. Athènes) et Chron. d'hydrog. n°11,1967.

**CORNET A.1964** ; Introduction à l'hydrogéologie saharienne ; Rev. de géogr. phys. et de géol. dyn

**CONRAD G. & FONTES J. C., 1972**; Circulations, aires et périodes de recharge dans les nappes aquifères du Nord-Ouest Saharien : données isotopiques (18O, 13C, 14C). CRAS , 275, 165-163. 253

**CONRAD G. & FONTES J.C.1970** ; Hydrologie isotopique du Sahara Nord-Occidental. "Isotope Hydrology 1970", A.I.E.A., Proceed. Symp. Vienne (1970) 405-419.

**WEC ALGERIE. 1995** Géologie de l'Algérie, Schlumberger. Wec (Well evaluation Conférence) Sonatrach pp1-93

**UNESCO.1972** ; Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional, Rapport sur les résultats du Projet REG-100, UNESCO, Paris.

**CASTANY G 1982** ;, Hydrogéologie. Principes et méthodes. Coll. Sciences sup., Dunod, Paris, . France 238 p.,

**OSS (2003a)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 2 : Hydrogéologie. Projet SASS.Rapport interne. Coupes. Planches. Annexes. Tunis, Tunisie. 275p.

**OSS (2003b)** : Système Aquifère du Sahara Septentrional. Volume 4 : Modèle Mathématique. Projet SASS ; Rapport interne. Annexes. Tunis, Tunisie. 229p

**OULD BABA SY M.2005** ; recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara septentrional ; thèse de doctorat en géologie, Université de Tunis El Manar, département de géologie

**SALEM, A. 1988** ; *Foggara et Kettara : un système millénaire de captage des eaux*, In *L'eau et Maghreb*, Ed. PNUD, (pp 131-137).

**HAMADI AHMED EL HADJ- IN KOBORI. 1982** ; Quelques observations sur le système des eaux des foggaras à Aoulef.

**GOBLOT H. 1963** ; Dans l'ancien Iran, les techniques de l'eau et la grande histoire. In: Annales. Économies, Sociétés, Civilisations. 18<sup>e</sup> année, N. 3., pp. 499-520.( doi : 10.3406/ahess.1963.421011)

**GOBLOT H. 1979** ; Les Qanats. Une technique d'acquisition de l'eau. École des hautes études en sciences sociales, Centre de recherches historiques, Mouton, Paris, 231 p

**BISSON J.1957** ; Le Gourara. Etude de géographie humaine, Institut de Recherches Sahariennes, Mémoire n°3, Alger

**GRANDGUILLAUME G.1975** ; Le droit de l'eau dans les foggaras du Touat au XVIII<sup>e</sup> ", Revue des études islamiques, XLIII/2, Paris : Geuthner.

**GUNTHER GARBRECHT.1983** ; Les ouvrages hydrauliques des anciens : Les leçons de l'histoire. Revus d'impact n°1 : sciences et société.

**HERBAUT L.1934** ; Les Foggaras, leur histoire, leur établissement, leur législation.

**ANSARI TAHA 2005**, (Directeur Régional sud-ouest, Adrar, Algérie); Le système traditionnel d'exploitation des eaux souterraines (*Foggara*), Colloque International sur les ressources en eaux souterraines dans le Sahara (CIRESS), Ouargla-12 et 13 décembre 2005

**ANSARI TAHA 2015**, (Directeur Régional sud-ouest –Adrar-Algérie) : La préservation des foggaras dans la province d'Adrar en Algérie.. 26th Euro-mediterranean Regional Conference and Workshops « Innovate to improve Irrigation performances » 12-15 October 2015, Montpellier, France

**AMIN SAEIDIAN 2013**, Qanat, traditional irrigation infrastructure system in Iran (Elixir Sustain. Arc. 55 [2013] 12743-12747) Department of Architecture, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, [IRI].

**ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), Adrar; 1998 et 2001** : Inventaire des *foggaras* du Touat, Gourara et Tiddikelt

**A.N.R.H. (Agence Nationale des Ressources Hydriques). 2004.** Etat des *foggaras* au Touat- Gourara-Tidikelt. Sahara Algérien. Direction Régionale. Adrar

**A.N.R.H. (Agence Nationale des Ressources Hydriques). 2011 et 2014.** Inventaire des *foggaras* de la wilaya d'Adrar .Direction Régionale. Adrar

**KOBURI .I 1982** Case studies of foggara oasis in the Algerian and Syria, university Scientific of Tokyo Collaborating authors : Khaled Assad, Hammadi Ahmed El Hadj, Motoko Katabura, Sachio Kubo, Nobuaki Nutahara, Yutaka Takahaasi, Kuji Yag

**CAPOT-REY(R).1951** ; Sur quelques formes de relief de l'Adrar des Iforas, Travaux IRS, tome VII : 195-199."Carcassonne. La paix des braves"-1989, Paris, Le prés aux clercs.

**GRANDGUILLAUME G 1973**, "Régime économique et structure du pouvoir : le système des foggara du Touat", *Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée*, n° 13-14, Aix-en-Provence, p. 437-457.

**BOUALGA. 1981** ; Timimoun, l'oasis rouge du Gourara, Thèse de doctorat, (sous la direction de J. Berque), Université R. Descartes, Paris- Sorbonne.

**BENSAADA M. & REMINI .B. 2014**; Water wells' exploitation and its impact on the drying-up of *foggaras* (The Case of the *Foggara* of M'ghaer, Timimoune, District of Adrar, Algeria) Article is published with open access at Springerlink.com

**ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques), Adrar ; 1997** : Campagne d'inventaire des forages , enquête sur les débits extraits en 1994 et actualisation 1996-1997.

**JACOB,C.E.1944.** Note on determining permeability by pumping test under water table conditions. U.S. geological Surcev. Open File Report.

**JACOB,C.E.1947.** Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Trabsactions ASCE,112;1047-1064.

**JACOB,C.E.1963.** The recovery method for determining the coefficient of transmissivity.In Methods of determining Permeability, Transmissivity and Drawndown. U.S.Geological Surcey Water-Supply Paper 1536-I,pp.281-292.

