

UNIVERSITE DE BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement

MEMOIRE DE MASTER

Filière: **Hydraulique**

Spécialité : **Sciences de l'Eau**

Thème:

Etude des foggaras d'Aoulef (Wilaya d'ADRAR L'ALGERIE)

Par

BERRAMDANE Chouaib

Devant le jury composé de :

A. BOUIKNI	Maître de conférences, U. de Blida	Président
D. BENSAFIA	Maître de conférences, U. de Blida	Examineur
M. HABI	Maître de conférences, U. de Blida	Examineur
B. REMINI	Professeur, U. de Blida	Promoteur

Promotion 2013/2014

Remerciement

Je remercie le bon-Dieu pour tout puissant, pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'étudier et pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail dans les meilleures conditions.

Au terme de cette modeste étude, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à Mr REMINI Boualem (mon encadreur) pour le soutien, l'aide et les conseils qu'il m'a dispensé pour l'élaboration de cette présente thèse et à ma formation durant les années de spécialités.

Je remercie le président et les membres du jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

Je voudrais aussi remercier l'ensemble des professeurs, la direction de département des sciences de l'eau et le pour avoir veillé notre formation.

Dédicaces

*Je rends un grand hommage à travers ce modeste travail, en
signe de respect et de reconnaissance envers :*

Ma mère et Mon père

*Pour tous les sacrifices et leur soutien moral et matériel dont
ils ont fait preuve pour que je réussisse.*

Je le dédie également à :

Mes frères :

Khaierrdine, Abdelbasset, Abdelhalim, Idris.

Mes sœurs :

Fatma, Laila, Rabha

Mes amis :

*Houssemeddine, Ahmed, Talal, Boubaker, Youssef, Ali-R,
Rahim, Moh, Walid, youcef, Tablati, Abdellah, Hicham ,
Mourad,*

*Hicham, Khaled, Moustafa, Oussama, Missoum, Adel, Radwan
Sasi, Daci ,*

Et tous les amis et la famille de cité 03 et Elmeghaire.

A mon promo :

*Hicham, Fouad, Meziane, Ibtissam, Nassima, Djamila,
Hassiba.*

المخلص

مند أكثر من 10 قرون تعتبر الفقارة تقنية تقليدية لاستغلال المياه الجوفية لري الألف من النخيل في واحات منطقة أولف (أدرار) واستصلاح الأراضي. وفي زيارة ميدانية لمنطقة أولف في شهر ديسمبر 2013 ومحاوره سكان القصور في واحات أولف تؤكد لنا أن الفقارة تستمد مياهها من الطبقة الجوفية لهضبة تدميت مثل أقرانها في منطقتي فورارة وتوات، من جهة أخرى نجد أن فقارة أولف تتميز بالزيادة في طول نفق الفقارة عن طريق إضافة فرع أو شبكة فروع باستمرار لزيادة تدفق المياه واستصلاح الاراضي الزراعية من منطلق ارتفاع عدد السكان وهذا على غرار منطقتي قورارة وتوات والتي يطلق عليها (بالكراع) والذي يضاف حفره في منطقة التجفيف ويوصل بنفق الفقارة. ومن خلال زيارتنا للمنطقة تبين لنا أن هذا المنشأ الضخم يعاني من التسيب وهذا منذ حوالي أكثر من نصف قرن وهو تاريخ ظهور استعمال الآبار العميقة. ومن منطلق البنية الإكولوجية الهشة للصحراء تبقى الفقارة المورد الوحيد الذي يضمن التزويد بالمياه وحماية البيئة الصحراوية.

الكلمات المفاتيح: أولف – فقارة – واحة – الماء – النفق

Résumé

La foggara est une technique ancestrale de captage des eaux souterraines pratiquée dans les oasis d'Aoulef (Adrar) depuis plus de 10 siècles. C'est grâce à la foggara que des milliers de palmiers ont été développés. Les investigations et des enquêtes effectuées auprès de la population ksourrienne des oasis d'Aoulef durant nos séjours au mois de décembre 2013. Il s'est avéré que la foggara d'Aoulef exploite les eaux du Continental Intercalaire tout comme celles de Touat et Gourara. Par contre, la foggara d'Aoulef se caractérise par rapports à celle de Touat et Gourara par la multiplication des ramifications au niveau des galeries. C'est un véritable réseau de drainage qui a une répercussion sur l'accroissement du débit de la foggara. Malheureusement, nous assistons au déclin de cet ouvrage d'art depuis plus d'un demi-siècle ; date de l'apparition des forages profonds. Ce système hydraulique doit être réhabilité, puisqu'il demeure 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.

Mots clés : Aoulef – Foggara – Oasis – Eau – Galerie.

Abstract

The foggaras is an ancient technique of groundwater catchment practiced in the oasis of Aoulef (Adrar) for over 10 centuries. It is through the foggaras thousands of palm have been developed. Investigations and surveys of the population ksourrienne Aoulef oasis during our stay in December 2013, it turned to the foggaras Aoulef operates waters Continental Intercalary like those of Touat and Gourara. For cons, the foggaras of Aoulef is characterized by reports that of Touat and Gourara by multiplying ramifications in galleries. It is a network of drainage which has an impact on increasing the throughput of the foggaras. Unfortunately, we are witnessing the decline of this work of art for more than half a century; date of the appearance of deep drilling. This hydraulic system must be rehabilitated, as it remains the only hydraulic system that provides both water supply and environmental protection in a fragile ecosystem like the Sahara.

Keywords: Aoulef - Foggara - Oasis - Water – Gallery

Sommaire

INTRODUCTION	3
Chapitre 1	
GENERALITES SUR LES FOGGARAS.....	9
Introduction	9
1.1. Définition d'une foggara	9
1.2. Composition d'une foggara.....	11
1.3. Les parties d'une foggara.....	11
1.3.1. Captage et transport	12
1.3.2. Distribution et irrigation	15
1.3.3. La limite qui sépare les deux parties amont et avale : La kaseia principale	18
1.4. Hydrométrie de la foggara d'Aoulef.....	19
Chapitre 2	
REGION D'ETUDE ET METHODOLOGIE.....	22
2.1. Situation et caractéristiques de la région	22
2.2. Mission et enquêtes	25
Chapitre 3	
RESULTATS ET DISCUSSIONS	26
3.1 Evolution du nombre des foggaras	26
3.2. Evolution du débit des foggaras d'Aoulef.....	28
3.3. La particularité des foggaras d'Aoulef	30
3.4. Corrélation : débit – géometrie de la foggara	30
3.5. Peut-on abandonner la foggara ?	32
3.6. Foggara de Bendraou : Un ouvrage hydraulique de grande envergure..	33
3.7. Dégradation des foggaras d'Aoulef.....	34
Conclusion.....	38
Références bibliographiques	39

La liste des figures

Chapitre 1

Fig.1.1. Schéma synoptique d'une foggara.....	10
Fig.1.2. Coupe longitudinale d'une foggara	11
Fig. 1.3. Parties de la galerie d'une foggara.....	12
Fig. 1.4. Série de puits : synonyme de l'existence d'une galerie sous le sol	12
Fig. 1.5. Un des puits de la foggara de Tifena (Aoulef)	13
Fig.1.6 . Puits dans la partie drainage de la foggara de tenfaa (Aoulef)	14
Fig. 1.7. Un puits situé dans la partie transport (faible profondeur) de la foggara de Tifena (Aoulef)	14
Fig. 1.8. Puits réhabilité en terre (Aoulef)	14
Fig. 1.9. Réseau de distribution des eaux de la foggara	15
Fig. 1.10. Kasria principale de la foggara Djenet Esghar (Aoulef).....	16
Fig.1.11. Kasria secondaire de la foggara de Tifena (Aoulef)	16
Fig. 1.12. Kasria tertiaire du réseau de distribution de la foggara Djenet Esghar (Aoulef).....	16
Fig. 1.13. Seguias de différentes section dans le réseau de distribution de la foggara Fguiguira d'Aoulef.....	17
Fig. 1.14. Madjen en terre dans l'oasis d'Aoulef	18
Fig. 1.15. Un des Madjens en ciment de la foggara de Bendraou (Aoulef).....	18
Fig. 1.16. Kasria principale : la limite entre l'amont et l'aval de la foggara	19
Fig. 1.17. Chegfa utilisée dans les oasis d'oulef.....	20
Fig. 1.18. Kial El Ma des oasis d'Aoulef.....	20
Fig. 1.19. Opération de mesure du débit dans les oasis de Tidikelt (photo Salah Hebi)	21
Fig. 1.20. Zemmam de la foggara d'Irsan.....	21
Fig. 1.21. Le Chahed	21

Chapitre 2

Fig.2.1. Situation géographique de la région d'Aoulef Etendue de la nappe du Continental Intercalaire.....	22
Fig. 2.2. Les aquifères du Continental Intercalaire et le Complexe Terminal (Dessin Remini, Source Unesco 1972 in Castany, 1982).....	24
Fig.2.3. Le propriétaire de la foggara de Bendraou	25
Fig. 3.1. Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab en 1909 (Voinot, 1909).....	27

Chapitre 3

Fig. 3.2. Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab	27
Fig. 3.3. Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab	28
Fig. 3.4. Evolution du débit des foggars en fonction dans le temps.....	29
Fig. 3.5. Evolution de la longueur totale des galeries des foggaras dans le temps.....	29
Fig. 3.6. Augmentation de la zone de drainage pour les foggaras d'Aoulef Arab.....	30
Fig. 3.7. Corrélation débit – galerie de la foggara (foggaras initiales)	31
Fig. 3.8. Corrélation débit – Nombre de puits	31
Fig. 3.9. Corrélation débit – galerie de la foggara (inventaire 1998).....	32
Fig. 3.10. Corrélation débit de la foggara – superficie irriguée (inventaire 1998)	33
Fig. 3.11. Kasria principale de la foggara de Bendraou	33
Fig.3.12. Puits d'aération de la foggara de Bendraou	34
Fig. 3.13. Kasria de Taurfine abandonnée	35
Fig. 3.14. Madjen de Taurfine abandonné.....	35
Fig. 3.15. Seguias de Taurfine abandonnées	36
Fig. 3.16. Jardins irrigués par la foggara de Taurfine abandonnés	36
Fig. 3.17. Evolution du débit d'une foggara d'Aoulef	37

Références bibliographiques

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

Abidi N. et Remini B., 2011. Les foggaras de Touat : la fierté de la population locale. *Annales des Sciences et Technologie* Vol. 3, N° 2, Décembre, pp. 107-113.

Castany, G., 1982. Principles and practices of hydrogeology. Editions of Dunod University, 1982, 238 p.

Cornet A., 1952. "Essai sur l'hydrogéologie du Grand Erg Occidental et des régions limitrophes : les foggaras", *Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes*, tome VIII, p. 72-122.

Dob M. E., 2003. Utilisation de l'Albien : avantages et inconvénients. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. Vol. 1, El Oued (Algérie), les 20 et 21 mai, 79 p.

Dubost D., 2002. Ecologie, Aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Editions CRSTRA (Algérie), 423 p.

