

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement supérieure et de la recherche scientifique

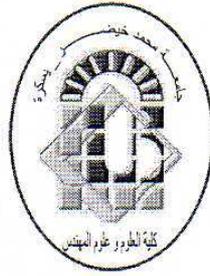
UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA

Faculté des sciences et de la Technologie

N° d'ordre.....

Série.....

Département de Génie Civil et d'Hydraulique



THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Sciences Hydrauliques

Présentée par :

Boualem REMINI

THEME :

***Les foggaras de la ceinture oasienne du Sahara :
passé, présent et futur***

Soutenue le 27 /01/2011

Devant le jury

Président..... HAMOUDI SAAD A.....Professeur.....Univ. Chlef
Rapporteur.....ACHOUR B.....Professeur.....Univ. Biskra
Examineur.....HABI M.....Maître de conférences.....Univ. Tlemcen
Examineur.....FARHI A.....Professeur.....Univ. Biskra

A

La mémoire de mon père

A

Ma mère

A

Ma femme

A

**Rami et Anis, j'ai pris de votre temps pour préparer
Cette thèse**

Remerciements

Je tiens à remercier vivement mes collègues et amis Messieurs Achour Bachir, Hamoudi Saad, Farhi Abdellah et Habi Mohamed pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail de recherche.

Je remercie aussi mes amis Mahmoud Debabeche, Abdelkader Benkhled et Bouziane Toufik qui m'ont beaucoup aidé à finaliser ce travail.

Sans l'apport des populations des oasis de la vallée de Mzab, de la vallée de Saoura, de Touat et de Gourara, ce document ne verra jamais le jour. Je profite pour les remercier vivement.

J'adresse également mes vifs remerciements pour mes amis de terrains ; Ouled Belkhir et Dahmane.

من خلال هذه الدراسة، واستنادا إلى البعثات والدراسات الاستقصائية التي أجريت بين عامي 2007 و 2010 في الواحات المطلة على العرق الغربي الكبير، وكان كشف سبعة أنواع من الفقافير. و هم :فقارة الجبل و فقارة الوادي و فقارة الألبيان (Albien)، و فقارة العرق، و فقارة البساتين و فقارة الفيضانات. فقارة الألبيان (Albien)، وعددها 820 بطول اجمالي يتجاوز 2000 كيلومتر، تستغل مياه الألبيان العاميقة (Nappe Albienne) على هامش فاصل تادميت الذي يعتبر الخزان الحقيقي لهذه الفقافير. توزيع مياه فقافير الألبيان بين أصحاب الفقارة يعالج بالأسلوب الحجمي ; والبساتين تروي في نفس الوقت. نتحدث هنا عن الري بشكل متواز. أما فقارة الوادي أو فقارة الجبل تستجيب إلى طريقة وقتية ; البساتين تسقى واحدا بعد الآخر ، نتحدث عن الري الخطي أو الري بالتنوب.

فقارة العرق نستغل المياه الجوفية الواقعة تحت رمال العرق الغربي الكبير (المياه المتجددة). أحصينا حوالي 80 فقارة العرق و هي تشتغل حاليا في واحات أولاد سعيد. هذه الفقافير التي فقدت نفقها تحت الكتبان الرملية الشاهقة للعرق الغربي الكبير، وهي في استمرار في تقديم كمية كبيرة من المياه لبساتين النخيل وحدائق واحات تيميمون. ومع ذلك، فهذه الفقافير مهددة في كثير من الأحيان من زحف الرمال والنباتات البرية (Tarza و Taghanimt) نظرا لموقعها على مشارف العرق الغربي الكبير. لقد وجدنا فقارة خاصة في واحات تيميمون تعرض لخلافات مع الفقارة الكلاسيكية على مصدر الالتقاط وطريقة التوزيع. هذه الفقارة صغيرة بالمقارنة مع الفقارة التي نعرفها (الفقارة الكلاسيكية) ، وتجمع تسربات المياه الآتية من الفقارة الكلاسيكية الواقعة خلفها. هذا النوع من الفقارة يقع بعد الفقارة الكلاسيكية العظيمة ويبدو أنه لم يدرس أبدا أو ذكر حتى الآن في الجزائر. لا يرى في صور الأقمار الصناعية أو حتى في التصوير الجوي والخرائط الطبوغرافية نظرا لصغره ووجوده داخل الحدائق، إذ لا يتجاوز 1,5 كم تحتوي على 20 نقاط من فتحات التهوية. نظرا لموقعها وسط بساتين النخيل والحدائق، فضلنا تسميته :الفقارة البساتين.

نظام يتألف من ثلاثة فقافير يجد في موقع أولاد هارون في جنات واحة أولاد سعيد. هذه الفقافير هم Antrite و Badgha و Amokrane؛ وقد أطلق على الثلاثي الفقارة أولاد سعيد. البساتين تسقى بشبكة حقيقية من السواقي seguias الآتين من ثلاث كسريات. كل صاحب حقل يتلقى نصيبه من المياه بشكل دقيق وفقا لما سطره كمال الماء على حساب مساهمته.

فقارة أصلية مختلفة من الفقارة الكلاسيكية تقع في منتصف وادي مزاب. طول نفقها 170 متر ، و يبلغ طول الساقية 900 متر يحمل مياه الفيضانات من نهر بني مزاب لسقى الجزء الشرقي من بساتين نخيل غرداية. إلى جانب توزيع المياه الفقارة، لقد اعجبنا بشبكة توزيع المياه المعقدة في السواقي seguias ذات أقسام مختلفة. يتم إجراء اتصالات بين الفقافير بالسواقي seguias لضمان إمدادات المياه إلى كل مالك. في هذه الدراسة أظهرنا 9 نماذج جديدة للاتصالات بين الفقافير في هاتين الحالتين : بعد وقبل الكسرية kasria. تم الحصول على النتائج الأصلية على تطور تدفق الفقارة. يتم استخدام طريقتين لزيادة تدفق الفقارة في الواحة : تمديد صرف جزء من نفق الفقارة أو إضافة إلى النفق الرئيسي فرع أو أكثر. تجميع الفقافير هو الحل لمعالجة انخفاض التدفق.

هذا التراث الثقافي العالمي مهدد بالانقراض بسبب مشاكل تقنية واجتماعية. انهيار الانفاق وانخفاض مستوى المياه هي العوامل الرئيسية لانخفاض تدفق الفقافير الألبيان. غزو الرمال والنباتات البرية هي المشاكل الرئيسية التي تحد من تدفق فقافير العرق. بما أن الفقارة هي نظام تقني واجتماعي هناك مشاكل أخرى كالإرث والهجرة وعدم انتقال الحرف تساهم في فقدان هذا التراث الهيدروليكي على المديين القصير والمتوسط على حساب مساهمة التقنيات الحديثة لاستخراج المياه الجوفية والري (المضخات والآبار).

مفتاح الكلمات : الفقارة -- العرق - الألبيان -- البساتين -- الواحة -- مزاب -- توات -قرارة

Abstract

Throughout this study, based on missions and investigations carried out between 2007 and 2010 in the oases bordering on Large Western Erg, one highlighted 7 types of foggaras. These are the mountain foggara, wadi foggara, Erg foggara, source foggara, Albian foggara, garden foggara, and floods foggara.

There are 820 Albian foggaras with an overall length exceeding 2000 km, exploiting the water of the Continental Intercalary aquifer at the periphery of the Tadmit plate; true water Tower of these foggaras. The distribution of the water of the Albian foggaras between the owners obeys to a volumetric method; the gardens are irrigated at the same time, and it is called parallel irrigation. On the other hand, the Wadi foggara or the mountain foggara obeys to the time method; the gardens are irrigated one after the other, and it is called linear irrigation.

The Erg foggara exploits groundwater of Large Erg Western (renewable water). We counted approximately 80 Erg foggaras in service in the Ouled Said oases. These foggaras, which galleries are lost in the middle of the sand dunes of Large Erg western, continue to provide an appreciable water flow for the palm and the gardens of the oases of the north of Timimoun. However, these foggaras considering their location at the periphery of Large Erg western are often threatened by invasion of sand and wild plants (Taghanimt and Tarza).

One particular foggara that we discovered in the Timimoun oases showed differences with classic foggaras on collecting water sources and distribution mode. This small sized foggara compared to the known foggara (classic foggara), collects waters seepage escaping from upstream classical foggara. This type of foggara, located downstream of large classic foggara, never emerge and have never been described nor reported in Algeria. These foggara are also no visible on satellite image nor even on aerial photography or topographical maps, because they are the smallest foggaras dug located within the palm plantation, and does not exceed 1.5 Km in length and contains numerous ventilation shaft.. Because of their localisation at the middle of the palm plantations and gardens, we will call them garden foggara.

Another original system of foggaras made up of three foggaras, which are linked on the Ouled Haroun site are located in the middle of the gardens of the Ouled Said oases. These foggaras of Antrite's, Amokrane's and Badgha's are called triples foggara of Ouled Said. A true tangle of seguias coming from the three kasriates feeds others seguias and finally the gardens. Each proprietor receives his exact water share allotted at the beginning by the Kial el ma according to its contribution.

An original foggara different from the classical foggara is located in the middle of the wadi Mzab. In a gallery of an ovoid shape with 170 meters length, and a seguia of 900 m length carries flood waters from the Mzab river for irrigation of the eastern part of Ghardaia palmgrove. According to foggara's water distribution, we were impressed by the complexity of the distribution of water in different sections seguias. Connections are made between foggaras by seguias to ensure water supply to each owner. In this study, nine models of connections have been demonstrated for two scenarios: upstream and downstream of the kasria.

Original results were obtained on flow evolution of the foggara. Two methods are used by oasis to increase the flow of the foggara: festival, by extending the drainage portion of the gallery and the addition to the main gallery of one or more branches. Secondary by grouping foggaras as a solution to remedy the decline in flow.

This world cultural heritage is threatened with extinction because of technical and social problems. The collapse of the galleries and the lowering of the water are the main factors of reduced flow for the Albian foggaras. The sand invasion and wild plants are the main problems that reduce the flow of Erg foggaras. However, as the foggara is a technical system and social inheritance, emigration, non-transmission of the key trade's foggara contribute to the loss of this heritage hydraulic short and medium term at the expense of the contribution of technical modern of capture and irrigation (pumps and boreholes).

Key words: foggara - Erg- Albian - Garden - Palm- Mzab - Touat - Gourara.

Résumé

A travers cette étude, basée sur des missions et des enquêtes effectuées entre 2007, et 2010 dans les oasis limitrophes du Grand Erg Occidental, on a mis en évidence 7 types de foggaras. Il s'agit de la foggara de montagne, la foggara de l'oued, la foggara de l'Albien, la foggara de source, la foggara du Grand Erg Occidental, la foggara de jardin et la foggara des crues.

La foggara de l'Albien, au nombre de 820 foggaras d'une longueur totale dépassant 2000 km, exploitent la nappe du Continental Intercalaire sur la périphérie du plateau de Tadmaït ; véritable Château d'eau de ces foggaras. La distribution de l'eau des foggaras de l'Albien entre les propriétaires obéit à la méthode volumétrique ; les jardins sont irrigués en même temps, on parle d'une irrigation en parallèle. Par contre, la foggara de l'oued ou de montagne obéit à la méthode temporaire ; les jardins sont irrigués un après l'autre, on parle d'une irrigation tour à tour ou linéaire.

La foggara de l'Erg exploite les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental (eau renouvelable). Nous avons dénombré environ 80 foggaras de l'Erg en service dans les oasis d'Ouled Said. Ces foggaras dont les galeries perdues au milieu des immenses dunes de sables du Grand Erg Occidental, continuent à fournir un débit d'eau appréciable pour les palmeraies et les jardins des oasis du nord de Timimoun. Cependant, ces foggaras vu leur emplacement à la périphérie du Grand Erg Occidental sont souvent menacées par l'envahissement du sable et des plantes sauvages (Taghanimt et Tarza).

Une foggara particulière que nous avons découvert dans les oasis de Timimoun présentant des différences avec les foggaras classiques au niveau de la source de captage et le mode de distribution. Cette foggara de petite taille par rapport à la foggara qu'on connaît (foggara classique), capte les eaux d'infiltration et des fuites en provenance de la foggara classique située à l'amont. Ce type de foggara qui se localise à l'aval de la grande foggara classique paraît ne jamais avoir été décrit ni même signalé jusqu'ici en Algérie. Non visible sur image satellitaire ni même sur photographie aérienne et les cartes topographiques, parce que ce sont de petites foggaras creusées à l'intérieur des jardins, ne dépassant pas les 1.5 km contenant une vingtaine de puits d'aération et sont situés dans la palmeraie. Vu sa localisation au milieu des palmeraies et des jardins, nous avons préféré l'appeler « Foggara de Jardin »

Un système de foggaras original constitué de trois foggaras qui s'unissent sur le site d'Ouled Haroun au milieu des jardins des oasis d'Ouled Said. Il s'agit des foggaras d'Antrite, Amokrane et Badgha.; on l'a surnommée la triple foggara d'Ouled Said. Un véritable enchevêtrement de seguias en provenance des trois kasriates alimente d'autres seguias et les jardins des propriétaires. Chacun des propriétaires reçoit sa part d'eau exacte attribué au départ par le Kial el ma en fonction de sa contribution.