**THEIS C.V 1962** ; The relation between the lowering of the piezometric surface and and the rate and duration of dissharge of a well using groundwater storage. Am.geoph.union Trans, 16<sup>th</sup> ann.meeting, p.519-524, Washington.

**JACOB,C.E.1950** ; Flow of ground water. In ROUSE, *engineering hydraulic*, chapitre 5, p.321-386

**SCHOELLER H.1962** ; Les eaux souterraines. Ed Masson et Cie, Paris

**RODIER J.1996** ; L'analyse de l'eau, 8<sup>ème</sup> Ed. Dunod, Paris : 1383p.

**RODIER, J. 2009** ; L'analyse de l'eau / Jean Rodier, Bernard Legube, Nicole Merlet et coll. - Paris : Dunod,.

**ZOUHRI, L. AND CARLIER, E.2002**; Hydrochemical Features of a Coastal Aquifer, Morocco. Journal of Environmental Hydrology, 10, 2

**AHOUSI K.E, SORO N, SORO G, LASM T, OGA MS, ZADÉ S. 2008.** Groundwater Pollution in Africans Biggest Towns: Case of the Town of Abidjan (Côte

**SORO G. 2010** ; Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire): hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du District de Yamoussoukro et du département de Tiébissou. Thèse d'Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 250

- KOUASSI AM, YAO KA, AHOUSSE KE, SEKI LC, YAO NA, BIÉMI J. 2010.** Caractérisation hydrochimique des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(5): 1816-1838.
- SCHOELLER H. : 1955-1956 ;** Géochimie des Eaux souterraines. Application aux eaux des gisements de pétrole. *Revue de l'Institut Fr. du Pétrole et Ami. des combustibles liquides*, n° mars, avril, juin, juillet, août 1955 et I vol. 213 p. Ed. Technique, Paris, 1956
- SIMLER R 2013 ;** Logiciel d'hydrochimie, diagramme téléchargeable sur <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>
- BELLIL R. 1985 ;** Quelques aspects du changement social au Gourara, *AWAL, Revue d'Etudes Berbères*, 1, (pp. 58-76).
- BELLIL, R., 1989 ;** “ Gestion des conflits intercommunautaires et sacralisation de l'espace : cas du Gourara ”, *Tradition et modernité dans les sociétés berbères*, Textes réunis et présentés par T. Yacine, Editions AWAL (publications du centre d'Etudes et de recherches Amazigh), Paris, (pp. 101-133).
- BELLIL R.1993 ;** Migration et évolution de deux ksour du Gourara : At Sâïd et Timimoun, *Etudes et Documents Berbères*, n° 10, (pp. 139-169).
- BELLIL R.2002 ;** Les Zénètes du Gourara d'hier à aujourd'hui, maître de conférences à l'Inalco, Paris. *Article publié dans le numéro 24 de la revue passerelles*,.
- CHEYLAN J.P.1990 ;** les oasis saharienne à *foggara* : mutations sociale sous forte contraintes écologiques, revue Mappemonde, Montpellier,.
- ROGET, J., 1945 ;** Fêtes religieuses et réjouissances païennes au Gourara, *trav. de l'I. R. S.*, III
- GUILLERMOU Y. 1993 ;** Survie et ordre social au Sahara : les oasis du Touat-Gourara-Tidikelt en Algérie *Cahiers des Sciences Humaines*, Vol. 29, n° 1, Paris,
- Côte M., 2002 ;** « Des oasis aux zones de mise en valeur - l'étonnant renouveau de l'agriculture saharienne », *Revue Méditerranée*, tome 99, No. 3.4, 5-14. DOI : 10.3406 / medit. 2002.3253
- OUGOUAG-KEZZAL, C. 1978-79 ;** Les manifestations religieuses et populaires lors de la fête du *mawlid* au Gourara. Leur sens et leur portée, *LIBYCA*, Tomes XXVI-XVII, Alger.
- SCHACHT J.1954 ;** Sur la diffusion des formes d'architecture religieuse musulmane à travers le Sahara, *Travaux de l'I.R.S.*, T. XI., Alger.
- MAMMERI M.1984 ;** L'Ahellil du Gourara, Paris : Ed. de la M.S.H. Réédition CNRPAH, Alger, 2003
- BASSET A.1937 ;** Les ksour berbérophones du Gourara ”, *Revue Africaine*, LXXXI, 3-4.

### ***Documents Cartographiques Utilisés***

- ✓ Cartes topographiques de Timimoun à l'échelle :1/200.000, dressée en 1961, dessinée et publié par l'I.N.C
- ✓ Carte géologique de Timimoun. Echelle : 1/500.000  
Carte publiée en 1974. Par M.Madjid Oussedik : Direct. des mines et de la géologie au ministère de l'industrie et de l'énergie M.Omar merabet : Chef service géologique de la république démocratique et populaire à Alger.
- ✓ Carte géologique du Nord Ouest de l'Afrique à l'échelle :1/5000.000  
Carte réalisée sous la direction de J. Fabre. Au (CNRS).

### ***Sites internet***

<http://www.carte-algerie.com/carte-algerie-region-departement.html>

<http://www.atlas-monde.net/afrique/algerie/>

[www.insid.dz/realisation/did/D3.pdf](http://www.insid.dz/realisation/did/D3.pdf)

[http://www.lha.univ-avignon.fr/Utilisateurs/Roland/Roland\\_\\_Simler.htm](http://www.lha.univ-avignon.fr/Utilisateurs/Roland/Roland__Simler.htm)