Goblot H., 1979. Les Qanats : une technique d'acquisition de l'eau. Edition de l'EHESS, 236 p.

Hofman A., 2007. La gestion traditionnelle de l'eau par qanat en Iran est elle compatible avec le concept de la GIRE ? Synthèse technique, Février, Engref (Montpellier France), 17 pages.

Remini B. et Achour B., 2013. The foggaras of In Salah (Algeria): the forgotten heritage. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°15, September, pp. 85-95

Remini B., 2007. La problématique de l'eau en Algérie. Edition Office des Publications Universitaires (Algérie), 140 p.

Remini B. et Sayah Lazhar, 2013. Scaling of the potable water network of the Touggourt city (Algeria). Desalination and water treatment. DOI 101080/19443994.2013.

Remini B., Achour B., 2013. Les foggaras de l'Ahaggar : disparition d'un patrimoine hydraulique. *Larhyss Journal*, n°14, juin, pp. 149-159

Remini B., Achour B., Ouled Belkhir C., Baba Amar D., 2012. The Mzab foggara: an original technique for collecting the water rising. *J. Water Land Dev.*, No. 16 (I-VI): 49-53

Remini B., Achour B. et Albergel J., 2011. Timimoun's foggara (Algeria): An heritage in danger DOI: 10.1007/s12517-010-0139-9 *Arabian Journal of Geosciences* (Springer), Vol. 4, n° 3, pp. 495- 506

Remini B. et Achour B., 2008. Vers la disparition la plus grande foggaras d'Algérie : la foggara d'El Meghier. *Revue Sécheresse (France)* en 2008. Vol. 19, n°3, pp. 217-221.

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

Remini B., Achour B. et Kechad R., 2012. Traditional techniques for increasing the discharge from qanats in Algeria. DOI: 10.1007/S10795-012-9125-6. *Journal of irrigation and drainage systems (Springer)*. Volume 25,n° 4, pp 293-306

Remini B., 2008. *La foggara*. Editions OPU, 110 p.

INTRODUCTION

Dans les régions à climat sec, les eaux de surface se font rares. Cependant les crues occasionnelles drainent des quantités appréciables en eau, mais elles s'évaporent rapidement. Les eaux souterraines restent donc la seule alternative pour alimenter la population et l'irrigation. Cependant les difficultés résident dans les procédés d'acquisition du précieux liquide. Le faible rendement des puits traditionnels (puits à poulie, puits à balancier et puits avec attraction animale) provoqué par le faible débit et l'apport d'une énergie humaine ou animale a poussé les oasiens à inventer système hydraulique de captage des eaux basé sur un drain souterrain de faible pente. Appelé foggara, elle est considéré comme le système hydraulique le plus utilisé dans les zones arides. Réalisée dans l'ancienne Iran depuis plus de 3000 ans (Hofman, 2007 ; Abdin, 2006 ; Goblot, 1979), la foggara est une galerie souterraine d'une faible pente équipée d'une multitude puits d'aération. Grace à son succès, la foggara a été exportée vers une trentaine de pays arides y compris l'Algérie (Wulf, 1968 et Stiros, 2006)).

Le Sahara Algérien, réputé comme l'un des milieux les plus secs de la planète, plus de 1400 foggaras ont été creusées dans le sud ouest d'Algérie autour du plateau de Tadmait. Aujourd'hui il ne reste que 50% de ces foggaras en service dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt très connu par le pays des foggaras (Abidi et Remini, 2011 ; Remini et Achour, 2013). Dans ce modeste travail, nous traitons l'importance de la foggara dans le Sahara Algérie et plus particulièrement dans les oasis d'Aoulef (Adrar). Les problèmes de dégradation de ces techniques seront étudiés dans ce mémoire.

Chapitre 1

GENERALITES SUR LES FOGGARAS

Introduction

Dans la première partie ce chapitre nous traitons quelques notions sur la technique des foggaras utilisée dans l'extrême sud Algérien et plus particulièrement dans la région d'Aoulef. Dans la deuxième partie nous examinons les principaux travaux antérieurs effectués sur les foggaras.

1.1. Définition d'une foggara

La foggara est une galerie souterraine légèrement inclinée qui consiste à capter et à transporter les eaux de l'aquifère en contrebas pour alimenter le ksar et irriguer la palmeraie. L'eau s'écoule à surface libre par gravité avec une faible vitesse et sans interruption (fig. 1.1. et 1.2).

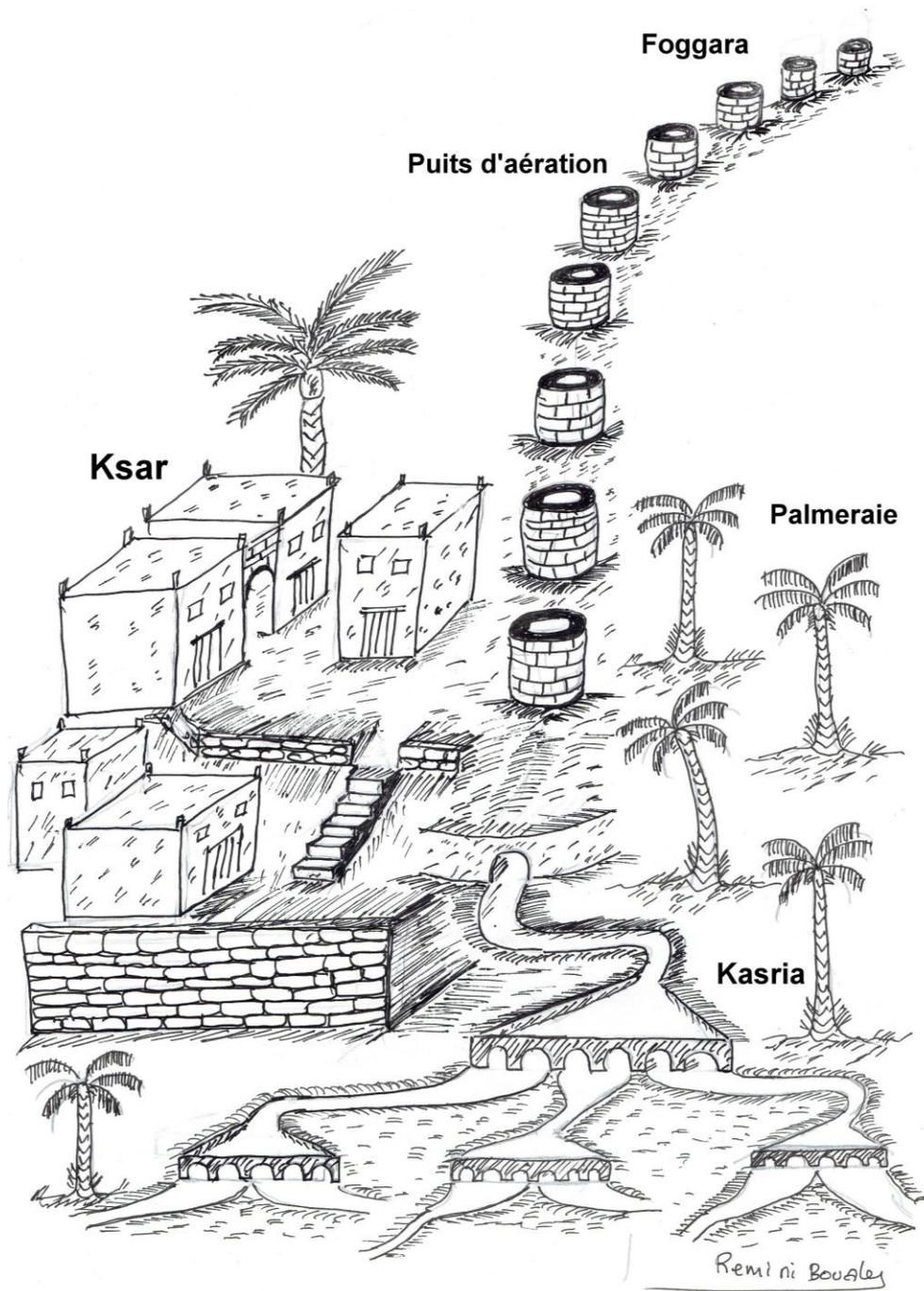


Fig.1.1. Schéma synoptique d'une foggara (REMINI.B 2014)

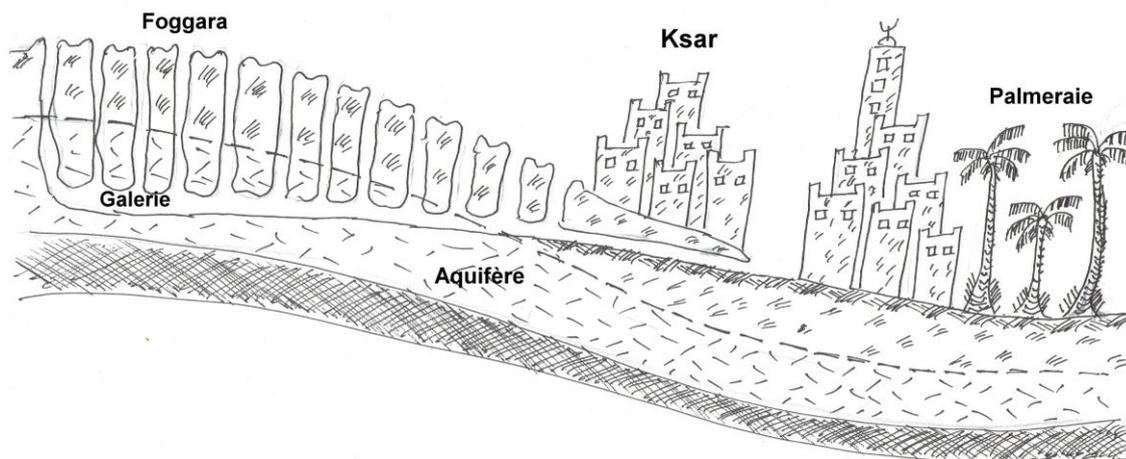


Fig.1.2. Coupe longitudinale d'une foggara (REMINI.B 2014)

1.2. Composition d'une foggara

La foggara est un ouvrage d'art ancestral constitué d'une galerie souterraine de 300 m à 15000 m et qui relie les puits d'aération (de 10 à 700 puits). Ces puits avec des profondeurs variables (de 3 m à 45 m) destinés à l'aération de l'écoulement et à l'accès pour l'entretien de la galerie. La foggara se caractérise par des dimensions géométriques variables d'une région à l'autre suivant la nature du sol.

1.3. Les parties d'une foggara

La foggara se divise en deux grandes parties :

- La partie de drainage et de transport des eaux qui se trouve à l'amont de la kasria principale. Elle est constituée de la galerie et les puits. La galerie présente une forme sinusoïdale à cause de la difficulté de creusement dans le sol. La galerie est réalisée de façon qu'un individu puisse circuler sans difficultés : les dimensions moyennes sont 0.5 de large et 2 m de hauteur.
- La partie de distribution et d'irrigation qui se trouve à l'aval de la kasria principale qui représente le réseau de distribution et de partage de l'eau. Le réseau est constitué de seguias, kasriates et des madjens.
- Le seuil qui sépare les deux parties est la kasria principale. C'est la partie la plus importante dans la foggara. Puisque la foggara a été réalisée par un ensemble de personnes, l'eau devient un bien collectif. A la sortie de la galerie, l'eau doit être partagée entre les copropriétaires de la foggara et c'est le rôle de la kasria principale.