Une foggara originale différente de la foggara classique est située au milieu de l'oued Mzab. D'une galerie de forme ovoïde de longueur 170 m, et d'une seguia de 900 m de longueur exploite les eaux de crues de l'oued Mzab pour l'irrigation de la partie Est de la palmeraie de Ghardaïa.

Du côté de la distribution de l'eau de la foggara, nous avons été impressionné par la complexité du réseau de distribution de l'eau dans les seguias de sections différentes. Des raccordements sont effectués entre foggaras par des seguias pour assurer l'approvisionnement en eau de chaque propriétaire. Dans cette étude, neuf modèles de raccordement ont été mis en évidence pour deux cas de figure : à l'amont et à l'aval de la kasria.

Des résultats originaux ont été obtenus sur l'évolution du débit de la foggara. Deux méthodes sont utilisées par les oasiens pour accroître le débit de la foggara : le prolongement de la partie drainant de la galerie et l'ajout à la galerie principale d'une ou plusieurs branches. Le groupement des foggaras est une solution pour faire face à la régression du débit.

Ce patrimoine culturel mondial est menacé de disparaître à cause des problèmes techniques et sociaux. L'effondrement des galeries et le rabattement de la nappe sont les principaux facteurs de la diminution du débit pour les foggaras de l'Albien. L'envahissement du sable et des plantes sauvages sont les principaux problèmes qui réduisent le débit des foggaras de l'Erg. Cependant, comme la foggara est un système technique et social, l'héritage, l'émigration, la non transmission des métiers clés de la foggara contribuent à la perte de ce patrimoine hydraulique à court et à moyen terme au détriment de l'apport des techniques modernes de captage et d'irrigation (Forages et motopompes).

Mots clés : Foggara – Erg –Albien – Jardin – Palmeraie- Mzab – Touat – Gourara

SOMMAIRE

Introduction Générale	14
------------------------------------	----

PARTIE 1

LA FOGGARA : DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT

Chapitre I

Généralités sur la foggara	16
Introduction.....	16
I.1. Historique de la foggara.....	16
I.2. Définitions.....	16
I.3. Relation entre l'oasis et la foggara.....	17
I.4. Les éléments d'une foggara.....	20
I.4.1. Le captage	20
I.4.2. La distribution	26
I.5. Relation entre la galerie et les puits	38
I.6. Avantages et inconvénients des foggaras.....	38
I.7. L'agriculture ksourienne.....	39
I.8. L'architecture ksourienne.....	39
Conclusion.....	

Chapitre II

Hydraulique de la foggara	40
Introduction.....	40
II.1. La plaque de jaugeage du débit.....	40
II.2. Mesure du débit de la foggara.....	43
II.2.1. Mesures traditionnelles.....	43
II.2.2. Mesure et calcul hydraulique du débit.....	44
II.3. Déroulement d'une opération de mesure	44
II.4. Rémunération du Kial el ma.....	47
II.5. Distribution de l'eau d'une foggara.....	48
II.6. Les infiltrations dans les seguias	49
II.7. Relation entre le réseau d'irrigation et l'humidité dégagée dans la palmeraie.....	50
II.8. Processus de l'écoulement de l'eau dans le système foggara.....	51
Conclusion.....	53

PARTIE 2

LA FOGGARA : UN PATRIMOINE HYDRAULIQUE MONDIAL

Chapitre III

LES TYPES DE FOGGARAS	54
Introduction	54
III.1. Méthodes et enquêtes.....	55
III.2. Résultats et discussions.....	56
III.2.1. La foggara de l'Albien.....	56
III.2.2. La foggara de l'Erg.....	57
III.2.3. La foggara de Jardin.....	58
III.2.4. La foggara d'Al Ain (source).....	59
III.2.5. La foggara de montagne	60

III.2.6. La foggara de l'oued.....	61
III.2.7. La foggara des crues.....	62
III.3. Le partage et la distribution de l'eau d'une foggara.....	62
III.3.1. La méthode volumique.....	62
III.3.2. La méthode horaire.....	63
III.4. Répartition des foggaras dans le Sahara Algérien.....	65
Conclusion.....	65
CHAPITRE IV	
LA FOGGARA DE L'ALBIEN	66
Introduction.....	66
IV.1. Région d'étude et données utilisées.....	66
IV.2. Résultats et discussions.....	67
IV.1.1. Définition de la foggara.....	67
IV.2.2. Creusement de la foggara de l'Albien.....	68
IV.2.3. L'originalité de la foggara de l'Albien	76
IV.2.4. Les fonctions de la foggara de l'Albien.....	80
IV.2.5. Dégradation de la foggara de l'Albien.....	84
Conclusion.....	86
CHAPITRE V	
LA FOGGARA DE L'ERG	87
Introduction.....	87
V.1. Missions et enquêtes.....	87
V.2. Résultats et discussions.....	88
V.2.1. Fonctionnement de la foggara de l'Erg.....	88
V.2.2. Caractéristiques et originalités de la foggara de l'Erg.....	89
V.2.3. Dégradation de la foggara de l'Erg.....	94
Conclusion.....	98
CHAPITRE VI	
LA FOGGARA DES CRUES	99
Introduction.....	99
IV.1. Site d'étude.....	99
VI.2. Résultats et discussions.....	101
Conclusion	103
Chapitre VII	
UNE TECHNIQUE MECONNUE : LA FOGGARA DE JARDIN	104
Introduction.....	104
VII.1. Quelques techniques remarquables utilisées dans le monde.....	104
VII.1.1. Le Qanat étagé de Mun (Iran).....	105
VII.1.2. Le Karez de Montagne du Hazarajat (Afghanistan).....	105
VII.1.3. Le triple Qanat en escalier (Dehabad, Iran).....	106
VII.2. Missions et observations.....	107
VII.3. La foggara de jardin.....	108
VII.3.1. Caractéristiques de la foggara de Jardin.....	108
VII.3.2. Fonctionnement de la foggara de Jardin.....	110
Conclusion	113

Chapitre VIII

LA TRIPLE FOGGARA D'OULED SAID : L'INGENIOSITE DE LA PAYSANNERIE SAHARIENNE

Introduction.....	114
VIII.1. Missions dans la région de Timimoun.....	115
VIII.2. Résultats et discussion.....	115
VIII.2.1. Caractéristiques de la triple foggara d'Ouled Said.....	115
VIII.2.2. Evolution du débit de la foggara.....	118
VIII.2.3. La triple foggara d'Ouled Said : une véritable bourse hydraulique.....	121
Conclusion.....	122

Chapitre IX

LES TISSANBATHE DE GAHRDAIA

Introduction.....	123
IX.1. Aperçu historique.....	123
IX.2. Un aperçu sur les crues de Oued Mzab	123
IX.3. Description du système Msaraf de Ghardaïa.....	125
IX.3.1. Seuils en enrochement.....	125
IX.3.2. Barrages de stockage.....	125
IX.3.3. Le Peigne appelé le Machte	126
IX.3.4. Galeries souterraines	127
IX.3.5. Les Seguias.....	129
IX.3.6. Dignes (Ahbas).....	129
IX.4. Fonctionnement de la foggara de Ghardaïa.....	131
IX.5. Répartition et distribution des quotas d'eau.....	134
IX.5.1. Principe	134
IX.5.2. Fonctionnement de la Koua.....	136
IX.5.3. Etapes de calcul des dimensions de la Koua.....	138
IX.6. Les Puits du Mzab.....	139
IX.7. Recharge artificielles des nappes	141
IX.8. Procèdes d'irrigation de la palmeraie.....	142
IX.9. Captage des eaux de crues à l'amont de la palmeraie	143
IX.10. Dégradation du système Msaraf : la problématique de la remontée.....	147
Conclusion.....	150

Chapitre X

LA FOGGARA D'EL AIN : LA FOGGARA DE MOGHRAR

Introduction.....	151
X.1. L'Oasis de Moghrar.....	151
X.2. La foggara de Moghrar.....	151
X.2.1. La source d'eau.....	154
X.2.2. La galerie.....	155
X.2.3. Le Madjen.....	155
X.2.4. Les seguias.....	156
XI.3. Répartition de l'eau	158
X.3.1. Méthode du bâton gradué.....	158
X.3.2. Méthode du « Kadem » (le pas d'une personne en bonne santé).....	159
X.3.3. Méthode du Mordjen.....	159
X.3.4. Méthode d'El Hadjra.....	159
Conclusion.....	160

PARTIE 3

LA FOGGARA : LE GENIE OASIEN

Chapitre XI

LA FOGGARA : LES TECHNIQUES D'AMELIORATION DU DEBIT	161
Introduction.....	161
XI .1. Sites d'études et données utilisées.....	161
XI.2. Résultats et discussions.....	162
XI .2.1. Principe de fonctionnement.....	162
XI .2.2. Méthodes d'accroissement du débit.....	163
XI .2.3. Quelques exemples.....	166
XI .2.4. Evolution des foggaras.....	169
XI .2.5. Relation entre la longueur de la galerie et le débit de la foggara.....	171
Conclusion.....	174

Chapitre XII

LA FOGGARA : UN SYSTEME HYDRAULIQUE EVOLUTIF	175
Introduction.....	175
XII.1. Site d'étude et données utilisées.....	175
XII.2. Résultats et discussions.....	176
Conclusion.....	184

Chapitre XIII

LA FOGGARA : UN PATRIMOINE EN PERIL	185
Introduction	185
XIII .1. Région d'étude : Observations et témoignages.....	187
XIII .2. Résultats et discussions	188
XIII .2.1. Problèmes techniques.....	188
XIII .2.2. Problèmes sociaux.....	195
XIII .2.3. L'entretien des foggaras	195
XIII .2.4. La foggara d'El Meghier :	
vers la disparition de la plus grande foggara d'Algerie.....	198
Conclusion	203

CONCLUSION GENERALE	204
----------------------------------	-----

Références bibliographiques	207
--	-----

INTRODUCTION GENERALE

Le Sahara est le plus grand désert de la planète, il est considéré comme une région aride à hyperaride, la moyenne annuelle des précipitations ne dépasse pas les 150 mm/an. Pour faire face au déficit pluviométrique, le recours à l'exploitation des eaux souterraines est indispensable pour tout développement économique et social de la région. A cet effet, diverses techniques de captage des eaux des nappes ont été utilisées dans l'histoire des oasis. Le choix d'une technique est subordonné aux conditions hydrogéologiques du site et la maîtrise du savoir faire hydraulique. On trouve la technique du puits à balancier qui fait appel à l'énergie humaine (le Chadouf). Cette technique était répandue dans les oasis de Timimoun, Adrar, Mogharrar. Aujourd'hui il en reste un seul modèle fonctionnel dans les oasis de Bousemghoun (région d'El Bayadh). Une autre technique très répandue dans la vallée de Mزاب, il s'agit de la « khottara », un puits traditionnel qui fait appel à l'énergie animale. Mais l'ingéniosité de l'oasien a été démontrée avec l'invention de la foggara. C'est un système hydraulique constitué d'une galerie souterraine de faible pente qui relie la nappe à la surface du sol. Sans énergie humaine ni animale, l'eau arrive tout simplement par gravité aux jardins. La galerie est équipée d'une multitude de puits d'aération creusés à intervalles réguliers. Que se soit pour la foggara du Sahara algérien ou la qanat d'Iran, le principe de fonctionnement est le même. Cependant, l'origine de la qanat est bien connue des spécialistes ; elle a été mise en service dans le nord - ouest de l'Iran il y a 3000 ans (Goblot H., 1979, Wulf HE., 1968, Goblot H., 1963). Par contre, l'origine de la foggara du Sahara algérien est entourée de doutes. Certains auteurs affirment que c'est une invention locale, d'autres disent que c'est plutôt une technique transférée de l'ancienne Iran via l'Arabie. Ce n'est pas l'objectif de cette étude, mais l'essentiel est que la qanat ait fait le tour de la planète, et qu'elle soit pratiquée dans plus de 35 pays (Hofman A., 2007). Son appellation diffère d'un pays à l'autre ; elle est connue comme foggara en Algérie, Qanat en Iran, Khettara au Maroc et Falaj au Sultanat d'Oman. Si aujourd'hui on admet l'universalité de la technique, son nombre exact n'a jamais été connu par les spécialistes. Son transfert vers les pays voisins et plus particulièrement vers les pays arabes reste encore méconnu. L'Iran reste un pays qui dispose d'un nombre assez élevé de qanats encore fonctionnelles, soit 22000 qanats (Boustani F., 2008 ; Goldsmith E. et Hildyard N., 1984 ; Wulff HE., 1968). Concernant plus particulièrement les pays arabes et mis à part le Sultanat d'Oman, l'Algérie et le Maroc, on ne dispose pas assez de données et d'études sur l'état actuel des foggaras des autres pays arabes. Cependant, le nombre des foggaras abandonnées annuellement est en nette évolution dans les trois pays cités ci-dessus. Tout le monde est d'accord sur l'apport incontestable de cette technique dans le développement des oasis dans les quatre coins du monde et l'acquisition de l'eau souterraine sans fournir d'énergie, mais aujourd'hui que ce soit la foggara, le Falaj, la Qanat et la Khettara, le nombre de ces galeries drainantes est en nette régression. On risque même de perdre ce patrimoine culturel mondial à court terme.

