

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Gestion rationnelle des eaux souterraines dans une zone hyper aride par la Foggara : cas de l'oasis d'IN GHAR (IN SALAH) .**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 7-0002-15

APA Citation ( APA توثيق ):

Ghachi, Mourad (2015). Gestion rationnelle des eaux souterraines dans une zone hyper aride par la Foggara : cas de l'oasis d'IN GHAR (IN SALAH)[Thèse de magister, ENSH].

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بتقييم الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بثه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE- ARBAOUI Abdellah -

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

## MEMOIRE DE MAGISTERE

*Pour l'obtention du diplôme de magistère de l'école nationale supérieur d'hydraulique*

**Option : Hydraulique urbain**

**THEME :**

**GESTION RATIONELLE DES EAUX SOUTERIENNES  
DANS UNE ZONE HYPER ARIDE PAR LA FOGGARA :  
CAS DE L'OASIS D'IN GHAR  
(IN SALAH)**

**Présenté par :**

**M<sup>r</sup> GHACHI MOURAD**

**DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

**Nom et Prénom**

**M<sup>r</sup> R. BOUALEM**

**Grade**

**PROFESSEUR**

**Qualité**

**Promoteur.**

**-Juin 2015-**

## **Remerciements**

*Mes remerciements s'adressent d'abord à mon Dieu, tout puissant de m'avoir donné la force et le courage pour les chances qui me sont offertes pour réaliser ce travail.*

## **A mon Encadreur**

*Monsieur le Professeur **B.REMINI***

*Je vous remercie d'abord d'avoir accepté de m'encadrer, vous m'avez accordée cotre confiance en acceptant de diriger ce travail.*

*Malgré les multiples occupations qui sont les vôtres. Votre ouverture d'esprit et surtout l'intérêt que vous portez à la science font de vous une source intarissable à laquelle tout étudiant devrait s'abreuver.*

*Avoir un encadreur qui agrège rigueur, amitié, bienveillance, disponibilité et sa gentillesse a été un énorme privilège.*

*Je tiens à exprimer ma très haute considération, ma profonde reconnaissance et toutes mes pensées de gratitude, non seulement pour votre générosité scientifique mais aussi pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains , qu'elle a su me prodiguer aux moments opportuns.*

*Merci beaucoup, Mr Remini.B, de croire en moi.*

*Au Président de Jury*

*Monsieur le Professeur **M.MEDDI***

*Vous me faites l'honneur de bien vouloir acceptant la présidence du jury de cette thèse.*

*Recevez toute l'expression de me mon sincère sentiment pour l'intérêt que vous avez bien voulu porter à mon modeste travail.*

*Veillez trouver dans cette page l'expression de ma haute considération et de mon plus profond respect.*

*Aux Membres de Jury*

*Monsieur le Professeur **M.BESENESS***

*Vous avez bien voulu vous associer à mon jury,*

*Votre présence m'honore beaucoup.*

*Soyez profondément remercié d'avoir bien voulu me donner de votre temps.*

*Je vous adresse ma sincère et haute considération.*

*Monsieur le Professeur **M.K.MIHOUBI***

*Votre présence dans ce jury est un grand honneur  
Veuillez trouver ici, l'expression de ma sincère reconnaissance pour  
le temps que vous avez bien voulu m'accorder.*

*Soyez assuré encore une fois, de ma gratitude et de toute ma  
considération.*

*Monsieur le Professeur **O.KHODJET KESBA***

*Vous me faites le grand honneur d'accepter de participer au jury de  
ma soutenance,*

*C'est pourquoi je tiens absolument à vous remercier de votre  
disponibilité.*

*Recevez l'expression de ma profonde gratitude et de ma haute  
considération.*

*Je voudrais remercier aussi aux Monsieur et madame, cadre supérieurs de l'état et fonctionnaires des institutions de la daïra IN GHAR , DRE, DSA la daïra, et APC rencontré lors de la collecte des données.*

*Sans oublier tous les familles d'In Ghar, et plus particulièrement, la famille Ndjari, et son fis Abdelhamid, Abdellah slama, Salah Hebi, Abdel basset Ndjari, mon oncle Abdelkader Ndjari, pour leurs magnifiques accueils.*

*Je voudrais, bien entendu remercier du fond du cœur mon ami Chouaib pour son aide et ces conseils pour la réalisation de ce travail.*

*Enfin, à ma famille, à mes amis et à tous ceux qui ont participés de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail, vous trouvez ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Bien sûr ...j'en oublie mais j'y ai pensé à de nombreuses reprises.  
Alors à vous tous,*

*Merci.*

**Mourad**

# Sommaires

Pages

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

## Chapitre 1

### TRAVAUX ANTERIEURS SUR LES FOGGARAS

1.1.Introduction.....	3
1.2.Travaux antérieurs.....	3
1.2.1. Travaux de Grut (1939) .....	3
1.2.2. Travaux de Savornin (1949).....	3
1.2.3. Travaux de Lo (1951).....	4
1.2.4. Travaux de Despois (1958) .....	4
1.2.5. Travaux d’Odiel (1958) .....	4
1.2.6. Travaux de Capot-Rey (1962).....	4
1.2.7. Travaux de Guillaume (1973).....	4
1.2.8. Travaux de Champault (1973).....	5
1.2.9. Travaux de Grabier (1980).....	5
1.2.10. Travaux de Marouf (1980) .....	5
1.2.11. Travaux de Gobolt (1993) .....	5
1.2.12. Travaux de Guillermou (1993) .....	5
1.2.13. Travaux d’Oleil (1994) .....	5
1.2.14. Travaux de Ben Brahim (2003) .....	6
1.2.15. Travaux de Remini (2003) .....	6
1.2.16. Travaux de Remini (2006) .....	6
1.2.17. Travaux de Remini et Achour (2008) .....	6
1.2.18. Travaux de Remini, Achour et Kechad (2010) .....	6
1.2.19. Travaux de Remini, Achour et Albergel (2010) .....	6
1.2.20. Travaux de Todardo (2011) .....	6
1.2.21. Travaux de Ivanka (2011) .....	7
1.2.22. Travaux de Senoussi (2011) .....	7
1.2.23. Travaux de Remini et Kechad (2012) .....	7

1.2.24. Travaux de Remini, Achour et Kechad (2012) .....	7
1.2.25. Travaux de Remini et Achour (2013) .....	7
1.2.26. Travaux de Remini et Achour (2013) .....	7
1.2.27. Travaux de Remini et Achour (2013) .....	8
1.2.28. Travaux de Remini, Achour et Albergel (2014) .....	8
1.2.29. Travaux de Remini, Achour et kechad (2014) .....	8
1.2.30. Travaux de Bensaada et Remini (2014) .....	8
1.2.31. Travaux de Remini, kechad et Achour (2014) .....	8
1.3.Conclusion.....	8

## **Chapitre 2**

### **SITUATION ET CARACTERISTIQUE DE LA REGION D'ETUDE**

2.1.Introduction.....	10
2.2.Situation et caractéristique de la région.....	10
2.3.Le climat de la région .....	12
2.4.Les capacité en eau dans la région d'étude .....	12
2.5.Missions et enquêtes .....	14
2.6. Technique de l'évolution et de captage des eaux dans la région d'In Ghar .....	15
2.6.1. Puits ordinaires.....	15
2.6.2. Puits à Traction animal.....	15
2.6.3. Puits à contre poids .....	16
2.6.4. Puits à poulie.....	17
2.6.5. Les foggaras .....	18
2.6.6. Puits artésien .....	19
2.7.La qualité des eaux dans l'oasis d'In Ghar.....	19
2.7.1. Qualité des eaux de la foggara d'In Ghar.....	20
2.7.1.1.Interprétation des résultats.....	22
2.7.2. Qualité des eaux de forages.....	23

2.7.2.1. Interprétation des résultats.....	24
2.8.L'eau dans le Ksar .....	26
2.9.L'eau dans la palmeraie .....	29
2.10.Conclusion.....	31

### **Chapitre 3**

## **LA FOGGARA D'IRSAN : LA PRINCIPALE SOURCE D'ALLIMENTATION EN EAU DE L'OASIS D'IN GHAR**

3.1.Introduction .....	32
3.2.Les foggaras d'In Ghar .....	32
3.3.Caractéristiques de la foggara d'Irsan .....	33
3.4.Evolution du débit de la foggara d'Irsan .....	35
3.5.Réseau de distribution de la foggara d'Irsan .....	36
3.6.Dégradation des foggaras d'In Ghar.....	42
3.7.Les matériels utilisés pour l'entretien de la foggara.....	43
3.8.Conclusion.....	44

### **Chapitre 4**

## **HYDROMETRIE ET LE PARTAGE DE L'EAU DE LA FOGGARA D'IRSAN**

4.1.Introduction .....	45
4.2. Principe de mesure adopté dans l'oasis In Ghar.....	45

4.3.Déroulement d'une opération de mesure du débit.....	49
4.4.Les unités de mesures utilisées.....	50
4.5.Application.....	51
4.5.1. Exemple N°1.....	51
4.5.2. Exemple N°2.....	52
4.5.3. Exemple N°3.....	53
4.5.4. Exemple N°4.....	55
4.5.5. Exemple N°5.....	56
4.5.6. Exemple N°6.....	57
4.5.7. Exemple N°7.....	60
4.5.8. Exemple N°8.....	62
4.6.Conclusion.....	64
CONCLUSION.....	65

## Liste des figures

Pages

### Chapitre 2

## SITUATION ET CARACTERISTIQUES DE LA REGION D'ETUDE

Figure 2.1. Localisation de la région d'étude.....	11
Figure 2.2. Carte géographique de la commune d'In Ghar (Google Earth).....	12
Figure 2.3. La coupe hydrogéologique schématique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).....	13
Figure 2.4. Puits de la foggara Irsan (2013).....	14
Figure 2.5. Puits à énergie humaine (Remini, 2015).....	15
Figure 2.6. Puits à traction animal (Remini, 2015).....	16
Figure 2.7. Puits à contre poids (Remini, 2015).....	16
Figure 2.8. Puits à poulie (Remini, 2015).....	17
Figure 2.9. Photo d'un puits à poulie (2013).....	18
Figure 2.10. Captage des eaux par la foggara (Remini, 2015).....	19
Figure 2.11. Rue couverte l'ombrage urbain (Chaouche, 2007).....	26
Figure 2.12. Rue à l'intérieur du Ksar « In Ghar » (2013).....	27
Figure 2.13. La mosquée du Ksar à In Ghar (2013).....	27
Figure 2.14. La construction des maisons à IN Ghar (2013).....	28
Figure 2.15. Briques crues faites d'un mélange d'argile et de paille (2013).....	28
Figure 2.16. Dégradation avancée du Ksar (2013).....	29
Figure 2.17. Schéma général de la palmeraie.....	30
Figure 2.18. Répartition des cultures dans l'oasis (2013).....	31

## Chapitre 3

# LA FOGGARA D'IRSAN : LA PRINCIPALE SOURCE D'ALLIMENTATION EN EAU DE L'OASIS D'IN GHAR

Figure 3.1 : Les foggaras d'In Ghar(Remini, 2015).....	33
Figure 3.2. Croquis de la foggara d'Irsan (Remini, 2015) .....	34
Figure 3.3. Schéma de la coupe longitudinale de la foggara d'Irsan (Remini, 2015) .....	34
Figure 3.4. Schéma de la coupe longitudinale de la foggara El Djadida (Remini, 2015). .....	35
Figure 3.5. Kasria principale de la foggara d'Irsan (2013) .....	37
Figure 3.6.kasria secondaire de la foggara d'Irsan (2013) .....	37
Figure 3.7.Kasria tertiaire de la foggara d'Irsan (2013) .....	37
Figure 3.8. Seguia couverte de la foggara d'Irsan (2013) .....	38
Figure 3.9. Séguia ouverte de la foggara d'Irsan(2013).....	38
Figure 3.10. Seguia en PVC nouvellement remplacées (2013).....	39
Figure 3.11. Tube en U da la foggara de la foggara d'Irsan à l'intérieur de la palmeraie(2013).....	39
Figure 3.12.L'écoulement d'eau à travers le tub en U(Remini, 2015).....	40
Figure 3.13. Coupe longitudinale de la tub en U dans le réseau de la foggara Irsan (Remini, 2015) ....	40
Figure 3.14 .Madjen en terre de la foggara d'Irsanà l'intérieur de la palmeraie (2013).....	41
Figure 3.15. Madjen en ciment de la foggara d'Irsan à l'intérieur de la palmeraie (2013).....	41
Figure 3.16. Schéma du réseau de distribution de la foggara d'Irsan (2013).....	42
Figure 3.17.Les matériels utilisés pour l'entretien de la foggara (2013).....	44

## Chapitre 4

# HYDROMETRIE ET LE PARTAGE DE L'EAU DE LA FOGGARA D'IRSAN

Figure 4.1.Chegfa de la région In Ghar (2013) .....	46
Figure 4.2.Kial El Ma de L'oasis d'In Ghar (2013) .....	47
Figure 4.3. Un des Chahed de l'opération de partage dans l'Oasis d'In Ghar (2013).....	47
Figure 4.4.Zemâm de la foggara Irsan(2013) .....	48
Figure 4.5. La canne de la foggara d'Irsan (2013) .....	48
Figure 4.6. La tablette en bois de la foggara d'Irsan ( Louha) (2013).....	49
Figure 4.7.Utilisation de la Chegfa lors d'une opération de mesure d'un fort débit (Salah Hebi).....	50
Figure 4.8. Utilisation de la Chegfa lors d'une opération de mesure d'un faible débit(Salah Hebi ).....	50

## NOMENCLATURE

**Abadou** : Canal dans la marge bassin cultural

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques

**APC** : Assemblée Populaire Communale

**DSA**: Direction de l'Agriculture

**DRE** : **Direction** des Ressources en Eau

**Enfif** : l'orifice de sortie

**Guemoun** : Carrés de culture d'environ 6 m<sup>2</sup>

**HM (Habba Maaboud)** :est une valeur estimative des efforts déployés par des participants lors de la réalisation de la foggara.

**HZ (Habba Z'rig)** : est une unité principale, elle est considérée comme la quantité d'eau s'écoulant à travers une ouverture de 15 mm pendant 24 heures

**OMS** : Office Mondial de la Santé

**K (Kirat)** : est une unité secondaire de mesure équivalente le débit à travers une ouverture de 4 mm.

**KK (kirat de kirat)** : unité de mesure le débit équivalente à un vingt-quatrième de kirat.

**KKK (kirat kirat de kirat)** : unité de mesure le débit équivalente à un vingt-quatrième de kirat kirat.

## ملخص

إن ندرة المياه السطحية في منطقة تتميز بجفاف حاد وحرارة مرتفعة مثل واحة إن غار، هذا ما يجعل تسييرها وإدارتها أكثر تعقيدا. تبقى المياه الجوفية المنبع الوحيد في المنطقة. إن اكتشاف نظام الفقارة في منطقة الواحات الذي يسهل عملية الوصول واستعمال تلك المياه وبالتالي تصبح عملية تسييرها بسيطة أكثر، باستخدام تقاليد الأجداد في توزيع منسوب المياه وتقسيم الحقوق بين ملاك الفقارة. خلال زيارتنا الميدانية لمنطقة إن غار عام 2013، ومحاوره سكان قصر إن غار تم إحصاء 11 فقارة منذ تسعة قرون، التي تزود منطقة إن غار بالمياه الصالحة للشرب وسقي غابات النخيل. وعلى الرغم من الاستعمال المفرط للتقنيات الحديثة في جلب المياه، إلا أن نظام الفقارة يبقى المفضل والأكثر إستعمالا في المنطقة، وهذا ما نجده في فقارة إرسان إذ أن نسبة تدفقها تصل إلى 50ل/ثا واكتفائها في تزويد 400 عائلة بالماء الشروب وسقي 60 هكتار

**الكلمات المفتاح :** الفقارة- الماء- الواحة- إرسان- إن غار- السقي

## Résumé

La rareté des eaux de surface dans une région hyper aride comme l'oasis d'In Ghar rend sa gestion beaucoup plus complexe. L'eau du sous-sol reste l'unique source pour l'oasis. La découverte de la foggara dans la région a facilité l'accès à cette eau. Et par conséquent sa gestion est devenue beaucoup plus simple avec l'introduction des traditions et des Règles ancestrales de partage et de distribution. Les résultats obtenus sous la base des enquêtes et des investigations que nous avons menés en 2013, montrent que depuis neuf siècles, l'irrigation et AEP ont été assurées par 11 foggaras. Malgré l'apport des nouvelles techniques de captage des eaux dont le rendement est beaucoup plus élevé, ces foggaras ont résisté à cette concurrence, notamment la foggara d'Irsan. Fort d'un débit de 50 l/s, cette foggara alimente 400 familles et irrigue 60 hectares.

**Mots clés :** Foggara – Eau – Oasis – Irsan – In Ghar – Irrigation

## Abstract

The scarcity of surface water in a hyper arid area as the oasis of In Ghar makes its management much more complex. The water of the basement remains the single source for the oasis. The discovery of foggara in this area facilitated the access to this water. And consequently its management became much simpler with the introduction of the traditions and the ancestral laws of division and distribution. The results obtained under the base of the surveys and the investigations which we carried out in 2013; showed that for nine centuries, the irrigation and water supplies have been ensured by 11 foggaras. In spite of the contribution of the new methods of water collecting which the output raised much more, these foggaras resisted to this concurrence, specially the foggara of Irsan. With a flow of 50 l/s, this will foggara supplies 400 families and irrigates 60 hectares.

**Key words:** foggara - Water- Oasis- Irsan- In Ghar- irrigation

## INTRODUCTION GENERALE

Dans les milieux secs, les régions chaudes dans les zones arides et semi-arides sont caractérisées par la faible pluviométrie par conséquent la rareté des eaux superficielles, la seule ressource en eau disponible est l'eau souterraine. Dont les habitants apparaissent étroitement faibles sur eux-mêmes et éminemment variable selon les lieux et les époques, insérés dans des rapports complexes avec d'autres populations parfois très éloignées géographiquement et culturellement. Depuis des siècles, l'homme a développé divers techniques d'acquisition et de captage des eaux souterraines, il a su vivre tout en créant son propre écosystème, résultat d'un savoir-faire hydraulique et architectural exceptionnel. Tout en maîtrisant l'hydrogéologie et la géographie de son milieu, dans le sous-sol. La mobilisation des eaux profondes est poussée à l'extrême dans le Sud Algérien par un art, équité sociale et une éthique à la fois. Il s'agit de la foggara, cet art de la maîtrise de l'eau et de l'équité sociale, se base sur un système de galeries est la découverte qui a révolutionné l'hydraulique traditionnelle. Originaire de cet art, l'ancien Iran, la foggara connue sous le nom de la qanat a été creusée au nord de l'Iran depuis plus de 3000 ans (Goblot 1979; Wulf 1968; Wessels 2005). Vu le succès de cette technique, la foggara s'est propagée dans plus de 30 pays arides de la planète (Boustani, 2008). En Algérie, la foggara s'est développée dans les régions de Touat, Gourara et Tidikelt situées à la périphérie du Grand Erg Occidental Goblot (1979), Kobori (1982), Dubost (1998), Remini et al. (2008, 2010, 2012, 2013). Plus de 1000 foggaras ont été creusées dans ces régions depuis plus de 1000 ans (Remini et al, 2011). Environ 80% de ces foggaras captent les eaux du Continental Intercalaire dans la zone d'affleurement à la périphérie du plateau de Tademaït (Remini et al. 2010). Les 20% de ces foggaras captent les eaux de la nappe supérieure situé sous les dunes du Grand Erg Occidental (Remini et al. 2010 ; Remini et al. 2013). Il est à noter que plusieurs études ont été faites sur les foggaras de Touat et de Gourara, comme les travaux de (Dubost, et Moguedet ,1998), les travaux de (Dubost et, al 1998) et les travaux de Remini et al. (2008). Par contre peu de travaux ont été effectués de Tidikelt. Nous pouvons citer les travaux de kobori (1982) et Gaillermou(1993),

sur les foggaras d'Aouelf, et les travaux de Remini et Achour (2013). Cependant, aucune étude n'a été faite sur les foggaras des oasis d'In Ghar de la région de Tidikelt. C'est la raison principale qui nous a poussée à étudier la foggara d'Irsan située dans l'oasis d'In Ghar.

Pour atteindre un tel objectif, le mémoire de Magistère est structuré en quatre chapitres. Nous avons présenté d'une façon succincte les travaux de recherches entamés sur le système des galeries drainantes (foggara), dans le premier chapitre. Dans la deuxième partie, nous avons examiné la région d'étude tout en insistant sur les caractéristiques de l'oasis d'In Ghar. Une attention particulière a été donnée à l'eau et les différentes techniques de captages utilisées dans la région depuis plus de 9 siècles. Le troisième chapitre est consacré à la plus grande foggara de la région qui est la foggara d'Irsan. Il s'agit d'un principal ouvrage hydraulique d'alimentation en eau potable et aussi la source principale d'irrigation de la palmeraie et des jardins. Dans le quatrième chapitre, nous avons traité hydrométrie et les techniques de mesure et de partage des parts d'eau entre la population.

## **Chapitre 1**

# **TRAVAUX ANTERIEURS SUR LES FOGGARAS**

### **1.1. Introduction**

Pour aborder notre étude proprement dite, une attention particulière a été donnée à la recherche bibliographique sur le système des galeries drainantes. Il s'avère que cette technique porte plusieurs appellations, comme la foggara au Sahara, Qanât en Iran, Fladj en Sultanat d'Oma et Khettara en Maroc (Remini et Kechad, 2012). Nous présentons dans ce chapitre quelques travaux essentiels menés par des auteurs de renommée internationale.

### **1.2. Travaux antérieurs sur les foggaras**

Le système de foggara a toujours attiré de nombreux curieux qui se sont intéressés à cette invention qui a bouleversé l'hydraulique de l'époque. Nous présentons une dizaine de travaux des auteurs qui ont travaillé sur la foggara.