<http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>

<https://www.oieau.fr/ReFEA/index.html>

# A N N E X E S

*Tab.1 Moyennes mensuelles des températures maximales en °C*

Année	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	17,7	23,2	25,2	28,8	39	40,7	44	45,2	38,6	29,7	26	21	31,6
1996	21,7	20,1	27,1	31,3	35,3	40,1	44,6	45,4	38,7	31	24,4	20,9	31,8
1997	20,6	23,3	25,6	29,5	36,6	42,8	46,3	42,7	39	31	26,1	20,9	32,1
1998	20,7	22,4	25,7	33,1	34,9	40,9	45,3	44,3	41,4	31	25,5	17,8	32
1999	18	19,3	26,9	32,9	39,3	44,3	46,6	4,4	41,4	35,4	23,5	18,4	32,7
2000	17,8	22,4	27,8	32,3	36	40,9	45,7	42,8	39,3	29,8	26,5	22,1	32
2001	20,9	22,7	31,6	31,1	36,2	43,7	46,9	44,3	42,1	36,7	26,3	20,7	33,7
2002	19,1	23,5	28,3	30,4	37,6	41,8	46,6	45	40,2	33	24,8	22,5	32,8
2003	18,9	20,7	27,3	31,5	37,4	42,4	45,9	42,5	39,3	35,2	24,4	19,4	32,1
2004	20,1	23,1	27,9	30,1	33,3	41,7	43,9	44,9	37,8	35,7	21,9	18,6	31,6
moyenne	19,5	22,1	27,3	31,1	36,6	41,9	45,6	44,2	39,8	32,9	24,9	20,2	32,2

*Tab. 2 Moyennes mensuelles des températures minimales en °C*

Année	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	2,9	7,8	10,1	14	21,8	23,7	26,8	28,6	25,3	17	11,4	8,8	16,6
1996	8,3	7,9	13,2	16	20,4	24,8	28	29	23,4	15,7	10,7	6	17
1997	7,2	8,2	9,5	15,2	20,4	26,3	28,6	28,4	24,3	18	10,8	6,7	17
1998	6,3	9,2	10,5	17,3	19,5	25,2	28,4	27,5	26,7	16,8	9,7	4,5	16,8
1999	6	6,1	1	18	23	27,7	29,9	28,8	26,6	20,1	10,8	4,7	17,9
2000	3,8	6,3	11,7	16,6	20,9	24,9	28	26,3	22,9	15	10,9	7,1	16,2
2001	4,4	5,6	14,2	15,4	19,6	25,9	28,9	27,9	25,4	20,7	11,3	7,2	17,3
2002	4,4	7,3	12,2	15,3	21,5	24,6	29,3	29,7	25,2	17,8	11,2	7,2	17,2
2003	3,9	6,6	11,2	15,4	21,5	26,2	29,8	26,9	24	20,9	10,2	5,3	16,9
2004	5,4	9,9	12,3	16	18,6	24,7	27,5	28,7	22,4	19,8	9,9	6,6	16,8
moyenne	5,3	7,5	11,7	15,9	20,7	25,4	28,5	28,2	24,6	18,2	10,7	6,4	17

*Tab.3 Moyennes mensuelles des températures moyennes en °C*

Année	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	10,3	15,5	17,7	21,4	30,4	32,2	35,4	36,9	32	23,3	18,7	14,9	24,1
1996	15	14	20,1	23,7	27,8	32,4	36,3	37,2	31	23,4	17,5	13,5	24,4
1997	13,9	15,8	17,6	22,3	28,5	34,5	37,4	35,6	31,6	24,5	18,5	13,8	24,6
1998	13,6	15,8	18,1	25,2	27,2	33,1	36,8	35,9	34,1	23,9	17,6	11,2	24,4
1999	12	12,7	19,4	25,5	31,2	36	38,2	37,1	34	27,7	17,2	11,6	25,3
2000	10,8	14,3	19,7	24,5	28,5	32,9	36,8	34,5	31,1	22,4	18,7	14,6	24,1
2001	12,7	14,2	22,9	23,2	27,9	34,8	37,9	36,1	33,7	28,7	18,8	13,9	25,5
2002	11,8	15,4	20,3	22,9	29,6	33,2	38	37,3	32,7	25,4	18	14,8	25
2003	11,4	13,6	19,3	23,4	29,5	34,3	37,8	34,7	31,7	28,1	17,3	12,4	24,5
2004	12,8	16,5	20,1	23	25,9	33,2	35,7	36,8	30,1	27,8	15,9	12,6	24,2
moyenne	12,4	14,8	19,5	23,5	28,6	33,7	37	36,2	32,2	25,5	17,8	13,3	24,6

*Tab.4 Nébulosité moyenne mensuelle en dixième du ciel couvert, J. Dubief (1959)*

Année	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nove	Déc	Annuel
1995	1	2	0	2	1	1	1	2	2	1	3	1	17
1996	2	2	1	3	3	0	2	1	0	2	2	2	20
1997	2	0	2	0	1	1	1	3	2	4	1	2	19
1998	2	0	1	1	2	2	1	0	2	2	3	2	18
1999	1	1	0	3	0	0	0	0	1	1	0	3	10
2000	2	2	1	1	3	2	2	2	0	2	2	1	20
2001	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	16
2002	0	0	1	1	3	4	2	2	0	4	3	0	20
2003	1	2	4	2	2	1	0	1	2	2	4	0	21
2004	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2	3	15
Nbre	1,3	1,3	1,3	1,5	1,7	1,3	1	1,3	1,2	2	2,1	1,6	17,6

*Tab.5 Humidité relative maximal en (%)*

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nove	Dèce	Annuel
1995	73	74	69	56	31	27	20	22	42	63	56	82	51
1996	68	67	56	40	32	33	22	18	36	45	59	58	44
1997	69	53	43	51	33	22	18	35	42	67	65	81	48
1998	67	57	41	34	33	27	20	22	36	50	56	73	'43
1999	78	64	50	27	20	23	21	25	36	39	63	73	43
2000	69	51	40	23	34	19	19	26	36	56	56	70	42
2001	60	49	32	32	31	25	17	28	32	37	60	71	39
2002	64	42	34	27	32	22	21	29	36	55	60	68	41
2003	73	63	50	38	35	26	22	28	32	44	67	69	46
2004	71	75	52	56	39	31	26	25	34	37	78	79	50
moyenne	69	59	47	38	32	25	21	26	36	49	62	72	45