Dans le Sahara algérien, grâce à l'ingéniosité et la compétence de l'oasien, la foggara a connu un développement extraordinaire notamment au niveau du réseau de distribution. Pour cela, les oasis se sont largement inspirés de l'observation de leur milieu naturel. Ils utilisaient la topographie et l'hydrogéologie à leur avantage sans endommager l'environnement. Par un travail acharné, ils ont pu fertiliser en leur faveur un milieu aride et contribuer au développement d'un écosystème agricole. La foggara de Touat et de Gourara est la plus connue, elle exploite la nappe du Continental Intercalaire. Le système foggara est un immense appareil hydraulique constitué de trois parties : captage, transport et distribution. Le captage et le transport d'eau sont assurés par un réseau de galeries souterraines équipées d'une multitude de puits assurant l'aération et l'entretien de la galerie.

Quant à la distribution de l'eau, elle est assurée par un réseau complexe de seguias et de kasriates. Cependant la foggara n'est pas uniquement un ouvrage technique, mais toute une organisation sociale est instaurée autour d'elle ou l'eau constitue le véritable foncier ou chaque propriétaire peut vendre, acheter ou louer ces parts d'eau. Ceci a créé des changements et des modifications dans le réseau de distribution d'une manière courante par des interconnexions et des raccordements entre les foggaras.

Dans cette étude, on s'intéresse aux types de raccordements entre foggaras et les seguias opérées durant plus de dix siècles d'exploitation dans les oasis de Touat et Gourara. On examinera les particularités et les caractéristiques de la foggara de l'Albien. D'autres types de foggaras non connues encore seront traités dans cette étude. On développera un autre type de foggara qui capte les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental, on parle de la foggara de l'Erg. Pour comprendre, ces caractéristiques et son état fonctionnement on a mené des enquêtes et entretiens auprès des propriétaires des foggaras dans les oasis de Gourara. Différente de la foggara classique, notre étude apporte des éléments nouveaux sur un type de foggara tout à fait original que nous avons observé dans les oasis de Timimoun lors de nos missions de train. Mais ce système ne s'est arrêté pas au stade d'acquisition des eaux des aquifères, elle s'est généralisée à l'exploitation des eaux de surface. Des améliorations et des perfectionnements ont été apportés à ce système au cours du temps. A titre d'exemple, il existe en Iran des qanats à double galeries superposées une au dessus de l'autre (Safi Nezhad in Balland, 1992). Dans cette étude, on s'intéresse aux types de raccordements entre foggaras et les seguias opérées durant dix siècles d'exploitation dans les oasis de Touat et Gourara. Les véritables problèmes techniques et sociaux qui menacent le fonctionnement de la foggara de la région de Touat et de Gourara seront mis en évidence dans cette étude.

Chapitre I

GENERALITES SUR LA FOGGARA

Introduction

Réalisée dans les régions arides, la foggara est un système hydraulique ancestral. Il est composé de plusieurs ouvrages de captage, de stockage et de distributions des eaux.

Nous traitons dans le présent chapitre les généralités et les définitions de la foggara. Les différents éléments de ce système : la galerie, les puits, la kas ria, les seguias et les madjens feront l'objet de ce chapitre.

I.1. Historique de la foggara

Il est très difficile de situer avec précision le point de départ de la foggara. Connus sous le nom de « Qanat », en Iran, Khetara au Maroc (PNUD., 1986), « Ngoula » ou « Kriga » en Tunisie et « Sahridj » au Yémen, la foggara est une technique de captage des eaux qui a pris naissance en Iran selon Goblot H. (in PNUD, 1986). La Qanat qui alimentait Ibril en Perse, a été construite à la fin du VII^{ème} siècle avant JC, ce qui atteste des origines très lointaines de ce type de captage. Dans le Sahara Algérien, les foggara auraient été introduites au XI^{ème} et XII^{ème} siècle par El Malik El Mansour qui aurait creusé la première foggara à Tamantit (à 15km d'Adrar) (Hassani I., 1988). Ensuite, les foggaras ont été développées dans le Touat et Gourara par des tribus arabo - berbères du sud Marocain (Mrabtine, Chorfa) sur la base de l'esclavage de la main d'oeuvre noire (Harratine) locale ou provenant des régions voisines (Mali, Niger et Soudan). (Arrus R., 1985).

La plus grande foggara de la région de Timimoun est celle d'El Meghier (à 200km d'Adrar). Elle a été forée à une époque qu'on ne peut plus préciser, elle aurait été développée par le Marabot Sid Othmane et son fils qui vivaient au 9^{ème} siècle de l'hégire (Hadri M., 1999). Cette foggara a subi un développement pendant l'époque coloniale qui a fait passer son débit de 900 l/min à 1200 l/min en 1900, puis à 2173 l/min jusqu'au 2376 l/min en 1962 (ANRH., 1985).

I.2. Définitions

La foggara veut dire en arabe « Fakara » (creuser). D'autre estime que ce mot provient du mot arabe « El Fokr » (la pauvreté).

C'est à dire celui qui creuse une foggara se trouve dans l'obligation d'y investir tellement qu'il finit par tomber dans le besoin avant d'en bénéficier. Mais certains pensent que le nom foggara est relatif à « Fakra » (vertèbre en arabe) (Kobori I., 1982).

La foggara est une galerie souterraine légèrement inclinée qui draine l'eau de l'aquifère amont vers les terrains les plus secs situés en aval, en direction de la palmeraie (fig.I.1). Ce procédé utilise un système de galeries en pente douce d'une longueur pouvant atteindre les 20 km, équipés d'une série de puits d'aération espacés de 5 à 22 m.

La foggara est système technique lié à un système social de travail collectif mené par un comité collectif de sages appelés Djemaa dont le rôle est de diriger et de surveiller l'entretien de la foggara et de la répartition de son eau.

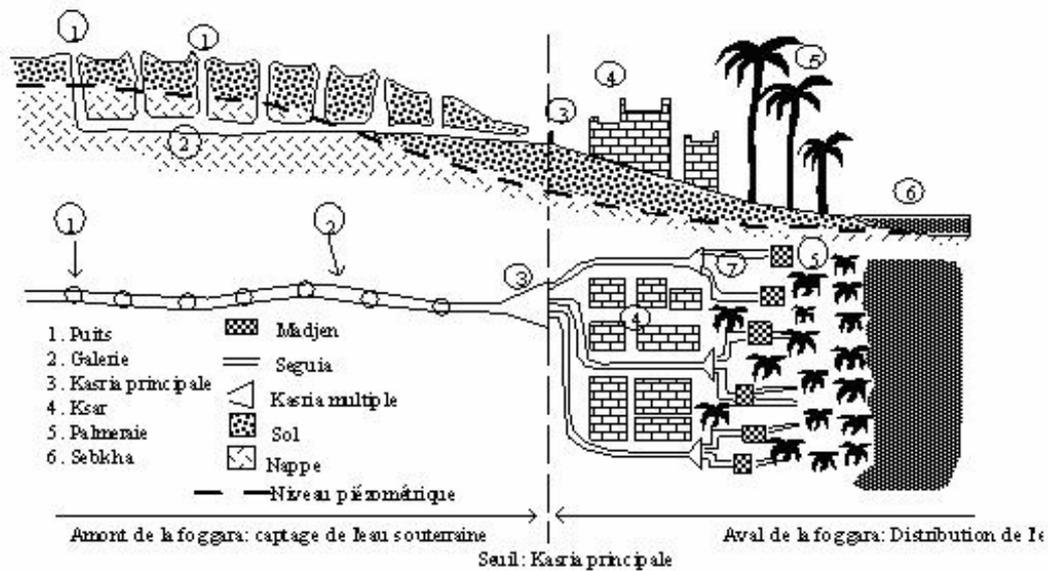


Fig. I.1. Schéma général d'une foggara

I.3. Relation entre l'oasis et la foggara

L'oasis est un milieu bioclimatique artificiel développé à partir d'un site naturel préexistant qui rompt avec l'aridité environnante en transformant l'ambiance climatique au niveau du sol et dans la basse atmosphère (Mainguet M., 2003). Selon Dubost (1991), l'oasis est un terroir multiséculaire élaboré pour l'autosubsistance des groupes humains sédentaires en complémentarité avec le nomadisme pastoral et commercial. L'oasis est un espace qui crée une biodiversité dans une aire sèche. A la périphérie sud du Grand Erg Occidental et afin de compenser la faible pluviosité, les oasiens ont capté l'eau des nappes profondes dans le but d'irriguer leurs palmeraies et d'alimenter leurs ksours. C'est grâce à ces systèmes traditionnels (foggaras) de captage et de distribution d'eau que les palmeraies ont pu se développer et grandir.

Dans cette région, l'oasis est constituée de trois parties principales : la foggara, le Ksar et la palmeraie. Ces oasis, créées autour de la foggara, sont situées à la périphérie du plateau de Tadmaït, lequel représente le château d'eau des foggaras (fig. I.2). Dans cette région sèche où l'eau est une denrée rare, celui qui détient l'eau, détient un capital inépuisable.

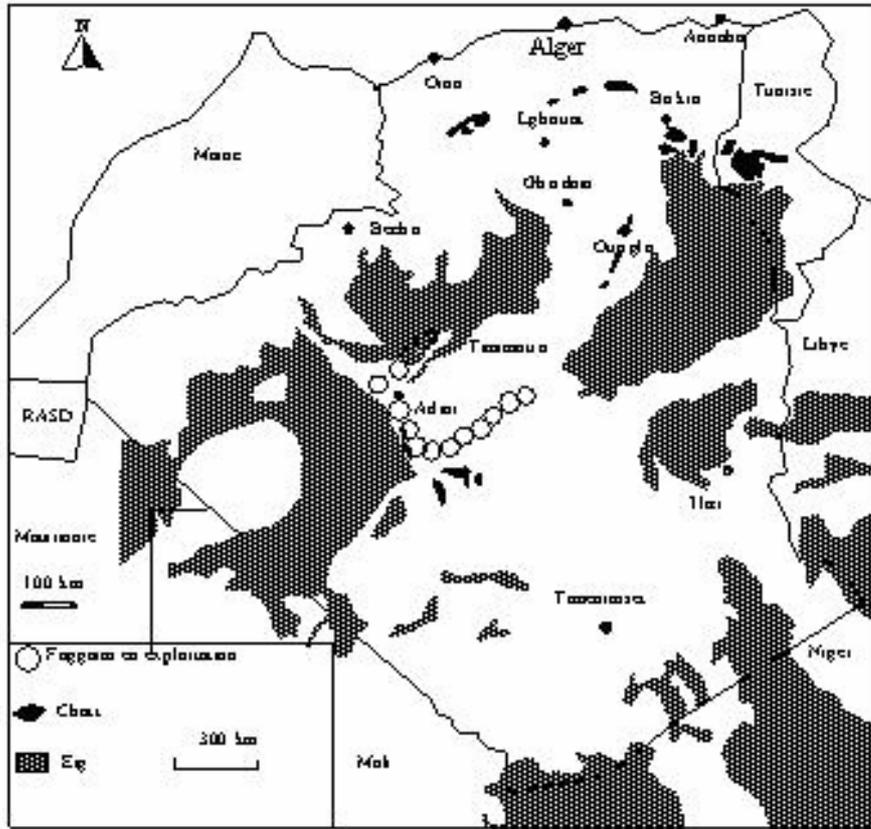


Fig. I.2. Répartition des foggaras autour du plateau de Tadmaït

Au Sahara, dans le sud du Grand Erg Occidental, et plus particulièrement dans les régions de Gourara, Tamentit et le Tidikelt, la foggara a participé depuis plusieurs siècles au développement des oasis. Chaque oasis est constituée d'une foggara (à l'amont), d'un ksar (au centre) et d'une palmeraie à l'aval (fig. I.3 et I.4).