#### **1.2.1. Travaux de Gruet (1939)**

Selon Gruet (1939), une trentaine de foggara d'une longueur de 5 km et d'une largeur de 0,5 km ont été destinés à l'alimentation de l'oasis EL Guettar (Tunisie). Ces foggaras prennent naissance au piedmont du Djebel Orbata, qui capte la nappe phréatique et jaillirait à la périphérie de l'oasis.

#### **1.2.2. Travaux de Savornin (1949, In Larnaude, 1949)**

Savornin (1949) a travaillé sur les foggaras de Touat, Gourara, et Tidikelt. Il a surtout évoqué l'importance du réservoir aquifère de captage des foggaras. Selon l'auteur, les drains de ces foggaras drainent à partir de la zone des affleurements de la nappe Albienne. Le captage des eaux est négligeable devant la quantité d'eau du réservoir. Grâce au phénomène de l'artésianisme, se sont les eaux des montés artésiennes très lents que captent en réalité ces foggaras.

### **1.2.3. Travaux de LO (1953, In Grandguillaume, 1973)**

Les travaux de LO (1951) se sont intéressés au Génie Civil et plus particulièrement à l'organisation du Chantier d'une foggara. Selon les résultats de cette étude, LO a mis en évidence que le creusement d'une foggara moyenne de 4 km de longueur équipée de puits d'aération d'une profondeur moyenne de 12 m demande 48000 jours de travail avec une équipe de travail composée de 40 ouvriers.

### **1.2.4. Travaux de Despois (1958)**

Despois, (1958) a fait une étude comparative entre les systèmes d'irrigation dans les sahariennes, tel que le Souf et le Gourara. L'auteur a montré l'ingéniosité de système foggaras dans les oasis de Gourara.

### **1.2.5. Travaux d'Odiel (1958)**

Odiel, (1958) a examiné l'historique de captage des eaux par le système de foggaras dans les oasis de Touat. L'auteur a montré que les foggaras de Tout est parmi les plus anciennes du Sahara. D'un autre côté, l'auteur a montré que les foggaras de Touat se dirigent vers les palmeraies et sont orientées dans le sens Est-Ouest du plateau de Tademaït.

### **1.2.6. Travaux de Capot-Rey (1962)**

Les travaux de Capot-Rey, (1962) ont été consacrés à l'histoire de la construction de la plus ancienne oasis d'Algérie. Il s'agit de Tamentit qui située dans le Touat. Selon Capot-Rey, la première foggara a été creusée à Tamentit par les arabes, puis elle a été développée par les juifs. L'auteur a expliqué la manière de partage des eaux des foggaras. Il a donné également l'état des foggaras dans l'oasis de Tamentit.

### **1.2.7. Travaux de Guillaume (1973)**

Le livre historique de Guillaume (1973) intitulé : « Régime économique et structure du pouvoir le système des foggaras du Touat » évoque le rôle de la foggara sur l'économie de la région. La découverte de la foggara dans la région a facilité l'irrigation des sols et la gestion de l'eau.

### **1.2.8. Travaux de Champault (1973)**

Champault (1973) est le premier auteur qui a mis en évidence les foggaras de l'oasis de Tabalbala. L'auteur a travaillé sur d'autres techniques d'irrigation traditionnelle telle que le puits à poulie et le puits à balancier. Champault a recensé environ vingt foggaras actives en 1961 destinées à l'irrigation de 18000 palmiers de l'oasis de Tabelbala.

### **1.2.9. Travaux de Grabier (1980)**

L'article de Grabier (1980) est divisé en deux grandes parties, l'une a été consacrée au captage des eaux par la foggara d'El Meghier, et l'autre est destinée à la compréhension des règles de mesures et les lois de partage des eaux entre les copropriétaires de la foggara. Cette dernière a contribué à l'augmentation de la production agricole. En effectuant les jaugeages sur la foggara d'El Meghier en 1976, l'auteur a mis en évidence la baisse du débit de la foggara.

### **1.2.10. Travaux de Marouf (1980)**

Marouf (1980) a étudié l'histoire des foggaras dans le Touat, Gourara, et le Tidikelt. Il a montré la relation entre la foggara et les ksours. Il a soulevé aussi le rôle de la foggara dans la vie sociale et plus particulièrement le problème d'héritage.

### **1.2.11. Travaux de Gobolt (1986)**

Les travaux de Gobolt (1986) ont fait l'objet sur les galeries drainantes dans les pays arides de la planète. Il a étudié l'histoire de la réalisation et la propagation des galeries à travers les quatre coins du monde.

### **1.2.12. Travaux de Guillermou (1993)**

Guillermou (1993), a travaillé sur les foggaras de Touat, Gourara, et de Tidikelt. Il a démontré le rôle de la foggara dans le développement agricole de la région.

### **1.2.13. Travaux d'Oleil (1994)**

Oleil (1994) a étudié la foggara de Henou dans l'oasis de Tementit dans la wilaya d'Adrar. Une particularité de toute la région de Touat. C'est une foggara sans kasia. Selon Oleil, la foggara de Hanou déverse directement l'eau dans le Madjen par l'intermédiaire des seguias.

#### **1.2.14. Travaux de Ben Brahim (2003)**

Ben Brahim (2003), a travaillé sur les khattaras (foggaras) de Tafilalet (Maroc). Ben Brahim a recensé 300 foggaras en service totalisant une longueur de 450 km de galeries. Elles captent leurs eaux de la rive d'Oued Ghirss (Maroc). Selon Ben Brahim le nombre de foggaras a diminué de 50 % en l'an 2000 à cause d'absence d'entretien.

#### **1.2.15. Travaux de Remini (2003)**

Remini (2003) a étudié le processus d'effondrement des foggaras. Le régime des écoulements dans les foggaras d'El Meghier et Bendraou ont fait l'objet de cette étude. Une relation entre l'écoulement et l'effondrement d'une foggara a été mise en évidence.

#### **1.2.16. Travaux de Remini (2006)**

Les travaux de Remini (2006) effectués sur les foggaras du Grand Erg Occidental ont montré la diminution du débit des foggaras et l'abandon des foggaras. Le conflit entre la foggara et le forage a été mis en évidence dans cette étude.

#### **1.2.17. Travaux de Remini et Achour (2008)**

Les travaux de Remini et al (2008), ont traité les causes de la chute du débit de la plus grande foggara de Timimoun ; il s'agit d'El Meghier. Les éboulements des puits et plusieurs tronçons de la galerie étaient la cause de la diminution du débit.

#### **1.2.18. Travaux de Remini, Achour et Kechad (2010)**

Pour la première fois, Remini et al(2010) ont mis en évidence les types de foggaras dans les régions de Touat, Gourara et Tidikelt. Quatre types de foggaras ont été dégagés. Il s'agit des foggaras, de l'Albien, de l'Erg, d'Oued, de Djebel et de Jardin.

#### **1.2.19. Travaux de Remini, Achour et Albergel (2010)**

Remini et al (2010) a examiné d'une manière détaillée les causes de dégradation des foggaras dans les oasis de Timimoun. Parmi les causes, les auteurs ont soulevé les problèmes, socioéconomiques et environnementaux.

#### **1.2.20. Travaux de Todardo (2011)**

Todaro (2011) a procédé à l'équipement des galeries des foggaras par des canalisations en ciment pour éviter les éboulements et les infiltrations et d'accroître le débit de la foggara.

### **1.2.21. Travaux de Ivanka (2011)**

Ivanka (2011) a examiné la propagation de la foggara à travers les pays arides de la planète. C'est ainsi que l'auteur a répertorié les foggaras et leurs appellation suivant les pays. Il a insisté sur les galeries de l'Afrique du nord, le Moyen Orient et l'Iran.

### **1.2.22. Travaux de Senoussi (2011)**

Les travaux de Senoussi (2011) ont mis en évidence la problématique du système traditionnelle et s'interroge sur son avenir. L'auteur a proposé quelques recommandations pour maintenir la foggara.

### **1.2.23. Travaux de Remini et Kechad (2012)**

En 2012, Remini et Kechad ont examiné pour la première fois l'irrigation par la foggara dans les pays arabe. Selon les auteurs, il reste 4200 foggaras en service sur 11500 creusées dans 16 pays arabes.

### **1.2.24. Travaux de Remini, Achour et Kechad (2012)**

Remini et al (2012) ont traité les techniques traditionnelles d'accroissement du débit des foggaras. Deux procédés ont été mis en évidence. Il s'agit de la prolongation la partie drainante de la foggara par des creusements des nouveaux puits le long de la galerie principale et par l'addition d'un ou plusieurs branchements de galerie à la galerie principale.

### **1.2.25. Travaux de Remini et Achour (2013)**

Pour la première fois, Remini et Achour (2013) ont étudié les foggaras exploitées dans les oasis d'Ahggar. Selon les auteurs, plus de 184 foggaras ont été creusés dans la région. Elles sont caractérisées par une courte longueur (5 km maximum) et exploitant les eaux de la nappe inferoflux, avec un débit maximum de 5l/s pour alimenter 12 à 58 Guemoun.

### **1.2.26. Travaux de Remini et Achour (2013)**

Délaissé par les chercheurs, Remini et al (2013) ont étudié pour la première fois les foggaras d'In Salah. Ce premier travail apporté sur l'état actuel du système hydraulique. Le recensement de toutes les foggaras de la région. Selon cette étude, une trentaine de foggaras sont en service mais avec un faible débit.

### **1.2.27. Travaux de Remini et Achour (2013)**

Située, dans les oasis d'Ouled Said, l'étude de Remini et al (2013) a porté sur une foggara particulière composée de trois kasriates. Les auteurs ont préféré l'appeler Triple foggara. Elle appartient à environ 150 copropriétaires. L'originalité de la foggara réside dans la source d'eau. En effet, la foggara exploite les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental.

### **1.2.28. Travaux de Remini, Achour et Albergel (2014)**

Remini et al (2014) ont mis en évidence, les modèles de connections des foggaras entre elles. En effet, les auteurs ont identifié neuf modèles de raccordement des foggaras. Il s'agit seguia-segauia, Seguia-Kasria, Kasria- Kasria, Seguia – Madjen.

### **1.2.29. Travaux de Remini, Achour et Kechad (2014)**

Remini et al (2014) ont étudié particulièrement les foggaras de Timimoun. Ils ont mis en évidence, la particularité de ces foggaras par rapport à celles de Touat. Deux types ont été dégagés. Il s'agit des foggaras de l'Albien et de l'Erg. Les causes de la détérioration de ce patrimoine culturel ont fait l'objet de cette étude.

### **1.2.30. Travaux de Bensaada et Remini (2014)**

Bensaada et Remini (2014) ont examiné l'impact des forages sur le rabattement de la nappe et l'assèchement des foggaras dans la région de Timimoun. C'est ainsi que les auteurs ont mis en évidence le rayon limite d'installation des forages près de la foggara d'El Meghier (Timimoun).

### **1.2.31. Travaux de Remini, Kechad et Achour (2014)**

Les travaux de Remini et al (2014) ont porté sur la naissance et la propagation des foggaras dans les quatre coins de la planète. L'originalité de cette étude réside dans la présence de la foggara dans 50 pays de quatre continents de la planète.

## **1.3. Conclusion**

Une trentaine de travaux élaborés dans ce chapitre sur les systèmes des galeries drainantes dans différents pays du monde, notamment les foggaras du Sahara Algérien. Les foggaras de Touat et Gourara sont les plus étudiés par les auteurs, plus particulièrement Dubust, Despois, Odiel, Kobori, et Remini.... Par contre peu d'études ont été effectuées sur les Oasis de Tidikelt comme les travaux de Remini et Achour sur la foggara d'In Salah. Aucune étude n'a été faite

sur les foggaras d'In Ghar. Une raison pour laquelle on a poussé à l'étude la foggara de l'oasis In Ghar. Une région caractérisée par un climat sec, basé sur les ressources en eau sous-sol. A cette effet une étude réservée dans le deuxième chapitre afin d'entamer la situation et les caractéristiques de la région.

## Chapitre 2

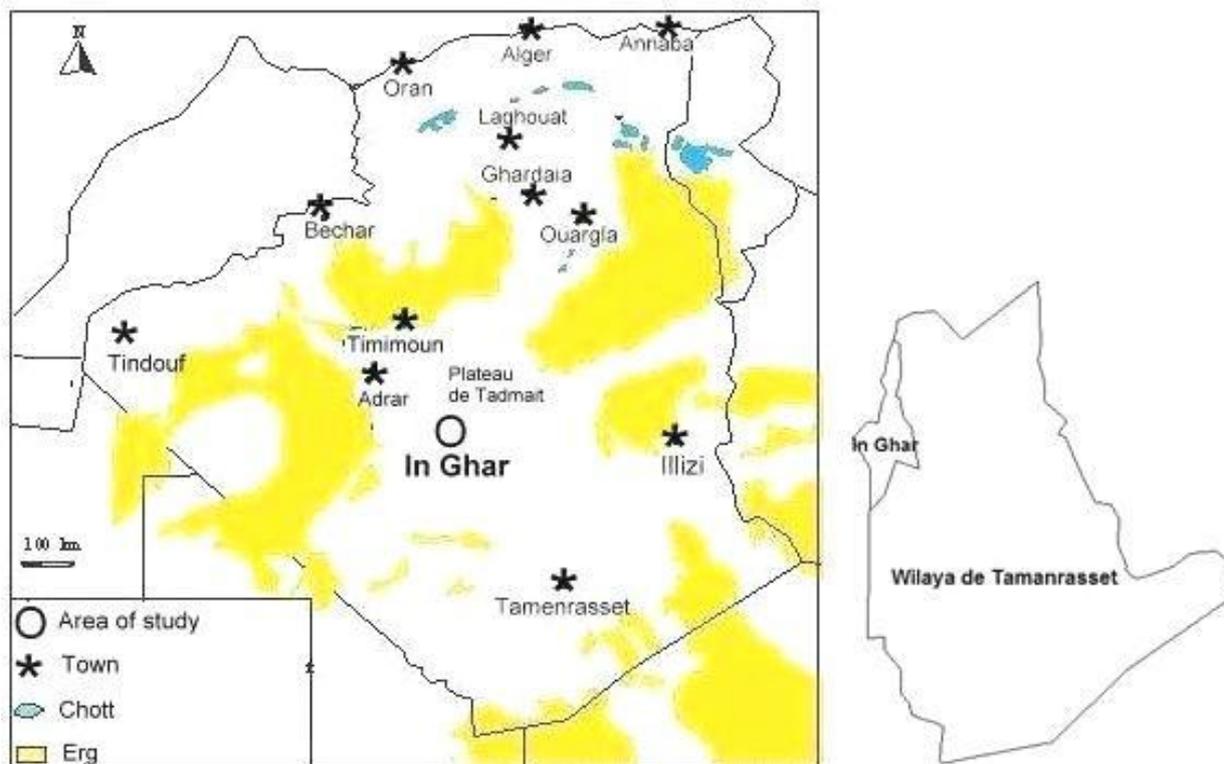
# SITUATION ET CARACTERISTIQUES DE LA REGION D'ETUDE

### 2.1. Introduction

Dans le présent chapitre nous évoquons, la région que nous avons étudiée, il s'agit d'In Ghar, une paisible oasis située dans la nouvelle wilaya d'In Salah. Pour mieux connaître In Ghar, nous examinerons la localisation et les caractéristiques d'une oasis qui s'alimente par les systèmes des foggaras. Ces ouvrages hydrauliques exploitent les eaux souterraines. C'est pour cette raison, un aperçu sera réservé à la géologie et à l'hydrogéologie de la région.

### 2.2. Situation et caractéristiques de la région.

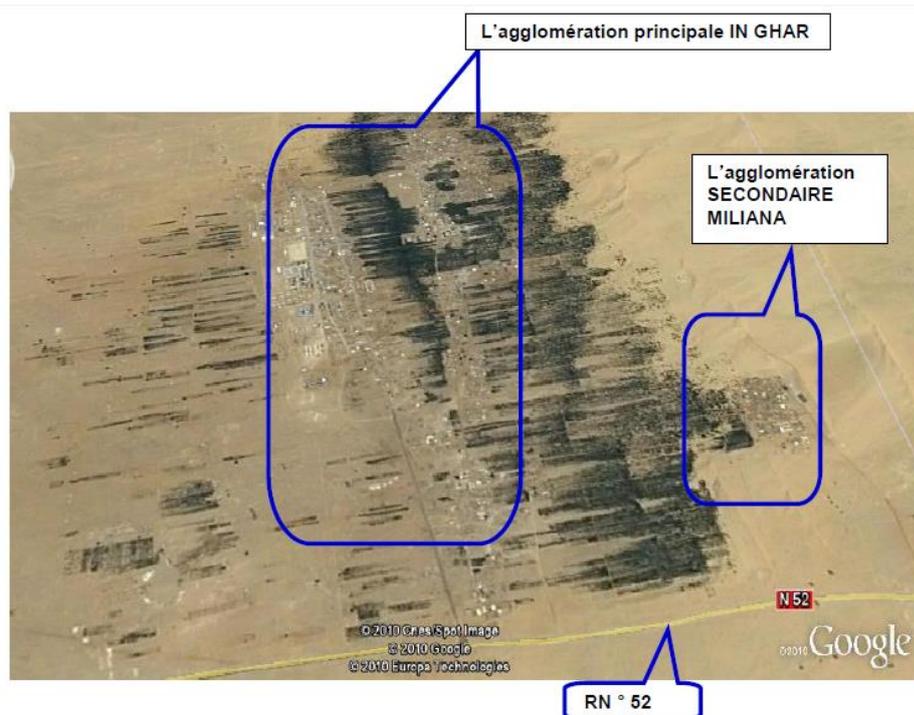
Le mot In Ghar veut dire en berbère, Chaaba qui signifie un affluent d'oued. L'oasis d'In Ghar appartient à la wilaya de Tamanrasset. Elle est localisée à 1400 km au sud-ouest d'Alger (Fig.1). Classée comme Commune suite au découpage administratif de 1998. Elle occupe une superficie de 28960 ha. In Ghar est située dans la région la plus chaude du Sahara Algérien (Fig. 1). C'est l'une des régions la plus pauvre en pluviométrie, mais la plus riche en eau souterraine. L'oasis In Ghar est située à la périphérie d'un gigantesque château d'eau ; le plateau de Tademaït qui est assise sur la nappe du Continental Intercalaire.



**Fig.2.1. Localisation de la région d'étude**

La région d'étude est composée de 3 agglomérations situées près de la route nationale RN°52 (Fig.2.2), reliant In Salah - Aouelf et Adrar. Cette route traverse la commune de l'Est vers l'Ouest :

- Une agglomération principale In Ghar : à environ 1800 m au nord de la route RN°52
- Une Agglomération secondaire Miliana : à environ 750 m au nord de la route Nationale RN° 52
- Une Zone éparses El Zaouia : la plus petite agglomération de la commune, au sud de RN°52 à environ 5 Km.



**Fig. 2.2. Carte géographique de la commune d’In Ghar (Source Google earth)**

### **2.3. Le climat de la région**

L’analyse des paramètres climatiques est basée sur les données de la station la plus proche, celle d’In Salah présentant les mêmes caractéristiques de la région d’In Ghar. Les caractéristiques de la station de référence (In Salah) sont comme suit :

- Altitude : 279 m
- Latitude : 27° 17 N
- Longitude : 02° 30 E

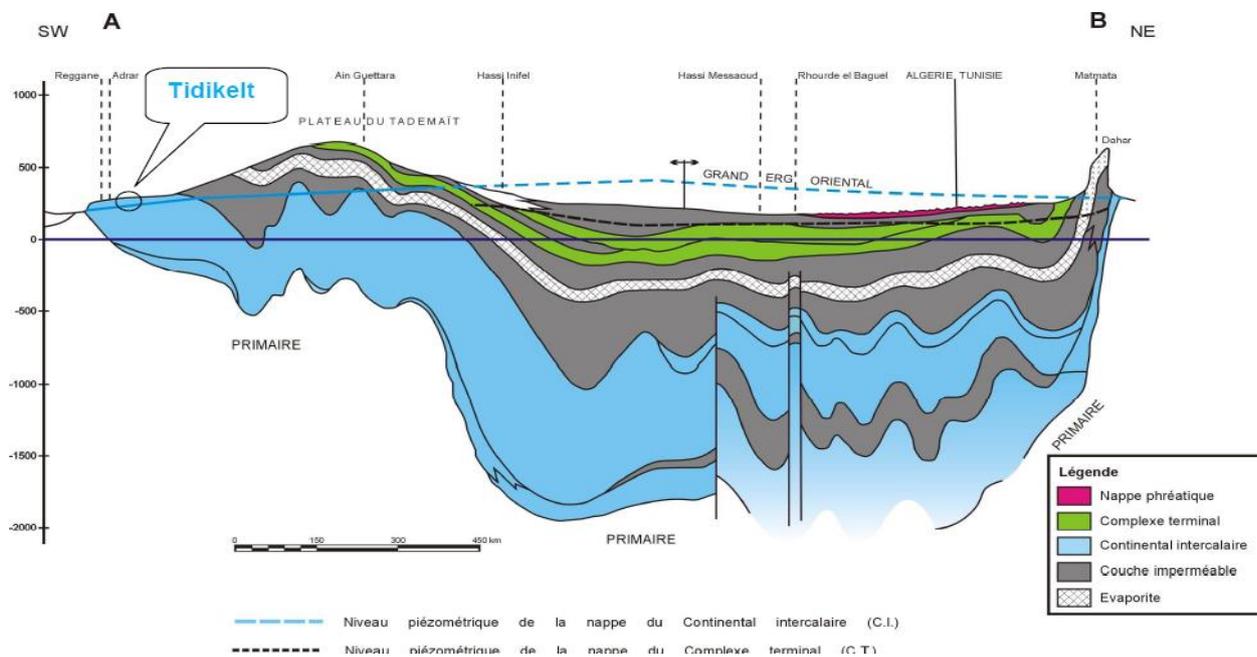
Le climat de la région est typiquement Saharien caractérisé par :

- Une grande sécheresse de l’atmosphère qui se traduit par un pouvoir d’évaporation considérable
- Une très forte insolation due à la faible nébulosité qui accentue les variations thermiques
- Une très faible pluviométrie qui entrave le développement d’une couverture végétale adéquate ce qui accentue les effets du vent de sable.