*Tab. 6 Humidité relative minimale (en %)*

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	26	26	25 -	20	10	10	9	9	16	24	17	33	19
1996	22	24	18	12	11	11	9	9	12	14	20	18	15
1997	24	16	14	18	10	9	9	12	14	26	20	26	16
1998	23	21	13	10	10	10	9	10	13	18	18	25	15
1999	29	20	13	10	9	9	9	10	12	12	22	24	15
2000	22	14	12	9	12	9	9	9	11	18	16	23	14
2001	15	12	11	11	10	9	9	10	10	12	18	24	13
2002	21	14	12	9	10	9	9	10	13	18	23	22	14
2003	24	23	15	14	13	10	10	12	13	18	27	28	17
2004	24	29	18	17	12	11	11	10	11	13	31	30	18
moyenne	23	20	15	13	11	10	9	10	13	17	21	25	16

*Tab.7 Humidité relative moyenne (en%)*

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Annuel
1995	47	47	43	35	18	15	12	13	26	41	34	58	33
1996	44	42	35	23	19	19	14	12	22	27	37	36	27
1997	44	32	26	30	18	13	12	21	25	45	39	50	30
1998	43	36	24	19	18	16	13	13	23	31	33	46	26
1999	52	39	28	15	13	13	13	14	21	24	40	46	27
2000	43	30	22	14	19	11	11	15	21	33	34	43	25
2001	34	26	18	19	17	14	11	16	18	23	36	45	.. 23
2002	39		25	20	15	17	13	12	17	22	34	39	42
2003	46	41	30	23	21	15	14	17	20	29	45	47	29
2004	46	48	31	34	23	18	16	15 <sup>4</sup>	20	23	54	54	32
moyenne	44	37	28	23	18	15	13	15	22	31	39	47	

*Tab.8 Évaporation moyenne mensuelle (mm) station d'Adrar période (1995 à 2004)*

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	155,8	222,3	326,6	425,4	522,4	500,6	531,2	553,4	426,2	279,6	188	117,1	4248,6
1996	174,9	188,8	279,4	339,2	487,4	476,9	533,1	679	485,2	361,9	208,3	178,5	4392,6
1997	177	207	257,1	312,9	452,8	489,5	563,6	527,4	498,9	271,5	213,8	161,8	4133,3
1998	177,7	224,7	337,4	443,6	446,8	573,5	693,5	624,8	460,3	368,9	190,9	149,3	4691,4
1999	138,4	155,8	249,5	443,7	476,7	576,3	665,7	625	458,8	409,5	195,1	155,8	4533,1
2000	186,9	191,3	300,6	443,8	370,7	534,8	630	618,2	418,4	253,8	177,2	144	4175,2
2001	150,1	180,3	305,8	443,9	425,3	507,6	569,3	474,1	363,2	348,4	164,2	160,1	3982,2
2002	160,5	182,7	281,5	443,1	472,9	514	556	444,5	341,3	249	178,3	141,3	3853,7
2003	114	134,4	250,8	443,11	403,9	465,9	524,9	451,1	359,7	274,1	162,1	117,1	3526,1
2004	121,5	184,5	241,1	443,12	407,1	430	519,6	501,2	369,4	315,7	142,5	114	3607,4
moyenne	155,7	187,2	283	443,13	446,6	506,9	578,7	549,9	418,1	313,2	182	143,9	4114,4

*Tab. 9 Cumules mensuels des précipitations en(mm)*

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Annuel
1995	0	3,6	1	1	0	0	0	0	1,4	2,3	2,3	22,9	33,6
1996	2	25	1,1	0	10	0	0	0	0	1	3	0	36,7
1997	6	0	0	8	0	0	0	8,8	3,6	11	0	0	24,8
1998	0	0	2,2	3,3	3	3,2	0	0	0	0	0	i	9,1
1999	77,4	3	0	2,1	0	0	0	12,1	0	1	0	0	92
2000	0	0	3,6	7	12,1	0		0	1,5	0	0	0	17,9
2001	0	0	0	0	0	5	0	1	0	5,6	0	18	12,5
2002	0	0	1,8	0	0	0	0	6	6	5	1,4	0	4,9
2003	1,9	6,7	1	1	0	1	0	1	1	1	2,1	0	11,3
2004	3,7	0	9	70,7	1	1	1	1	2	0	7,5	4,6	96,1
moyenne	8,4	3,6	1,9-	7,8.	2,3	8	0	2,2	7	2	1,4	2,9	33,9

*Tab.10 Nombre des jours de pluies*

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Annuel
1995	0	2	1	1	0	0	0	0	6	5	1	2	18
1996	2	5	2	0	2	0	0	0	0	1	1	0	13
1997	1	0	0	5	0	0	0	1	1	5	0	0	13
1998	0	0	2	4	3	2	0	0	0	0	0	1	12
1999	2	1	0	2	0	0	0	2	0	1	0	0	8
2000	0	0	1	1	3	0	0	0	2	0	0	0	7
2001	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	2	6
2002	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	1	0	6
2003	1	2	1	1	0	1	0	1	1	1	3	0	12
2004	2	0	2	5	1	1	1	1	2	0	5	2	22
moyenne	8	1	1	1,9	9	6	1	7	1,3	1,6	1,1	7	11,7
Max.	2	5	2	5	3	2	1	2	6	5	5	2	22

*Tab.11 Précipitations moyennes mensuelles en mm*

année	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	0	0,11	0,03	0,3	0	0	0	0	0,04	0,07	0,07	0,73	1,35
1996	0,06	0,8	0,03	0	0,32	0	0	0	0	0,03	0,1	0	1,34
1997	0	0	0	0,26	0	0	0	0,28	0,12	0,35	0	0	1,01
1998	0	0	0,07	0,11	0,09	0,1	0	0	0	0	0	0,032	0,402
1999	2,4	0,1	0	0,07	0	0	0	0,39	0	0,032	0	0	2,992
2000	0	0	0,11	0,23	0,39	0	0	0	0,05	0	0	0	0,78
2001	0	0	0	0	0	0,16	0	0,032	0	0,18	0	0,58	0,952
2002	0	0	0,05	0	0	0	0	0,19	0,2	0,16	0,04	0	0,64
2003	0,06	0,23	0,03	-0,03	0	0,033	0,032	0,032	0,03	0,032	0,07	0	0,579
2004	0,11	0	0,29	2,35	0,03	0,033	0	0,032	0,06	0	0,25	0,14	3,295
moyenne	2,63	1,24	0,61	3,35	0,83	0,326	0,032	0,956	0,5	0,854	0,53	1,482	13,34