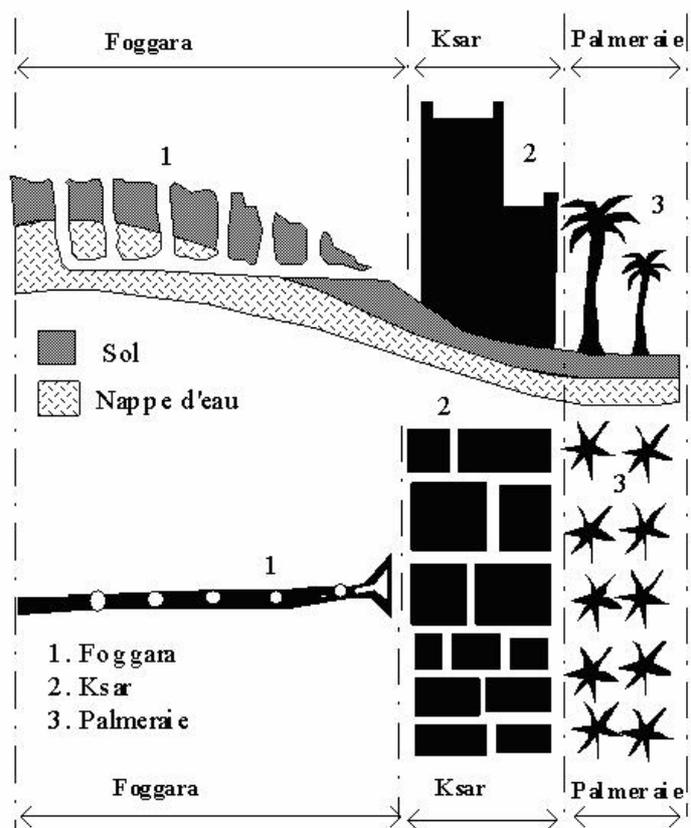


Fig. I.3. Schéma d'une oasis du Grand Erg Occidental

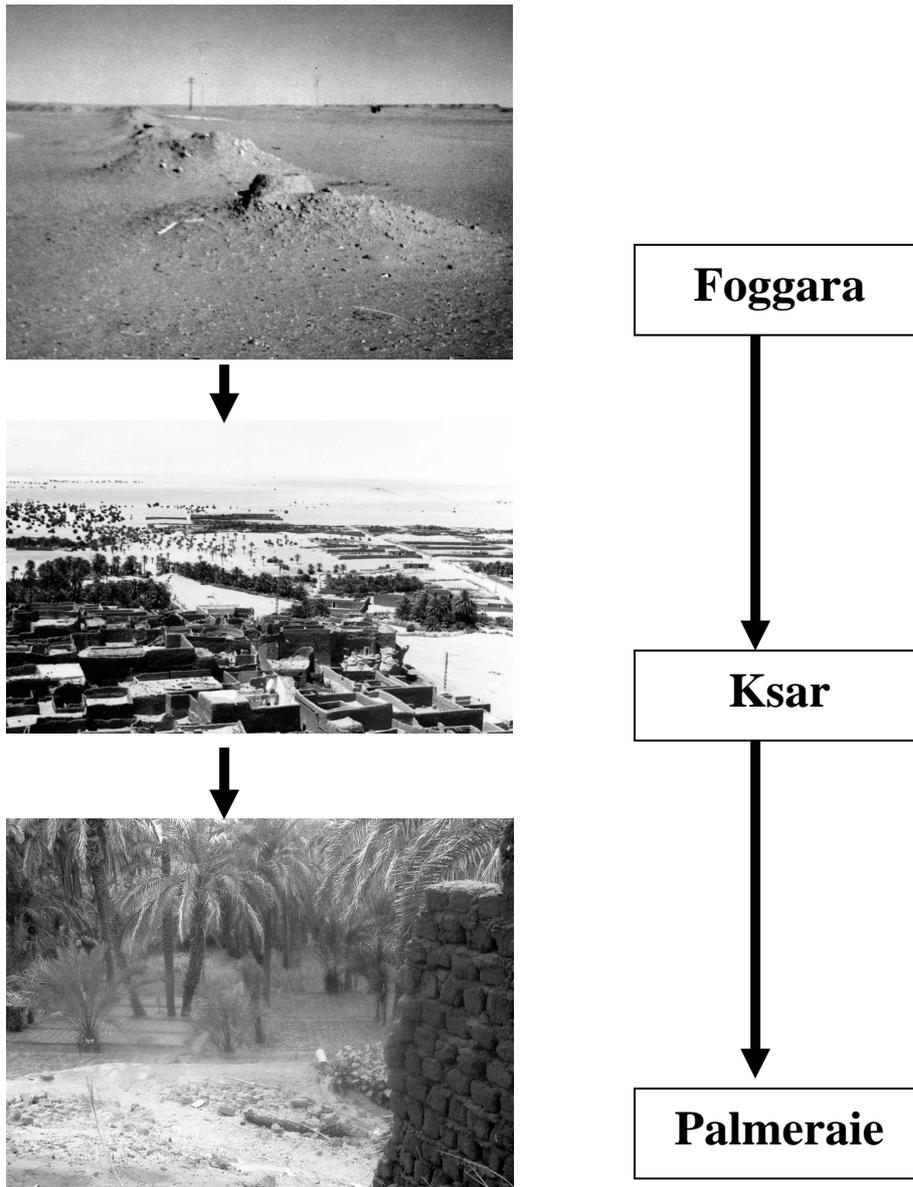


Fig. I.4. Les éléments d'une oasis du Grand Erg Occidental
(Photos Remini B., 2007)

I.4. Les éléments d'une foggara

Le système de foggara est divisé en deux parties : le captage et la distribution.

I.4.1. Le captage

Le captage de l'eau souterraine est assuré par une galerie de plusieurs kilomètres et de faible pente qui draine l'eau de la nappe à la surface libre. Cette galerie est équipée de plusieurs puits qui servent à l'entretien et à l'aération de la foggara.

a) La galerie

La galerie est l'élément moteur de la foggara. Elle est composée de deux parties ; la première (partie drainante) ou l'écoulement est en charge, contrairement à la deuxième partie (partie non drainante) ou l'écoulement est à surface libre. L'ouvrage se compose d'une galerie de section variable, en général de 50cm à 80cm de large et de 90 cm à 150 cm de haut.

La longueur de la galerie peut varier de 0,4 km à 14 km et le débit de 1 l/s à 500 l/s (Remini B., 1999) (Fig. I.5 et I.6). Les foggaras sont alignées de l'est à l'ouest et gardent une distance parallèle afin d'éviter tout drainage au détriment des anciennes foggaras voisines. La distance respectée entre deux galeries doit être supérieure à 100 Kamas (longueur de deux bras ouverts et tendus d'un homme normal égale environ à 2 m; c'est à dire 100 Kamas égale à 200 m) (fig. I.7). La galerie est composée de plusieurs Enfad qui représente le tunnel entre deux puits (fig. I.8). La longueur moyenne d'Enfad avoisine 13 m. La galerie se termine par l'Aghissrou qui représente la partie qui se trouve entre le premier puit (à partir de la sortie) et la Majra (segua principale). Elle peut être couverte par des pierres plates (fig. I.9, I.10).

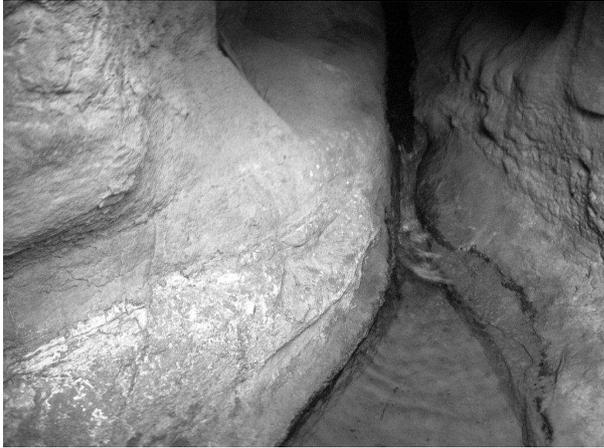


Fig. I.5. Vue de la sortie de la galerie d'une foggara de Timimoun (Remini B., 2007)



Fig. I.6. Vue de la sortie de la galerie d'une foggara avec la kasria (Remini B., 2007)

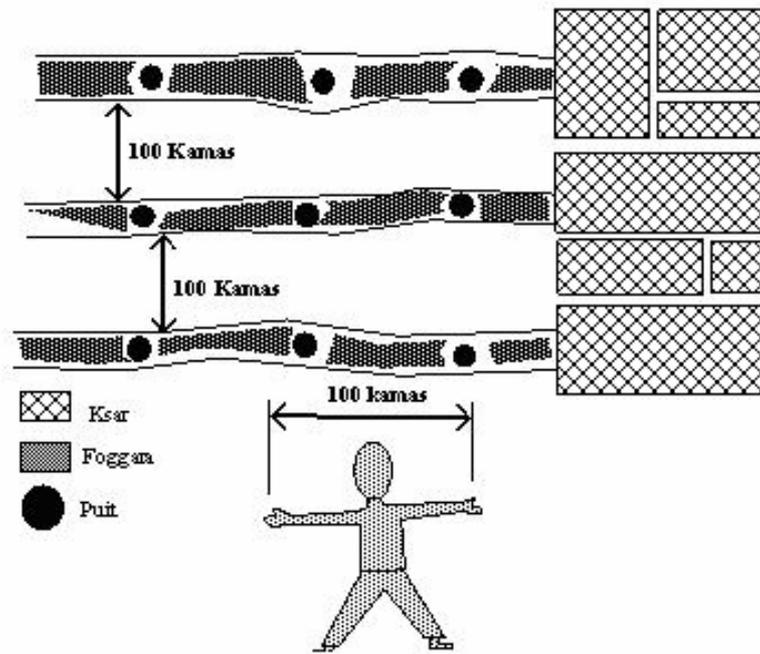


Fig. I.7. Distance entre deux foggaras

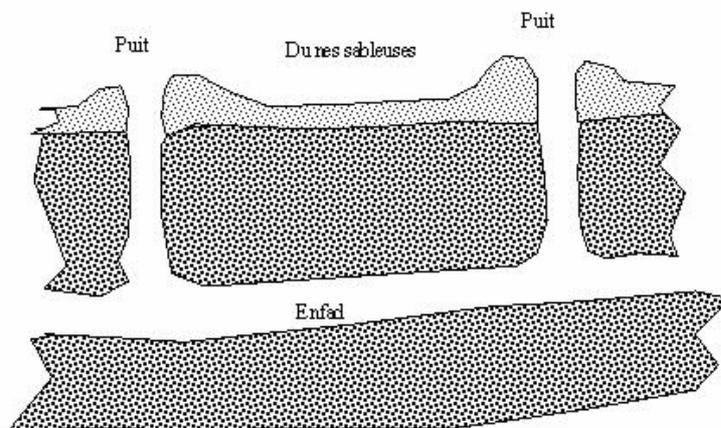


Fig. I.8. Schéma d'un Enfed

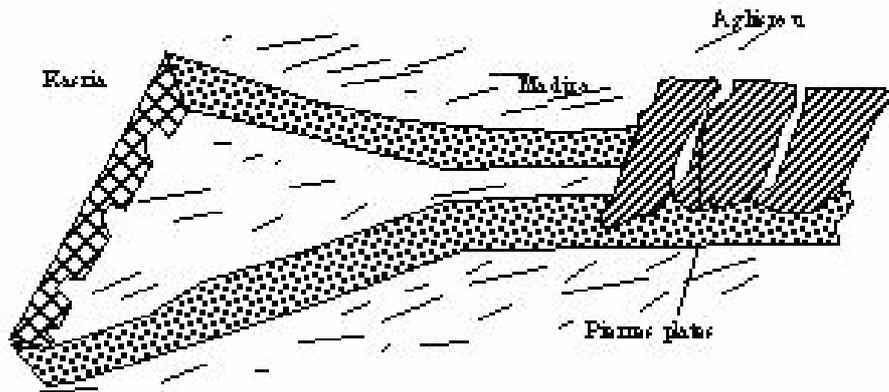


Fig. I.9. Shéma d'un Aghrissou

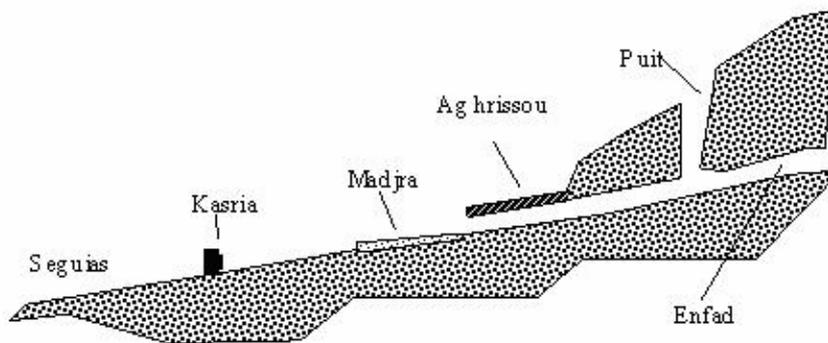


Fig. I.10. Coupe d'un « Aghrissou »

b) Les puits

Chaque galerie est munie d'une succession de puits espacés de 10 à 20 mètres (Fig. I. 11, I.12 et I.13). Les puits traversent même le centre ville d'Adrar (Fig. I.14 à I. 15). D'autres sont couvertes présentant une esthétique au centre ville de Timimoun (Fig. I. 16 et I.17). Au début de la réalisation de la foggara, les puits jouaient le rôle d'évacuation des déblais et de remblais. Une fois en exploitation, ces puits sont utilisés comme accès pour le nettoyage et pour l'aération de la galerie, leur profondeur varie de 1m à 40 mètres et leur diamètre de 0,5 m à 1 mètre.



**Fig. I. 11. Vue générale d'un puit en argile
(Remini B., 2002)**



Fig. I. 12 Puit couvert du sable (Remini B., 2002)



Fig. I. 13. Puit aménagé (Remini B., 2007)



Fig. I. 14. Succession des puits dans le centre ville d'Adrar, indiquant l'existence d'une foggara (Remini B., 1998)



Fig. I. 15. Puits dans la ville d'Aoulef (Remini B., 2002)



Fig. I. 16. Puit d'une foggara à l'entrée de la ville de Timimoun (Remini B., 2002)

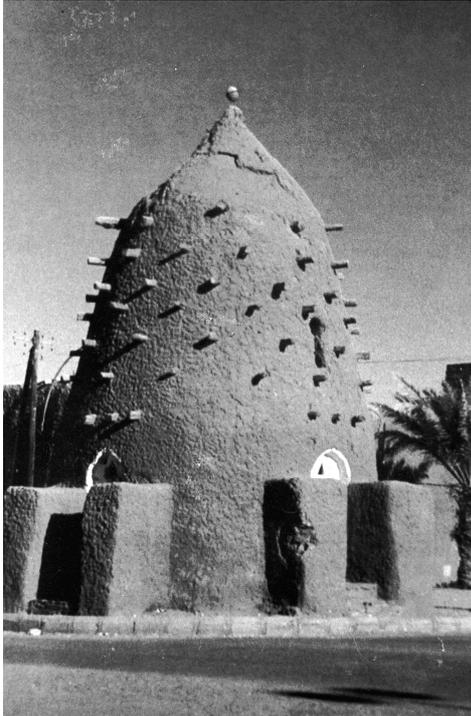


Fig. I. 17. Puit à l'entrée de Timimoun
(Remini B., 2002)

I.5.2. La distribution

La distribution de l'eau s'effectue juste à la sortie de la galerie. La distribution est composée des éléments ; Kasria ; Seguia, Madjen et Gamoun (Jardin). Une fois l'eau arrive à la sortie de la galerie, elle sera répartie entre les propriétaires par la Kasria (Répartiteur). Le cheminement de l'eau jusqu'au Madjen (bassin de stockage) s'effectue par l'intermédiaire des seguias (canaux).

a) La Kasria

A la sortie de la foggara, l'eau est divisée par un peigne appelé « Kasria fabriqué en pierre plate. La Kasria présente un bassin triangulaire pour stocker l'eau avant d'être répartie entre les copropriétaires. Ce dernier est muni d'un tranquillisateur qui amortit et calme l'écoulement (fig. I.18).