### **2.4. Les capacités en eau dans la région d’étude**

Dans une région caractérisée par la rareté des eaux de surface, causée par le faible pluviomètre, et une température peut atteindre la barre de 50° (DSA In Ghar). Un tel volume

d'eau peut disparaître rapidement. Le taux d'évaporation et l'infiltration est très élevé. La seule ressource en eau disponible est l'eau souterraine. Depuis des siècles les oasis du Grand Erg occidental, la foggara de l'oasis d'In Ghar capture les eaux de la nappe d'Erg. Ces nappes s'alimentent par les eaux des crues à travers les oueds perdus sous les quantités de sable. L'oasis In Ghar est située à la périphérie du plateau de Tademaït qui assiste sur la nappe du continental intercalaire. Les forages de Tidikelt (région d'étude) exploitent un apport important des quantités d'eau de la nappe du Continental Intercalaire (Fig.2.3). Cette nappe est en effet libre sur plus du moitié du Sahara Septentrional cependant à des profondeurs de 130 à 200 m (Besbes, Larbes, Babasy, Merzougui, Juin 2005). La quantité d'eau capté se fera toute dépend des techniques d'acquisition et mobilisation des réserves d'eau.



**Fig. 2.3. Coupe hydrogéologique schématique à travers le Sahara (UNESCO, 1972)  
Limites des deux grands systèmes aquifères du Sahara septentrional (système aquifère du Continental intercalaire ; système aquifère du complexe terminal)**

L'eau de cette nappe présente une salinité moyenne à In Ghar et In Salah avec des basses températures de l'ordre de 25°C. Ces régions du Sud-Ouest se distinguent par leur système de captage et d'irrigation qui est celui de la Foggara. (DRE In Ghar). La minéralisation de l'aquifère du Continental Intercalaire est très variable. Elle augmente dans les zones d'alimentation vers les exutoires et en profondeur avec les niveaux argileux (DRE In Ghar). L'analyse minéralogique faite par le DRE In Ghar, de cette nappe albienne a donné les résultats suivants :

**Tableau 2.1. Analyse minéralogique de la nappe albienne (ANRH)**

Ca	Mg	K	Na	Cl	So <sub>4</sub>	Hco <sub>3</sub>	No <sub>2</sub>
150 mg/l	85 mg/l	30 mg/l	342 mg/l	531 mg/l	590 mg/l	113 mg/l	00 mg/l

Avec un pH de 7,3 et un Résidu Sec à 110 C de l'ordre de 2 g/l.

## 2.5. Missions et enquêtes

Contrairement, aux foggaras de Touat et Gourara qui ont fait l'objet de plusieurs études, les foggaras d'In Ghar n'ont pas eu l'occasion d'être étudiées par les spécialistes. C'est la raison qui nous a poussée à s'intéresser à ces ouvrages hydrauliques. A cet effet, nous avons effectué une mission dans l'oasis d'In Ghar durant le mois de décembre 2013. Des enquêtes ont été menées auprès de la population locale et les propriétaires des foggaras pour avoir le maximum d'informations sur ces ouvrages d'arts. Pour avoir un état détaillé sur le fonctionnement des foggaras, des investigations ont été effectuées à l'amont et à l'aval de ce système hydraulique. La foggara d'Irsan est considérée comme le symbole de la région a été choisi pour une étude détaillée. C'est ainsi que la galerie, les puits (Fig.2.4), les kasrias et les madjens, ainsi les seguias, de la foggara ont été visitées afin de dresser un bilan final de cet ouvrage hydraulique. Pour compléter cette étude, des données, des archives et des cartes ont été consultés au niveau de la direction de l'agriculture (DSA). Des données précieuses sur les foggaras ont été collectées auprès des services d'hydraulique de la région (Agence Nationale des Ressources Hydriques et Direction des Ressources en Eau de la wilaya).



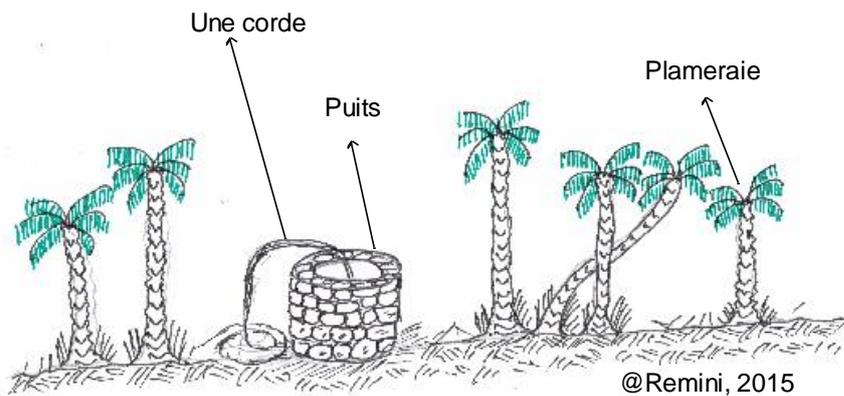
**Fig.2.4. puits de la foggara Irsan (2013)**

## 2.6. Technique de l'évolution et de captage des eaux dans la région d'In Ghar

Diverses techniques hydrauliques de captage des eaux ont été utilisées dans la région d'In Ghar depuis plus de neuf siècles. Il s'agit :

### 2.6.1. Puits Ordinaires

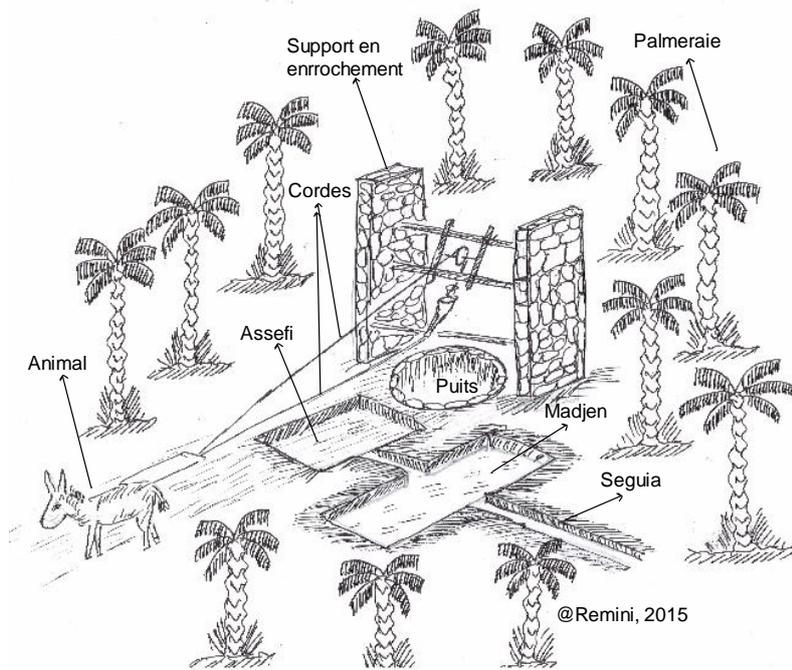
Ils captent uniquement les nappes peu profondes. Un puits de profondeur moyen de 20m. Le principe d'élévation l'eau est simple. Une opération basée sur l'énergie humaine. Un seau attaché à une corde peut être remonté par un homme.



**Fig.2.5. Schéma synoptique d'un Puits à énergie humaine (Remini, 2015)**

### 2.6.2. Puits à traction animal

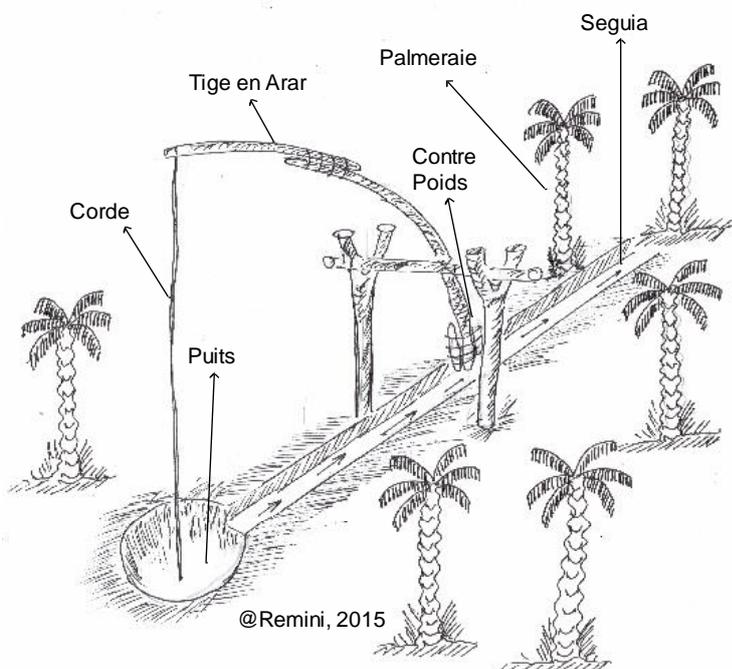
Les puits à traction animal. Le principe d'élévation des quantités d'eau est basé sur l'énergie animale sans l'intervention d'homme. Corde attaché un récipient rempli d'eau de puits, tirées par un âne ou un chameau. Cette opération permet de remonter la provision d'eau. Avec la tension différente des cordes (Fig.2.6), permet de vider le récipient au madjen. Une fois le madjen et rempli, les seguias s'écoulent pour irrigués les palmeraies.



**Fig.2.6. Schéma synoptique d'un puits à traction animal (Remini, 2015)**

### 2.6.3. Puits à contre poids

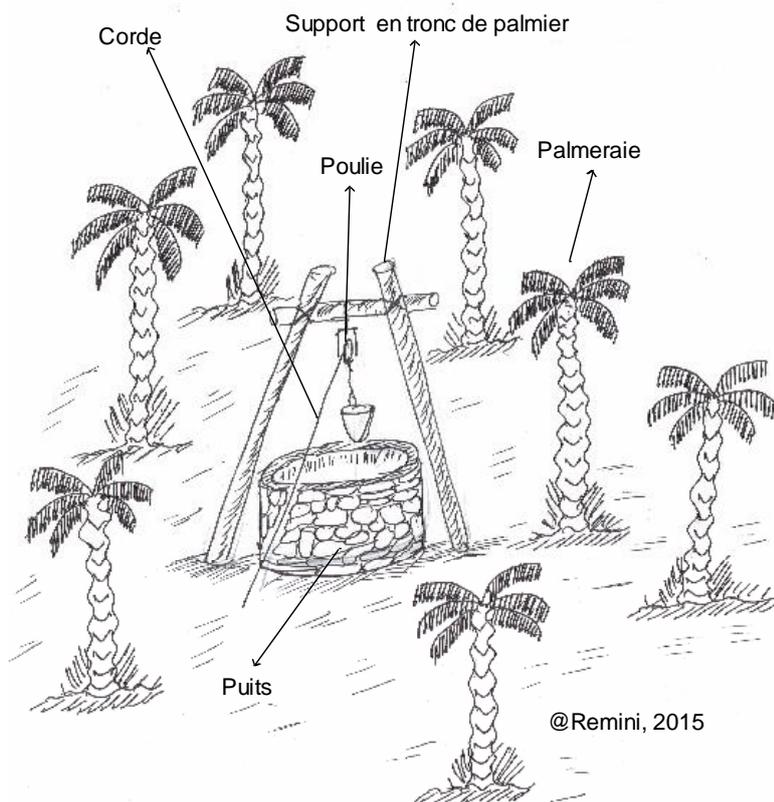
Les puits à contre poids basés sur le principe de moment d'inertie (Fig.2.7). Un arbre articulé sur deux appuis, attaché par une corde, un seau et une tige en Arare. Un effet contre poids sur le volume de récipient à l'extrémité de la tige déversé la quantité d'eau, qui s'écoule à travers d'une seguia pour irrigué les surfaces de palmeraie.



**Fig.2.7. Schéma synoptique d'un puits à contre poids (Remini, 2015)**

#### 2.6.4. Puits à poulie

Les Puits à poulie ont été creusés par les oasisiens avec des moyennes ordinaires. La profondeur moyenne est de 40 m pour attendre la nappe. La partie haute a une ouverture plus large que la base. Les parois ont été crépis par des argiles préparées à la surface, l'ouverture des puits est entourée par des briques en argile. Une fois le puits réalisé, un système d'approvisionnement de trois pieds est mis en place sur l'ouverture de puits. Une poulie attachée avec un seau métallique (à l'époque est en peau de bouc) par une corde tirée par l'homme, permet de remonter des quantités d'eau. Un bassin est rempli pour permettre au bétail de s'abreuver et irriguer les palmeraies. Avec l'élévation du niveau de vie des motopompes ont été équipées pour capter des quantités d'eau très élevées.



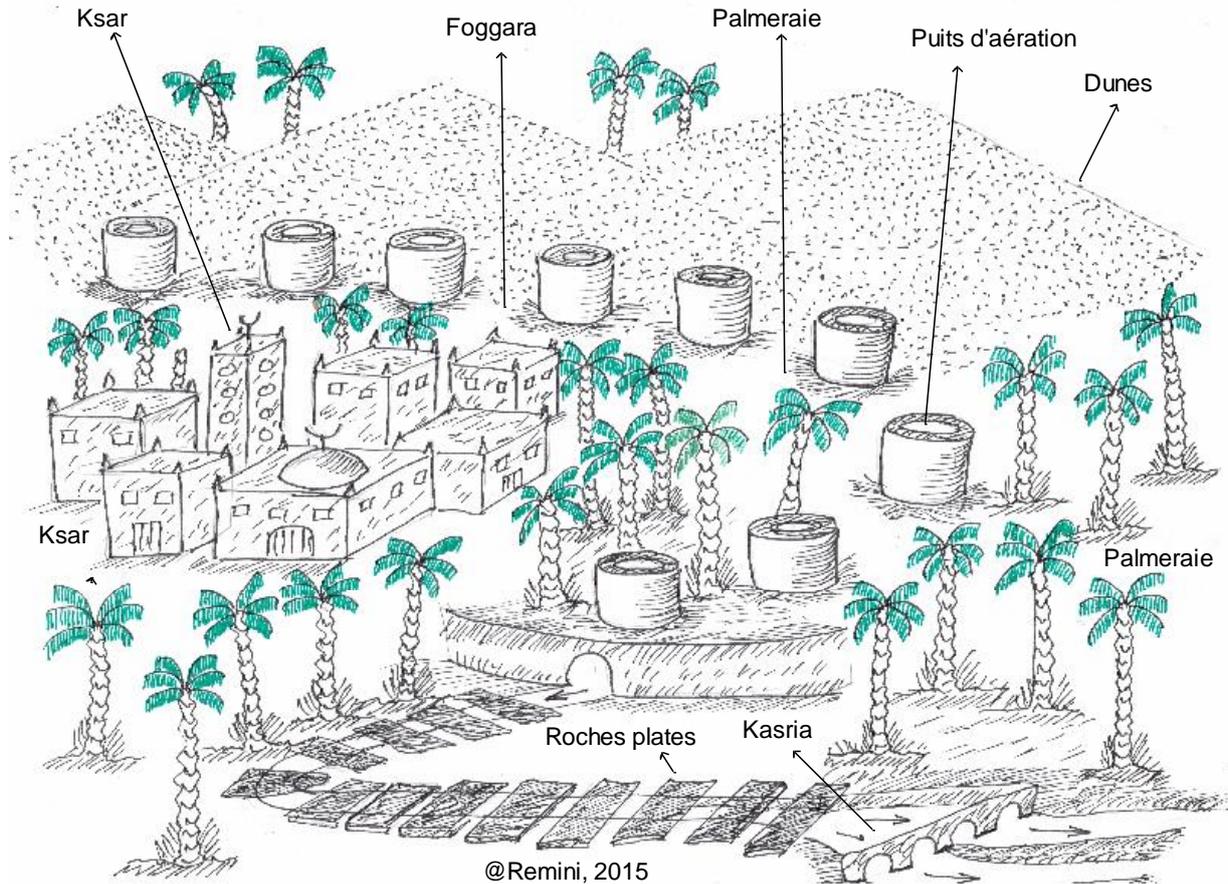
**Fig.2.8. Schéma synoptique d'un puits à poulie (Remini, 2015)**



**Fig.2.9. Photo d'un puits à poulie (2013)**

### **2.6.5. Les foggaras**

La foggara est le système le plus adapté dans le Touat, Gourara, et Tidikelt. Un système de captage des eaux souterrain a été utilisé dans plusieurs pays du monde cependant de l'Iran, la Syrie, Italie, Maroc, et Algérie. Un ouvrage d'art constitué par des centaines des puits entourés en surface, raccordés entre eux avec une galerie souterraine (plus de 500 puits, cas de la foggara d'Irsan) avec une longueur peut attendre de 15 km qui serve de conduite l'écoulement de l'eau entre une nappe et une palmeraie. Un véritable réseau des seguias, des madjen ont été mis en place pour accumuler des quantités d'eau destinée à l'irrigation des jardins, et qui permettant de localiser ces foggaras, on trouve des seguias couvertes par des roches plates dans les endroits ou risque de phénomène d'ensablement (Fig.2.10). Le débit de la foggara est régulier de foggara à l'autre tout au long de l'année sa dépend à le nombre des puits constituant la foggara et ses champs de captages.



**Fig.2.10. captage des eaux par la foggara (Remini, 2015)**

### **2.6.6. Les puits artésien**

Le puits artésien est le résultat d'un forage qui entraîne un jaillissement spontané de l'eau. Le matériel est le même que le forage pétrolier. Le trou de la sonde communique avec une nappe aquifère profonde, alimentée au loin (ou ayant des réserves) à un niveau supérieur à celui du niveau du sol du sondage. A In Ghar les forages artésiens étaient alimentés par une nappe peut attient à 300 mètres de profondeur (DRE In Ghar), avec une eau à 25°C et parvenait au sommet du forage avec une pression considérable.

### **2.7. La qualité des eaux dans l'oasis d'In Ghar**

Le nombre des foggaras creusées dans les oasis d'In Ghar s'élève à 11. Ce chiffre a été confirmée par l'enquête que nous avons effectué sur les lieux des foggaras, 19 forages profonds sont creusés dans l'oasis d'In Ghar, la ville d'In Ghar est actuellement alimentée par deux (02) forages situés au lieu-dit TAGHEBARA (à environ 15 km de la ville).

Le débit total d'exploitation de ces forages est de 60 l/s (30 l/s chacun) ainsi plus de 5 puits traditionnels situés à l'aval des foggaras et les palmeraies. Par les copropriétaires des foggaras insistent et le service d'agriculture sont déclarés : sur les 11 foggaras qui alimentent

les oasis d’In Ghar drainent les eaux par la nappe phréatique sous l’erg. En se basant sur le service d’hydraulique, L’APC d’In Ghar la foggara Adjded a été abandonnée et elle ne débite plus depuis 2000.

### 2.7.1. Qualité des eaux de la foggara d’In Ghar

Pour déterminer la variation de la salinité d’une eau de foggara. DRE d’in Ghar prélevé quatre prises d’une même foggara, est la foggara d’Irsan. L’usage de ces eaux est généralement à l’irrigation, mais parfois ces eaux sont utilisées aussi pour la consommation humaine dans beaucoup dans les régions ou les forages d’AEP sont plus salés que les foggaras. Selon DSA ces échantillons sont analysés en 2011 au laboratoire de L’ANTH DRO Adrar, avec des analyses demandées, sous le N° de laboratoire 2357. Les tableaux suivants résumement les résultats d’analyse des eaux de notre foggara.