*Tab.12 Durées mensuelles des précipitations en heures*

Années	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1998	0	0	1,1	1,6	1,4	3	0	0	0	0	0	1	4,5
1999	13,8	2,6	0	1,4	0	0	0	4	0	2	0	0	18,4
2000	0	0	1,2	3	10	0	0	0	1,3	0	0	0	12,8
2001	0	0	0	0	0	5	0	1	5	6	0	1,3	3
2002	0	0	6,5	5	0	0	0	1	6	1,4	8	0	9,9
2003	3,2	5	5	1,1	0	1	0	5	1	2,6	4,7	0	17,8
2004	1,5	0	14,1	23,9	1	2	1	2	2	0	8,7	7,1	56,1
moyenne	1,9	8	2,3	2,9	1,1	1	0	1	3	5	1,4	9	12,2

*Tab.13 : Dépouillement des données de forages pétroliers*

ID	Z	PROF	CT	TUR	CENO	CI	JUR	TRIAS	PALEOZ	RU	GRES
112 M4	295	151	295	295	295	295	195	195	195	73	100
124I8	775	150	775	746	703	590					
37I8	764	363	764	764	691	584					
45M5	318		318	318	318	318	135	23	23	295	37
Ab 1	730		730	634	604	470	-544			670	19
Ab2	679		679	679	609	529	-538			760	39
Ae1	594	-556	564	594	594	282	-440			1034	58
Ae2	707	290	707	707	686	455					
Af2	550		550	550	397	397	-584			600	62
AF3	653	343	653	653	593	556					
AFF-1	429	4034	429	429	429	351	-266	-266	-266	702	90
Ag1	590	-638	590	318	318	318	-589	-638	-638	1150	44
Ah1	550	-505	550	535	535	535	-405	-607	-1008	723	64
Ai 1	440	-360	440	440	427	327	-251	-251	-251	430	72
Aj 1	540	-758	540	540	540	478	-658	-969		1198	25
Ak 1	490	-997	490	490	490	386	-409	-1176		1179	36
AMg 1	659	-141	659	499	499	499	164	49	-141	269	33
Be 1	597	-609	597	597	517	378	-609	-609	-609	976	53
Bel 1	640	-492	640	560	540	494	-492	-492	-492	957	33
Bj1	359	-938	359	359	359	359	85	-31	-31	274	47
BSB-2	724	2400	724	724	698	620	6	-1057	-1899	626	34
BTJ-1	683	2580	683	447	447	447	-213	-333	-414	896	35
BZ1	285		285	285	285	285	285	285	285		
CMJ-1	707	2873	707	597	479	363	-452	-1099	-1972	401	59
Dea1	480	-475	480	480	480	480	-238	-375	-475	718	57
Dj 101	318	60	318	318	318	318	40	40	40	275	65
DJD-1	373	3483	373	196	96	-17	-946	-1305	-1324	919	0
DJHN-1	268	5166	268	268	268	268	27	27	27	241	45
ECF-1	359	4274	359	359	359	359	115	115	115	247	94
Esa1	398	-1873	398	398	398	398	44	-112	-112	167	80
Esa2	406	-435	406	406	406	406	92	-94	-94	201	100
FCH-1	441	3151	441	441	441	441	-130	-194	-194	575	0
FEZ-1	465	1336	465	465	465	465	-46	-162	-162	511	59
FF10	840	-720	840	840	840	650	-570	-670	-720		
FF6	820	-750	820	820	700	600	-600	-700	-750		
FF7	850	-650	850	850	850	850	-450	-550	-650		
FOK-1	386	1540	386	386	386	386	-433	-433	-433	824	100
FZ-1	312	1680	312	312	312	312	90	90	90	222	85
GCH-1	388		388	388	388	388	67	67	67	321	
GE 1	403	-867	403	403	403	403	-669	-767	-867	670	100
Gem 1	506	-486	506	506	506	506	-230	-386	-486	736	60
GF-3	346	2506	346	346	346	346	50	50	50	296	86
GK101	525		525	290	290	290	-135			545	27
GM 1	530	-1350	530	284	284	284	-155	-262	-290	500	20
Ha 1	408	-500	408	408	408	408	-291	-346	-346	700	31
Hal 1	475	-600	475	475	475	475	-309	-475	-543	784	51
HBG-1	472	1600	472	472	472	472	336	336	336	136	100
Hbh1	500	-268	500	296	296	296	-88	-168	-268		
HBL-1	683	3499	683	485	485	434	-171	-620	-664	407	
HMK-1	684	-2359	684	435	435	325	-359	-1429	-1567	1007	60
HNe 2	449	-411	449	449	449	449	-182	-261	-261	280	100
HNe1	448	-1404	448	408	408	408	-292	-375	-375	740	35