1.3.1. Captage et transport

C'est la partie la plus importante de la foggara qui est représentée par la galerie souterraine. Elle est divisée en deux tronçons. Le premier qui se trouve à l'intérieur de l'aquifère qui est destiné à drainer l'eau de la nappe. Le deuxième tronçon qui se trouve au dessus de la ligne piézométrique est destiné à véhiculer l'eau drainée par le premier tronçon (fig. 1.3).

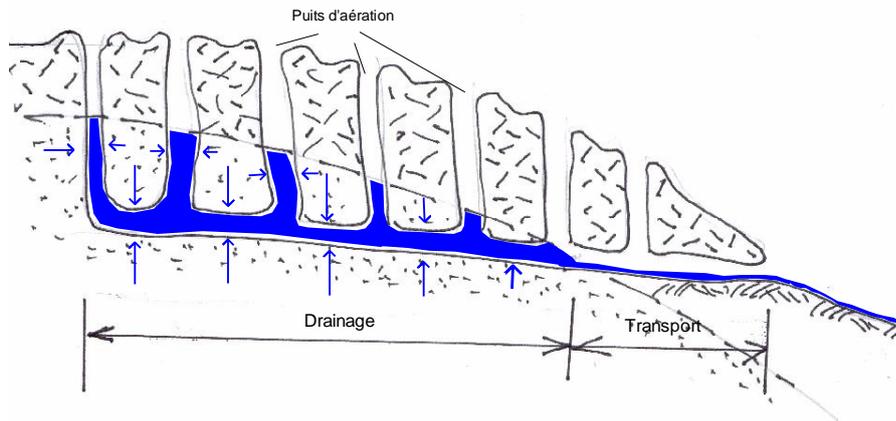


Fig. 1.3. Parties de la galerie d'une foggara (REMINI.B 2014)

Cette partie est formée par deux ouvrages hydrauliques essentiels : la galerie souterraine et les puits d'aération.

- **La galerie souterraine**

Cet ouvrage permet de drainer les eaux de la nappe aquifère vers la surface du sol, La pente moyenne du drain est de 1/1000. La longueur de la galerie des foggaras de Touat, Gourara et Tidikelt ne dépasse pas les 15 km. L'existence d'une série de puits le long d'une ligne rectiligne est synonyme de l'existence d'une galerie sous la surface de sol (fig.1.4).



Fig. 1.4. Série de puits : synonyme de l'existence d'une galerie sous le sol (Aouilef)

- **Les puits d'aération**

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, la foggara se compose d'une galerie et d'une série de puits avec des profondeurs variables. Lors de la réalisation de la galerie, les puits verticaux servent pour l'évacuation des déblais de terre excavés dans la galerie, et aussi ils laissent passer la lumière au fond de la galerie (fig. 1.5). Lors de l'exploitation de la foggara, ces puits servent pour l'entretien de la galerie et l'aération. En fonction de la grandeur de l'ouvrage, le nombre de puits dans une foggara peut varier de 10 à 700. Dans les foggaras d'Aoulef, les puits de la partie drainage peuvent atteindre 45 m de profondeur (fig. 1.6). Par contre ceux de la partie Transport, ils varient de 3 à 25 m de profondeur (fig. 1.7). L'écartement entre deux puits successifs varie de 5 à 20 m. Cette distance est liée aux difficultés de travail (manque de lumière et difficultés de respiration). Le diamètre des puits varie de 0.5 à 1 m selon les difficultés de creusement. Cette ouverture facilite l'accès au fond du puits. Dans les zones urbaines, ces ouvrages sont munis d'une margelle de 0,90 m de hauteur construite en pierres ou en argile. Dans les zones d'ensablement, les ouvertures de puits sont couvertes par des roches plates et d'argile afin d'éviter l'ensablement de la galerie. Actuellement, nous assistons à des opérations de réhabilitations des puits qui ne tiennent pas compte de la réalité et l'esthétique de l'oasis. C'est ainsi qu'au lieu de réhabiliter ces puits avec de la pierre et l'argile, ils ont été refaites avec la brique et le ciment (fig. 1.8).



Fig. 1.5. Un des puits de la foggara de Tifena (Aouilef)



Fig.1.6 . Puits dans la partie drainage de la foggara de tenfaa (Aoulef)



Fig. 1.7. Un puits situé dans la partie transport (faible profondeur) de la foggara de Tifena (Aoulef)



Fig. 1.8. Puits réhabilité en terre (Aoulef)

1.3.2. Distribution et irrigation

Cette partie est représentée par le réseau de distribution (fig. 1.9). Il est composé de plusieurs kilomètres de seguias, d'une dizaine de kasrias et de Madjens.

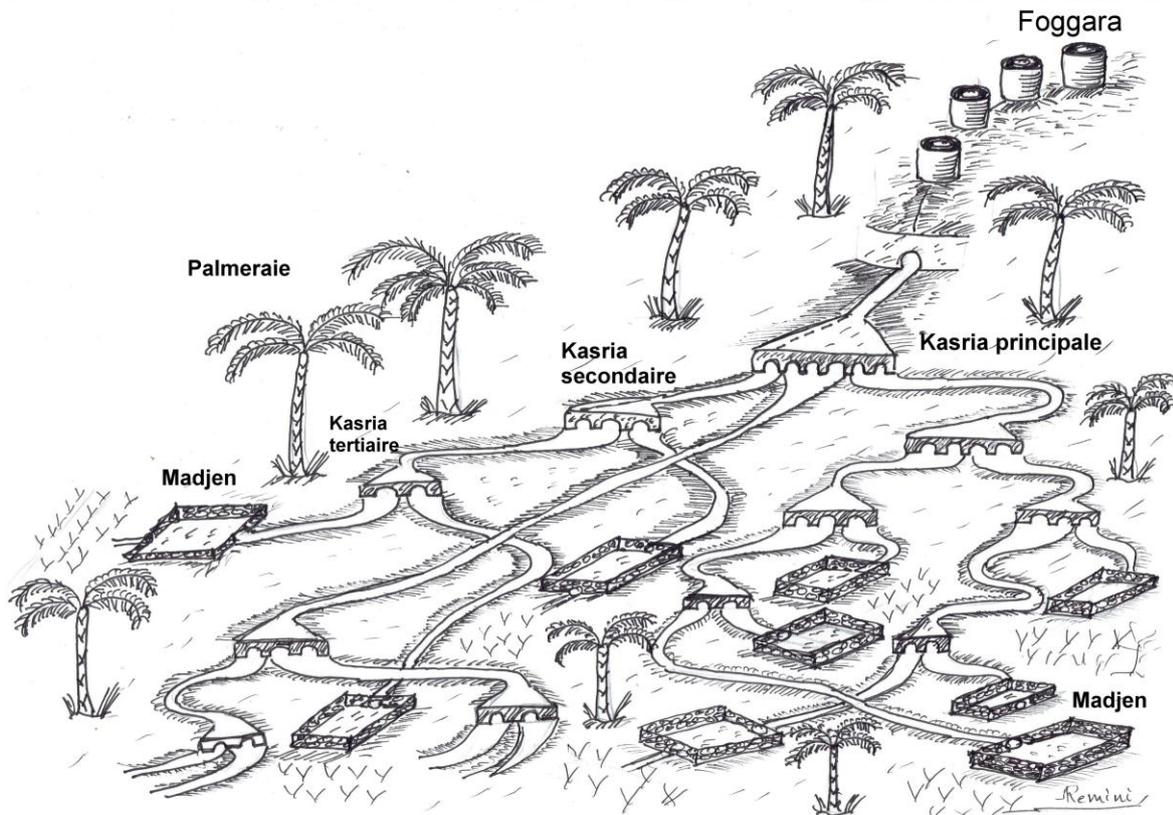


Fig. 1.9. Réseau de distribution des eaux de la foggara (REMINI.B 2014)

Kasriates :

Dans un réseau de distribution d'une foggara, on peut trouver suivant la grandeur de la foggara et le nombre des participants jusqu'à une trentaine de kasriates de dimensions différentes. Dans une foggara, il existe une seule kasria principale (fig. 1.10), 4 à 5 kasriates secondaire (fig. 1.11) et une dizaine de kasriates tertiaire pour chaque foggara (fig. 1.12). Les kasriates répartissent l'eau entre les participants. A chaque fois que l'eau passe dans une kasria le débit se répartit en plusieurs parts jusqu'à la satisfaction de tous les participants.

A la sortie de la foggara, l'eau est divisée par la kasria principale appelé aussi la kasria-lak'bira qui possède un nombre suffisant d'ouvertures qui sont dimensionnées en fonction du débit de la foggara. L'eau s'écoule facilement à travers ces orifices pour atteindre les seguias qui peuvent être à nouveau divisés par une autre kasria secondaire, puis par une autre kasria tertiaire et ainsi de suite jusqu'à l'eau arrive dans tous les madjens des copropriétaires de la foggara. Pour les foggaras à débit important, l'eau à la sortie d'Aghrissou présente un écoulement turbulent. Dans ce cas, la kasria principale est équipée d'une plaque rocheuse trouée par des ouvertures de section égales. Située au milieu du bassin, elle joue le rôle d'un tranquilisateur et permet à

l'eau d'atteindre le peigne répartiteur avec une hauteur constante. Cette situation facilitera la tâche au Kial El Ma pour mesurer les débits avec peu d'erreurs.



Fig. 1.10. Kasria principale de la foggara Djenet Esghar (Aoulef)



Fig.1.11. Kasria secondaire de la foggara de Tifena (Aoulef)



Fig. 1.12. Kasria tertiaire du réseau de distribution dela foggara Djenet Esghar (Aoulef)

Seguias :

Par gravité l'eau s'écoule dans les canaux à ciel ouvert appelées seguias pour atteindre les bassins de stockage. Les seguias sont réalisées de telle façon qu'il n'y aura ni un déficit ni un surplus ou un débordement sur les berges. La section économique du canal a été bien dimensionnée (fig. 1.13).

La seguia est un canal à ciel ouvert creusée dans le sol. Elle est destinée au transport de l'eau de la foggara de la kasria El Kebira vers les autres et kasriates et les Madjens. La seguia principale parte de la kasria principale vers les kasriates secondaires ou vers le Madjen. La seguia secondaire parte de la kasria secondaire vers les kasriates tertiaires ou bien vers les Madjens.