**Tableau.2.2. Analyse des eaux de kasia Tidoght Irsan-In Ghar (source DSA In Ghar, 2011)**

	Paramètres	Symbole	Unités	Résulta	N.de potabilité	Val.de réfé.pour irrigation
Physicochimique	PH			8 ,03	6,5 à 8,5	
	Conductivité		Ms/cm	2,87	400	3000
	Turbidité eau brute		NTU	0,00	1	
	Residu sec à 110°C		Mg/l	1810,00		
Paramètre de pollution	Ammonium	NH4+	Mg/l	0,00	0,5	
	Nitrite	NO2-	Mg/l	0,00	0,1	
	Nitrate	NO3-	Mg/l	22,00	50	45
	O. Phosphate	PO4-	Mg/l	0,00		6,2
	Mat.OX(mil.Ac.)		Mg/l	0,00		
Minéralisation Globale	Calcium	Ca++	Mg/l	143	100	400
	Magnes	Mg++	Mg/l O2	60	50	60,75
	Sodium	Na+	Mg/l	418	150	920
	Potass	K+	Mg/l	32		2
	Chlorure	Cl-	Mg/l	600	250	1065
	Sulfate	SO4 - -	Mg/l	513	250	960
	Bicarbon.	HCO3-	Mg/l	140		610
	Carbonate	CO3 - -	Mg/l	0		
	TH	°F	-	60		
	TAC	°F	-	12	50	
	TA	°F	-	0	2,5	
	Minéralisation	-	Mg/l	1779		45
	Somme des ions	-	Mg/l	1928		

**Tableau.2.3. Analyse des eaux de Seguia Tidoght Irsan- In Ghar (source DSA In Ghar, 2011)**

	Paramètres	Symbole	Unités	Résulta	N.de potabilité	Val.de réfé.pour irrigation
Physicochimique	PH			7,91	6,5 à 8,5	
	Conductivité		Ms/cm	2,87	400	3000
	Turbidité eau brute		NTU	0,10	1	
	Residu sec à 110°C		Mg/l	1780		
Paramètre de pollution	Ammonium	NH4+	Mg/l	0,01	0,5	
	Nitrite	NO2-	Mg/l	0,00	0,1	
	Nitrate	NO3-	Mg/l	31,00	50	45
	O. Phosphate	PO4-	Mg/l	0,11		6,2
	Mat.OX(mil.Ac.)		Mg/l	0,70		
Minéralisation Globale	Calcium	Ca++	Mg/l	122	100	400
	Magnes	Mg++	Mg/l O2	76	50	60,75
	Sodium	Na+	Mg/l	360		920
	Potass	K+	Mg/l	30		2
	Chlorure	Cl-	Mg/l	550	250	1065
	Sulfate	SO4- -	Mg/l	525	250	960
	Bicarbon.	HCO3-	Mg/l	137		610
	Carbonate	CO3- -	Mg/l	0		
	Silice	SiO2		-		
	TH	°F	-	61		
	TAC	°F	-	11	50	
	TA	°F	-	0	2,5	
	Minéralisation	-	Mg/l	1779		45
	Somme des ions	-	Mg/l	1835		

**Tableau 2.4. Analyse des eaux de madjen Tidoght Irsan –In Ghar (source DSA In Ghar, 2011)**

	Paramètres	Symbole	Unités	Résultat	N.de potabilité	Val.de réfé.pour irrigation
Physicochimique	PH			8,22	6,5 à 8,5	
	Conductivité		Ms/cm	2,69	400	3000
	Turbidité eau brute		NTU	0,10	1	
	Residu sec à 110°C		Mg/l	1845		
Paramètre de pollution	Ammonium	NH4+	Mg/l	0,07	0,5	
	Nitrite	NO2-	Mg/l	0,035	0,1	
	Nitrate	NO3-	Mg/l	28,00	50	45
	O. Phosphate	PO4-	Mg/l	0,27		6,2
	Mat.OX(mil.Ac.)		Mg/l	1,80		
Minéralisation Globale	Calcium	Ca++	Mg/l	135	100	400
	Magnes	Mg++	Mg/l O2	57	50	60,75
	Sodium	Na+	Mg/l	433		920
	Potass	K+	Mg/l	34		2
	Chlorure	Cl-	Mg/l	650	250	1065
	Sulfate	SO4- -	Mg/l	488	250	960
	Bicarbon.	HCO3-	Mg/l	95		610
	Carbonate	CO3- -	Mg/l	0		
	Silice	SiO2		-		
	TH	°F	-	57		
	TAC	°F	-	8	50	
	TA	°F	-	0	2,5	45
	Minéralisation	-	Mg/l	1835		
Somme des ions	-	Mg/l	1919			

**Tableau.2.5. Analyse des eaux d'Abadou Tidoght Irsan-In Ghar (source DSA In Ghar, 2011)**

	Paramètres	Symbole	Unités	Résulta	N.de potabilité	Valeur.de référence pour irrigation
Physicochimique	PH			8 ,03	6,5 à 8,5	
	Conductivité		Ms/cm	2,87	400	3000
	Turbidité eau brute		NTU	0,20	1	
	Residu sec à 110°C		Mg/l	1860		
Paramètre de pollution	Ammonium	NH4+	Mg/l	0,15	0,5	
	Nitrite	NO2-	Mg/l	0,25	0,1	
	Nitrate	NO3-	Mg/l	22,00	50	45
	O. Phosphate	PO4-	Mg/l	0,20		6,2
	Mat.OX(mil.Ac.)		Mg/l	1,40		
Minéralisation Globale	Calcium	Ca++	Mg/l	148	100	400
	Magnes	Mg++	Mg/l O2	65	50	60,75
	Sodium	Na+	Mg/l	420		920
	Potass	K+	Mg/l	32		2
	Chlorure	Cl-	Mg/l	610	250	1065
	Sulfate	SO4- -	Mg/l	508	250	960
	Bicarbon.	HCO3-	Mg/l	140		610
	Carbonate	CO3- -	Mg/l	0		
	TH	°F	-	63		
	TAC	°F	-	12	50	
	TA	°F	-	0	2,5	
	Minéralisation	-	Mg/l	1779		45
Somme des ions	-	Mg/l	1945			

### 2.7.1.1. Interprétation des résultats

Les eaux prélevées et analyses de la foggara Irsan, donnent un PH acceptable et ne dépasse pas les normes (6,5 à 8,5), par tous les points prélevés, l'eau de la foggara Irsan ne pas

polluant, mais l'augmentation de nitrite (0,25) dans Abadou signifie le contact l'eau avec terre. Le taux de la minéralisation dans foggara élève est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par l'eau. L'ion calcium est obtenu en majorité par l'attaque par CO<sub>2</sub> dissous des roches calcaires. Ou par simple dissolution sous la forme de sulfates dans le cas de gypse. La teneur en magnésium dépend, de la composition des roches rencontrées tel que les roches formées par le calcaire dolomitique. L'eau de cette foggara donne une minéralisation supérieure à 1000 mg/l et inférieure à 2000 mg/l, cette gamme rend pour des eaux de qualité acceptable pour l'irrigation et de qualité mauvaise pour la consommation. D'après les résultats d'analyses, l'eau de la foggara est mauvaise pour l'alimentation en en potable. La population locale s'alimente toujours de l'eau de la foggara.

### **2.7.2. Qualité des eaux de forages**

Deux systèmes hydrauliques (traditionnels et modernes) alimentent la ville d'In Ghar. En plus de 10 foggaras et en particulier la foggara d'Irsan alimente le ksar d'In ghar et irrigue la palmeraie. Par contre deux forages ont été installés à la préférence de la région d'In ghar pour capter les eaux de la nappe du continental intercalaire. Cet immense aquifère d'une capacité théorique de 60 milliards de m<sup>3</sup> occupent la totalité du Sahara (Besbes, Larbes, Babasy, Merzougui, 2005). La profondeur de la nappe albiennaise dans la région de Tidikelt avoisine 130 m à 200 m. Les deux forages refoulent des débits de 30 l/s chacun à des profondeurs de 160 m. selon les analyses effectués par les services de l'ANRH d'Adrar l'eau des forages présentent une mauvaise qualité (tableau.2.6).

**Tableau.2.6. Les résultats des analyses physico – chimiques (source DSA In Ghar, 2011)**

Paramètres	Unité	Date			NORMES		
		08/03/ 2006	26/10/ 2010	28/10/ 2010	OMS	Algérienne	Européenne
Calcium (Ca <sup>++</sup> )	Mg/l	136	152	152	-	200	-
Magnésium (Mg <sup>++</sup> )	Mg/l	80	80	80	-	150	50
Sodium (Na <sup>+</sup> )	Mg/l	390	390	390	200	200	200
Potassium (K <sup>+</sup> )	Mg/l	33	30	30	-	20	12
Chlore (Cl)	Mg/l	600	720		PVG	500	250
les sulfates(SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	Mg/l	550	460	460	500	400	200
Carbonate (CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Mg/l	0	0	0		-	-
Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Mg/l	146	125	128		-	-
Les nitrites(NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	Mg/l	0	0,01	0,01	0,1	-	-
les Nitrates(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Mg/l	16,5	22	21,8	50	50	50
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Mg/l	0,01	-	-	-	-	-
La dureté TH (°F)	-	66	70	70	10-20	Max 50	15-50
TAC (°F)	-	12	10	11	-	-	-
TA (°F)	-	0	0	0	-	-	-
Minéralisation	Mg/l	1959	2027	2027	1500	-	-
Somme des ions	Mg/l	1952	1979	1972	-	-	-
Résidu Sec à 110 °c	Mg/l	1960	2040	2030	-	-	-
Conductivité 25 °c	Ms/cm	3,16	3,27	3,27	-	2,8	2,5
Température	°C	-	22	22	PVG	25	<25
PH	-	7,19	7,52	7,52	6,5-9,5	7-8,5	6,5-9,5
Turbidité eau brute	NTU	0,08	0,01	0,01	5	5	2
Turbidité eau décanté	NTU	-	0	0	5	5	2
Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	Mg/l	0,1	0,02	0,01	-	0,5	

### 2.7.2.1. Interprétation des résultats

La caractérisation des eaux souterraines concerne essentiellement l'analyse des paramètres de base (pH, température et conductivité) des ions majeurs et d'éventuels éléments traces.

La conductivité, la température et le pH permettent de définir les caractéristiques fondamentales de l'eau. La recherche des contrastes de ces paramètres entre différentes dates de prélèvements facilite la mise en évidence la qualité des eaux en conformités avec les recommandations de l'OMS avec cette dernière on interprète les résultats d'analyse des eaux des deux forages. Le tableau présente les analyses des eaux de la région IN GHAR, montre que les valeurs mesurées sur les eaux du réservoir présentent des températures basses, vu la période d'échantillonnage (mois d'octobre), la température est de 22°C. Ne dépasse pas la norme algérienne (25°C), Cette température confirme la profondeur de la nappe Albienne dans la région d'In Ghar (entre 130 et 200 m). Les eaux prélevées et analysées dans les défèrent dates de prélèvement, donnent un ph acceptable avec une moyenne de 7,32 et ne dépasse pas les normes (6,5 à 8,5), cette neutralité montre l'existence d'un équilibre entre les hydrogénocarbonates déterminés par le TAC et l'acide carbonique libre (CO<sub>2</sub>). Le calcium est un métal alcalino-terreux présent dans les eaux de forage. Les sels de calcium sont obtenus lors de l'attaque de roches calcaires (qui sont formées essentiellement de carbonate de calcium) par l'anhydride carbonique dissous (CO<sub>2</sub>). Le magnésium est un élément qu'on retrouve dans de nombreux minéraux et dans les calcaires. La teneur en magnésium est en

relation directe avec la nature géologique des terrains traversés, il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches magnésiennes et de la mise en solution du magnésium sous forme de carbonates ( $MgCO_3$ ) et de bicarbonates ( $Mg_2HCO_3$ ). Le titre hydrotimétrique (TH) exprime la teneur en sels de calcium et de magnésium (la dureté totale). Ce qui les rends très dures et donc entartrates. D'après les normes de potabilité des eaux établies par l'O.M.S (50°F), on remarque que pour tous les échantillons prélevés présentent une dureté importante, elle est de 70 °F (66 °F en 2006), le titre hydrotimétrique minimal dépasse 60°F ;ce qui montre que les eaux de cette région sont très dures. Une eau dure, par son apport en calcium et en magnésium, est bonne pour la santé, mais par contre elle accélère l'entartrage des conduites et réagit mal au savon. Le titre alcalimétrique (TA) permet de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau. Le TA dose la totalité des hydroxydes est nul et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformés en bicarbonate (le Titre alcalimétrique complet et des carbonates).donc les eaux de deux forages présentent un caractère alcalin bicarbonaté du fait que le PH est souvent inférieur à 8,5. (Alors pour des pH inférieurs à 8,5 le TA est nul et les concentrations négligeables en ion  $OH^-$  et  $CO_3^{2-}$  qui confirme la valeur TAC est de moyenne de 11°F se résume à la mesure des ions bicarbonates.) Dans notre cas le pH < 8,5 donc le TA est = 0, et TAC correspond à la totalité des bicarbonates. L'eau du réservoir n'est pas polluante, mais une valeur très petite de nitrite (0,01) par rapport à la norme OMS (0,1) dont les deux derniers prélèvements menacent le problème d'entartrage des conduites, La teneur moyenne en nitrates est de 20,1 mg/l. cette valeur reste en dessous de la norme OMS (50 mg/l). La turbidité : Les résultats d'analyses montrent que les eaux des forages sont des eaux claires. (Turbidité  $0.01 < 5$  NTU). Les résultats d'analyse du mélange des eaux des deux forages font apparaître des teneurs élevés en résidu sec à 110°C, on a relevé une teneur moyenne de 2035 mg/l. avec une conductivité électrique à 25°C de l'ordre de 3,27 Ms/cm Toutes Les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 2,8 Ms/cm (norme algérienne). De plus elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale 2027 mg/l. dépassant les normes de l'O.M.S (soit 1500 mg/l).

Les teneurs en sodium dans les eaux de forages sont largement supérieurs à la norme OMS (200 mg/l). On a relevé en une concentration moyenne de 390 mg/l. Ces teneurs élevées en sodium participent au goût particulier de l'eau, et peuvent favoriser l'hypertension. Le potassium de deux forages de (13,65 mg/l) est en dessous de la norme (20mg/l). Les résultats d'analyse des eaux de forage font apparaître des teneurs importantes en chlorures, on a relevé

une teneur moyenne de 715 mg/l, et une teneur en sulfates de 460 mg/l. ces teneurs sont en dessous aux normes OMS (500 mg/l) mais reste en dessus des normes algériennes (400 mg/l) et européennes (200mg/l).et une très faible en phosphate dans la région d'In -Ghar.

## 2.8. L'eau dans le ksar

Une fois l'eau trouvée, les oasiens ont organisé à l'aval de la foggara un plan architectural bien structuré. Une multitude des maisons construites autour du ksar pour former un village traditionnel avec une mosquée et le souk. Les matériaux locaux utilisés dans la construction tel que l'Argile, cailloux, pierres...se sont des matériaux iso-thermique. Les maisons ont été chaude en été, et froide en hiver. Un réseau des seguias traversés le ksar pour alimente à la fois le ksar en eau potable et irriguer les palmeraies situés en aval. (Selon Chaouche, (2007) le ksar a été amélioré par des formes urbaines et des rues étroites favorisant l'introversion de la maison pour préserver l'intimité, terrasses accessibles de l'urbanisme. (Fig.2.11, 2.12, et 2.13)).



**Fig.2.11. Rue couverte : l'ombrage urbain (Chaouche, 2007)**



**Fig.2.12. Rue à l'intérieur du ksar « In Ghar » (2013)**



**Fig.2.13. La mosquée du ksar à In Ghar (2013)**

Dans les oasis d’In Ghar, les maisons sont généralement construites en briques crues faites d’un mélange d’argile et de paille, séchées au soleil. Tout en étant un bon isolant thermique, cette argile ne résiste pas aux pluies torrentielles que peut subir l’oasis (Fig.2.14, et 2.15).



**Fig.2.14. La construction des maisons à In Ghar (2013)**



**Fig.2.15. Briques crues faites d'un mélange d'argile et de paille (2013)**

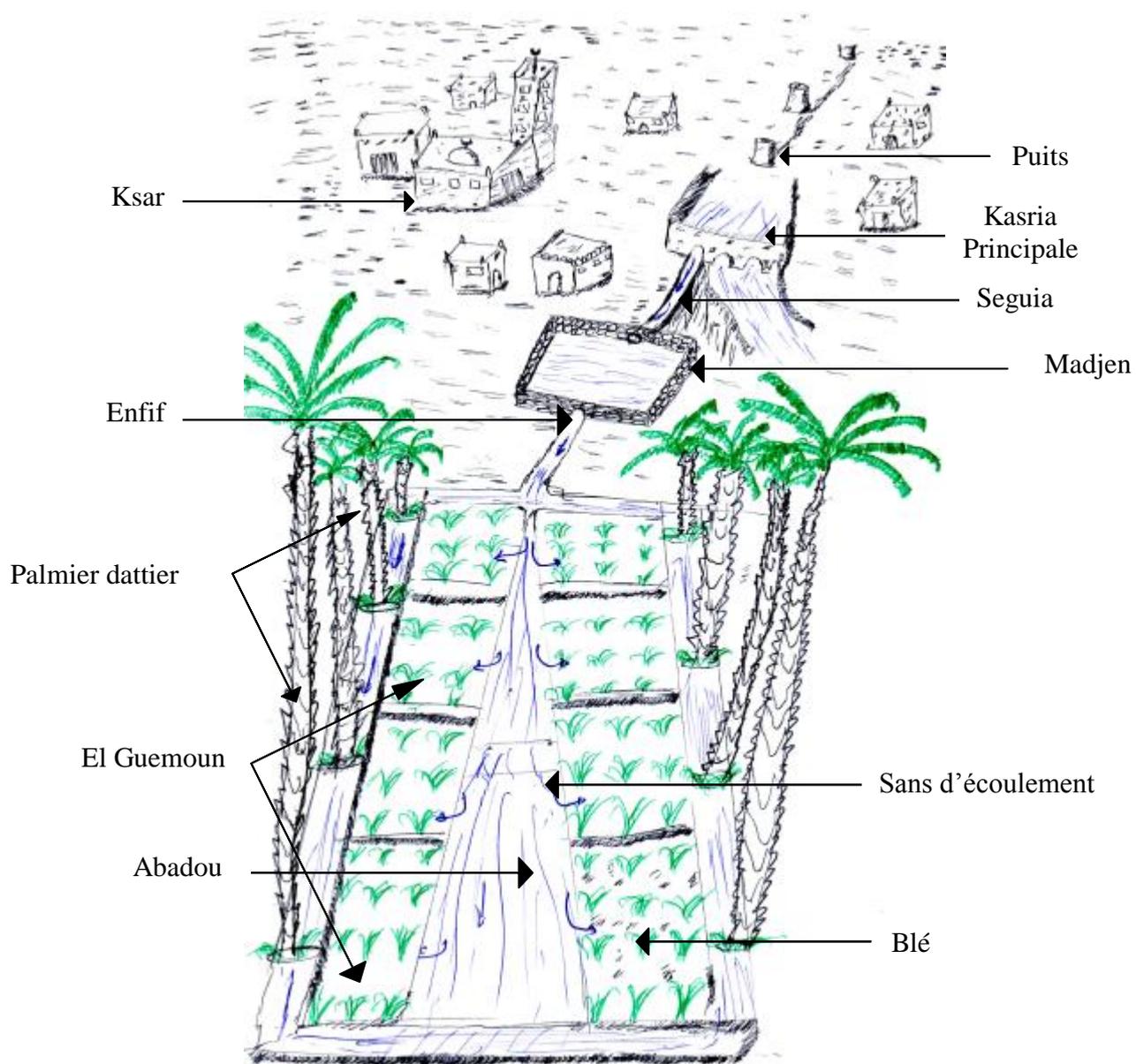
A l'élévation du mode de vie dans l'oasis et la surcharge démographique, le ksar d'In Ghar se dégrade plus que comme avant. Le Ksar, des maisons éboulées et d'autre abandonnées et non pas entretenues (Fig.2.16). Une nouvelle mode de construction des maisons utilisées avec l'introduction de nouveaux matériaux et matériels, change le tissu traditionnel du ksar. Aujourd'hui, il est indispensable de mis en place des réglementations d'urbanisme, et des méthodologies envisagées afin de sauvegarder ce patrimoine qui témoin le passé de génération à l'autre.



**Fig.2.16. Dégradation avancée du ksar (2013)**

## **2.9. L'eau dans la palmeraie**

Plus de 2600 Puits furent creusées ainsi qu'une Trentième de kilomètres de galeries pour création 11 foggaras dans l'oasis d'In Ghar. Afin de capter l'eau et pouvoir d'irriguer les palmeraies de l'oasis. Les jardins furent développés à l'aval, ayant fortement conditionné par la suite l'évolution de l'oasis à divers espèces agricoles. Au niveau de la palmeraie, les cultures sont disposées d'une façon intercalaire constituant le jardin Oasien, sont principalement le palmier dattier, et des cultures secondaires (intercalaires) cultivées dans les Gumoun (Fig.2.18). Sont les : blé, orge, avoine, mil, oignon, pomme de terre, tomates, fourrage...etc. En générale les cultures maraichères (oignon, pomme de terre, tomates, poivron,...) et les cultures céréalières (blé et orge) sont plantées dans les bassins cultives mais les cultures fourragères comme (mil et avoine) sont plantées dans les canaux de distributions des eaux. (Fig.2.17). Aujourd'hui le débit des foggaras sont en diminution. La foggara d'Irsan est le plus importante à In Ghar, avait une diminution de son débit de 60 % à cause de l'exploitation extensif des eaux par les motopompes, l'éboulement des galeries des foggaras, et l'absence d'entretien. Conséquence de la diminution en volume d'eau de la foggara, les superficies des jardins irrigués se réduisent également. Au-delà de cet aspect, il est indispensable de chercher des solutions pour maintenir les foggaras et diminution l'apport d'exploitation extensif de la nappe par des techniques moderne comme la motopompe et les moteur électrogène afin de repoussé des nouvelle jardin.



**Fig.2.17. Schéma générale de la palmeraie**



**Fig.2.18. Répartition des cultures dans l'oasis (2013)**

## **2.10. Conclusion**

Comme nous l'avons montré précédemment, la population d'In Ghar a utilisé diverse techniques de captage durant neuf siècles. En partant du puits classique, puits à poulie, puits à traction animal, puits à balancier, foggara, puits à motopompe et les forages. Contrairement aux autres Oasis étudiés, l'Oasis d'In Ghar s'alimente toujours par la foggara malgré l'apport de nouvelles techniques de captage.

## **Chapitre 3**

# **LA FOGGARA D'IRSAN : LA PRINCIPALE SOURCE D'ALLIMENTATION EN EAU DE L'OASIS D'IN GHAR**

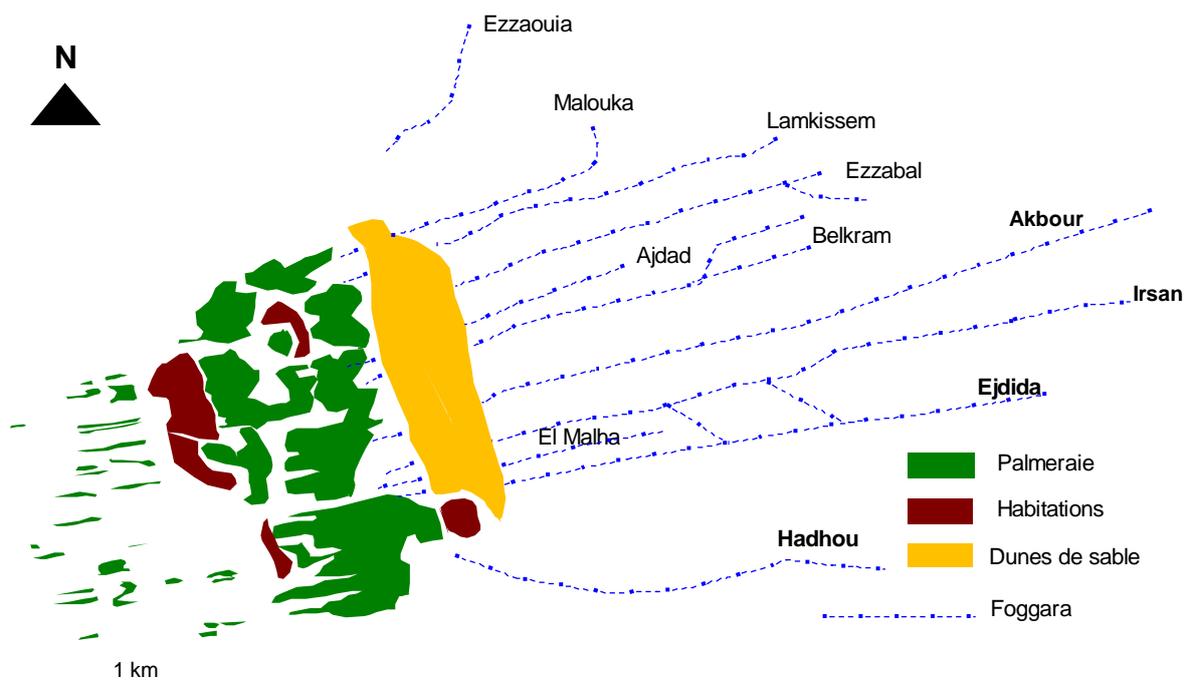
### **3.1. Introduction**

Dans ce chapitre nous avons discuté les différents résultats obtenus lors de la mission que nous avons effectuée sur le site des foggaras. La foggara d'Irsan est la plus grande foggara dans la région. Il s'agit d'un principale ouvrage hydraulique sers à la fois l'alimentation en potable du ksar et l'irrigation de la palmeraie et des jardins. Les caractéristiques de la foggara, l'évolution de son débit, et leur réseau de distribution sera examiné dans ce chapitre.