Le peigne est muni de plusieurs ouvertures de dimensions variables. Pour une seule foggara, on trouve plusieurs types de Kasriates repartit dans la palmeraie. En partant de la Kasria Lakbira (principale), puis secondaire jusqu'à la multiple (la plus petite).

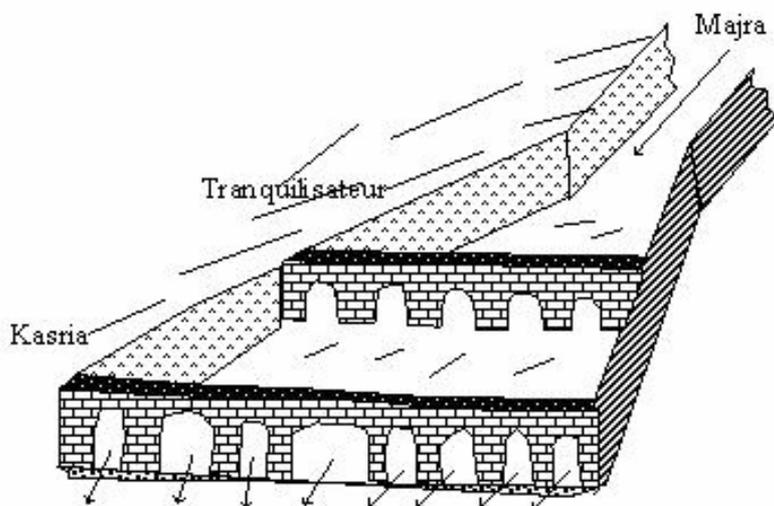


Fig. I.18. Schéma d'une kasria

- **La Kasria Lakbira**

La Kasria Lakbira ou principale (Fig. I.19, I.20, I.21 et I.22) est un bassin en forme triangulaire coupé à sa base par un répartiteur jouant le rôle de tranquillisateur d'eau (Fig. I.23, I.24). Ce dernier permet de calmer l'écoulement avant sa répartition et la mesure du débit. Dans la région de Timimoun, certaines Kasriates présentent une forme de triangle allongée pour permettre à l'eau de se stabiliser avant d'arriver au Machte (Fig. I.25).

La Kasria Lakbira reçoit la totalité du débit de la foggara. La Kasria Lakbira répartit le débit de la foggara en 3, 4 et même 5 rigoles (seguias). A partir de ce bassin triangulaire, les seguias vont en éventail dans tous les sens vers les parcelles à irriguer.

Au bout de ces seguias, d'autres Kasriates secondaires répartissent l'eau, puis d'autres seguias prennent naissance et s'achèvent par des Kasriates tertiaires et ainsi de suite jusqu'au Madjen. Il y'a des cas très rares de groupement de Kasriates comme c'est le cas à Ouled Said, ou il y'a une rencontre de 3 Kasriates (Fig. I.26).



Fig. I.19. Kasria principale de la foggara d'El Meghier (Remini B., 2007)

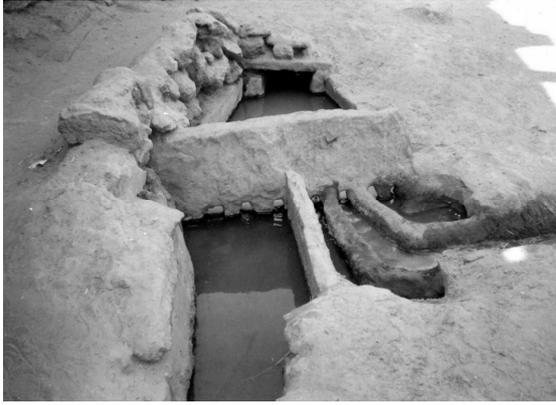


Fig. I.20. Kasria principale d'une petite foggara (Remini B., 2007)



Fig. I.21. Autre type de Kasria principale (Remini B., 1998)



Fig. I.22. Bassin triangulaire de la Kasria (Remini B., 1998)



Fig. I.23. Tranquillisateur d'une Kasria (Remini B., 2003)



Fig. I.24. Tranquillisateur (ancien) d'une Kasria (Remini B., 2003)



Fig. I.25. Kasria allongée dans la région de Timimoun pour minimiser la turbulence de l'eau à l'arrivée de l'eau (Remini B., 2007)



Fig. I.26. Groupement de 3 Kasriates (Remini B., 2007)

- **La Kasria Secondaire**

C'est un bassin de forme triangulaire placé après la Kasria Lakbira et est caractérisée par un partage familial de chaque tribu ou un groupe participant à la réalisation de la foggara (Fig. I.27, I.28, I.29).



Fig. I.27. La grande Kasria secondaire de la foggara d'El Meghier (Photo. Remini B.)



Fig. I.28. Kasria secondaire d'une petite foggara de Timimoun (Photo. Remini B.)



Fig. I.29. Kasria secondaire d'une foggara moyenne (Photo. Remini B.)

Les Multiples de Kasria

Ce sont de petites Kasriates (pluriel d'une Kasria) qui se trouvent après les Kasria secondaires le long des parcours des seguias qui repartissent l'eau directement dans les Madjens (Fig. I.30).



Fig. I.30. Petite Kasria (Photo. Remini B. 2008)

Les illustrations des photos I.31 (a à i) donnent une idée sur les types de Kasriates existantes dans la région de Timimoun.



a)



b)



c)



d)



e)



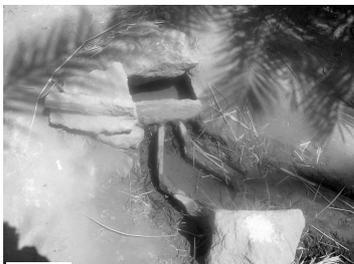
f)



g)



h)



i)

Fig. I.31. Les Kasriats de la région de Timimoun (Photos. Remini B., 2007)

b) Le Madjen

C'est un bassin de récupération et de régularisation qui reçoit l'eau directement des Kasriates multiples. De profondeur peu profonde, il joue le rôle d'un château d'eau (Fig. I.32 I.33, I.34). Il se trouve à la cote la plus élevée du jardin afin de permettre à l'eau de s'écouler par gravité dans des seguias et d'irriguer l'ensemble du jardin. Le Madjen est construit de façon à se remplir en 24 heures. Il y'a le Madjen en terre (ancien) dont le fond est couvert d'une couche en argile pour éviter les infiltrations (fig. I.35 et I.36). Actuellement dans plusieurs jardins, le Madjen est réaménagé en ciment.

L'irrigation s'effectue en général le matin de bonne heure en été et en hiver, durant la matinée. La multiplication et la répartition des Madjens dans la palmeraie crée une fraîcheur pendant l'été grâce à l'humidité qu'ils dégagent durant la journée.



Fig. I.32. Madjen en terre (Photo. Remini B.)



Photo. I.33. Madjen en ciment (Photo. Remini B.)



Photo. I.34. Madjen en terre bien nettoyé ciment (Remini B., 2007)

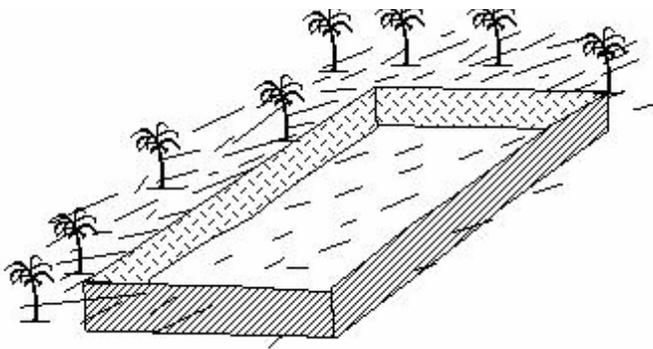


Fig. I.35. Schéma d'un Madjen

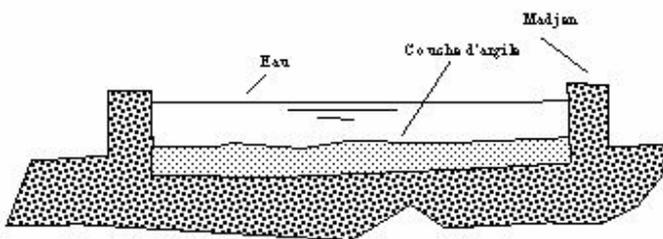


Fig. I.36.. Coupe d'un bassin en terre avec une couche en argile au fond

c) Les seguias

La seguia qui désigne un canal à ciel ouvert de section rectangulaire ou circulaire est construite généralement en terre (Fig. I.37 (a à f)). Une quantité appréciable d'eau est perdu par infiltration et par évaporation. Ceci à encourager les oasisiens à construire des seguias en ciment pour réduire les infiltrations, mais cette solution a provoqué la mort de certains palmiers implantés près de ces seguias.

Les canaux drainent l'eau de la Kasria Lakbira jusqu'au Madjen, puis du Madjen jusqu'au « Gamoun » (jardin). Dès qu'on se rapproche des jardins, les seguias se multiplient et prennent des directions de tout sens, sans qu'elles se recoupent entre elles. Cet enchevêtrement des seguias provoque une fraîcheur remarquable dans toute la palmeraie. Toutes les seguias situées dans les ruelles sont frontales. Les seguias qui traversent le ksar sont équipées d'un trou de même forme qu'un seau d'eau afin de permettre à la population de ksar de s'alimenter en eau de la foggara (Fig. I.38).

Ces dernières années, des seguias en terre ont été refaites et remplacées par des conduites en PVC. Pour vérifier l'écoulement dans ce type de seguia, les ksouriens ont aménagés des ouvertures dans les conduites (Fig. I.39).



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Fig. I.37. Différents types de seguias (Remini B., 2007)



Fig. I.38. Seguia en ciment au centre d'un ksar muni d'une ouverture de même dimensions qu'un seau.(Photo. Remini B., 2007)



Fig. I.39. Ouverture dans une seguia fermée (conduite en PVC) (Photo. Remini B., 2007)

La seguia qui désigne un canal à ciel ouvert de section rectangulaire ou circulaire est construite généralement en terre (Fig. I.40). Une quantité appréciable d'eau est perdue par infiltration et évaporation. Ceci à encourager les oasiens à construire des seguias en ciment pour réduire les infiltrations, mais cette solution a provoqué la mort de certains palmiers implantés près de ces seguias. Les canaux drainent l'eau de la Kasria Lakbira jusqu'au Madjen, puis du Madjen jusqu'au « Gamoun » (jardin). Dès qu'on se rapproche des jardins, les Seguias se multiplient et prennent des directions de tout sens, sans qu'elles se recoupent entre elles. Cet enchevêtrement des seguias provoque une fraîcheur remarquable dans toute la palmeraie. Toutes les Seguias situées dans les ruelles sont frontales.



Fig. I.40. Enchevêtrement des seguias (Photo. Remini B. 2000)

I.5. Relation entre la galerie et les puits

Les puits d'une foggara qui servent au départ, lors du creusement de la galerie à l'évacuation des remblais, puis durant l'exploitation ils permettent pour le nettoyage et l'aération de la galerie. Ces puits ne sont pas uniformes et bien alignés ; leurs profondeurs varient de 1 à 40 mètres et leurs diamètres de 0,5 à 1 mètre ce qui permet à une personne d'accéder à la galerie. Certains puits ont été couverts et donnent une esthétique à la ville, notamment à Timimoun. La distance entre deux puits est plus au moins respectée pour les foggaras. Selon les données de l'ANRH (1998), il existe actuellement dans la wilaya d'Adrar 907 foggaras en service totalisant une longueur de galerie de 2230 km aérée par plus de 373560 puits. La distance moyenne entre deux puits égal à 13 m (Fig. I.41). La distance minimale est de 3.5 m et le maximum est de 18 m.



Fig. I.41. Une succession de puits dans la ville d'Adrar. La distance est presque constante (Remini B., 1998).

I.6. Avantages et inconvénients des foggaras

Comparé aux autres modes d'exploitation des eaux souterraines (puit et forage), la foggara présente l'avantage de produire une eau gravitaire donc gratuite. Par contre, la foggara présente l'inconvénient de débiter d'une façon continue, ce qui entraîne une perte d'eau en période de non utilisation. Un autre inconvénient est l'occupation d'une grande superficie du sol par les puits de visite et d'évacuation.