Actuellement on assiste à la rénovation des seguias dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt en réalisant des seguias en ciment, en biton et même en PVC. Cette nouvelle situation a complètement bouleversé le rôle de la seguia classique (en terre) puisque le deuxième rôle a été éliminé et qui correspond aux infiltrations. C'est une irrigation continue et indirecte des palmiers avoisinants aux seguias. L'imperméabilité du fond des nouvelles seguias (en ciment et en PVC) a engendré l'assèchement des palmiers. En plus, le débit véhiculé par une seguia en ciment ou en PVC est supérieur à celui véhiculé par une seguia en terre à cause du coefficient de rugosité. Un réseau de distribution hétérogène composé de seguias en terre, en ciment et en PVC peut fausser la mesure des débits des copropriétaires.



Fig. 1.13. Seguias de différentes section dans le réseau de distribution de la foggara Fguiguira d'Aoulef

Madjens :

Le Madjen est un bassin de stockage des eaux en forme géométrique quelconque. Réalisé en terre sur le point le plus élevé du jardin (Guemoun) pour permettre une irrigation gravitaire (fig. 1.14). Chaque Madjen est dimensionné de telle façon à ce qu'il se remplit en 24h. L'irrigation se fait en général le matin de bonne heure en été et dans la grande matinée en hiver. Actuellement, on assiste à la multiplication des madjens en ciment (fig. 1. 15). Cette situation ressemble bien à celle des seguias. Le madjen en ciment

empêche les infiltrations dans le sous sol en privant les palmiers périphériques au madjen de consommer les eaux du sous sol.



Fig. 1.14. Madjen en terre dans l'oasis d'Aoulef



Fig. 1.15. Un des Madjens en ciment de la foggara de Bendraou (Aoulef)

1.3.3. La limite qui sépare les deux parties amont et avale : La kaseia principale

Le seuil entre les deux parties amont et avale est représenté par kasria principale. Elle a la forme d'un bassin triangulaire. Le sommet correspond à l'entrée d'Aghrissou (entrée de la foggara) et la base correspond au peigne répartiteur composé de plusieurs ouvertures (fig. 1.16). L'eau cachée dans le sous sol une fois arrivée à la lumière s'écoule dans Aghrissou pour atteindre la kasria. Cet ouvrage répartit l'eau entre les copropriétaires.

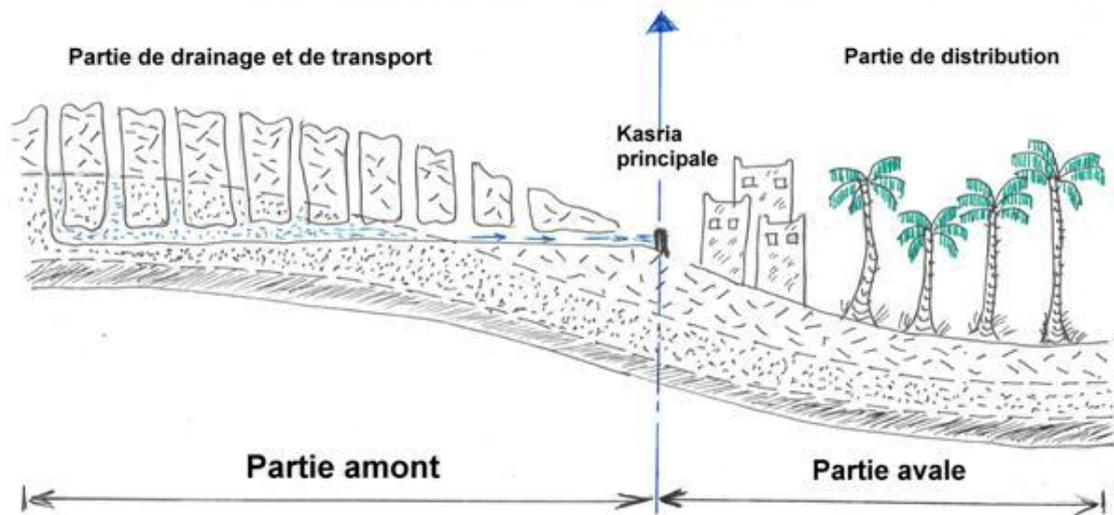


Fig. 1.16. Kasria principale : la limite entre l'amont et l'aval de la foggara (REMINI.B 2014)

1.4. Hydrométrie de la foggara d'Aoulef

Un mégaprojet ancestral comme celui d'une foggara se réalise par un groupe de personnes. A la sortie de l'eau à la surface libre, elle devient un bien collectif et doit être partagée entre les participants d'une façon équitable. Pour réussir une telle opération et éviter des éventuels conflits entre les participants, une organisation sociale a été installée durant des siècles. Le principe de partage de l'eau foggara retenue est le suivant : la part d'eau est fonction de la contribution de chaque individu dans la réalisation ou l'entretien de la foggara. Le partage de l'eau d'une foggara des oasis d'Aoulef s'effectue par la méthode volumétrique. Le partage s'effectue au même moment, c'est-à-dire l'irrigation s'effectue en parallèle (Remini, 2011). Dans ce cas, la mesure du débit devient indispensable. Pour les foggaras d'Aoulef, la mesure du débit s'effectue par un débitmètre ancestral appelé Chegfa. C'est une plaque en cuivre de forme circulaire trouée par des ouvertures de dimensions différentes. L'unité de mesure s'appelle Habba (fig. 1.17).

Le spécialiste qui s'occupe des opérations de mesure des parts d'eau s'appelle le *kial el ma* (fig. 1.18). C'est une personnalité très respectueuse par la population locale. C'est l'élément principal de la distribution d'eau. C'est lui qui mesure les parts d'eau de chaque participant (fig. 1.19). C'est lui qui mesure le débit de la *foggara* à chaque événement : rabattement de la nappe, éboulement dans la galerie et nettoyage de la *foggara*. *Kial El ma* possède plusieurs types de *chegfas* ; les grandes servent à mesurer le débit des *foggaras* et les débits au niveau des *kasria-lak'biras*. Les petites *chegfas* mesurent les débits des *kasraitas* secondaires et tertiaires. Le *kial el ma* détient un registre confidentiel pour chaque *foggara* appelé *Zemmam*. Toutes les données sur les parts d'eau de chaque propriétaire sont enregistrées dans *El Zemmam* (fig. 1.20). L'opération de mesure de débits se déroule en présence d'un témoin (*Chahed*) choisie par la *djamaa* du *ksar* suivant des critères bien définis (l'honnêteté et la sagesse) (fig. 1.21).



Fig. 1.17. Chegfa utilisée dans les oasis d'oulef



Fig. 1.18. Kial El Ma des oasis d'Aoulef



Fig. 1.19. Opération de mesure du débit dans les oasis de Tidikelt (photo Salah Hebi)

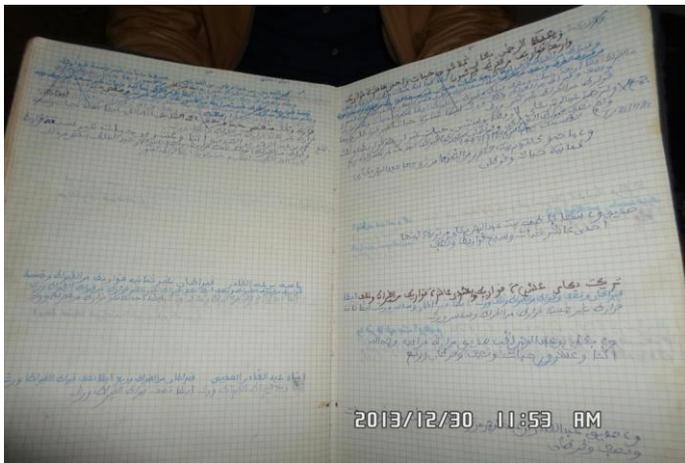


Fig. 1.20. Zemmam de la foggara d'Irsan



Fig. 1.21. Le Chahed

Chapitre 2

REGION D'ETUDE ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL

La première partie de ce chapitre est accès sur la présentation et les caractéristiques de la région d'étude représentée par l'oasis d'Aoulef. Dans la deuxième partie, nous traitons la méthode de travail que nous avons procédé. Il s'agit des enquêtes et des visites opérées sur le site des foggaras.

2.1. Situation et caractéristiques de la région

Aoulef une région hyper aride est située en plein désert à environ 1200 km au sud-ouest d'Alger (fig. 2.1). Aoulef est située à 250 km au Sud-Est du chef-lieu de la wilaya d'Adrar. Aoulef partie du Tidikelt occidental située à une altitude moyenne de 300 m. totalise une superficie de 24 704.78 km². Les limites de cette région sont :

- Plateau de Tademaït au nord.
- Tanezrouft et la sebkha de Mekerrane au sud.
- Tidikelt orientale (In Salah) à l'est.
- La dépression du Touat à l'ouest.