### **3.2. Les foggaras d'In Ghar**

Onze foggaras ont été creusées d'Est vers l'Ouest pour alimenter en eau les oasis d'In Ghar depuis 9 siècles (Fig.3.1). Contrairement aux foggaras de Touat qui captent les eaux de la nappe du Continental Intercalaire, les foggaras d'In Ghar exploitent les eaux cachées sous l'Erg. Cette nappe superficielle s'alimente par les oueds au lieu dit Taghbara. Durant neuf siècles les oasiens ont creusés des galeries d'une longueur totale de 36500 km. Plus de 2600 puits d'aération ont été creusées pour un profondeur moyenne de 15 m, soit une profondeur totale des puits égale à 3900 m. Pour avoir une idée sur l'effort établis par les oasiens, environ 95 millions de tonnes ont été excavées lors du creusement des galeries de 11 foggaras. Plus de 6500 tonnes de terre ont été enlevés lors du creusement des puits d'aération.

Le principe de fonctionnement de la foggara d'In Ghar est le même que celui des foggaras de Touat. Il est basé sur un drain souterrain légèrement incliné. Ce drain a subit des prolongements et des ajouts de galeries pour maintenir un débit appréciable afin de satisfaire la demande de l'alimentation du ksar et l'irrigation des palmeraies.



**Fig. 3.1. Les foggaras d’In Ghar (Remini, 2015)**

### 3.3. Caractéristiques de la foggara d’Irsan

La foggara d’Irsan est la plus ancienne et la plus grande foggara de la région d’In Ghar qui contient 11 foggaras. Personne ne peut confirmer la date de son creusement. Cependant, selon les informations recueillies sur les lieux de l’oasis d’In Ghar, c’est en 1100 que la foggara d’Irsan a été réalisée. L’Assemblée Populaire Communale d’In Ghar a confirmé cette date. La foggara d’Irsan possède une galerie de 8 km, équipée d’une succession de 504 puits d’aération, espacés de 3 à 12 m (Fig.3.2, 3.3 et 3.4). Contrairement aux foggaras de Touat et Gourara, les puits de la foggara d’Irsan sont peu profonds. Le puits le plus profond possède une hauteur de 24 mètres est situé au niveau des deux réservoirs d’eau de la ville avant l’Erg de Miliana. La foggara d’Irsan peut être considérée comme la plus grande foggara des régions de Touat, Gourara et de Tidikelt. Le débit initial de la foggara d’Irsan (115 l/min) était supérieur à celui de la foggara d’El Meghier considérée comme le plus grand ouvrage des oasis de Gourara, puisque son débit initial n’a pas dépassé 50 l/min (Remini et Achour, 2008).

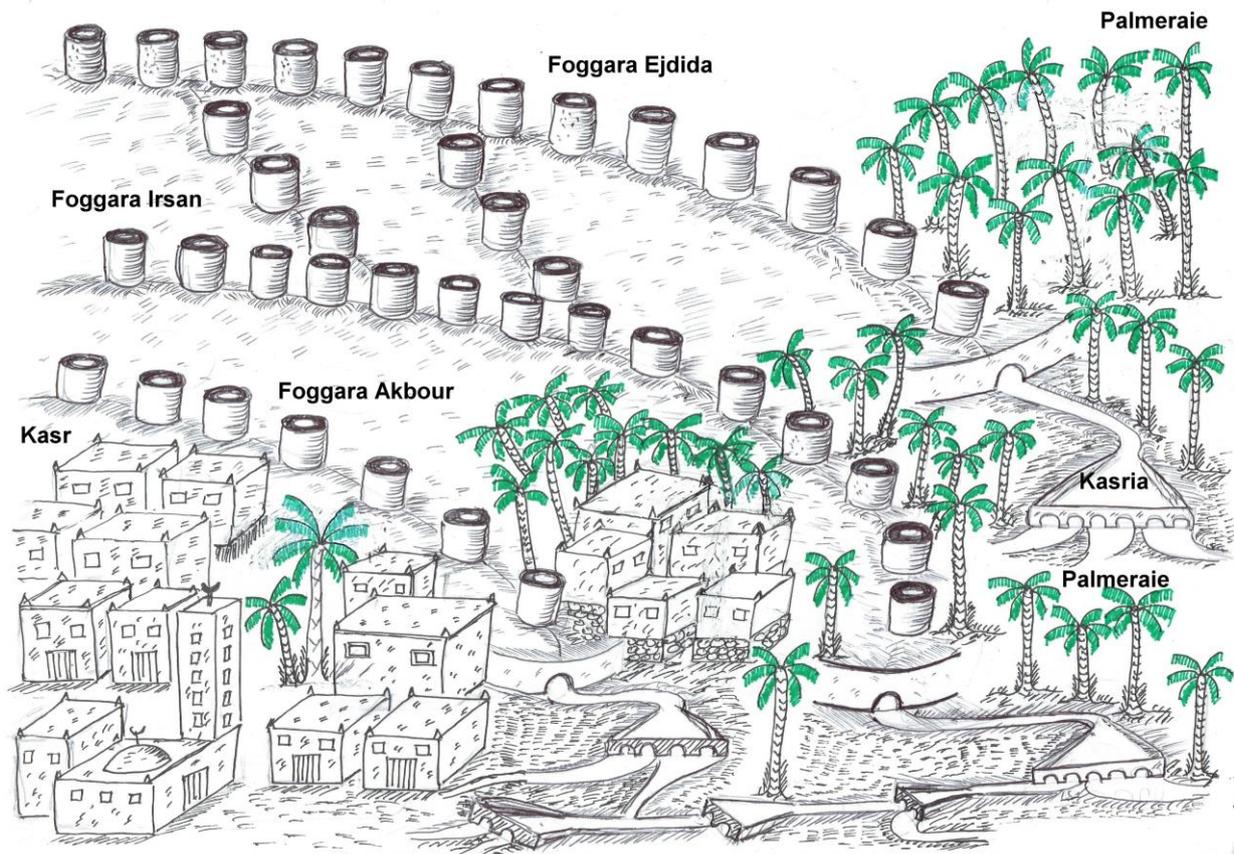
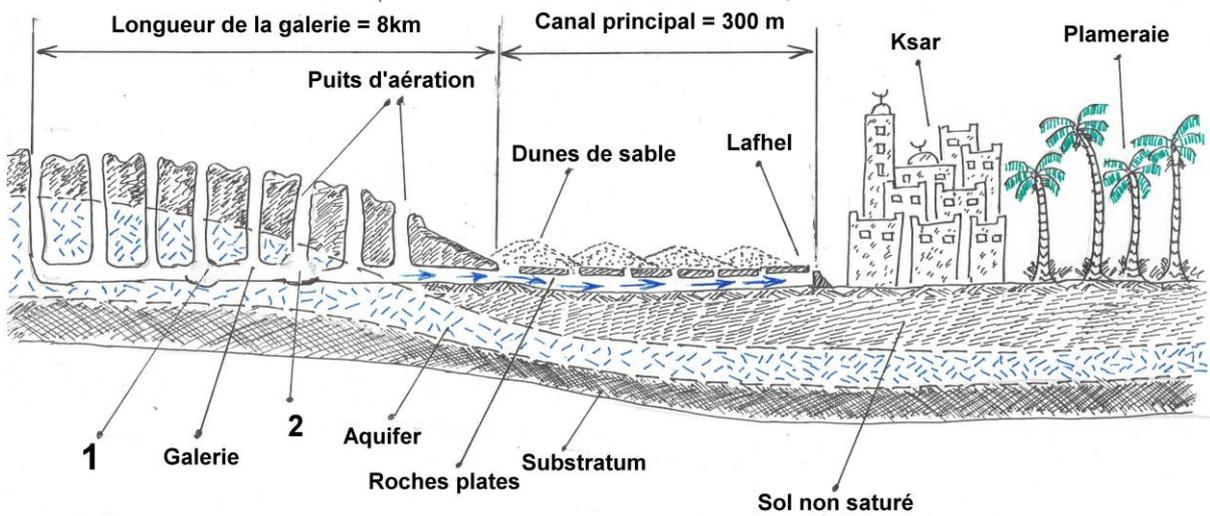
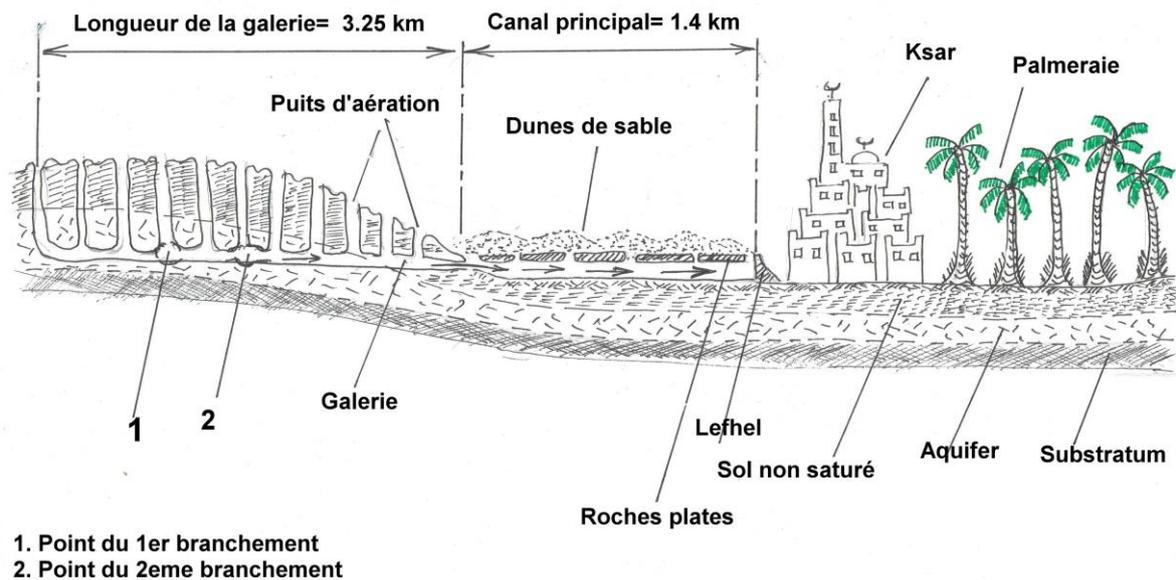


Fig.3.2. Croquis de la foggara d'Irsan (Remini, 2015)



- 1. Point du 1er branchement
- 2. Point du 2eme branchement

Fig.3.3. Schéma de la coupe longitudinale de la foggara d'Irsan (Remini, 2015)



**Fig.3.4. Schéma de la coupe longitudinale de la foggara El Djadida (Remini, 2015)**

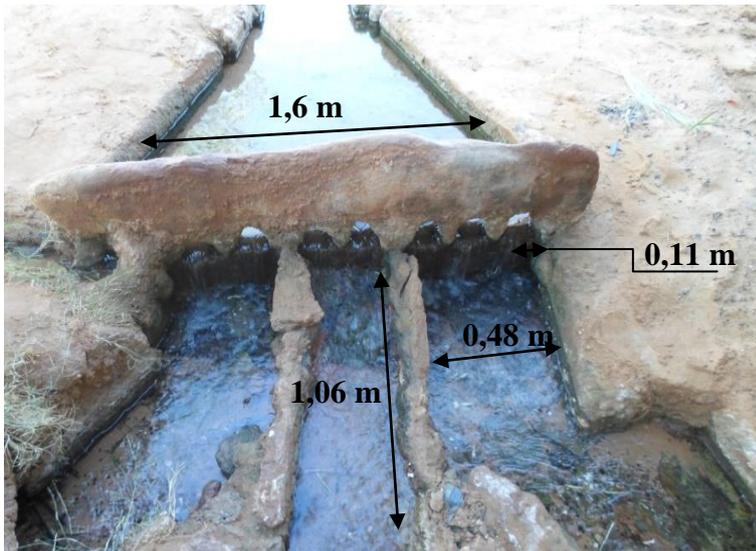
### 3.4. Evolution du débit de la foggara d'Irsan

L'originalité de la foggara d'Irsan réside dans la source de captage. En effet, la foggara draine les eaux de la nappe de l'Erg de Meliana. Cette nappe s'alimente par la recharge des eaux du ruissellement en provenance des eaux de crues drainées par les oueds qui se perdent dans l'Erg. En effet, les crues temporaires drainées par les oueds apportent une quantité d'eau non négligeable qui s'infiltre au milieu des dunes dans l'endroit dit Taghbara qui a formé la nappe d'eau localisée sous l'Erg. La masse du sable constitue un filtre naturel ce qui a donné la bonne qualité de l'eau. L'eau drainée de la foggara d'Irsan parcourt une longueur de 8 km sous les dunes et 300 m dans une seguia couverte de roches plates avant d'atteindre la palmeraie d'une superficie initiale de 60 hectares. La foggara alimente aussi en eau potables les 400 familles du ksar, soit un débit total de 51 l/s. La foggara d'Irsan est une foggara de l'Erg comme les foggaras d'Ouled Said de Timimoun qui captent les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental (Remini et Achour, 2013). Cependant, le débit d'une foggara de l'Erg est fonction des apports des ruissellements. On observe une légère croissance du débit durant la période des crues. Au début de l'exploitation de la foggara d'Irsan, le débit était de à 8640 habba (115 L/min), par contre aujourd'hui, il avoisine la valeur de 3878 habba (51L/min), soit une diminution de 60%. Dans l'oasis d'In Ghar, l'unité habba est égale à 0.8 L/min. Cette chute du débit est due à deux problèmes environnementaux : l'ensablement et les éboulements. En effet, plusieurs puits se trouvent ensablés au milieu de l'Erg Meliana depuis plusieurs siècles. Plusieurs tonnes de sables sont actuellement déposées dans plusieurs tronçons de la galerie qui sont localisés au cœur de l'Erg. Cette situation a compliqué

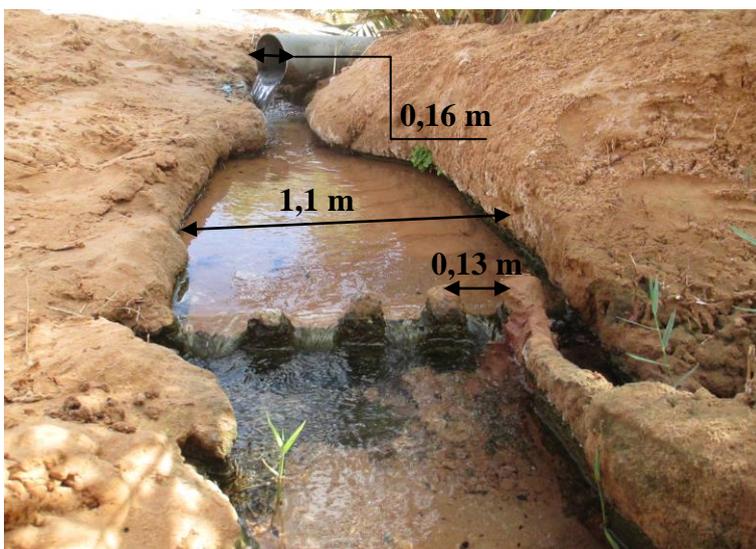
l'entretien de la foggara, vu les difficultés de l'accès à l'intérieur de la galerie. L'effondrement des puits et les éboulements périodiques à l'intérieur des galeries engendrent la régression de la section mouillée du canal. Ce qui provoque la diminution du débit de la foggara. Les propriétaires de la foggara ont recensé 14 puits effondrés au milieu de l'Erg. En 1940, une opération d'entretien d'une partie de la galerie a été effectuée par Taleb cheikh El Rakeb El Hadj Mohammed Abdelkader. Après cette opération, le débit de la foggara a fortement augmenté. Cependant après quelques années d'exploitation, le débit a diminué de nouveau. Mr Kaid Ouanni a raccordé la galerie de la foggara d'Irsan à la galerie de la foggara El Djadida par un tronçon de 500 mètres équipés de 20 puits d'aération environ. Après quelques années, ce tronçon de galerie a été complètement obturé par les matériaux suite à une série d'éboulement de galerie. Un deuxième tronçon a été réalisé par Mr Kaid Boulghit d'une longueur de 700 m et de 40 puits au sud du premier tronçon. Le raccordement permet de drainer un débit supplémentaire en provenance de la foggara El Djadida (Fig.3.2, 3.3 et 3.4).

### **3.5. Réseau de distribution de la foggara d'Irsan**

L'eau de la foggara est un bien collectif. A la sortie de la galerie, l'eau est partagée entre les copropriétaires de la foggara. Chacun a sa part d'eau, laquelle est déterminée en fonction de la contribution de chaque copropriétaire que se soit dans la réalisation ou dans l'entretien de la foggara. Dans la région de Tidikelt, Touat et Gourara, le partage de l'eau s'effectue par la méthode volumétrique (par unité de volume). Dans ce cas, les agriculteurs reçoivent leurs parts d'eau au même moment. On parle d'une irrigation parallèle. Pour ce type de distribution, on trouve dans chaque jardin un madjen individuel. Des kasriates de différentes dimensions sont répartis sur toute la superficie de la palmeraie. Le réseau de distribution de la foggara d'Irsan est constitué de 36 kasriates (Fig.3.5, 3.6 et 3.7), plus de 3 km de seguias couverte par des roches plates (Fig.3.8), et l'autre à ciel libre (Fig.3.9) de différentes dimensions,



**Fig.3.5. Kasria Principale de la foggara d'Irsan (2013)**



**Fig.3.6. Kasria secondaire de la foggara d'Irsan (2013)**



**Fig.3.7. Kasria tertiaire de la foggara d'Irsan (2013)**



**Fig.3.8. Seguia couverte de la foggara d'Irsan (2013)**



**Fig.3.9. Seguias ouvertes de la foggara d'Irsan (2013)**

A l'intérieur des palmeraies des seguias en PVC utilisés pour transporter des quantités d'eau dans les endroits où de risque le phénomène d'ensablement (Fig.3.10).

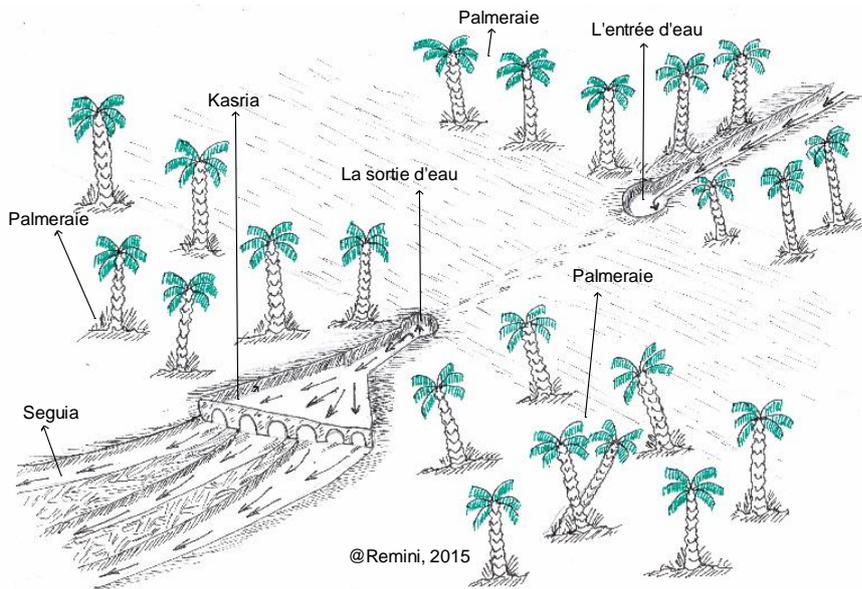


**Fig.3.10. Seguia en PVC nouvellement remplacées (2013)**

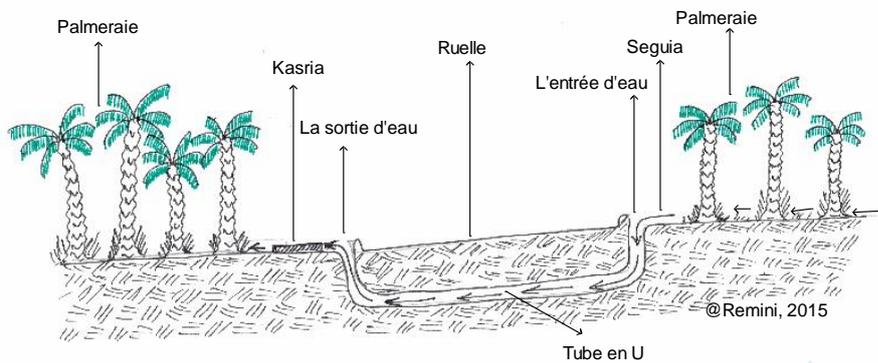
A la sortie de la galerie, l'eau parcourt 300m dans une seguia couverte par des roches plates (appelée canal principal), (Fig.3.8), avant d'atteindre El Fhel (la grande kasria). C'est au niveau de cet ouvrage (El Fhel) que le partage s'effectue entre les familles. Le réseau présente deux seguias principales. L'une distribue l'eau de la ville Miliana et l'autre côté Akbour. Un outil utilisé dans l'oasis d'In ghar pour traverser les routes dans les oasis, afin d'assurer l'écoulement d'eau vers des endroits plus loin, est le tube en U (Fig.3.11, 3.12, et 3.13)



**Fig.3.11. Tube en U de la foggara d'Irsan à l'intérieur de la Palmeraie (2013)**



**Fig.3.12. l'écoulemnt d'eau à travers le tube en U ( Remini, 2015)**



**Fig.3.13. coupe longitudinale du tub en U dans le réseau de la foggara Irsan (Remini, 2015)**

L'eau de la foggara d'Irsan passera par les différents organes cités en haut pour accumuler des quantités d'eau dans les madjens, se sont des ouvrages construites en terre à l'époque (Fig.3.14), et actuellement en ciment (Fig.3.15), sont des bassins abordable à l'irrigation des jardins dans l'oasis.