<b>Hr 1</b>	760		760	760	700	636	-371			1007	32
<b>Ir 1</b>	415	-138	415	415	380	345	-93	-93	-93	470	74
<b>IS 1</b>	280	50	280	280	280	280	100	100	100		
<b>Jo1A</b>	360	-646	360	360	360	360	-18	-168	-168	470	89
<b>Kb 1</b>	480	-523	480	480	420	338	-423	-423	-423	540	69
<b>KB-2</b>	463	3828	463	463	463	313	-390	-390	-390	725	70
<b>Ke 1</b>	370	-263	370	370	370	370	-163	-163	-163	418	88
<b>KHL-1</b>	944	5193	944	912	797	660	-975	-4152	-4152	1254	21
<b>KL1</b>	175		175	175	175	175	105	105	105		
<b>KZ101</b>	450	349	450	450	450	450	393	393	393	57	
<b>KZ102</b>	439	286	439	439	439	439	299	299	299	140	
<b>KZ103</b>	405	306	405	405	405	405	345	345	345	60	
<b>KZ104</b>	413	286	413	413	413	413	313	313	313	100	78
<b>LFA-1</b>	604	2504	604	433	433	433	-654	-898	-998	1258	35
<b>LTN-1</b>	332	1850	332	332	332	332	-414	-414	-414	745	92
<b>MA-1</b>	580	-546	580	370	280	206	-446	-446	-446	600	0
<b>MED-1</b>	761	3178	761	559	533	440	-171	-1714	-1873	611	38
<b>MGD-1</b>	819	3956	819	529	469	407	-528	-1329	-2212	180	72
<b>MJB-1</b>	320	2991	320	320	320	320	-160	-160	-160	475	49
<b>MSR-1</b>	338	2002	338	338	338	338	-233	-233	-233	571	47
<b>Ni1</b>	659	-141	659	475	475	475	40	-51	-141	620	30
<b>Ni3</b>	785		785	645	600	550				180	44
<b>Nm1</b>	550	-50	550	550	550	550	186	141	-50	363	19
<b>OBg1</b>	710		710	370	370	370	-774			1090	51
<b>Of 1</b>	280	-173	280	280	280	280	-73	-73	-73	310	68
<b>OR1</b>	550	-2029	550	280	280	280	-340	-446	-494	890	34
<b>OR2</b>	700	1921	700	440	440	440	-500	-645	-695	900	44
<b>OR3</b>	648	-1186	648	442	442	442	-132	-361	-418	780	71
<b>OR4</b>	653	1895	653	437	437	437	-287	-343	-390	500	60
<b>OS1 AI</b>	460	-825	460	280	200	65	-725	-725	-825	710	83
<b>OSB-1</b>	387	2611	397	317	232	63	-946	-2081	-2280	1009	77
<b>OTg 1</b>	679	-954	679	384	384	384	-854	-954	-954	1151	36
<b>REG-7</b>	630	3043	630	630	630	430	-220	-220	-220	650	52
<b>Rg 2</b>	631	-369	631	551	485	406	-188	-188	-188	570	75
<b>Rj 3</b>	343	90	343	343	343	343	190	190	190	60	100
<b>Rj1</b>	343	-543	343	343	343	343	264	212	212	79	
<b>Rj2</b>	340	-217	340	340	340	340	250	191	191	90	
<b>Rk 1</b>	390	-203	390	390	390	390	-103	-103	-103	350	80
<b>Taj 1</b>	840		840	537	474	398	-226	-528	-628	1200	71
<b>TBR-1</b>	305	2002	305	305	305	305	3	3	3	302	96
<b>Tj 1</b>	630	-370	630	504	443	336	-242	-242	-242	542	59
<b>Tk 103</b>	270	-362	270	252	252	252	-262	-262	-262	352	45
<b>Tk 104</b>	360	-330	360	360	360	360	-230	-230	-230		
<b>TK1</b>	700	-576	700	628	628	628	628	628	628		
<b>TL 1</b>	550	-650	550	343	279	195	-510	-510	-510	682	37
<b>TRZ-1</b>	409		409	409	409	409	294	294	294	115	52
<b>Tt 1</b>	281	-94	281	281	281	281	6	6	6	226	0
<b>Uc 101</b>	800		800	430	390	324	-510			390	62
<b>ZB 1</b>	580	-1790	580	-540	-590	-1033	-1790	-1790	-1790		
<b>ZRF-2</b>	449	2616	449	449	353	212	-330	-560	-560	542	70

Tab. 14 Inventaire des Forages de la Daïra de Timimoun

N°	Localité	xE	yN	Z(m)	H(m)	date réel	Prof (m)	Q(l/s) mob	Q(l/s) extrait	NS (m)	ND (m)	Usage	Mise en Service	Etat forage	Q m <sup>3</sup> /an	Observation
01	TimimounI	00 16 15	29 14 00	313	280	1984	150	35	35	32	37.5	AEP	1985	Bon	181440	Exploité
02	" " II	00 16 00	29 13 00	314	274.5	1989	"	25	25	39.7	45.7	"	1998	"	777600	Exploité
03	" " III	00 15 10	29 13 50	317	276.5	1990	"	44		40.5	55.81	"		Comblé	0	Non Exploité
F4	" " IV	00 15 20	29 14 15	315	274.5	"	"	50	45	40.1	54.22	"	1992	Bon	139968	Exploité
F5	" " V	00 16 10	29 14 00	315	311.5	1992	"	35	40	33.4	47.3	"	1994	"	124416	Exploité
06	B.Lahmeur	01 37 30	29 45 20	373		"	125	20	20	4	27.7	"	1992	"	51840	Exploité
07	Badriane 1	00 23 30	29 19 30	322	313	1984	120	40	"	9.07	38.39	"	1997	"	103680	Exploité
08	Badriane 4	00 23 30	29 23 30	272	247.8	1989	136	36	30	24.2	47.32	"	1993	"	155520	Exploité
09	O/Said	00 14 00	29 25 00			1987	103					"	/	Mauvais	0	Abandonné
10	O/Said 2	00 23 30	29 23 40	320	229.9	1994	138	6		27.1	58	"	/	Bon	0	Non Exploité
11	Tindjelet	00 19 45	29 25 00			1979	142	0				"	/	Mauvais	0	Non Exploité
F12	Macine 1	00 16 57	29 16 05	315	277.6	1983	150	11.3	10	37.4	43.69	"	1991	Bon	311040	Exploité
F13	Macine 2	00 16 30	29 15 30	315	278.5	1993	"	35	20	36.5	52.45	"	1997	"	259200	Exploité
14	El-Gasba	00 19 50	29 18 30	272	259	1991	95	"	"	13	42.22	"	1996	"	207360	Exploité
F15	ElAmellale	00 18 30	29 17 30	272	255	"	120	27		17	68.78	"	/	"	0	Non Exploité
F16	Benim'louk	00 13 40	29 13 00	315	284.9	"	125	14		30.1	74.65	"	/	"	0	Non Exploité
17	Zekkour	00 19 00	29 18 10	272	255.5	"	120	27		16.5	65.87	"	/	"	0	Non Exploité
18	Elouadjda	00 16 00	29 10 15	315		"	125	40	20	27	29.86	"	1997	"	207360	Exploité
19	Taoursit	00 14 30	29 10 45	3153	295.7	1989	135	12	12	19.3	48.37	"	1989	"	"12441	Exploité
F20	ZtBelkacem	00 14 30	29 14 00	310	284.6	1985	142	10	10	25.4	26.52	"	1991	"	"10368	Exploité
21	Timezlane	00 13 30	29 25 47			1995	120	6				"		"	0	Non Exploité
22	ITMA 2	00 15 25	29 15 00	/		2002			10	19.20	46.16		2002		/	Exploité
23	O/Said 3	00 22 23	29 24 41	322	304.03	2006	150	11	11	17.97	54.92	"	2006	"	/	Exploité
24	Macine 1bis	00 41 27	29 15 30	315	276.6	2006	150	20	20	38.40	48.90	"	2006	"	/	Exploité
25	Macine 3	00 18 00	29 15 25	312	279.56	2004	102.7	20	20	33.44	37.27	"	2004	"	/	Exploité
26	Macine 4	00 15 12	29 14 34	305	262.07	2005	151.3	37	37	42.93	56.38	"	2005	"	/	Exploité