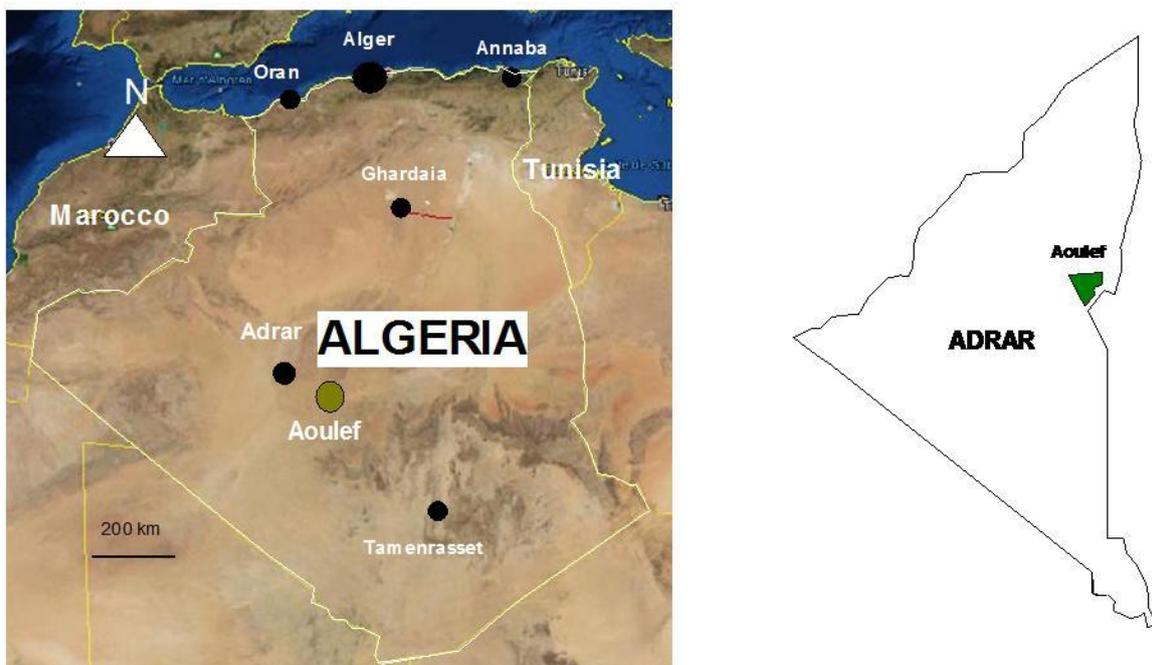
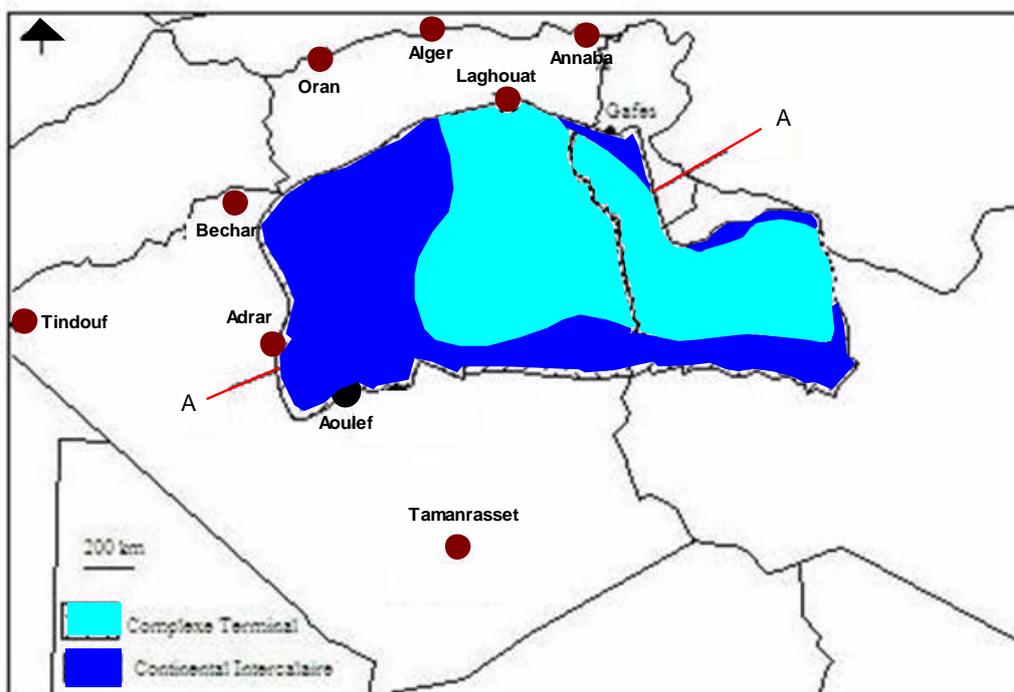
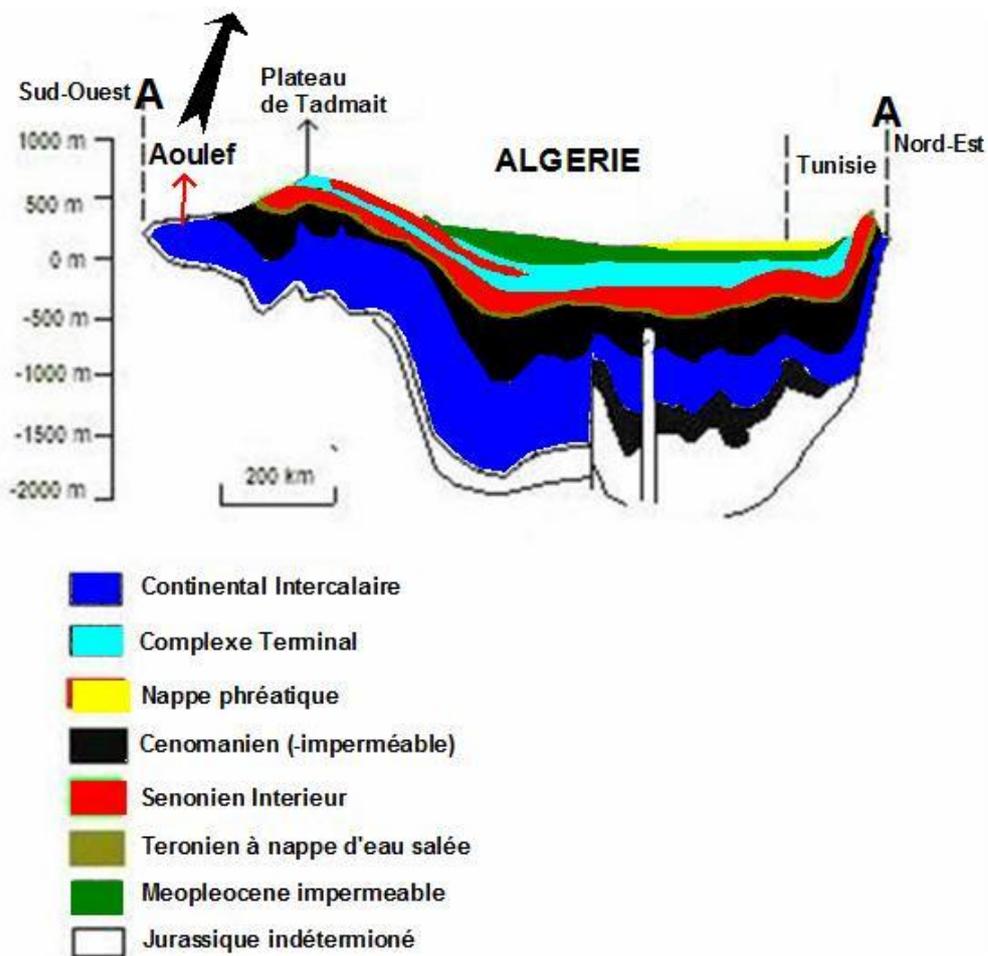


Fig.2.1. Situation géographique de la région d'Aoulef (REMINI.B 2014)

En raison de la rareté de la pluviométrie dans la région d'Aoulef, ce sont plutôt les réserves d'eau souterraines qui constituent principalement la source d'exploitation des foggaras. Il existe deux types de nappes : phréatique et le Continental Intercalaire. Sachant que le plateau de Tadmaït est considéré comme le château d'eau des foggaras des régions d'Aoulef, puisque dans le sous sol de Tadmaït se cache la plus grande nappe de la planète : le Continental Intercalaire (fig. 2.2 (a et b)). Elle est occupée une surface de 600 000 km² et renferme 60 000 milliards de m³ d'eau. A titre comparatif, ce volume est l'équivalent de 12 000 fois la capacité des barrages algériens (Remini B., 2007). Le bassin du Continental Intercalaire a été délimité entre 1940 et 1960 (Dubost D., 2002). A l'ouest, le bassin est limité par le sillon des oueds de Saoura et Messaoud, au Nord par la flexure Sud Atlasienne et au sud par une ligne d'affleurement passé par Adrar, In Salah et Bordj Omar Driss. A l'Est, l'aquifère se prolonge dans le sud de la Tunisie et le nord de la Libye. Il est constitué par les différentes formations perméables du sous-sol saharien, rempli d'eau pendant les périodes pluvieuses du quaternaire, renferme une quantité d'eau correspondant en théorie à un débit fictif continu de 1000 m³/s durant 20 siècles (Dob M.E., 2003 ; Guido M., 2005 et Ansari T., 2005).



a) *Etendue de la nappe du Continental Intercalaire (REMINI.B 2014)*



b) Coupe longitudinale de la nappe du Continental Interrcalaire (REMINI.B 2014)

Fig. 2.2. Les aquifères du Continental Interrcalaire et le Complexe Terminal (Dessin Remini, Source Unesco 1972 in Castany, 1982)

2.2. Mission et enquêtes

Durant la mission que nous avons effectuée dans les oasis d'Aoulef durant le mois de décembre 2013, nous avons menées des enquêtes auprès des propriétaires des foggaras. Des investigations ont été menées sur les foggaras de la commune d'Aoulef. Nous avons rencontré plusieurs fois Hadj Ahmed Hamadi le propriétaire de la foggara de Ben draou et celui qui a entretenu plusieurs fois la galerie de la foggara (fig.2.3).

Chapitre 3

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans ce chapitre, nous discutons les différents résultats obtenus lors de la mission que nous avons effectuée sur le site des foggaras. L'évolution du nombre et le débit des foggaras feront l'objet de ce chapitre. Les problèmes socioéconomiques provoquent la dégradation des foggaras seront examinés dans ce chapitre.

3.1 Evolution du nombre des foggaras

Initialement, le nombre des foggaras creusées dans les oasis d'Aoulef Arab s'élève à 17. Ce chiffre a été confirmé par l'enquête que nous avons effectuée sur les lieux des foggaras. Les copropriétaires des foggaras insistent sur les 17 foggaras qui alimentés les oasis d'Aoulef. En 1909, Voinot, a inventorié 15 foggaras vivantes dans les oasis d'Aoulef Arab drainant un débit totale de 123 l/s (fig. 3.1). En se basant sur l'inventaire effectué par l'Agence Nationale de Ressources Hydriques en 1998, huit foggaras sont restées en service mais avec un débit de 78 l/s (fig. 3.2). En 2011, date du deuxième inventaire effectué par l'Agence Nationale de Ressources Hydriques, quatre foggaras ont été abandonnées. Seulement les foggaras de Bendraou, Ighedjer, Hadj Ahmed et Djenet Esghar sont restées en exploitation drainant un débit de 30 l/s (fig. 3.3).

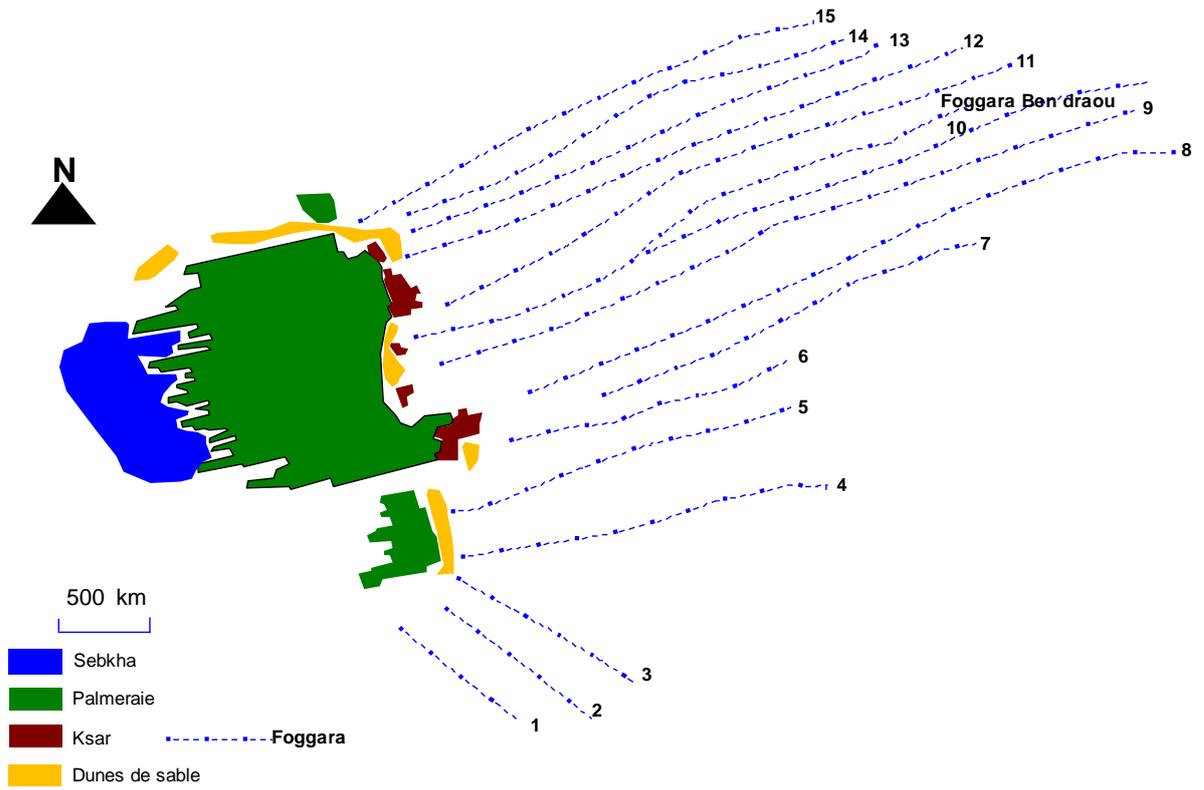


Fig. 3.1. Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab en 1909 (Voinot, 1909) (REMINI.B 2014)