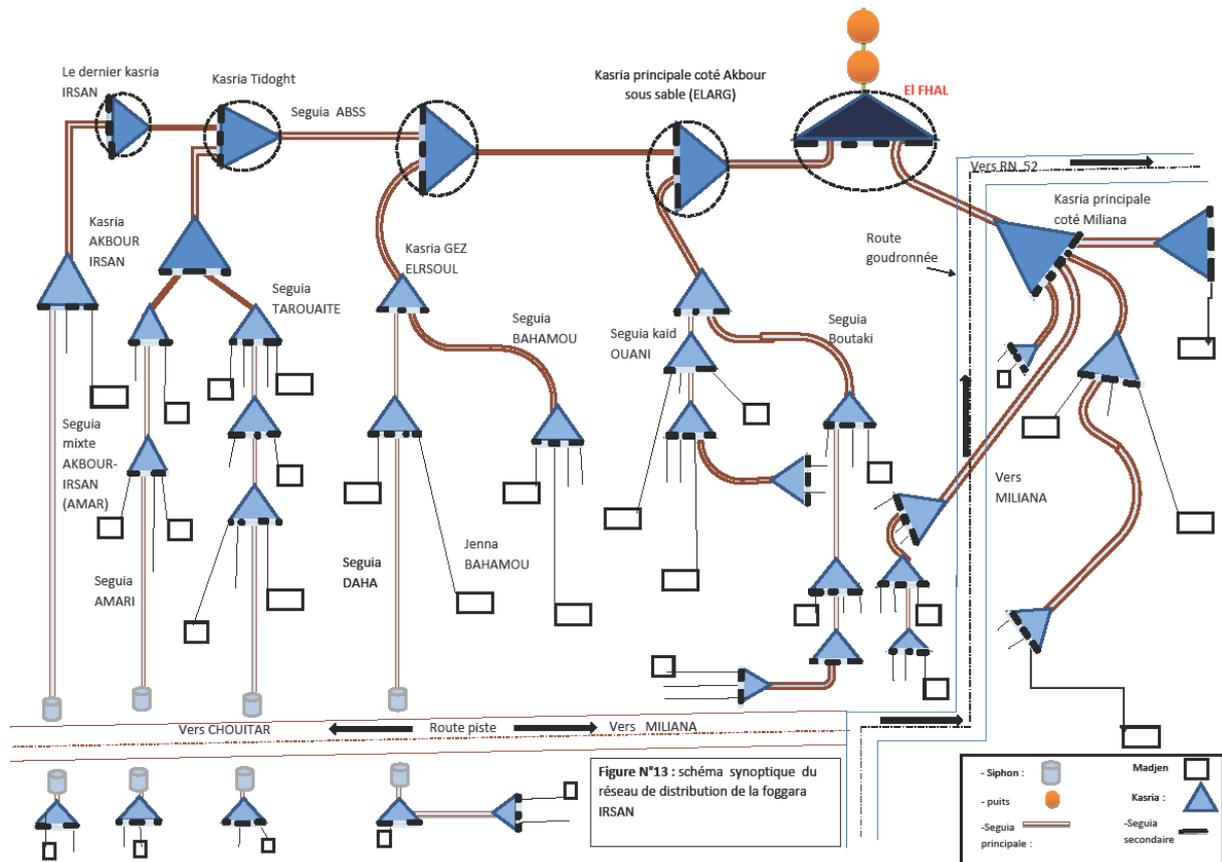


**Fig.3.14. Madjen en terre de la foggara d'Irsan à l'intérieur de la Palmeraie (2013)**



**Fig.3.15. Madjen en ciment de la foggara d'Irsan à l'intérieur de la palmeraie (2013)**

L'oasis est constitué essentiellement de la palmeraie, la foggara, et ksar. Le facteur d'eau est disponible, pour une production agricole médiocre, et une quantité d'eau assuré à l'alimentation de la population avec un faible taux de perte. Un réseau de distribution s'impose. (Fig.3.16)



**Fig.3.16. Schéma du réseau de distribution de la foggara d'Irsan**

### 3.6. Dégradation des foggaras d'In-Ghar

La foggara peut être considérée comme le plus grand ouvrage hydraulique ancestral. La foggara a prouvé son efficacité, puisqu'elle est le seul ouvrage qui a fonctionné plus de 10 siècles dans le Sahara Algérien et elle est construite en plus de 50 pays du monde. Elle est le seul système hydraulique qui assure à la fois l'alimentation en eau et la protection de l'environnement dans un écosystème aussi fragile comme celui du Sahara. Aucune goutte d'eau ne se perd, la foggara assure une irrigation économique. La foggara d'Irsan a une galerie de longueur de 8 km, équipée de plus de 500 puits d'aération. Elle a été creusée depuis plus de neuf siècles avec un débit actuel de 51 l/s. Pour des problèmes environnementaux (effondrement et tarissement de la nappe), le débit de la foggara a diminué de 60% de débit initial. Parmi les menaces qui pèsent sur l'oasis et qui ont été remarquées lors de la visite sur terrain, on assiste à une régression du nombre de foggaras et leur débit dont les causes sont nombreuses on peut les classer :

Les difficultés de coexistence entre le système traditionnel et le développement de l'agriculture moderne au Sahara ont favorisé la mise en place d'un nouveau procédé de captage d'eau basé sur la grande exploitation de la quantité d'eau à partir de moyens puissants de pompage

de l'eau. Ce système est un gros consommateur d'énergie, et entraîne de forte rabattement de la nappe ce qui a pour conséquence une diminution ou un tarissement du débit de la Foggara. On n'entretient plus les ancienne galeries « dherib el fass» et on non construit pas des nouveaux drains,

La maintenance d'une foggara est beaucoup plus compliquée et dangereux qui a favorisé la rareté de cette main d'œuvre,

Le métier de réalisation de la foggara non pas transmis aux générations, à cause de disparation des couches sociales,

Orientation de la main d'œuvre agricole vers d'autre secteurs tels que le commerce, et surtout hydrocarbures qui offrent un travail moins pénible et un revenu sur. En plus de ce conflit les conditions géologiques et climatologiques agressives de la région qui favorise l'effondrement des galeries et l'ensablement, sont les principaux facteurs contribuent à l'abandon de ce système traditionnel.

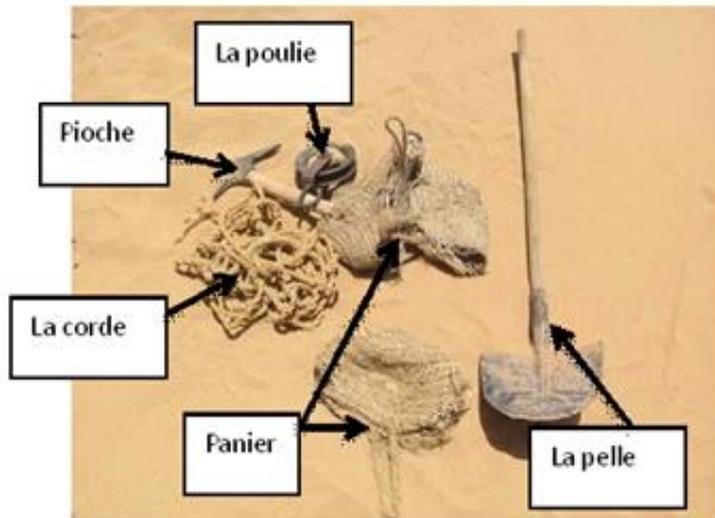
Orientation les responsables de l'état vers les autres secteurs ont oublié tout le système oasien qui semble être disparu la Foggara et avec elle un patrimoine écologique, biologique, social et culturel et de valeur national et mondial.

### **3.7. Les matériels utilisés pour l'entretien de la foggara**

A l'époque les oasiens, utilisent des outils très simples. Des matières locaux, sont utilisés pour construire des outils durs efficaces pour les travaux de creusement, l'excavation, et l'enlever du déblai dans le projet foggara, tels que les feuilles et les manches des palmiers. Ces outils sont les suivants :

- **Panier (قفة):** Utilisé pour transporter les déblais extraits lors de creusement de puits et les galeries souterraines (annfadh).
- **Pioche (منكاش) :** Outil formé d'une manche pas longue de bois ou du fer à une ou deux pointes pour creuser la terre.
- **Corde (حبل) :** Assemblages des fils tordus ou tressés. Est un moyen pour attacher le panier est tourné sur la poulie, dont élevée les terres creusés (déblais).
- **La pelle (الرفش):** Outil à plaque ajustée au bout d'une petite manche servant notamment à creuser les puits et les galeries souterraines dont on trouve les couches de terre fragiles et également utiliser pour ramasser les déblais creusés, afin de les remplir dans les paniers.
- **Poulie (بكرة) :** Une poulie est un outil simple c'est-à-dire un dispositif mécanique élémentaire. Elle est constituée d'une pièce en forme de roue servant à la transmission

du mouvement, articulé sur un groupe de trois barres (el hamarate). La poulie est utilisée avec une corde, reçoit un lien flexible pour élever les paniers remplis par les déblais.



**Fig.3.17. Les matériels utilisés pour l'entretien de la foggara (2013)**

### **3.8. Conclusion**

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les foggaras d'In Ghar n'ont jamais fait l'objet d'une étude. Aujourd'hui, l'oasis d'In Ghar détient 11 foggaras d'une longueur totale de 36500 km et 2600 puits d'aération. La réalisation d'un ouvrage d'art ancestral comme celui d'une foggara a nécessité l'extraction de 95 millions de tonnes de terre. Ce qui démontre l'ampleur de ces ouvrages. La foggara d'Irsan considérée comme le plus grand ouvrage hydraulique de l'oasis puisqu'il permet l'irrigation de 60 hectares et l'alimentation en eau de plus de 400 familles du ksar. Aujourd'hui, a chuté de 8640 habba à 3878 habba, soit une diminution de 60%. Pour des problèmes socioéconomiques et environnementaux, il reste 10 foggaras en service avec un faible débit.

## Chapitre 4

# HYDROMETRIE ET LE PARTAGE DE L'EAU DE LA FOGGARA D'IRSAN

### 4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous traitons l'hydrométrie et le partage de l'eau de la foggara entre les copropriétaires. En effet, durant des siècles les oasisiens ont découvert une méthode ancestrale de quantification de débit de la foggara et les parts d'eau de chaque participant. Toute la méthodologie de mesure des débits sera traitée avec des exemples de terrain.

### 4.2. Principe de mesure adopté dans l'oasis In Ghar

Le principe de mesure de débit utilisé par les oasisiens d'In Ghar est basé sur la méthode volumétrique, elle est de même type utilisée dans les oasis de Touat et Gourara (Remini, 2010). Considéré comme la meilleure méthode de quantification (Remini, 2012), la méthode volumétrique est fondée sur l'unité de volume, les copropriétaires reçoivent leur part d'eau en même moment. Contrairement la méthode horaire, les copropriétaires reçoivent leur débit un après l'autre c'est à dire tour à tour, il est à noter la part de chaque participant une fonction de sa contributions dans la réalisation, ou l'entretien, et le développement de la foggara.

Pour partager l'eau entre les agriculteurs, la mesure du débit s'impose. Pour assurer le bon déroulement des opérations de mesures, les oasisiens ont inventé un instrument de mesure du débit appelé « Chegfa » (Fig.4.1). C'est une plaque en cuivre de forme rond percée des trous de différentes dimensions qui diffère d'une oasis à une autre. La Chegfa qui a mesuré le débit de la foggara d'Irsan au niveau de Lefhal possède un diamètre de 56 cm. Elle présente 48 ouvertures de 15 mm de diamètre pour chaque trou (Fig.4.1). Chaque ouverture est appelée Habba Zrig dont les sous-multiples sont représentées ci-dessous :

- Deux tiers de habba (seize kirat) de diamètre 12 mm
- Demi de habba (douze kirat) de diamètre 10 mm

- Six kirats de diamètre 7 mm
- Quatre kirats de diamètre 6 mm
- Deux kirats de diamètre 5 mm
- Un kirat de diamètre 4 mm
- Un demi de kirat de diamètre 3 mm



**Fig.4.1. Chegfa de la région In Ghar (2013)**

L'opération de mesure est assurée par un connaisseur appelé Kial El ma. Dans la région d'In Ghar, il reste en vie un seul kiel el Ma appelé Guidaha Mohammed Abdelkader (Fig.4.2). Un témoin (Chahed) assiste à chaque opération de mesures. Il est choisi par le Djamaa pour son honnêteté. En général, c'est l'Imam de la mosquée (Fig.4.3).



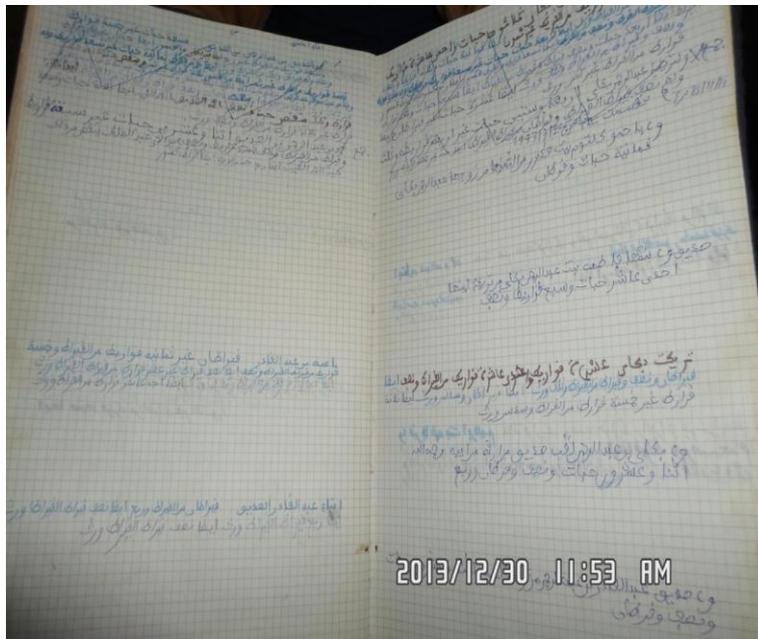
**Fig. 4.2. Kial El Ma de l'oasis d'In Ghar (2013)**



**Fig.4.3. Un des Chahed de l'opération de partage dans l'oasis d'In Ghar (2013)**

Les résultats des mesures des débits ainsi que toutes les transactions des parts d'eau effectués pour une foggara sont mentionnés dans un registre appelé Zemmam (Fig.4.4). La première mesure de chaque individu, est gravée sur une canne (Lassa) (Fig.4.5) par des symboles de mesures du débit, utilisés depuis l'apparition de système de foggara (Tableau.4.2), elle est en matière base des racines de palmiers, autre moyenne est plus simple pour enregistrer le

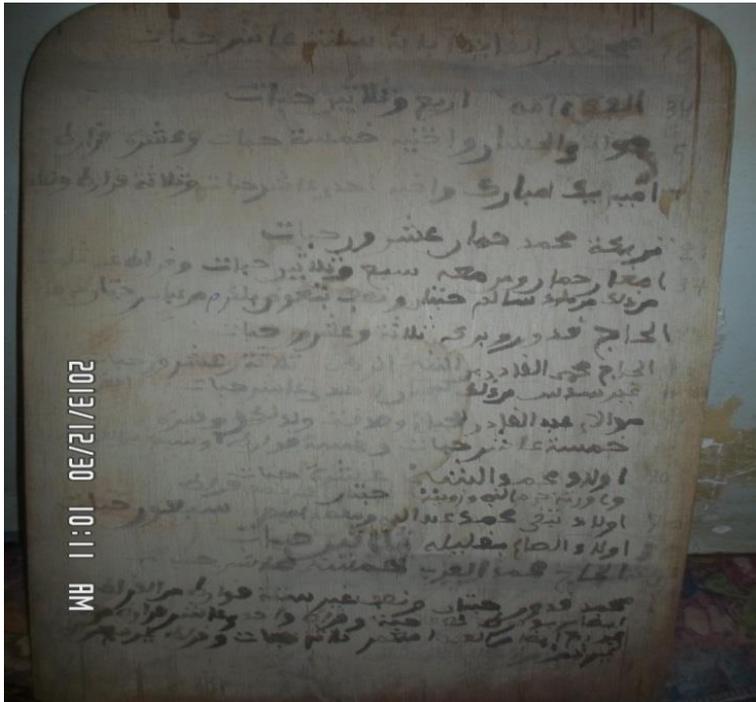
part d'eau de chacun, est notée d'abord sur une tablette en bois (Louha) (Fig.4.6), sur lequel figurent les noms des propriétaires et la part d'eau qui leur revient à même kasria. Il a noté qu'il existe neuf louhs entre moyenne et petite de la foggara Irsan. S'il n'ya pas d'erreurs, la valeur sera reportée définitivement sur le Zemmam.



**Fig.4.4. Zemâm de la foggara Irsan (2013)**



**Fig.4.5. La canne de la foggara d'Irsan (2013)**



**Fig.4.6.La tablette en bois de la foggara d'Irsan (louha)(2013)**

### 4.3. Déroulement d'une opération de mesure du débit

L'opération de mesure des débits est un événement exceptionnel pour les ksouriens. Dans la première étape, l'opération débute par la préparation d'une quantité appréciable en argile qui sera déposée près de la kasria ; le lieu du déroulement des mesures. Dans la deuxième étape qui concerne le début de l'opération en présence de kial El Ma, le Chahed, les personnes concernées par les mesures ainsi que les outils de mesures ; la Chegfa et les moyens d'enregistrement, El louha, la canne et le Zemmam. La troisième partie est la préparation d'un canal en argile qui relie les ouvertures de la kasria à l'entrée de la chegfa. Toute fuite est éliminée, A titre d'exemple, la mesure du débit d'une ouverture de la kasria, le canal argileux doit évacuer uniquement la quantité d'eau en provenance de l'ouverture. La quatrième étape est consacrée à la mesure du débit. Le principe de la chegfa est basé sur le principe des écoulements par orifice :  $Q = Cd S_o (g h)^{1/2}$  (Fig.4.7). Chaque Chegfa possède un repère au-dessus des orifices pour marquer une hauteur fixe. Le Kial El ma en procédant à la fermeture et à l'ouverture des orifices par l'argile jusqu'à l'obtention du plan d'eau stable au point de repère. Dans ce cas, on obtient un écoulement permanent. Le kiel El ma fait le compte des orifices ouverts, chacun avec ses dimensions. A la fin kiel el ma fait la somme des habba et des sous-multiples (kirat). Donc le débit d'une foggara, ou d'une seguia est la somme des orifices déversant (Fig.4.8).



**Fig.4.7. Utilisation de la Chegfa lors d'une opération de mesure d'un fort débit (photo Salah Hebi)**



**Fig. 4.8. Utilisation de la Chegfa lors d'une opération de mesure d'un faible débit (photo Salah Hebi)**

#### **4.4. Les unités de mesures utilisées**

Durant des siècles les oasiens ont adopté des mesures des débits, c'est ainsi, que la valeur de la foggara est évaluée avant sa mise en eau par une unité de mesure appelée "Habba Maaboud". C'est une valeur estimative des efforts déployés par des participants lors de la réalisation de la foggara. C'est une valeur qui ne tient pas compte du débit fourni par la foggara. Pour évaluer le débit d'eau du ksouriens utilisent Habba Z'rig comme unité principale, elle est considérée comme la quantité d'eau s'écoulant à travers une ouverture

pendant 24 heures. Les dimensions de l'ouverture varient d'une région à l'autre. Dans l'oasis d'In Ghar, la section de l'ouverture et 15, les sous-multiples de Habba z'rig sont mentionnés dans le tableau.4.1.

**Tableau.4.1. les sous multiples de Habba Z'rig**

Fraction d'El Habba	Sous multiples		
	Nombre de Kirat	Nombre de Kirat-El-Kirat	Nombre de kirat –El-kirat-El-kirat
1/24	1	24	576
1/12	2	48	1152
1/8	3	72	1728
1/6	4	96	2304
¼	6	144	3456
1/3	8	192	4608
½	12	288	6912
2/3	16	384	9216
1	24	576	13824

Dans l'enregistrement des parts de chaque copropriétaire sur la canne (lassa), il y a des symboles utilisés depuis l'apparition de la foggara et restants à ce jour utilisables, sont regroupés dans le tableau.4.2.

**Tableau.4.2. les symboles des mesures**

Symbole	Lecture en habba	Nombre de habba
O	Les Centaines	100
	Les dizaines	10
•	Les Unités	1
—	Le quart	¼

Pour mieux illustrer ces symboles,

• |||O = 131 habba

—•• |||O || = 1132 habba et six kirats

#### 4.5. Application

Pour bien comprendre les opérations de distribution et le calcul des partages d'eau entre les copropriétaires, nous traitons quelques exemples tirés du terrain :

##### 4.5.1. Exemple 1

Une foggara réalisée dans la région d'In Ghar, par quatre propriétaires. La valeur de projet est estimée à 120 habba Maaboud. La foggara est mesurée à 80 habba zrig. La contribution de chaque participant a été évaluée selon les valeurs mentionnées sur le tableau.4.3.