Par exemple, une foggara irrigant 20 hectares, une superficie de 5 hectares est perdue par occupation des puits. Pour les 907 foggaras en service, on a perdu 164350 m² de superficie par occupation des puits.

I.7. L'agriculture ksourienne

L'agriculture ksourienne ou traditionnelle est une agriculture qui est basée sur le système d'irrigation par foggara. Actuellement, elle reste insuffisante. Si on se refait aux avantages attribués au Kial el ma par les propriétaires des foggaras lors d'une opération de mesure, on s'aperçoit que l'agriculture oasienne irriguée par foggara concerne les palmiers dattiers, le blé, l'orge et les cultures maraîchers. Les dattes et le blé étant utilisés pour payer l'eau. Par contre les fèves, les oignons, les carottes et les navets ne pourront servir qu'à l'autoconsommation.

I.8. L'architecture ksourienne

Le ksar est une structure urbaine réalisée en harmonie avec le climat saharien ; très fraîche en été et assez chaude en hiver. L'alimentation en eau potable s'effectue par la foggara qui reste l'élément principal du ksar. Chaque ksar dispose d'une « Zaouia » ; lieu de repos des voyageurs et centre de rayonnement culturel et religieux. Les parcelles cultivées (jardins) sont structurées par un système d'adduction d'eau et clôturées par des murs en terre cuite qui délimitent les propriétés. Les ksouriens utilisent des briques de terre cuite. Après avoir séché au soleil les briques sont disposées obliquement en bandes alternées.

Conclusion

Après avoir donné un bref historique sur la naissance de la foggara dans le Touat et le Gourara, nous avons montré à travers ce chapitre l'ingéniosité de la foggara et le savoir faire de la population oasienne. Malgré la rareté de la pluviométrie dans les régions arides, les oasiens ont mis en évidence un système de captage et de distribution des eaux. Le système foggara englobe le technique et le social.

Chapitre II

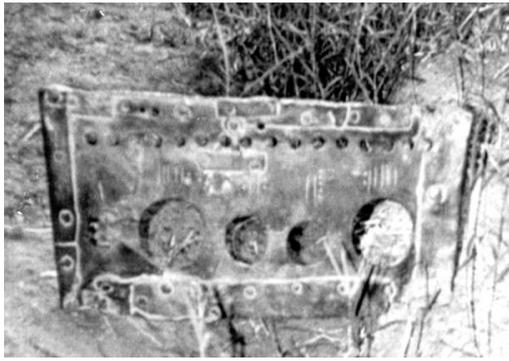
HYDRAULIQUE DE LA FOGGARA

Introduction

L'étape la plus importante dans le système foggara est la mesure du débit, que ce soit le débit total de la foggara ou les parts d'eau de chaque propriétaire. Dans le chapitre Hydraulique de la foggara, nous traitons le protocole et la procédure de jaugeage et les moyens matériels de mesure des débits et des parts d'eau de chaque propriétaire.

II.1. La plaque de jaugeage du débit

Les mesures de débit d'une foggara ou d'une seguia se font à l'aide d'un instrument traditionnel de fabrication locale (Fig. II.1 (a à d)). Il est constitué d'une plaque en cuivre rectangulaire qui diffère d'une région à l'autre. Dans la région de Timimoun, l'instrument est une plaque en cuivre de forme rectangulaire plane portant le nom de Louh, de dimensions 57 cm×18cm. Les anciennes sont en poterie. Dans certaines régions, le Louh est constitué par une plaque en bois recouverte en cuivre et percée de trous de plusieurs dimensions qui matérialisent l'unité de débit avec ces multiples et ses sous multiples.



a)



b)



c)



d)

Fig. II.1. Plaques de jaugeage dans la région de Timimoun (Remini B., 2007)

Dans le Tidikelt, l'instrument est connu sous le nom Chegfa, Hallafa ou Kiel el Asfar (mesureur jaune). Elle est en terre cuite ou en cuivre de forme rectangulaire recourbée en cylindre de 15 cm de hauteur environ et de 25 à 30 cm de diamètre et comporte une sorte de portillon de 10 cm par lequel l'eau pénètre (fig. II.2). Le Kial El Ma en possède 03, la grande sert à mesurer la Kasria El Kabira, la moyenne pour la Kasria secondaire et petite pour les Kasriates multiples.

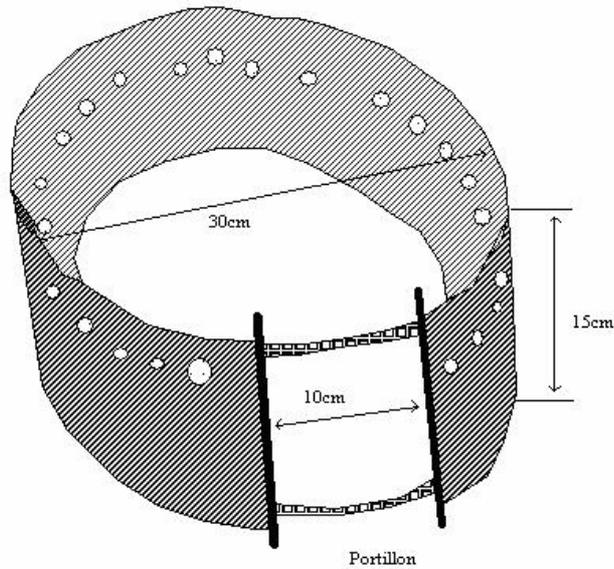


Fig. II.2. « Chegfa » utilisée dans la région de Tidikelt

L'unité de mesure du Louh est le Tmen égal environ à 0,0416 l/s. Le Louh est percé de trois rangées parallèles :

- la rangée supérieure est perforée de trous de 7 cm de diamètre de débit égal à un Tmen.
- la rangée centrale est perforée de trous de fraction de Tmen : 1/2, 1/4, 1/3, 1/6, 1/8.
- La rangée inférieure est perforée de trous multiples de Tmen. Elle renferme 03 orifices de 3 cm de diamètre chacun d'un débit de 20 Tmen, 03 orifices de 2,6 cm de diamètre chacun d'un débit de 15 Tmen et 03 orifices de 2,1 cm chacun d'un débit de 10 Tmen.

Chaque oasis possède son propre Louh ou Chegfa, c'est à dire que l'unité de mesure de l'eau est différente (tableau II.1).

Tableau II.1. Unités de mesure

Palmeraie	Unité	Débit (l/min.)
Timimoun	Tmen	1,57
Ouled said	Habba	2,6

Pour la Chegfa l'unité de mesure utilisée est la Habba ou la Habba zrig, appelée aussi Nouba qui correspond en moyenne au débit fourni par une ouverture de 1 à 1.5 cm de diamètre, égale à peu près à 2.6 l/min.

Dans la palmeraie d'In Salah il n'y a plus que deux Chegfa (pluriel de Chgfa), dont l'unité de mesure est la Habba zrig, correspondant à un orifice d'un diamètre de 13 mm situé à 23 mm du niveau repère. Son débit est de 4 l/mn. Comme toute unité de mesure la Habba zrig possède un certain nombre de fractions (tableau II.2).

Tableau II.2 : Habba Zrig (H.Z) et ses fractions

Désignation	Equivalent en H.Z
Un kirat de H.Z	1/24
Deux kirat de H.Z	2/24
1/8 de H.Z	3/24
1/6 de H.Z	4/24
1/4 de H.Z	6/24
1/3 de H.Z	8/24
1/2 de H.Z	12/24
24 kirat de H.Z	24/24

II.2. Mesure du débit de la foggara

II.2.1. Mesures traditionnelles

Le Louh est placée à la sortie de la Kasria principale. Après avoir délimité un couloir en argile pour mesurer la quantité d'eau d'une seguia d'un copropriétaire, le Kial El Ma procède à la fixation de sa Chegfa par l'argile, ou bien de son Louh (Fig. II.3 et II.4). Ensuite, le Kial El Ma, après une série de fermetures et d'ouvertures de différents orifices de Louh, obtient la stabilité du plan d'eau. A partir de cet instant, le mesureur compte uniquement le nombre d'orifices ouverts et donne directement le débit de l'écoulement de la foggara.

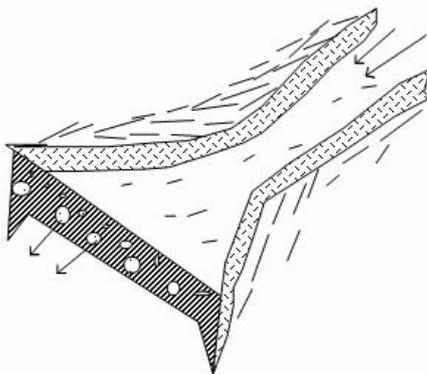


Fig. II.3. Emplacement du Louh pour la mesure du débit de seguia.

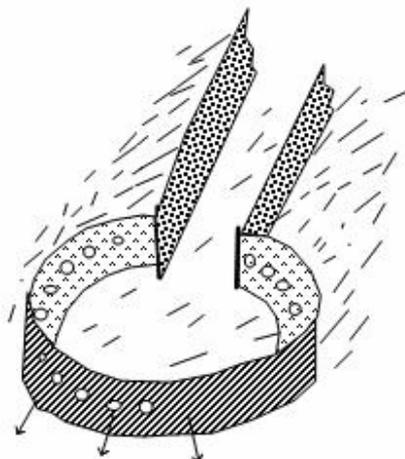


Fig. II.4. Schéma de l'emplacement de la Chegfa pour la mesure du débit d'une seguia.

II.2.2. Mesure et calcul hydraulique du débit

En réalité, cette mesure du débit obéit tout simplement à des lois hydrauliques; elle découle de la théorie des écoulements par orifices. Afin de vérifier les valeurs des débits mesurés par le Louh, nous avons procédé à des mesures du débit par un déversoir triangulaire. L'emplacement du déversoir dans la seguia a donné un débit de 5,5 l/s, par contre celui mesuré par le Louh est de 135 Tmen, soit 5,6 l/s (1 Tmen = 2,5 l/min = 0,0416 l/s).

Les manoeuvres d'ouverture et de fermeture des orifices par le « Kial El Ma » n'est qu'une méthode pour obtenir le régime permanent de l'écoulement. Nous constatons que la valeur donnée par le Louh est la même que celle mesurée par le déversoir (5,6 l/s).

Le débit mesuré par l'agence national des ressources hydrauliques durant le mois de juin 1999 est de 23 l/s au niveau de la foggara d'El Meghier. Le débit de la foggara est partagé en 04 seguias. Les mesures que nous avons effectuées à l'aide du déversoir dans les 04 seguias ont donné un débit total de 22,9 l/s, par contre le Kial El Ma a mesuré un débit de 553 Tmen qui correspond à 23 l/s. En utilisant la relation de l'écoulement par orifices, nous obtenons un débit de 23,03 l/s. Le débit s'écoulant à travers un orifice est donné par la relation:

$$Q = m \cdot S_0 \cdot (2gh)^{1/2}$$

Avec, m: coefficient de débit
S₀ : section de l'orifice
h: charge hydraulique

On a déterminé le coefficient du débit de la plaque de jaugeage (Louh). Le diamètre de l'orifice supérieur du Louh est égal à 3 cm, débite un débit de 20 Tmen. Après la stabilité du plan d'eau (le régime est permanent), la charge est de h=9 cm. En utilisant la relation mentionnée ci-dessus, on obtient Cd= 0,88. Le deuxième orifice de diamètre égal à 2,6cm débite un débit de 15 Tmen, soit 0,625 l/s qui est le même que celui mesuré par le Kial El Ma. Par contre le coefficient du débit (Cd) de la Chegfa de la foggara de Bendraou est 0,75

II.3. Déroulement d'une opération de mesure

Lors d'une opération de mesure du débit d'une foggara ou lors du partage des parts d'eau des copropriétaires, quatre éléments essentiels participent à cette tâche (Fig. II.5).

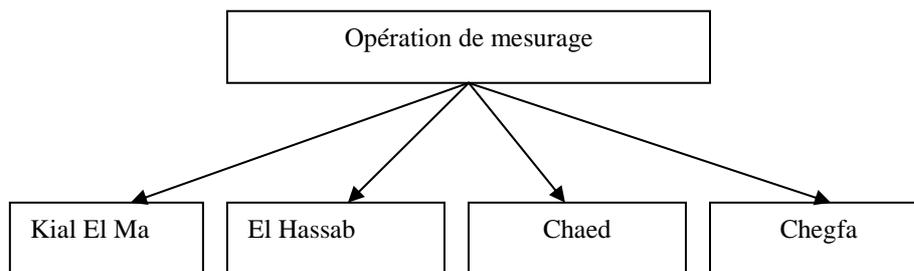


Fig. II.5. Eléments essentiels d'une opération de mesure

L'homme qui fait le jaugeage et les mesures du débit réel est le Kial El Ma (le mesureur), reconnu par son honnêteté et son savoir, il est désigné à l'unanimité par la Djemaa (comité des sages) des foggaras (Fig. II.6).