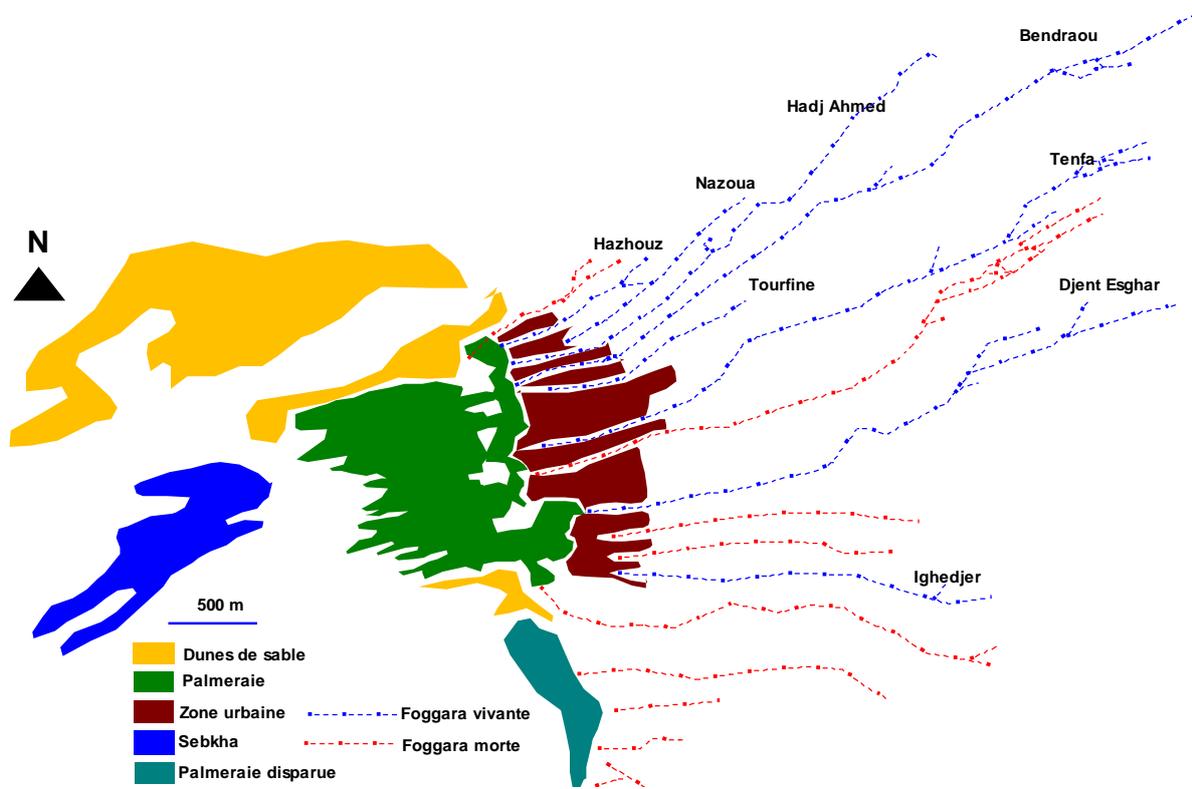


Fig. 3.2. Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab en 1998 (REMINI.B 2014)

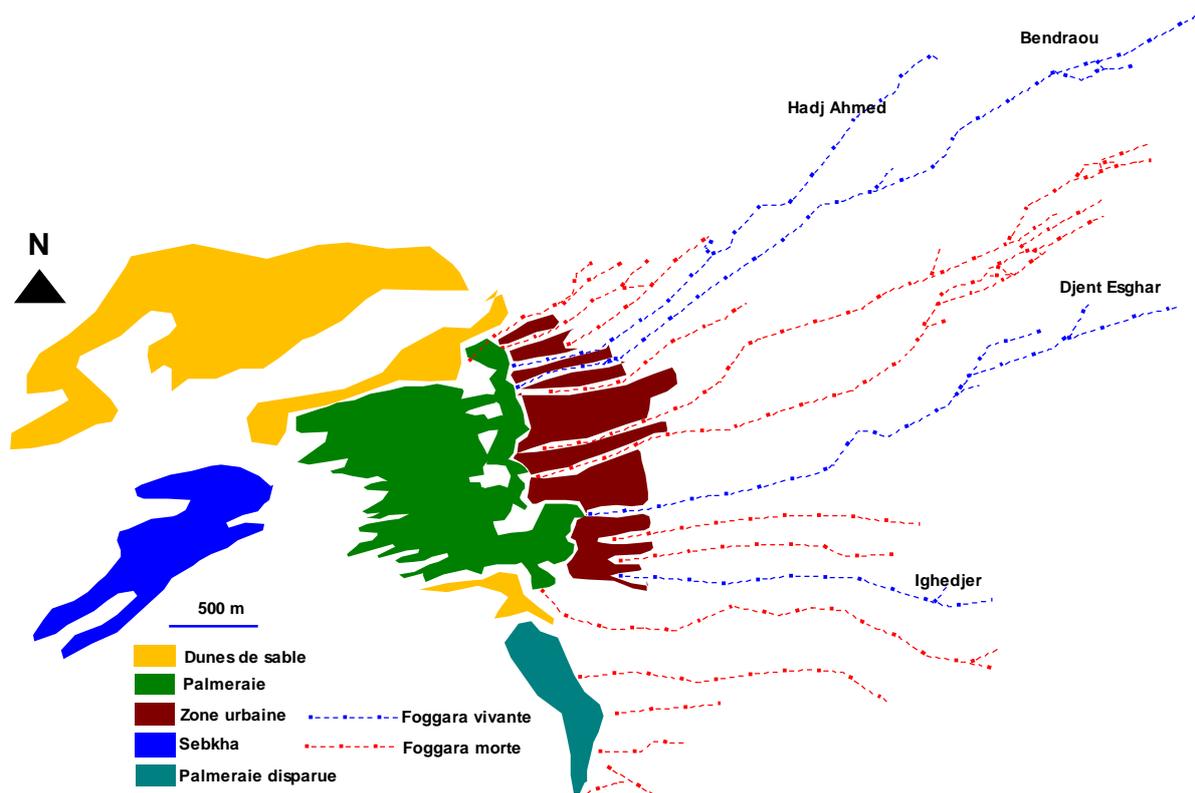


Fig. 3.3. Foggaras de l'oasis d'Arab en 2011 (REMINI.B 2014)

3.2. Evolution du débit des foggaras d'Arab

Sur la base de quatre inventaires effectués durant les années : 1904, 1954, 1998 et 2011, nous avons représenté sur la figure 3.4 l'évolution du débit totale des foggaras dans le temps. Il est intéressant de constater que le débit des foggaras a augmenté durant la période : 1909 -1954 de 83 l/s jusqu'à 123 l/s suite à l'accroissement de la longueur des galeries dans la zone de drainage. Durant la période : 1954-1998, le débit a diminué de 123 l/s jusqu'à 78l/s malgré l'augmentation et le creusement de 20 km de galerie supplémentaires dans la zone de drainage (fig. 3.5).