**Tableau 4.3. Contribution de chaque participant**

Nom de participant	Valeur de contribution ( habba maaboud)
A	39
B	37
C	23
D	21

Quelle est la part d'eau de chaque participant ?

L'objectif revient à convertir l'effort de chaque participant en volume d'eau (part d'eau).

Pour cette foggara, habba maaboud coûte 80/120 c'est-à-dire :

80 habba Zrig  $\longrightarrow$  120 Habba maaboud

?  $\longrightarrow$  1 Habba maaboud

D'où  $1H M = 2/3 HZ = 2/3 \times 24 K = 16 k$

Les parts de chaque participant sont mentionnés dans le tableau.4.4 :

**Tableau.4.4. : Les parts d'eau de chaque propriétaire**

Participant	Part d'eau
A	$39 \times 2/3 = 39 \times 16 = 624$ Kirat
B	$37 \times 2/3 = 37 \times 16 = 592$ kirat
C	$23 \times 2/3 = 37 \times 16 = 368$ kirat
D	$21 \times 2/3 = 37 \times 16 = 336$ kirat

On doit vérifier l'opération :

$624 K + 592K + 386K + 336K = 1920 K$

On doit convertir 1920 K en H Z :

$1920 / 24 = 80 H Z$

#### 4.5.2. Exemple 2

Dans l'oasis d'In-Ghar six propriétaires ont participé à la réalisation d'une foggara. Après la mise en eau de l'ouvrage elle est estimée à 541 habba maaboud, la valeur de la contribution de chaque propriétaire est mentionnée dans le tableau.4.5.

**Tableau.4.5. la contribution de chaque participant**

Participant	La valeur de contribution (habba maaboud)
1	103
2	98
3	76
4	88
5	128
6	448

Le débit de la foggara à la sortie de la galerie a été mesurée par le Kiel el ma. La chegfa a donné un débit de 352 habba zrig. Déterminer la part d'eau de chaque propriétaire ?

#### Correction :

1/ la part juridique de chaque propriétaire :

Dans cette étape on doit convertir la valeur de l'effort de chaque propriétaire en débit liquide (eau). C'est-à-dire le payement s'effectué par les parts d'eau est ne pas par l'argent, ceci explique bien la sacralité de l'eau dans les oasis du Sahara. La méthode de travail s'effectué somme suit :

Conversion habba zrig en kirat : 1 h Z = 24 k

$352 \text{ H Z} \times 24 \text{ K} = 8448 \text{ k}$  :

Donc  $8448 \div 541 = 15 \text{ K} + 14 \text{ K} + 18 \text{ KKK} + 13 \text{ KKKK} + 1 \text{ KKKKK}$

Donc H M = 15 k + 14 KK + 18 KKK

2/ la valeur de la contribution de chaque propriétaire en eau :

**Tableau.4.6. la part d'eau de chaque propriétaire**

Participant	Habba maaboud	Part d'eau
1	103	1545 K + 1442 K + 1854 KKK
2	98	1470 K + 1372 KK + 1764 KKK
3	76	1140 K + 1064 KK + 1368 KKK
4	88	1320 K + 1232 KK + 1584 KKK
5	128	1920 K + 1792 KK + 2304 KKK
6	48	720 K + 672 KK + 864 KKK
Total	541 H M	8115 K + 7574 KK + 9738 KKK

Dans ce point on passe à la vérification des calculs.

$$9738 / 24 = 405,75 \text{ KK} = 405 \text{ KK} + 0,75 \times 24 = 405 \text{ KK} + 18 \text{ KKK}$$

$$7574 \text{ KK} + 405 \text{ KK} = 7979 \text{ KK}$$

$$7979 \text{ KK} / 24 = 332,458 \text{ K} = 332 \text{ k} + 0,458 \times 24 = 332 \text{ K} + 11 \text{ KK}$$

$$8115 \text{ K} + 332 \text{ K} = 8447 \text{ K}$$

$$8447 / 24 = 351,958 \text{ H Z} = 351 \text{ HZ} + 0,958 \times 24 = 892 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

Alors on aura

$$351 \text{ HZ} + 23 \text{ K} + 11 \text{ KK} + 18 \text{ KKK}$$

Donc le calcul est vérifié :  $352 \text{ H Z} \approx 351 \text{ H Z} + 23 \text{ K} + 11 \text{ KK} + 18 \text{ KKK}$

### 4.5.3. Exemple 3

Dans l'oasis d'In-Ghar une foggara a été réalisée par onze personnes. Une fois finalisé le projet a été évalué 1817 habba maaboud. On procède à l'hydrométrie de la foggara, le Kiel el ma avec sa chegfa mentionne dans le Zmâm un débit total de la foggara égale à 893 Habba zrig. Après avoir évalué l'effort de chaque participant (tableau.4.7) , quelle est la part d'eau de chaque copropriétaire ?

**Tableau.4.7. la contribution de chaque participant**

Participant	Habba maaboud
1	260
2	183
3	167
4	191
5	103
6	172
7	207
8	192
9	84
10	169
11	89

Dans cette étape on doit convertir la valeur de la contribution de chaque participant en quantité d'eau. Pour cela, on cherche la valeur de l'unité habba maaboud en débit d'eau, on l'appelle la part juridique.

$$1 \text{ H M} = \frac{893}{1817}$$

$$1 \text{ H M} = 11 \text{ K} + 19 \text{ KK} + 2 \text{ KKK}$$

Dans la deuxième étape on détermine la part d'eau de chaque participant, laquelle est en relation directe avec les efforts concentrés dans la réalisation de l'ouvrage. Les calculs effectués sont mentionnés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4.8. La part d'eau de chaque participant**

Participant	Habba maaboud	Part d'eau
1	260	2860 K+ 4940 KK + 520 KKK
2	183	2013 K +3477 KK + 366 KKK
3	167	1837 K + 3173 KK + 334KKK
4	191	2101 K + 3629 KK + 382 KKK
5	103	1133 K + 1957 KK +206 KKK
6	172	1892 K + 3268 KK + 344 KKK
7	207	2277 K + 3933 KK + 414 KKK
8	192	2112 K + 3648 KK + 384 KKK
9	84	924 K + 1596 KK + 168 KKK
10	169	1859 K + 3211 KK + 338 KKK
11	89	979 K + 1691 KK + 178 KKK
Total	1817	19987 K + 34523 KK + 3634 KKK

Troisième étape

Dans cette étape on passe à la vérification des calculs.

$$3634 / 24 = 151, 416 \text{ KK} = 151 \text{ KK} + 0,416 \times 24 = 151 \text{ KK} + 10 \text{ KKK}$$

$$34523 \text{ KK} + 151 \text{ KK} = 34674 \text{ KK}$$

$$34674 \text{ KK} / 24 = 1444,75 \text{ K} = 1444 \text{ k} + 0,75 \times 24 = 1444 \text{ K} + 18 \text{ KK}$$

$$19987 \text{ K} + 1444 \text{ K} = 21431 \text{ K}$$

$$21431 / 24 = 892, 958 \text{ H Z} = 892 \text{ HZ} + 0, 958 \times 24 = 892 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

Alors on aura :  $892 + 23 \text{ K} + 18 \text{ KK} + 10 \text{ KKK}$

#### 4.5.4. Exemple 4

Sept personnes sont associées dans la réalisation d'une foggara dans l'oasis In-Ghar. Une fois achevé, le projet a été estimé 913 habba maaboud. Le mesure du débit effectué par le kiel el ma à l'entrée de la kasria principale ont donné un débit réel de la foggara à 652 habba zrig. La contribution dans le projet de chaque participant a été évaluée suivant le tableau.4.9.

**Tableau.4.9. la contribution de chaque associé**

Participant	La contribution ( habba maaboud)
1	202
2	183
3	171
4	154
5	112
6	52
7	39

Déterminer le débit de chaque participant ?

#### Correction :

Dans la première étape, on doit évaluer la valeur du projet "foggara" en quantité d'eau, on parle sur la part juridique. On détermine la valeur de l'unité de habba maaboud

$$1 \text{ H M} = \frac{652}{913} = \text{HZ}$$

$$1 \text{ H M} = 17 \text{ K} + 3 \text{ KK} + 8 \text{ KKK}$$

Dans la deuxième partie on détermine la part d'eau de chaque participant. On se base sur la contribution dans le projet de chaque élément. Les calculs effectués sont résumés dans le tableau.4.10:

**Tableau.4.10. La part d'eau de chaque participant**

Participant	Habba maaboud	Part d'eau
1	202	3434 K + 606 KK + 1616 KKK
2	183	3111 K + 549 KK + 1464 KKK
3	171	2907 K + 513 KK + 1368 KKK
4	154	2618 K + 462 KK + 1232 KKK
5	112	1904 K + 336 KK + 896 KKK
6	52	884 K + 156 KK + 416 KKK
7	39	663 K + 117 KK + 312 KKK
Total	913	15521 K + 2739 KK + 7304 KKK

Une fois le calcul des parts d'eau est finalisée on passe à la vérification des calculs :

$$7304 / 24 = 304,33 \text{ KK} = 304 \text{ KK} + 0,33 \times 24 = 304 \text{ KK} + 8 \text{ KKK}$$

$$304 \text{ KK} + 2739 \text{ KK} = 3043 \text{ KK}$$

$$3043 / 24 = 126,791 \text{ K} = 126 \text{ K} + 0,791 \times 24 = 126 \text{ K} + 19 \text{ KK}$$

$$126 \text{ K} + 15521 \text{ K} = 15647 \text{ K}$$

$$15647 / 24 = 651,958 \text{ HZ} = 651 \text{ HZ} + 0,958 \times 24 = 651 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

Donc le total égale à : 651 HZ + 23 K + 19 KK + 8 KKK

Le calcul des parts d'eau est vérifié.

#### 4.5.5. Exemple 5

Dans l'oasis d'In -Ghar, le cout d'une foggara a été évalué à 728 habba maaboud. La foggara est le bien de cinq associés. Le débit mesuré à la sortie de la galerie par le Kiel el ma est égale à 473 habba Zrig. Quelle est la part d'eau de chaque associé pour l'irrigation de son jardin. Il est à signalé que la djemaa a évalué la contribution de chaque associé dans le projet.

Les valeurs de chaque contribution sont mentionnées dans le tableau.4.11 :

**Tableau.4.11. la contribution de chaque associé**

Associé	Habba maaboud
1	212
2	173
3	89
4	105
5	149

#### Correction :

Partant de l'évaluation du projet (728 habba maaboud) le coût du projet estimé en quantité d'eau est :

$$1 \text{ HM} = \frac{473}{728} = \text{HZ}$$

$$1 \text{ HM} = 15 \text{ K} + 14 \text{ KK} + 5 \text{ KKK}$$

Les valeurs des parts d'eau des associés sont énumérées dans le tableau.4.12.

**Tableau.4.12. la part d'eau**

Associé	Habba maaboud	Part d'eau
1	212	3180 K + 2968 KK + 1060 KKK
2	173	2595 K + 2422 KK + 865 KKK
3	89	1335 K + 1246 KK + 445 KKK
4	105	1575 K + 1470 KK + 525 KKK
5	149	2235 K + 2086 KK + 745 KKK
Total	728	10920 K + 10192 KK + 3640 KKK

A la fin on passe à la vérification des calculs des parts d'eau.

$$3640 / 24 = 151,666 \text{ KK} = 151 \text{ KK} + 0,666 \times 24 \text{ KKK} + 151 \text{ KK} + 16 \text{ KKK}$$

$$151 \text{ KK} + 10192 \text{ KK} = 10343 \text{ KK}$$

$$10343 / 24 = 430,958 \text{ K} = 430 \text{ K} + 0,958 \times 24 \text{ KK} = 430 \text{ K} + 23 \text{ KK}$$

$$430 \text{ K} + 10920 \text{ K} = 11350 \text{ K}$$

$$11350 / 24 = 472,916 \text{ HZ} = 472 \text{ HZ} + 0,916 \times 24 \text{ K} = 472 \text{ HZ} + 22 \text{ K}$$

Donc le total est égal à 472 HZ + 22 K + 23 KK + 16 KKK

Le calcul est vérifié, les associés en présence de Kiel el ma peuvent procéder à l'irrigation de leur jardin en fonction du débit octroyé par le mesureur.

#### 4.5.6. Exemple 6

Dans une oasis In-Ghar cinq copropriétaires ont participé à la réalisation d'une foggara, le projet a été évalué à 745 habba maaboud. L'estimation de la contribution de chaque participant dans la concrétisation du projet mentionné dans le tableau.4.13.

**Tableau.4.13. la contribution de chaque copropriétaire**

Participant	Habba maaboud
1	212
2	187
3	143
4	108
5	95
Total	745

Après la première mesure du débit de la foggara par la chegfa, le Kiel el ma a mentionné dans son Zemmam la valeur de 632 habba Zrig

1/ peut on connaître la part d'eau de chaque participant ?

Après un demi-siècle d'exploitation, trois nouveaux participants ont renforcé la foggara par l'ajout d'un kraa, le débit a augmenté de 80 habba Zrig. Dans ce cas le nombre d'actionnaire dans la foggara est de 8. Quelle est la part d'eau de chaque participant ?

#### **Correction :**

La part d'eau de chaque participant au projet initial.

On doit convertir la valeur de l'effort de chaque actionnaire à une part d'eau, dans ce cas l'unité de l'effort (1 H M)

$$1 \text{ H M} = \frac{632}{745}$$

$$1 \text{ HM} = 20 \text{ K} + 8 \text{ KK} + 15 \text{ KKK}$$

A Partir de là on détermine la part réel de chaque participant. Les résultats sont mentionnés dans le tableau.4.14.

**Tableau.4.14. la part d'eau de chaque copropriétaire**

Participant	Habba maaboud	Part d'eau
		1 HM = 20 K+ 8 KK + 15KKK
1	212	4240 K+ 1696 KK + 3180 KKK
2	187	3740 K + 1496 KK + 2145 KKK
3	143	2860 K + 1144 KK + 2145 KKK
4	108	2160 K + 864 KK + 1620 KKK
5	95	1900 K + 760 KK + 1425 KKK
TOTAL	745	14900 K 5960 KK + 11175 KKK

La vérification des calculs donne les résultats suivants.

On partant de la dernière valeur du total des parts d'eau et plus particulièrement de plus petite de sous multiples c'est-à-dire le KKK

$$11175 / 24 = 465,625 \text{ KK} = 465 \text{ KK} + 0,625 \times 24 \text{ KKK} = 465 \text{ KK} + 15 \text{ KKK}$$

$$\text{Donc } 465 \text{ KK} + 5960 \text{ KK} = 6425 \text{ KK}$$

$$6425 \text{ KK} / 24 = 267,708 \text{ K} = 267 \text{ k} + 0,708 \times 24 \text{ kk} = 267 \text{ K} + 17 \text{ KK}$$

$$\text{D'ou } 14900 \text{ K} + 267 \text{ K} = 15167 \text{ K}$$

$$15167 \text{ K} / 24 = 631,958 \text{ HZ} = 631 \text{ HZ} + 0,958 \times 24 \text{ K} = 631 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

$$\text{Au le total } / 631 \text{ HZ} + 23 \text{ K} + 17 \text{ KK} + 15 \text{ KKK} = 632 \text{ HZ}$$

## 2<sup>eme</sup> Question

Pour trouver le nombre de habba Zrig de chaque participant au nouveau projet on doit suivre les étapes suivantes :

- on divise le supplément (80 HZ) obtenue
- $80 \text{ HZ} / 2 = 40 \text{ HZ}$

50 pour cent de supplément sera attribué à l'ancienne équipe. 50 pour cent du supplément sera affecté aux nouveaux participants (3 participant). Les 50% du supplément, soit 40 habba zrig sera attribués aux premières actionnaires (5 participants) de la foggara mère. Cette part d'eau appelée localement " la part de route". Elle explique la valeur des actions des nouveaux participants dans le projet foggara. Ce débit (40 habba Zrig) remplace la valeur de la contribution à la réalisation de la foggara mère par les nouveaux copropriétaires. On peut dire que les nouveaux participants ont acheté leurs parts de contribution (habba maaboud) par un débit d'eau (habba Zrig). Cette part d'eau (40 habba Zrig) sera partagé équitablement entre les 5 copropriétaires chacun aura 8 habba Zrig, soit 192 k. Les valeurs des contributions des cinq participants sont mentionnées dans le tableau.4.15.

**Tableau.4.15. la nouvelle part d'eau de chaque copropriétaire**

Participant	Nouvelle part d'eau
1	4432 K + 1696 KK + 3180 KKK
2	3932K + 1496 KK + 2805 KKK
3	3053 K + 1144 KK + 2145 KKK
4	2352 K + 864 KK + 1620 KKK
5	2092 K + 760 KK + 1425 KKK
Total	15860 K + 5960 KK + 11175 KKK

On doit vérifier les calculs

$$11175 / 24 = 465,625 \text{ KK} = 465 \text{ KK} + 0,625 \times 24 \text{ KKK} = 465 \text{ KK} + 15 \text{ KKK}$$

$$\text{Donc } 465 \text{ KK} + 5960 \text{ KK} = 6425 \text{ KK}$$

$$6425 \text{ KK} / 24 = 267,708 \text{ K} = 267 \text{ k} + 0,708 \times 24 \text{ kk} = 267 \text{ K} + 17 \text{ KK}$$

$$\text{D'ou } 15860 \text{ K} + 267 \text{ K} = 16127 \text{ K}$$

$$16127 \text{ K} / 24 = 671,958 \text{ HZ} = 671 \text{ HZ} + 0,958 \times 24 \text{ K} = 671 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

$$\text{Au le total } / 671 \text{ HZ} + 23 \text{ K} + 17 \text{ KK} + 15 \text{ KKK}$$

$$\text{A prés vérification nombre de habba zrig de la foggara} = 632 \text{ Hz} + 40 \text{ Hz}$$

$$\text{Débit de la foggara avec kraa} = 672 \text{ Hz} \approx 671 \text{ Hz} + 23 \text{ K} + 17 \text{ KK} = 15 \text{ KKK}$$

2' – si on suppose que la part des trois nouveaux participants est la même, c'est-à-dire chacun a contribué avec le même effort dans ce cas 40 Hz qui représente la part d'eau des trois participants sera divisée par 3. D'où  $40/3 = 13,33 \text{ Hz} = 13 \text{ Hz} + 0,33 \times 24 \text{ K}$

**Tableau.4.16. la part d'eau chaque participant contribué ou l'ajout d'un kraa**

Participant	Valeur en habba zrig
6	13 Hz + 8 K
7	13 Hz + 8 K
8	13 Hz + 8 K
Total	39 Hz + 24 K

$$\text{Vérification } 39 \text{ Hz} + 24 \text{ K} = 40 \text{ Hz}$$

Si on suppose que le projet d'annexe (Kraa) a été évalué après finalisation à 100 Habba maaboud. Les valeurs de l'effort de chaque participant sont mentionnées dans le tableau suivant :

**Tableau.4.17. l'effort de chaque participant en projet annexe**

Participant	Habba maaboud
6	20
7	30
8	50
Total	100

$$\text{L'unité de habba maaboud est égale : } \frac{40}{100} = 0,4 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ HM} = 0,4 \text{ Hz} = 0,4 \times 24 = 9 \text{ K} + 14 \text{ KK} + 9 \text{ KKK}$$

$$1 \text{ HM} = 9 \text{ K} + 14 \text{ KK} + 9 \text{ KKK}$$

La part en Hz de chaque propriétaire sera regroupée dans le tableau ci-dessous

**Tableau.4.18. la part d'eau de chaque participant en projet annexe**

Participant	Habba maaboud	Part d'eau de chaque participant
6	20	180 K + 280 KK + 180 KKK
7	30	270 K + 420 KK + 270 KKK
8	50	450 K + 700 KK + 450 KKK
Total	100	900 K + 1400 KK + 900 KKK

### Vérification

$$900 / 24 = 37,5 \text{ KK} = 37 \text{ KK} + 0,5 \times 24 \text{ KKK} = 37 \text{ KK} + 12 \text{ KKK}$$

$$\text{Donc } 37 \text{ KK} + 1400 \text{ KK} = 1437 \text{ KK}$$

$$1437 \text{ KK} / 24 = 59,875 \text{ K} = 59 \text{ K} + 0,875 \times 24 \text{ kk} = 59 \text{ K} + 21 \text{ KK}$$

$$\text{D'où } 900 \text{ K} + 59 \text{ K} = 959 \text{ K}$$

$$959 \text{ K} / 24 = 39,958 \text{ HZ} = 39 \text{ HZ} + 0,958 \times 24 \text{ K} = 39 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

$$\text{Au le total : } 39 \text{ HZ} + 23 \text{ K} + 21 \text{ KK} + 12 \text{ KKK} \approx 40 \text{ Hz.}$$

Le tableau final regroupant les parts d'eau de l'ensemble des participants :

**Tableau.4.19. la part d'eau de l'ensemble de participant**

Participant	Part d'eau de l'ensemble de participants
1	4432 K + 1696 KK + 3180 KKK
2	3932K + 1496 KK + 2805 KKK
3	3053 K + 1144 KK + 2145 KKK
4	2352 K + 864 KK + 1620 KKK
5	2092 K + 760 KK + 1425 KKK
6	180 K + 280 KK + 180 KKK
7	270 K + 420 KK + 270 KKK
8	450 K + 700 KK + 450 KKK
Total	16760 K + 7360 KK + 12075 KKK

### 4.5.7. Exemple 7

Dans l'oasis d'In ghar, une foggara fonctionne avec un débit total de 432 Habba Zrig. Évalué à 617 habba maaboud, la foggara appartient à sept copropriétaires, dont les actions sont mentionnées dans le tableau suivant :

**Tableau.4.20. le nombre de habba maaboud de chaque copropriétaire**

Participant	Habba maaboud
1	122
2	98
3	73
4	102
5	86
6	59
7	77
Total	617

1- Quelle est la part de chaque participant ?

Après plusieurs années d'exploitations, le débit de la foggara diminué. Et devient insuffisant à l'irrigation des jardins. Cette situation a nécessité une opération d'entretien de la galerie et les puits. Les sept actionnaires ont participé à ce travail, après la finalisation de l'opération d'entretien, le Kiel el ma procédé à la mesure du débit de la foggara, la valeur inscrite dans le Zemmam est 551 Habba Zrig.