D'après ANRH ADRAR (Année 2008)

Les caractéristiques des forages d'eau étudiés par un test de pompages

Tab.15. Inventaire des Forages de la Daïra de Timimoun ( Année 2010)

N°	Localité	Date de réalisation	xE	yN	Z (m)	Prof. (m)	Q (l/s)	NS (m)	ND (m)	Usage	Observation
01	<b>Timimoun I</b>	1984	00 16 15	29 14 00	313	150	35	32	37.5	AEP	Abandonné
02	" " <b>II</b>	1989	00 16 00	29 13 00	314	150	25	39.7	45.7	AEP	Abandonné
03	" " <b>III</b>	1990	00 15 10	29 13 50	317	150	/	40.5	55.81	AEP	Abandonné
04	" " <b>IV</b>	1990	00 15 20	29 14 15	315	150	45	40.1	54.22	AEP	Abandonné
05	" " <b>V</b>	1992	00 16 10	29 14 00	315	150	40	33.4	47.3	AEP	Exploité
06	B.Lahmeur	1992	01 37 30	29 45 20	373	125	20	4	27.7	AEP	Exploité
07	Badriane 1	1984	00 23 30	29 19 30	322	120	"	9.07	38.39	AEP	Exploité
08	Badriane 4	1989	00 23 30	29 23 30	272	136	30	24.2	47.32	AEP	Exploité
09	<b>O/Said</b>	1987	00 14 00	29 25 00	/	103	/	/	/	AEP	Abandonné
10	<b>O/Said 2</b>	1994	00 23 30	29 23 40	320	138	/	27.1	58	AEP	Abandonné
11	Tindjelet	1979	00 19 45	29 25 00	/	142	/	/	/	AEP	Exploité
12	Macine 1	1983	00 16 57	29 16 05	315	150	10	37.4	43.69	AEP	Exploité
13	Macine 2	1993	00 16 30	29 15 30	315	150	20	36.5	52.45	AEP	Exploité
14	El-Gasba	1991	00 19 50	29 18 30	272	95	"	13	42.22	AEP	Exploité
15	<b>ElAmellale</b>	1991	00 18 30	29 17 30	272	120	/	17	68.78	AEP	Abandonné
16	<b>Benim'louk</b>	1991	00 13 40	29 13 00	315	125	/	30.1	74.65	AEP	Abandonné
17	Zekkour	1991	00 19 00	29 18 10	272	120	/	16.5	65.87	AEP	Exploité
18	Elouadjda	1991	00 16 00	29 10 15	315	125	20	27	29.86	AEP	Exploité
19	Taoursit	1989	00 14 30	29 10 45	315	135	12	19.3	48.37	AEP	Exploité
20	ZtBelkacem	1985	00 14 30	29 14 00	310	142	10	25.4	26.52	AEP	Exploité
21	<b>Timezlane</b>	1995	00 13 30	29 25 47	/	120	/	/	/	AEP	Abandonné
22	F ITMA 2	2003	00 15 25	29 15 00	/	132	10	19.20	46.16	AEP	Exploité
23	Macine .3	2004	00 18 25	29 15 25	312	102.7	20	33.44	37.27	AEP	Exploité
24	Macine 4	2005	00 15 12	29 14 34	315	151.34	37	42.93	56.38	AEP	Exploité
25	Macine .1bis	2006	00 41 27	29 15 30	322	150	20	38.40	48.90	AEP	Exploité
26	O Said . 3	2006	00 22 23	29 24 41	315	150	11	17.97	54.92	AEP	Exploité

D'après DREW TIMIMOUN ( Année 2010)

Tab.16 Inventaire des Forages de la Daira de Timimoune ( Année 2012)