Fig. II.6. Kial El Ma avec l'auteur du livre. Le seul Kial El Ma qui reste dans toute la région de Kali et Ouled Said

La tâche du Kial El Ma est noble ; elle consiste à la répartition des débits des foggaras suivants la liste que lui remet le Chahed à chaque opération de mesure. Dans le cas où il y a contestations répétées pour une mesure, la présence de deux Kial el Ma devient indispensable, mais cette situation est rare. La technique de mesure laisse sa place à la technique de calcul; le ou les Hassab (calculateur) déterminent la part de chaque copropriétaire. Donc trois personnes indispensables assistent à une telle opération; il s'agit de Kial El Ma qui a pour tâche uniquement la mesure, El Hassab qui s'encharge de la comptabilité, et un manoeuvre qui manipule l'argile nécessaire pour maintenir le Louh perpendiculairement au sens de l'écoulement et de telle façon à résister aux forces du courant. Il peut aussi créer provisoirement des chenaux avec l'argile qui doivent relier les ouvertures de la Kasria (peigne répartiteur) au Louh. Les deux personnes Kial El Ma et El Hassab doivent être intelligents corrects et justes. Ils sont chargés de mesurer et de calculer les parts d'eau de plusieurs foggaras. A titre d'exemple, actuellement, il existe à Aoulef un seul Kial El Ma qui s'occupe de l'ensemble des foggaras de la région. Toutes les mesures faites sont enregistrées dans le Zemmam (Registre) par El Hassab (fig. II.7). Dans la région de Kali (Timimoun), il reste un seul Kial El Ma qui fait au même temps les mesures et les calculs.

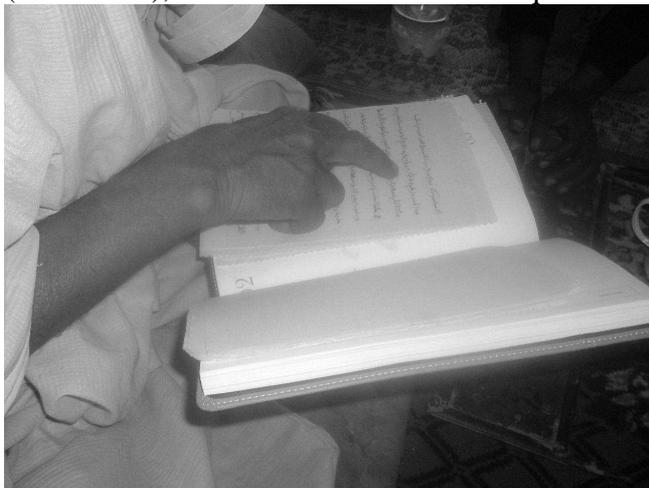


Fig. II.7. Le Zemmam. Toutes les mesures, calculs des débits et les noms des propriétaires sont enregistrés dans ce registre (Remini B., 2007).

La répartition de l'eau d'une foggara se fait par un peigne réalisé en pierres appelé Kasria équipée d'ouvertures par lesquelles, l'eau s'écoule dans les Majras (rigoles). Il n'est autorisé à personne de mesurer l'eau à l'aval d'une Kasria sans l'avis des copropriétaires. Les mesures du débit se font à chaque fois qu'une foggara est réalisée ou juste après l'entretien d'une foggara. Le débit réel de la nouvelle foggara, ou le nouveau débit de l'ancienne foggara après curage est mesuré à l'aide d'une plaque en cuivre menée d'un ensemble de trous. Cet instrument de mesure diffère d'une région à l'autre, il porte le nom de Louh dans la région de Timimoun et Chegfa dans la région de Tidikelt. Il est ouvert de chaque côté et percé de trous de plusieurs dimensions. Les trous matérialisent l'unité de débit avec ses multiples et ses sous multiples.

L'unité de mesure employée est la Habba ou Habba Zrig qui est égal à un huitième (1/8). Elle correspond en moyenne au débit fourni par une ouverture de 1 à 1,5 cm. La Habba est égal à peu près à 2,5 l/min. Cette unité de mesure diffère d'une région à l'autre. Donc le débit d'une foggara se mesure en Habba Zrig. Avant toute répartition du débit, Kial el Ma doit savoir le nombre de Habba Zrig fourni par la foggara grâce à l'instrument de mesure Chegfa. La part de chaque propriétaire est mentionnée par El Hassab sur une portion d'argile. Il est à noter que durant l'opération de mesure, aucune personne n'a le droit de prendre de l'eau de la foggara. Pour cela, un ou deux gardiens mènent la surveillance pendant toute l'opération de jaugeage. Nous résumons par la figure II.8 les étapes de la procédure des mesures du débit d'une foggara et les parts des propriétaires.

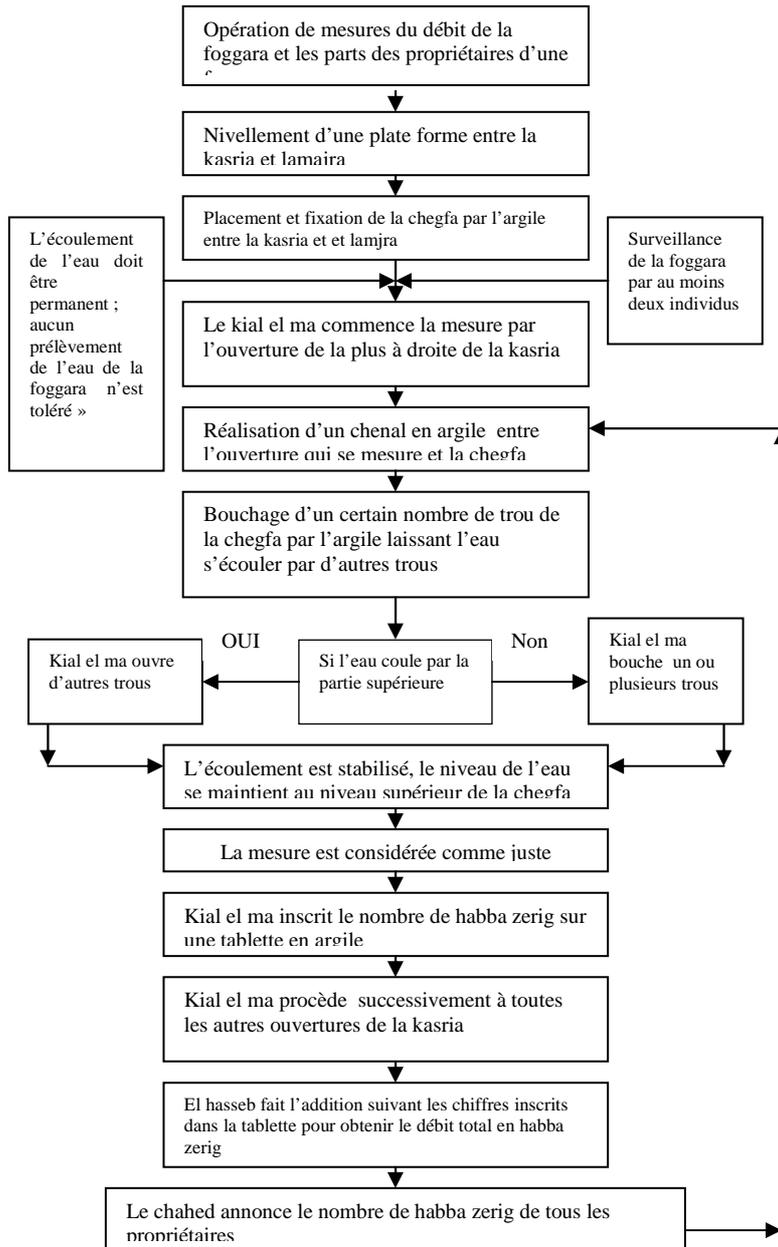


Fig. II. 8. Etapes du déroulement de la mesure des parts d'eau

II.4.Rémunération du Kial El Ma

Ce n'est pas uniquement, Kial El Ma qui est rémunéré, mais trois autres personnes sont payés par les propriétaires (fig. II.9).

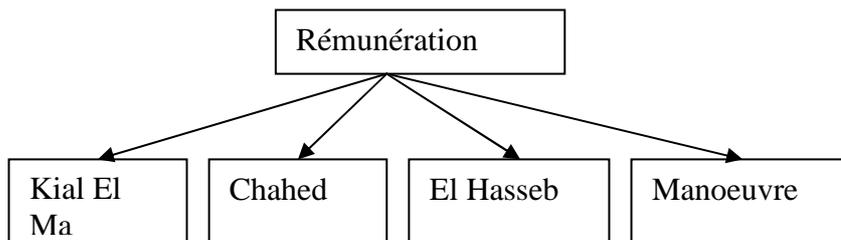


Fig. II.9. Personnes concernées par la rémunération

Les propriétaires des foggaras rémunèrent Kial El Ma une fois par an, il reçoit par année et par chaque Madjen :

- Deux Zguen de tafout (sorgho) (01 Zguen=04 poignées)
- Deux Zguen de blé
- Deux Gasaa de dattes (01 Gasaa=12 Zguen)

Le Chahed reçoit pour chaque opération de mesure une somme d'argent par le propriétaire qui l'a fait appeler. El Hassab est payé occasionnellement, il reçoit pour chaque mesure une somme d'argent. Le manoeuvre occasionnel qui aide le Kial El Ma à manipuler l'argile nécessaire pour le bouchage des trous, la fixation de la Chegfa et la réalisation des chenaux, est rémunéré en argent.

II.5. Distribution de l'eau d'une foggara

L'eau une fois sur la surface du sol est distribuée d'une façon intelligente sans perte d'eau, mais surtout avec une justesse. Avant l'achèvement de la réalisation de la foggara, les personnes qui ont participé à la réalisation de ce système hydraulique, soit par leur capitaux ou par leur efforts de travail, procèdent à une première répartition.

Chaque propriétaire reçoit sa quantité d'eau réelle qui est proportionnelle à l'effort fourni durant la réalisation ou l'entretien de la foggara. Le partage est consigné dans un écrit spécial appelé Zemmam « registre de la foggara » qui n'est autre que la liste nominative des propriétaires d'eau avec leur part. Le réseau de distribution est un réseau plutôt par étages (fig. II.10) et non maillé.

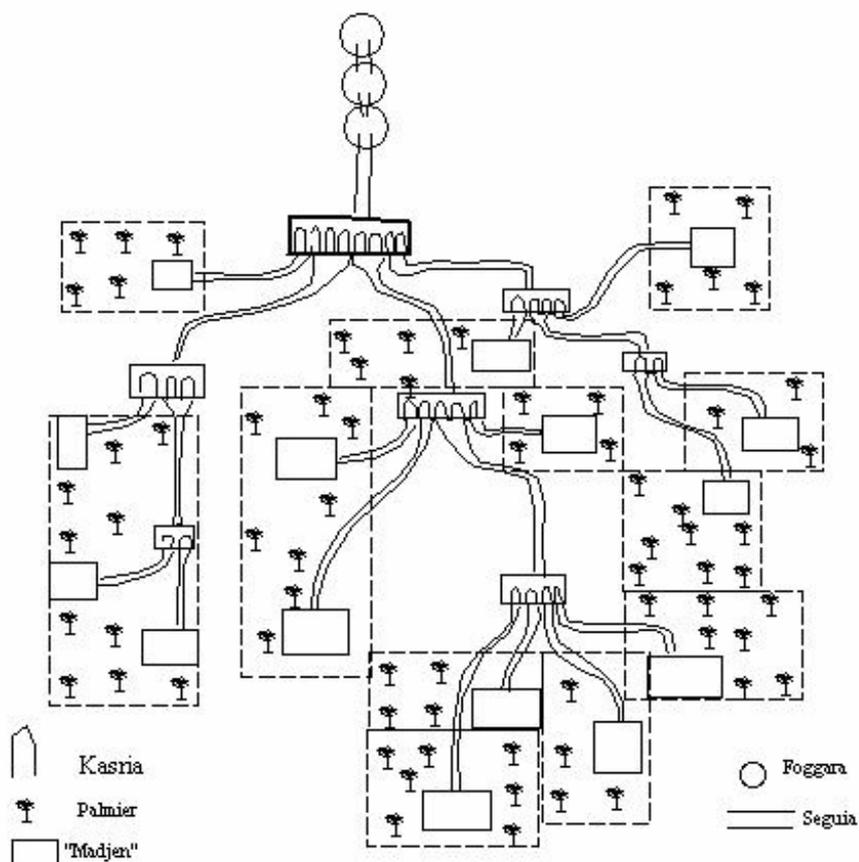


Fig. II. 10. Réseau des seguias dans une palmeraie

II.6. Les infiltrations dans les seguias

Le drainage opéré par la galerie provoque un rabattement de la nappe et le point de rencontre entre la ligne de saturation et la galerie qui aura tendance à se déplacer vers l'amont. Lorsque le débit drainé est égal au débit affluent il s'établit un régime constant et le point de rencontre se stabilise à une position donnée. Le déplacement de ce point vers l'amont provoque un allongement de la « tête morte » où les pertes par infiltrations contribuent à une baisse de débit. Ces pertes ont été évaluées entre 10 % et 20 % selon certains auteurs (fig. II.11). En plus de l'évaporation, l'eau dans les seguias s'infiltré (une partie) dans le sol (fig. II.12).