2- Quelle est la nouvelle part de chaque participant ?

**Correction :**

1/la part de chaque participant

On doit d'abord connaître la valeur de habba maaboud, le prix du projet de la réalisation de la foggara a été estimé à 617 habba maaboud. Le débit réel (mesuré) de la foggara est 432 habba Zrig. On cherche l'unité de la valeur du projet en débit d'eau (quantité) d'eau.

Dans ce cas : 617 HM  $\xrightarrow{\quad\quad\quad}$  432 Hz  
 1 HM  $\xrightarrow{\quad\quad\quad}$  ?

$$1 \text{ HM} = \frac{432}{617}$$

$$432 / 617 = 0,7001 \text{ Hz} = 0,7001 \times 24 = 16,803 \text{ k}$$

$$16,803 \text{ k} = 16 \text{ k} + 0,$$

$$1 \text{ HM} = 16 \text{ K} + 19 \text{ KK} + 7 \text{ KKK}$$

On détermine la part de la contribution à la réalisation du projet de chaque copropriétaire (tableau.4.21.).

**Tableau.4.21. la part d'eau de chaque participant**

Participant	Habba maaboud	Part d'eau
1	122	1952 K + 2318 KK + 854 KKK
2	98	1568 K + 1862 KK + 686 KKK
3	73	1168 K + 1387 KK + 511 KKK
4	102	1632 K + 1938 KK + 714 KKK
5	86	1376 K + 1634 KK + 602 KKK
6	59	944 K + 1121 KK + 413 KKK
7	77	1232 K + 1463 KK + 539 KKK
Total	617	9872 K + 11723 KK + 4319 KKK

Une fois la part d'eau de chaque participant est déterminée on passe à la vérification des calculs

**Vérification**

$$4319 / 24 = 179,958 \text{ KK} = 179 \text{ KK} + 0,958 \times 24 \text{ KKK} = 179 \text{ KK} + 23 \text{ KKK}$$

$$\text{Donc } 179 \text{ KK} + 11723 \text{ KK} = 11902 \text{ KK}$$

$$11902 \text{ KK} / 24 = 495,916 \text{ K} = 495 \text{ k} + 0,916 \times 24 \text{ KK} = 495 \text{ K} + 22 \text{ KK}$$

$$\text{D'où } 9872 \text{ K} + 495 \text{ K} = 10367 \text{ K}$$

$$10367 \text{ K} / 24 = 431,958 \text{ HZ} = 431 \text{ HZ} + 0,958 \times 24 \text{ K} = 431 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

Au le total :  $431 \text{ HZ} + 23 \text{ K} + 22 \text{ KK} + 23 \text{ KKK} \approx 432 \text{ Hz}$ .

## 2/ Les nouvelles parts des propriétaires après l'opération d'entretien

Pour ce type d'opération, on calcule le surplus du débit obtenue après l'entretien

$$Q_s = Q_{\text{ent}} - Q_{\text{initial}} = 551 - 432 = 119 \text{ Hz}$$

Selon les critères locaux, le surplus sera partagé équitablement entre les propriétaires. Dans ce cas chaque participant aura  $119 / 7 = 17 \text{ Hz}$ . On doit convertir en K

C'est-à-dire  $17 \text{ Hz} \times 24 = 408 \text{ K}$ .

Finalement chaque participant aura sa part d'eau comme l'indique dans le tableau suivant :

**Tableau.4.22. la nouvelle part d'eau des propriétaires après l'opération d'entretien**

Participant	Part d'eau
1	2360 K + 2318 KK + 854 KKK
2	1976 K + 1862 KK + 686 KKK
3	1576 K + 1387 KK + 511 KKK
4	2040 K + 1938 KK + 714 KKK
5	1784 K + 1634 KK + 602 KKK
6	1352 K + 1121 KK + 413 KKK
7	1640 K + 1463 KK + 539 KKK
Total	12728 K + 1463 KK + 4319 KKK

La vérification des calculs finaux une opération indispensable pour le Kiel el ma, en présence du Hassab et hafadh Zemmam (Imam).

### 4.5.8. Exemple 8

Dans la région d'In Ghar, trois personnes ont réalisés ensemble une foggara qui exploite un débit de 332 habba Zrig, le prix de l'ouvrage est estimé à 350 habba maaboud. La valeur de la contribution au projet de chaque participant est mentionnée dans le tableau.4.23.

**Tableau.4.23. l'effort de chaque participant en habba maaboud**

Participant	Habba maaboud
1	125
2	130
3	95
Total	350

1/ Quelle est la part d'eau de chaque participant ?

Après quelque année le participant A est décédé. Il a laissé une famille composée d'une femme, deux garçons et une fille. Quelle est la part de chaque membre de la famille (héritage).

### Correction :

1/ la part d'eau des trois participants

La part d'eau est liée avec la contribution à la réalisation de la foggara de chaque participant. A cet effet, on détermine d'abord l'unité (Habba maaboud). Du prix de l'ouvrage en fonction sous forme d'une valeur en quantité d'eau.

$$350 \text{ HM} \longrightarrow 332 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ HM} \longrightarrow ? \text{ Hz}$$

$$332/350 = 0,9485 \text{ Hz} = 22,7657 \text{ K}$$

$$22,7657 \text{ K} = 22 \text{ K} + 0,7657 \times 24 \text{ KK} = 22 \text{ K} + 18,3771 \text{ KK}$$

$$18,3771 \text{ KK} = 18 \text{ KK} + 0,3771 \times 24 \text{ KKK} = 18 \text{ KK} + 9 \text{ KKK}$$

$$\text{Donc: } 1 \text{ HM} = 22 \text{ K} + 18 \text{ KK} + 9 \text{ KKK}$$

La part de chaque participant est représentée dans le tableau.4.24.

**Tableau.4.24. part d'eau de chaque participant**

Participant	Habba maaboud	Part d'eau
		1 HM = 22 K + 18 KK + 9 KKK
1	125	2750 K + 2250 KK + 1125 KKK
2	130	2860 K + 2340 KK + 1170 KKK
3	95	2090 K + 1710 KK + 855 KKK
Total	350	7700 K + 6300 KK + 3150 KKK

Vérification du calcul

$$3150 / 24 = 131,25 \text{ KK} = 131 \text{ KK} + 0,25 \times 24 \text{ KKK} = 131 \text{ KK} + 6 \text{ KKK}$$

$$\text{Donc } 131 \text{ KK} + 6300 \text{ KK} = 6431 \text{ KK}$$

$$6431 \text{ KK} / 24 = 267,958 \text{ K} = 267 \text{ K} + 0,958 \times 24 \text{ KK} = 267 \text{ K} + 23 \text{ KK}$$

$$\text{D'où } 267 \text{ K} + 7700 \text{ K} = 7967 \text{ K}$$

$$7967 \text{ K} / 24 = 331,958 \text{ HZ} = 331 \text{ HZ} + 0,958 \times 24 \text{ K} = 331 \text{ HZ} + 23 \text{ K}$$

$$\text{Au total : } 331 \text{ HZ} + 23 \text{ K} + 23 \text{ KK} + 6 \text{ KKK} \approx 332 \text{ Hz.}$$

2/ La part de chaque membre de famille A :

Pour ce type d'opération la population locale procède le partage de l'eau entre les membres de la famille selon les lois coraniques. Pour cela la femme a le droit à 1/8 de la part du mari. Il reste 7/8 de la part de la participant A pour les enfants. Les trois enfants ont une part de 7/8 de la part d'eau du participant A. selon les lois islamiques le garçon a le droit de deux part d'eau d'une fille. Si on désigne la part d'eau de la fille par X et la part d'eau du garçon par Y dans ce cas on peut écrire que la part du garçon est Y= 2X. Les enfants au nombre, de deux garçons et une fille ont le droit à 5X = 7/8 c'est-à-dire la fille reçoit X= 7/40 de la part d'eau du mari.

Les calculs des parts d'eau de chaque membre de famille sont représentés comme suite : La part de la femme est de 1/8 de son mari et le reste à ses enfants c'est-à-dire :

La femme reçoit  $125 \times 1/8 = 15,625$  HM

La fille reçoit  $125 \times 7/40 = 21,875$  HM

On a:  $1 \text{ HM} = 22 \text{ K} + 18 \text{ KK} + 9 \text{ KKK}$

Donc la femme reçoit  $15,625 \times (22 \text{ K} + 18 \text{ KK} + 9 \text{ KKK})$

Est égale à :  $343,75 \text{ K} + 281,25 \text{ KK} + 140,625 \text{ KKK}$

$0,75 \text{ K} \times 24 = 18 \text{ KK}$ ,

$0,25 \text{ KK} \times 24 = 6 \text{ KKK}$ ,

$0,625 \text{ KKK} \times 24 = 15 \text{ KKKK}$

Donc la femme reçoit:  $343 \text{ K} + 299 \text{ KK} + 146 \text{ KKK} + 15 \text{ KKKK}$

Et la fille reçoit:  $21,875 \text{ HM} \times (22 \text{ K} + 18 \text{ KK} + 9 \text{ KKK}) = 481,25 \text{ K} + 393,75 \text{ KK} + 196,875 \text{ KKK}$

$0,25 \text{ K} \times 24 = 6 \text{ KK}$

$0,75 \text{ KK} \times 24 = 18 \text{ KKK}$

$0,875 \text{ KKK} \times 24 = 21 \text{ KKKK}$

Donc la fille reçoit:  $481 \text{ K} + 399 \text{ KK} + 214 \text{ KKK} + 21 \text{ KKKK}$

Alors chaque fils reçoit deux fois la part de la fille c'est-à-dire

La part de fils est :  $962 \text{ K} + 798 \text{ KK} + 428 \text{ KKK} + 42 \text{ KKKK}$

Le tableau suivant récapitule la part de chaque membre de famille.

**Tableau.4.25. la part d'eau de chaque membre de famille- exemple N°8-**

Membre de famille	La part d'eau
La femme	$343 \text{ K} + 299 \text{ KK} + 146 \text{ KKK} + 15 \text{ KKKK}$
La fille	$481 \text{ K} + 399 \text{ KK} + 214 \text{ KKK} + 21 \text{ KKKK}$
Le premier garçon	$962 \text{ K} + 798 \text{ KK} + 428 \text{ KKK} + 42 \text{ KKKK}$
Le deuxième garçon	$962 \text{ K} + 798 \text{ KK} + 428 \text{ KKK} + 42 \text{ KKKK}$
<b>La somme</b>	$2748 \text{ K} + 2294 \text{ KK} + 1216 \text{ KKK} + 120 \text{ KKKK}$

Vérification du calcul

$120 \text{ KKKK} / 24 = 5 \text{ KKKK}$

Donc  $5 \text{ KKKK} + 1216 \text{ KKK} = 1221 \text{ KKK}$

Au total :  $2748 \text{ K} + 2294 \text{ KK} + 1221 \text{ KKK} \approx 2750 \text{ K} + 2250 \text{ KK} + 1125 \text{ KKK}$

#### 4.6. Conclusion

La distribution des eaux de la foggara est une étape très complexe mérite une attention particulière. C'est pour cette raison que la population a mis en place des techniques de mesures des parts d'eau et un encadrement de haut niveau qui veille à cette opération.

## CONCLUSION

Comme nous l'avons montré au début de cette étude, que l'oasis d'In Ghar, la population locale s'attache toujours aux techniques traditionnelles de captage des eaux souterraines.

Malgré l'apport des techniques modernes, comme les motopompes et les forages, les foggaras détiennent une place privilégiée dans l'oasis d'In-Ghar. C'est ainsi que depuis siècles on a enregistré une perte d'une foggara seulement sur 11 foggaras creusées, ils restent actuellement 10 foggaras fonctionnelles, certes le débit a beaucoup diminué durant le temps. L'oasis d'In-Ghar est symbolisé par la foggara d'Irsan, considéré comme l'une des plus grands foggaras du Sahara. Elle représente la fierté de la population, la foggara d'Irsan, peut être classée comme un ouvrage d'art ancestral. D'une longueur de 8 Km et de plus de 500 puits d'aérations, la foggara d'Irsan satisfait la besoin en eau de plus de 400 familles. Elle irrigue aussi les jardins et la palmeraie d'une superficie de 60 hectares. Les 11 foggaras creusées par la population est le fruit d'un travail achevé entamé des années par tous les populations, c'est ainsi qu'une galerie d'une longueur de 36,5 Km et 2,6 Km le largeur total des puits ont été creusés. Un tel projet de grande envergure qui, s'est traduit par l'extraction d'une quantité de 95 millions de tonnes lors du creusement des galeries des foggaras. Plus de 6500 de tonnes de débris ont enlevés lors du creusement des puits d'aérations. Ces chiffres démontrent bien l'envergure du projet des foggaras. Génie oasisien d'In-Ghar a été démontré dans le réseau de distributions. C'est ainsi que plusieurs Kilomètres de seguias et 36 Kasrites ont été aménagés dans le réseau de distribution de la foggara d'Irsan. L'eau peut attendre les Madjenes et jardins de 400 propriétaires au même au moment grâce à une gestion efficace et rigoureuse. Malgré des moyens matériels traditionnels la population n'a jamais connue une pénurie d'eau. Dès qu'il y a un déficit d'eau la population entame une opération d'entretien ou rallongement de la galerie afin d'accroître le débit. Il est temps que les services compétents protestent sérieusement sur la protection et la sauvegarde de système.

## BIBLIOGRAPHIE

**Abdin S., 2006.** Qanats a unique groundwater management tool an arid region: the case of Bam region in Iran. International symposium sustainability, Alicante (Spain), January, 24-27.

**Abidi. Saad Nouh,2011,** Les foggaras d'Adrar : Etat et Perspectives, magistère Aménagement Hydraulique en Milieu Aride, Université KasdiMerbah -Ourgla-

**Bensaada M, et Remini B.2014.**Water wells' exploitation and its impact on the drying up of foggaras, The case of the foggara of M'ghaer, Timimoun, District of Adrar, Algeria, 2The case of the foggara of M'ghaer, Timimoun, District of Adrar, Algeria Appl Water Sci DOI 10.1007/s13201-014-0250-

**Baduel Pierre R. N. Marouf, 1980.,** Lecture de l'espace oasien. In: Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°31,1980. pp. 142-144.

**Chaouche Bencherif M, 2007,** ADRAR, VILLE-OASIS: POUR UNE VILLE SAHARIENNE DURABLE, Département d'Architecture et d'Urbanisme Université Constantine, (Algérie).

**Capot-Rey R. 1963.,** Irrigation et structure agraire à Tamentit. In: Bulletin de l'Association de géographes français, N°307-308, 39e année, Mai-juin 1962. pp. 223-233.

**Cuillermou Y, 1993,** Les oasis du Touat-Gourara-Tidikeit en Algérie, Survie et ordre social au Sahara, Cah. Sci. Hum. 29 (1) 1993 : 121-138, t. 82, n°451. pp. 368-369

**Daniel B., 1993.** Les eaux cachées. Études géographiques sur les galeries drainantes souterraines, réunies, Annales de Géographie, Année, Volume 102, Numéro 574 p. 637 – 638

**Despois J, 1958.** Le Souf et le Gourara (Sahara). In: Annales de Géographie. 1958, t. 67, n°361. pp. 263-264.

**Échallier, J.-C. 1974,** Villages désertés et structures agraires anciennes du Touat-Gourara (Sahara algérien), Journal de la Société des Africanistes, Volume 44, Numéro 2 p. 205 – 206

**Gruet,E. 1939,** Note préliminaire sur le gisement moustérien d'El Guettar. In: Bulletin de la Société préhistorique de France, tome 47, n°5, 1950. pp. 232-241

**Goblot H., 1963.** In ancient Iran, the techniques of water and great story, annals, Vol. 18, n° 3, 499-520.

**Goblot H., 1979.** Qanats: a technique acquisition of water, Paris, Mouton, 231 p.

**Grandguillaume G. 1973,** Régime économique et structure du pouvoir : le système des foggara du Touat. In: Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°13-14. pp. 437-457.

**Granier Jean-C, 1980,** Rente foncière et régulation économique dans le Courara algérien. In: Tiers-Monde. 1980, tome 21 n°83. pp. 649-663.

**Hadji. A ; 1994**, Réaménagement hydro-agricole de la palmeraie IN SALAH ( wilaya de Tamanrasset), PFE ingénieur, département irrigation-drainage, ENSH Blida.

**Hosni E, 1999**, Stratégie pour un développement durable du tourisme au Sahara, paris.

**Hofman A., 2007**. Traditional water management by qanat in Iran is compatible with the concept of GIRE? Technical Summary, February, Engref, Montpellier, France, 17p.

**Hussain I., Siraj Abu Rizaiza O., Habib Mohamed A., AshfaqM. 2008.**, Révitalizing a traditional dryland water supply system, The karezes in Afghanistan, Iran, Pakistan an the Knigdom of Saudi Arabia, Water International, Vol. 33, n°3, 333-349.

**Kazemi G.A., 2004**. Temporal changes in the physical properties and chemical composition of the municipal water supply of shahrood,northeastern Iran, Hydrogeology journal n° 12, pp. 723 -734.

**Kobori I.,1982**. Case studies of foggara oases in the Algerian Sahara and Syria, Tokyo, Tokyo University, Department of Geography, report n° 2, 45p.

**Larnaude M, 1949**, Eaux artésiennes et pluviosité dans le Sahara algérien. In: Annales de Géographie. 1949, t. 58, n°311. Pp 282-283.

**M.Besbes, A.Larbes, M.Babasy, B.Merzougui ; JUIN 2005**, Rapport Final de Première Phase Et Modélisation Du Système Aquifère Du Bassin Occidental Du Sahara Septentrional.

**Ministère de la Communication et de la Culture. Direction du patrimoine culturel, 2002**, Sahara occidental. Le trait d'union de cet ensemble est le réseau hydraulique de la Saoura, avec le Gourara, le Touat et le Tidikelt Réf, 1772.

**Nasri.B, Merzougui.B .2004**, Rapport de la mission effectuée la région d'In Salah pour l'inventaire des points d'eaux. ANRH DRSO

**OualiS, 2006**, ETUDE GEOTHERMIQUE DU SUD DE L'ALGERIE, Mémoire de Magister, université d'Ouargla.

**Projet de recherche, Du 1999 au 31/12/2002**, CHEF DE PROJET : BENDJELID Abed, Université d'Oran Es-Senia, Faculté des Sciences de la Terre

**Remini B., 2003**. PROCESSUS D'EFFONDREMENT D'UNE FOGGARA, Journal Algérien Des Région Arides.

**Remini B., 2006**. LA FOGGARA : DEGRADATION D'UN SYSTEME DE CAPTAGE ET D'IRRIGATION, 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech,Morocco, (ISCO 2006).

**Remini B., Achour B.,Juin 2008**. LES FOGGARAS DU GRAND ERG OCCIDENTAL ALGERIEN, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 07, pp. 21-37

**Remini B., Achour B., 2008.** Vers la disparition de l'une des plus grandes foggaras d'Algérie : la foggara d'El Meghier, Laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface, Faculté des sciences et de sciences de l'ingénieur, Université Mohamed Khider, BP 07000,

**Remini B., Achour B., 2013.** The foggaras of In Salah (Algeria): the forgotten heritage. Larhys Journal, ISN 112-3680, n°15, Septembre 2013, p. 85-95

**Remini B., Achour B., 2013.** Foggaras of Ahaggar: disappearance of a hydraulic heritage. Larhyss Journal, No. 14, June, pp. 149-159.

**Remini B., Achour B., 2013.** THE TRIPLE FOGGARA OF OULED SAID (Algeria): THE INGENUITY OF THE SAHARAN PEASANTRY, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°15, Septembre 2013, pp. 113-122

**Remini B. and Achour Bachir, 2013.** The qanat of the greatest western Erg. Journal American Water Works Association, 105 (5), May, pp. 104-105.

**Remini B., Achour B., Kechad R., 2014.** THE SHARING OF WATER IN THE OASES OF TIMIMOUN HERITAGE CULTURAL DECLINING Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, pp. 7-17

**Remini B. and Kechad R., 2012.,**The foggara in the Arab world. Journal of Geographia Technica (indexé scopus), n° 1, pp.1-7.

**Remini B., Achour B. and Kechad R., 2012.** Traditional techniques for increasing the discharge from qanats in Algeria. Irrig Drainage Syst DOI 10.1007/s10795-012-9125-6

**Remini B., Achour B. and Albergel J., 2011.** Timimoun's foggara (Algeria): An heritage in danger Arabian Journal of Geosciences (Springer), Vol. 4, n° 3, pp. 495- 506

**Remini B., Achour B. and Kechad R., 2010.** Types of foggaras in Algeria. Journal of Water Sciences (Canada-France). Vol. 23, No. 2, pp. 105-117.

**Remini B., Achour B, et Kechad R., 2010.** La foggara en Algérie : un patrimoine hydraulique mondial, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 2, 2010, p. 105-117.

**Remini B. and Achour B., 2008.** To the disappearance of the most foggaras of Algeria: the foggara of El Meghier. "Revue de Secheresse" (France). Vol. 19, No. 3, pp. 217-221.

**Remini B, Rezoug C, Achour B., 2014.** The foggara of Kenadsa (Algeria). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014, pp. 93-105

**Remini B., Kechad R., Achour B., 2014.** The collecting of groundwater by the qanats: A millennium technique decaying. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°20, Décembre 2014, pp. 259-277

**Senoussi A., Bensania M., Moulaye S. Et Telli N., 2001,** LA FOGGARA : UN SYSTÈME HYDRAULIQUE MULTISÉCULAIRE EN DÉCLIN

**Sidi Boumediene R., Veirier, L., 2003:** Les populations Sahariennes ; « quelles mesures pour faire du tourisme un outil de lutte contre la pauvreté ? », (à partir de sept études thématiques et a été modifié suite à l'atelier international organisé à Ghardaïa), 19-21 avril 2003.

**Todaro, P., 2011** Lotta alla desertificazione : il progetto foggaras per il recupero dei sistemi idrici tradizionali nel Sahara algerino, wilaya d'Adrar.