N°	Localité	xE	yN	Z (m)	Prof. (m)	Q,Ex	NS (m)	ND (m)	$\Delta$ ( m )	Q,EP	Tp. (h)	Usage	Année D'Exploitation
01	M'GUIDEN 01	01°33'39"	29°31'14"	38	92	10	25.66	37.32	11.66	20	0	A.E.P	1973
02	M'GUIDEN 02	01°34'02"	29°31'57"	38	82	0	24.93	33.18	8.25	41	72	Irrigation	0
03	TIMIMOUN 06	00°15'20"	29°13'45"	30	130	25	34.8	54.9	20.1	45	0	A.E.P	1999
04	MACINE 04	00°15'12"	29°14'34"	31	152	35	43.6	56.38	12.78	37	72	A.E.P	2007
05	MACINE 02	00°17'28"	29°15'34"	31	150	35	36.54	52.45	15.91	35	0	A.E.P	1997
06	M'GUIDEN 05	01°33'26"	29°30'43"	38	100	37	28.9	47.55	18.65	37	72	Irrigation	1979
07	ZEKKOUR	00°19'03"	29°17'32"	28	120	20	16.46	65.87	49.41	27	0	A.E.P	1997
08	ITMAS 2	00°14'12"	29°15'12"	28	140	0	19.2	46.16	26.96	10	72	Irrigation	0
09	EL OUAJDA	00°14'30"	29°10'17"	30	125	20	27	49.86	22.86	40	0	A.E.P	1997
10	EL GASBA	00°20'19"	29°18'24"	29	114	20	13	43.22	30.22	35	0	A.E.P	1996
11	TAOURSIT	00°12'44"	29°10'25"	28	150	8	18.85	47.97	29.12	12	48	A.E.P	1984
12	ITMAS 1	00°14'02"	29°15'09"	27	0	10	0	0	0	18	0	Irrigation	0

D'après DREW TIMIMOUN ( Année 2012)

**NB :**

Z : côte topographique de l'ouvrage de pompage en mètres

Prof. : Profondeur totale du forage d'eau en mètres

Q,Ex : Le débit d'exploitation en litres secondes de l'ouvrage de pompage

NS : Le niveau statique en mètres

ND : Le niveau dynamique en mètres

$\Delta$  : Le rabattement en mètres

Q,EP : Le débit en litres secondes de l'essai de pompage

Tp.(h) :Le temps de pompage en heures

TIMIMOUN 06 : Forage de renforcement de la foggara de Z<sup>et</sup> Sidi El Hadj Belkacem

Tab.17 Résultats des analyses d'eau des Forages de la Daïra de Timimoun

N°	Localité	pH	$\sigma$ ms/	RS mg/l	Ca mg/l	Mg mg/	Na mg/l	K mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	CL mg/l	So <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>3</sub> mg/	PO <sub>4</sub>	TH °F	TAC °F	Observation
01	M'GUIDEN 01	7,01	1,25	830	89	43	100	8	73	185	240	27,5	0	39	6	Exploité
02	M'GUIDEN 02	7,03	1,35	880	98	35	130	8	73	210	260	30	0	38	6	Exploité
03	TIMIMOUN 06	7,28	1,83	1190	94	59	180	19	110	250	402	36	0	47	9	Exploité
04	MACINE 04	7,3	2,22	1470	102	72	230	19	119	350	465	40	0,14	54	10	Exploité
05	MACINE 02	7,19	2,44	1700	1110	56	300	17	119	410	448	44	0,7	50	10	Exploité
06	M'GUIDEN 05	7,02	2,55	1770	123	101	195	11,5	73	324	615	51	0	71	6	Exploité
07	ZEKKOUR	6,99	3,02	1900	102	66	380	28	137	560	545	54	0,3	52	11	Non exploité
08	ITMAS 2	7	3,18	2270	196	90	350	27	113	600	500	57	0,33	85	9	Exploité
09	EL OUAJDA	6,94	4,17	2620	243	51	480	27,5	122	730	860	55	0,02	81	10	Exploité
10	EL GASBA	7,21	4,2	2660	132	106	550	72	143	800	675	80	0	76	12	Exploité
11	TAOURSIT	7,16	4,43	3000	183	114	550	34	128	850	800	47	0,8	91	11	Exploité
12	ITMAS 1	6,89	5,31	4100	349	136	600	37,5	113	530	1650	57	0,14	141	9	Exploité
13	Z <sup>ET</sup> Sidi A.Allah 06	7,53	0,96	600	52	35	98	8	104	115	186	27	/	/	/	/
14	Z <sup>ET</sup> Sidi A.Allah 10	8,5	0,99	600	30	24	120	13	49	160	145	20	/	/	/	/
15	Z <sup>ET</sup> Sidi A.Allah 07	8,65	1,08	700	30	32	134	11	107	180	115	9	/	/	/	/
16	Z <sup>ET</sup> Sidi A.Allah 15	7,9	1,02	700	56	24	112	10	98	180	120	26	/	/	/	/
17	Z <sup>ET</sup> Sidi A.Allah 02	7,43	1,15	800	52	38	136	9,5	107	180	170	30	/	/	/	/
18	Foggara de M'ghaer	7,38	2,2	1708	172	30	223	20	137	318	563	49	/	/	/	/

D'après DREW TIMIMOUN (Année 2012)

Tab.18 Les foggaras visitées durant la période 2007 à 2008

Localité	Nom de la foggara	Q. l/s		Ph	T°C de l'eau	T° C de l'air	Année	observation	
Timimoun	Amokrane	<i>foggara morte suite aux inondations de 2003</i>					2003	Réhabilité	
	El Arab	<i>foggara morte en 1996</i>					2007	/	
	M'ghaer	5	1	7,2	24,5	22	Mars 2005	En voie de disparaître	
Zaouit El Hadj Belkacem	Z <sup>t</sup> El hadj Belkacem		1		20	22			
kali	Ifli embara	0,02	2,,06	8,2	25,4		03. 2008	/	
	Badou	2,8	1,9	8,3	25,1			Kasria cachée	
	Outako	7	2	8,2	26,2			/	
	Djaafer	2,5	1,9	7,8	26,2			/	
	Ouzdiane	3	2,26	7,8	26,2			/	
Béni Mehhlal	Feguigue						03. 2008	/	
	Taghzout	4,5	3,03	8,1	25,5			/	
	Ibghoun							/	
	Akaraf	<i>foggara individuel</i>							/
	Aguelou	<i>foggara individuel ( Morte à 20 puits)</i>							/
	Ziezie	<i>foggara individuel ( Morte à 15 puits)</i>							/
	Tazghrout							/	
	Issmaoun atali							/	
	Afiad							/	
	Bouziza							/	
	Bouchongue	/							
Oukala	<i>foggara morte</i>								
Ouled Saïd			2,6	7,6	26,3		2008	Menacé par l'ensablement	
		0,21	2,36	8,2	26,7				
			2,58	7,8	25,9				