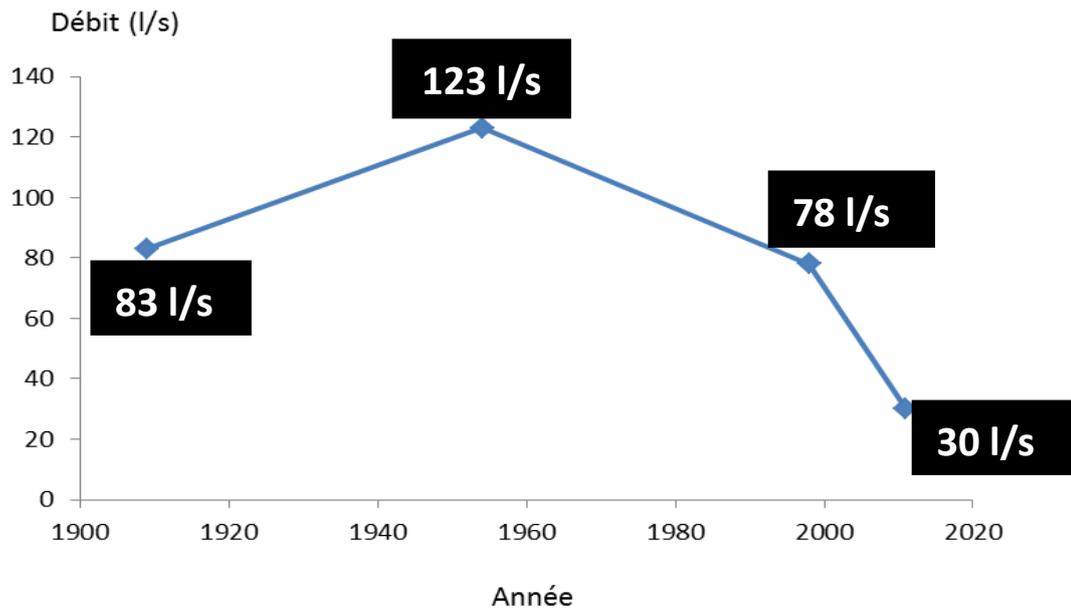


Fig. 3.4. Evolution du débit des foggars en fonction dans le temps

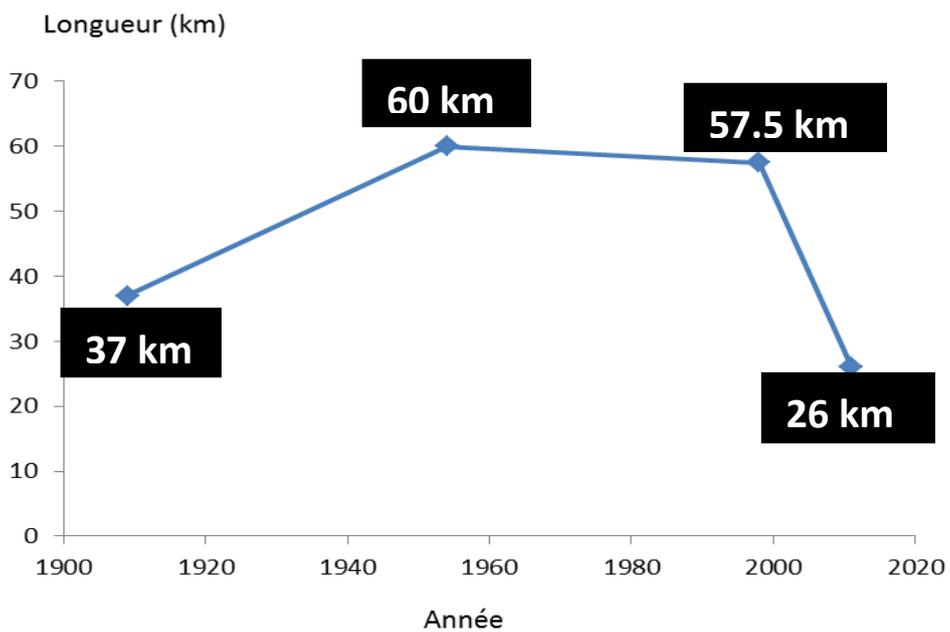


Fig. 3.5. Evolution de la longueur totale des galeries des foggars dans le temps

3.3. La particularité des foggaras d'Aoulef

Les oasis d'Aoulef font partie du pays des foggaras (Touat, Gourara et Tidikelt). L'agrandissement des ksours ou l'accroissement de la superficie des palmeraies demande un débit d'eau supplémentaire. Les ksouriens ont inventé diverses techniques d'augmentation du débit. Dans le pays des foggaras, deux méthodes ont été utilisées à savoir, les méthodes de « kraa » et la « tarha ». La tarha consiste à prolonger le tronçon de la partie drainante à l'amont du puits mer. Le kraa consiste à ajouter des ramifications à la galerie principale dans la partie drainante. Dans les oasis d'Aoulef, les Aoulafis se sont spécialisés dans les deux techniques. Durant plus d'un siècle, aucune foggara n'a été creusée dans les oasis d'Aoulef. Par contre, ils ont augmenté la capacité de captage des anciennes foggaras par la multiplication des ramifications et le prolongement des galeries. Ils ont créé un véritable réseau de drainage et de captage des eaux (fig. 3.6).

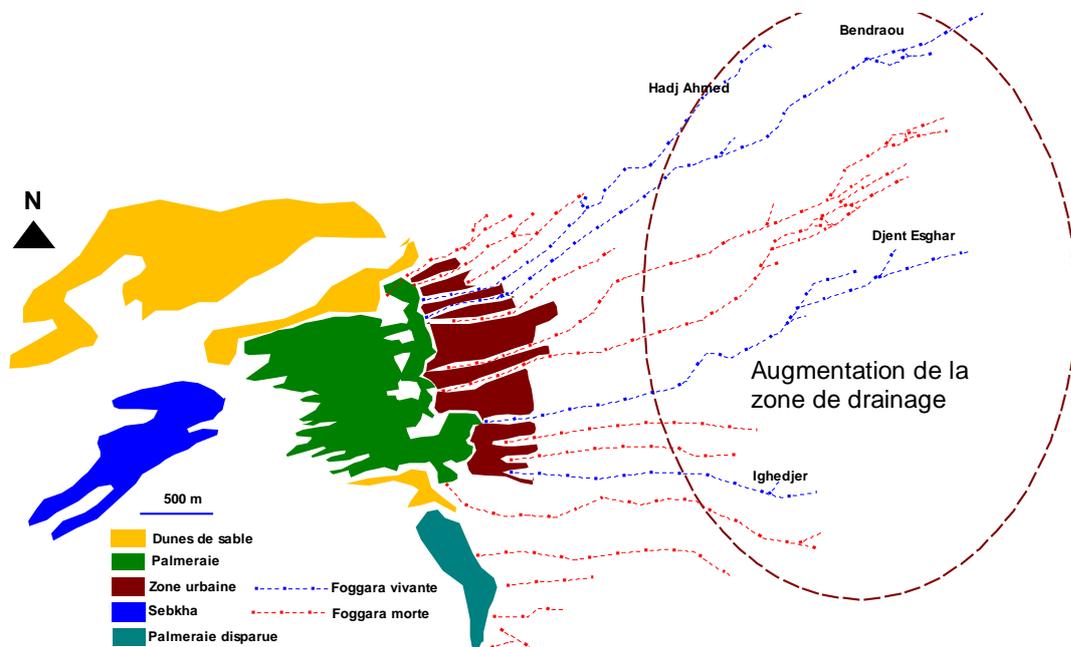


Fig. 3.6. Augmentation de la zone de drainage pour les foggaras d'Aoulef Arab (REMINE.B 2014)

3.4. Corrélation : débit – géométrie de la foggara

Plus la galerie est longue plus le débit est important. Plus exactement ; le débit est une fonction de la longueur de drainage. La figure 3.7 représente le débit des foggaras en fonction de la longueur de la galerie pour les anciennes foggaras. Nous constatons une corrélation entre les deux paramètres. Ceci prouve qu'il y a un entretien périodique de la galerie. La figure 3.8 représentant le débit des foggaras en fonction du nombre de puits d'aération confirme bien la relation débit- longueur de la galerie. Par contre, la figure 3.9 qui représente le débit en fonction de la galerie pour les données de l'inventaire de 1998. Nous constatons l'absence d'une corrélation entre les

deux parametres. Ceci s'explique par la diminution de la section mouillée due au manque d'entretien de la galerie.

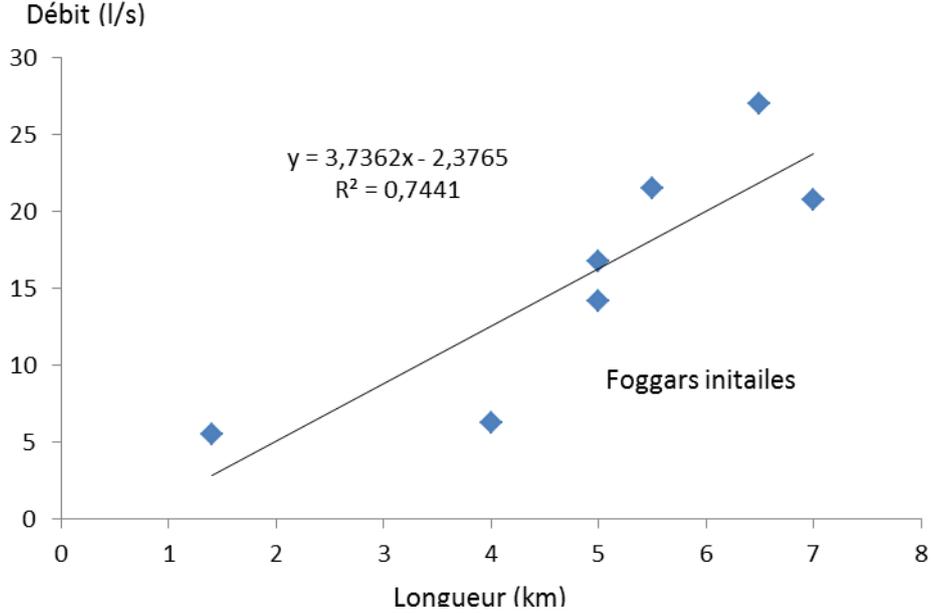


Fig. 3.7. Corrélation débit – galerie de la foggara (foggars initiales)

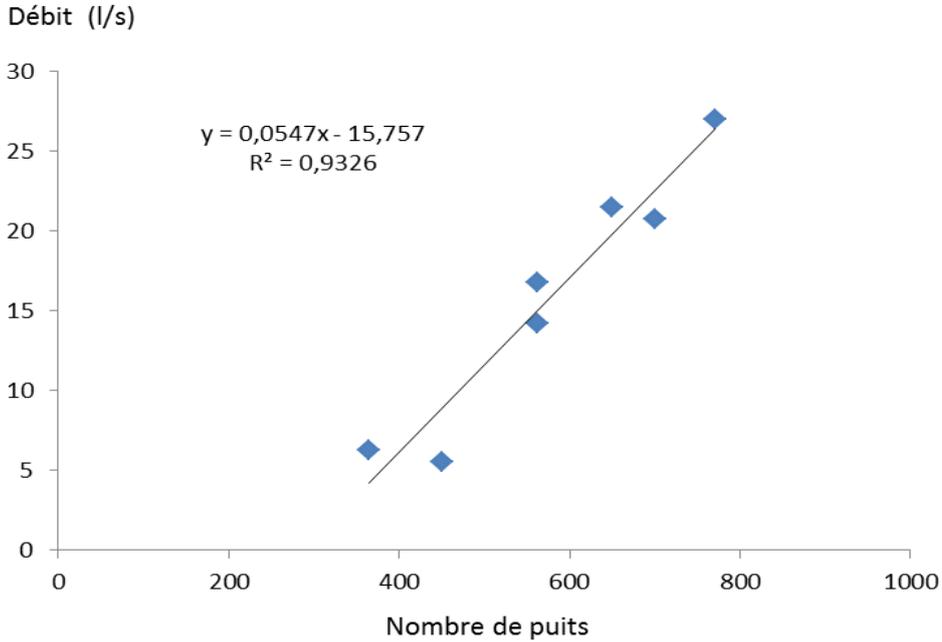


Fig. 3.8. Corrélation débit – Nombre de puits

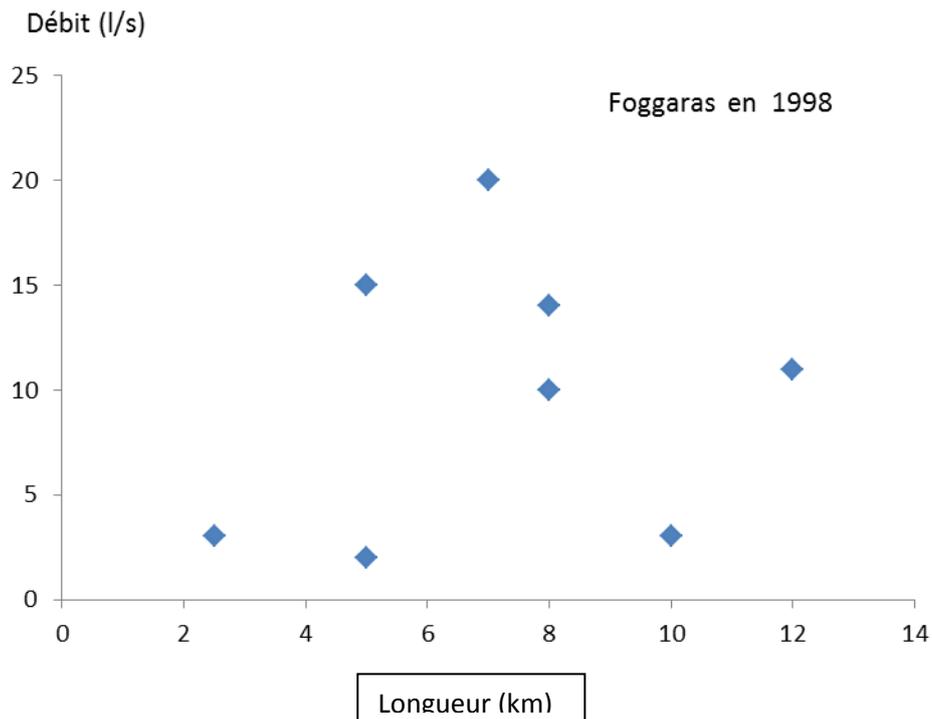


Fig. 3.9. Corrélation débit – galerie de la foggara (inventaire 1998)

3.5. Peut-on abandonner la foggara ?

La foggara peut être considérée comme le plus grand ouvrage hydraulique ancestral. La foggara a prouvé son efficacité, puisqu'il est le seul ouvrage qui a fonctionné plus de 10 siècles dans le Sahara Algérien et plus de 30 siècles en Iran. Il 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. A titre d'exemple, la figure 3.10 montre une nette relation entre le débit d'une foggara et la superficie à irriguer. Ceci prouve qu'il n'y a ni déficit ni perte d'eau.

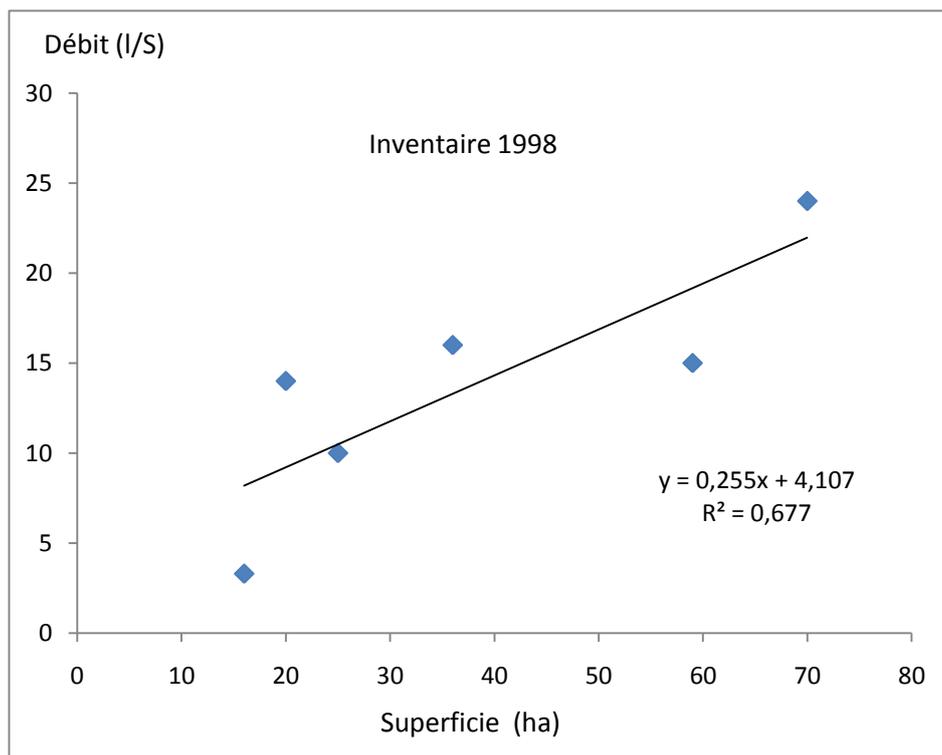


Fig. 3.10. Corrélation débit de la foggara – superficie irriguée (inventaire 1998)

3.6. Foggara de Bendraou : Un ouvrage hydraulique de grande envergure

Forte d'une galerie de longueur de 7 km, équipée de 600 puits d'aération (fig. 14 et 15). Elle a été creusée depuis plus de 6 siècles avec un débit de 25 l/s. Pour des problèmes environnementaux (effondrement et tarissement de la nappe), le débit de la foggara a diminué de 5 fois le débit initial, soit 5 l/s (fig. 3.11 et 3.12). Aujourd'hui, son eau est polluée par les fuites en gasoil en provenance d'une station de service.



Fig. 3.11. Kasria principale de la foggara de Bendraou



Fig.3.12. Puits d'aération de la foggara de Bendraou

3.7. Dégradation des foggaras d'Aoulef

Des problèmes socioéconomiques et environnementaux sont à l'origine du déclin des foggaras d'Aoulef. Parmi ces problèmes, on peut citer : l'effondrement des puits et des galeries suite au développement urbain. Des habitations, des routes ont été réalisés au dessus des galeries. De point de vue social, l'héritage est le problème qui a contribué à la dégradation des foggaras. L'apport des forages captant la nappe du Continental Intercalaire dans la région d'Aoulef au début des années quarante a beaucoup contribué au rabattement de la nappe, ce qui a provoqué l'assèchement de plusieurs foggaras. La dernière foggara asséchée n'est autre que la foggara de Taurfine (fig. 3.13, 3.14 et 3.15). Les conséquences qui découlaient de l'abandon d'un tel ouvrage d'art sont néfastes sur les cotés sociale et environnemental : des agriculteurs en chômage, pauvreté de plusieurs familles et l'abandon de plusieurs hectares de terres arables (fig. 3.16).

Le débit des foggaras d'Aoulef a évolué suivant deux étapes : Dans la première phase le débit des foggaras reste constant dans le temps si on suppose qu'il n'y avait ni éboulement ni entretien. Le faible débit capté par les foggaras ne perturbe pas le niveau piézométrique de la nappe albienne. L'apport des forages au début des années quarante a engendré l'abaissement du niveau de la nappe et par conséquent le débit des foggaras a enregistré une régression dans le temps jusqu'à l'assèchement total des foggaras (3.17).



Fig. 3.13. Kasria de Taurfine abandonnée



Fig. 3.14. Madjen de Taurfine abandonné



Fig. 3.15. Seguias de Taurfine abandonnées



Fig. 3.16. Jardins irrigués par la foggara de Taurfine abandonnés

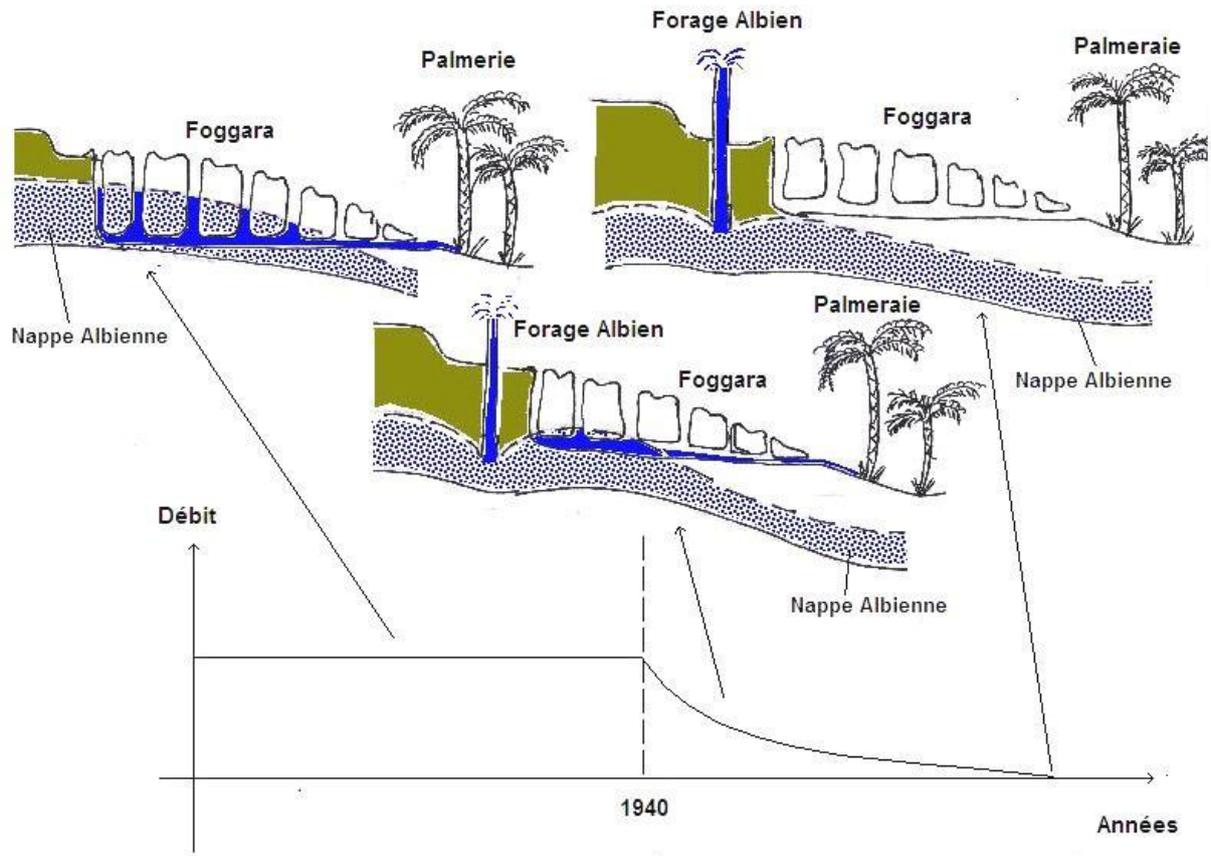


Fig. 3.17. Evolution du débit d'une foggara d'Aoulef (REMNI.B 2014)

CONCLUSION

Comme nous l'avons mentionné au début de cette étude, les foggaras des oasis d'Aoulef ont contribué au développement socio économique de la région depuis plus de 10 siècles. C'est grâce à ces ouvrages hydrauliques que des centaines d'hectares de palmeraies ont été développées dans la région. La foggara peut être considéré comme un ouvrage d'art ancestral puisqu'il se réalise en continue durant plusieurs siècles. L'originalité des foggaras d'Aoulef réside dans l'accroissement du débit par la multiplication des galeries dans la zone de drainage. Le plateau de Tadmait est considéré comme le véritable château d'eau des foggaras d'Aoulef comme celles des Touat et de Gourara. Ces foggaras exploitent la nappe du Continental Intercalaire. Le débit des foggaras a considérablement chuté durant les cinquante dernières années à cause de l'abaissement du niveau de la nappe. Le dernier inventaire effectué par l'agence Nationale des Ressources Hydriques en 2011 a montré qu'il reste 4 foggaras en service sur les 15 foggaras initiales. Avec ce rythme de déclin d'une foggara par trois ans, Aoulef perdra ces foggaras d'ici 2023. Plusieurs problèmes peuvent accélérer le déclin de ces foggaras. Il s'agit des problèmes environnementaux et socioéconomiques. L'apport de nouvelles techniques de captage des eaux dans la région favorisera l'abandon de ces ouvrages. Avec un rendement élevé et la facilité d'utilisation, la population préfère le forage au détriment de la foggara.

La foggara demeure toujours une technique d'irrigation efficace dans les régions aride. Elle doit être réhabilitée, puisqu'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.