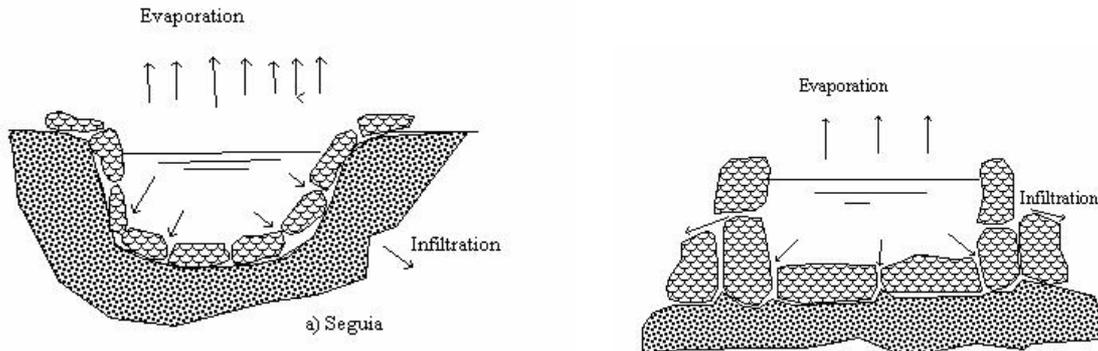


Fig. II.11. Schéma des infiltrations dans une seguia

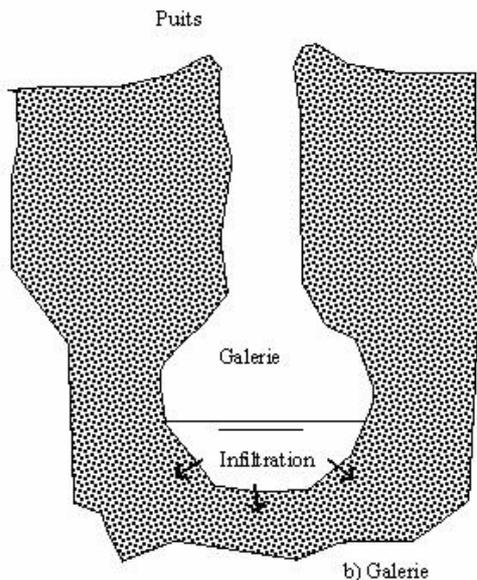


Fig. II.12. Schéma des infiltrations dans la galerie d'une foggara

II.7. Relation entre le réseau d'irrigation et l'humidité dégagée dans la palmeraie

Le réseau de distribution en forme d'un arbre généalogique, composé de plusieurs kilomètres de seguias et un nombre considérable de Madjen crée un microclimat humide, le réseau de raccordement qui parcourt les palmeraies pour distribuer vers des Madjens diffuse l'humidité dans l'atmosphère. A titre d'exemple, si on prend une petite foggara dont la Kasria Lakbira distribue pour 04 grandes familles, donc on a 04 seguias. Chaque grande famille est divisée en 04 familles, on a 16 seguias secondaires et chaque seguia aboutit dans une Kasria tertiaire qui, elle aussi distribue pour 04 copropriétaires, dont chaque seguia aboutit dans un Madjen. A la fin on aura 64 Madjens et 86 tronçons de seguias » (fig. II.13). Ce réseau à ciel ouvert dont la surface du plan d'eau est exposé au soleil. Ceci laisse dégager une humidité en continu et donne une fraîcheur le long de l'année.

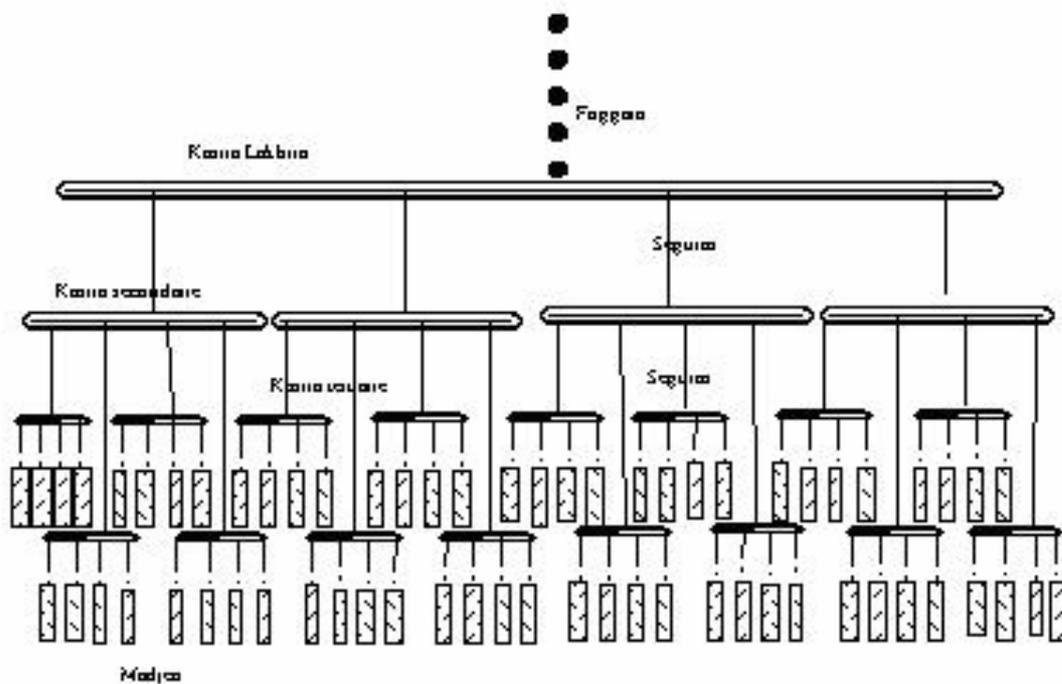
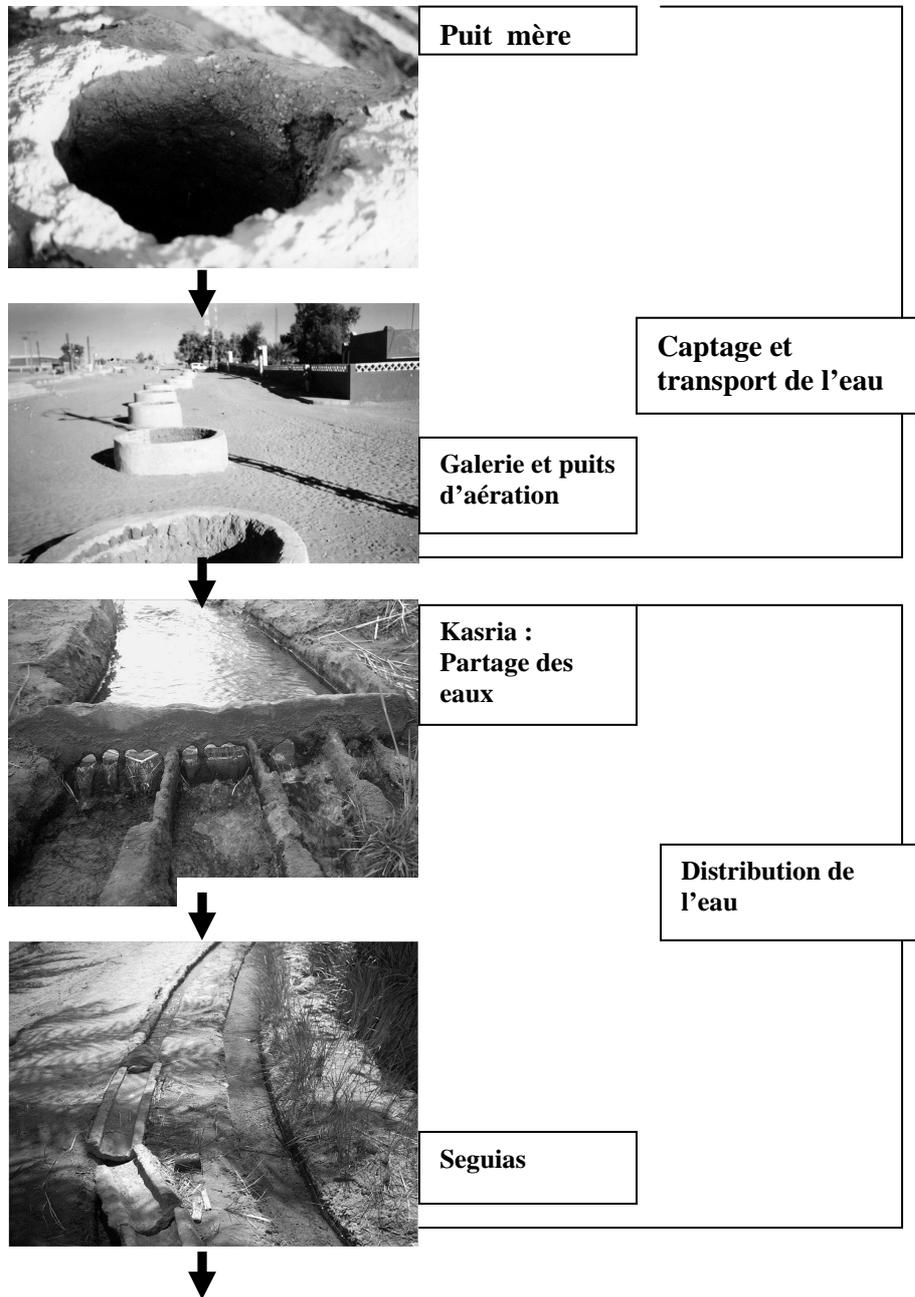


Fig. II.13. Schéma de répartition des Kasrias et Madjens dans une palmeraie

II.8. Processus de l'écoulement de l'eau dans le système foggara

Le cheminement de l'eau d'une foggara de la source (nappe) jusqu'à la sebkha s'effectue comme l'indique l'organigramme de la figure II.14.



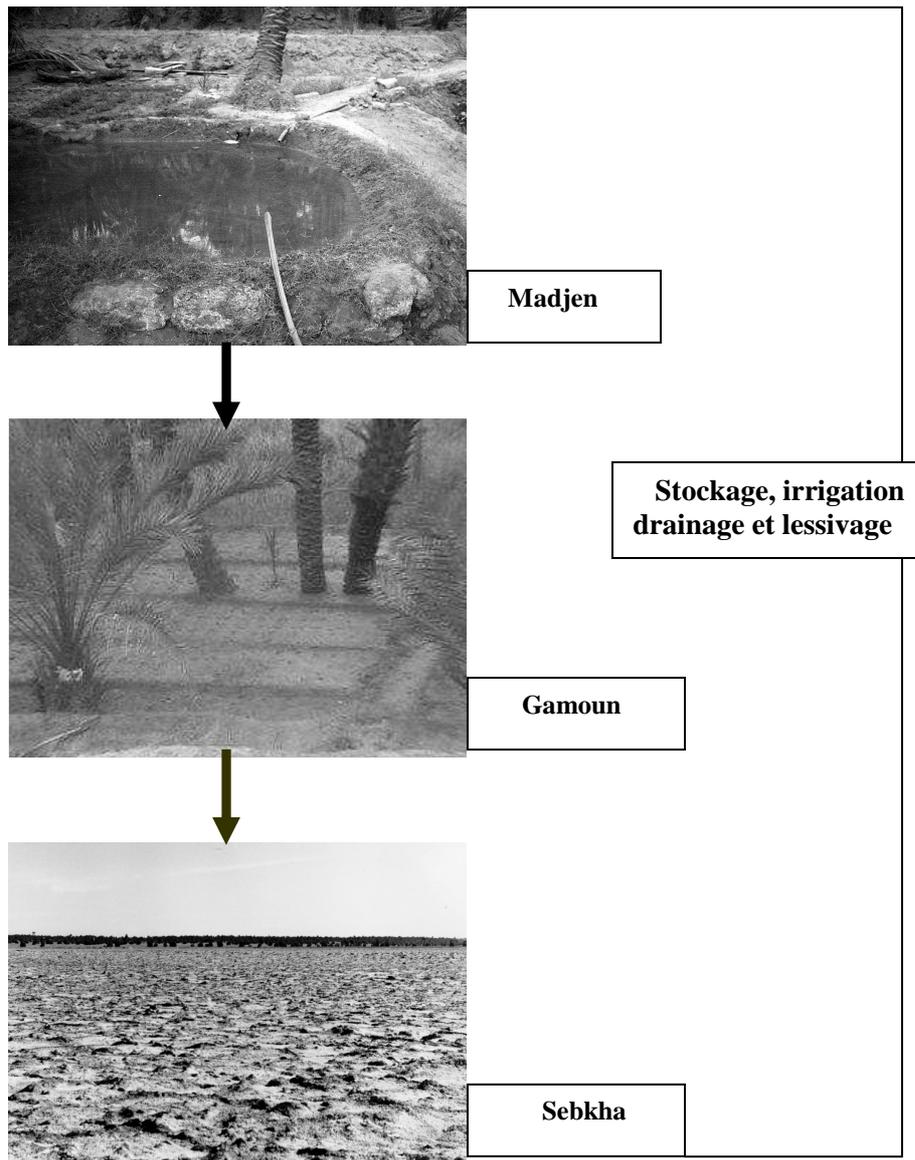


Fig. II. 14. Circuit de l'eau dans le système foggara (photos Remini B. 2007)

L'eau, une fois captée par la galerie passe d'un écoulement en charge à un écoulement gravitaire, arrive à la sortie de la foggara en traversant les Enfad (galerie entre deux puits) et le « Aghrissou » (partie extérieure de la foggara recouverte en pierres plates), s'écoule ensuite dans la Majra pour atteindre le bassin de répartition. Ce dernier qui se trouve dans la partie la plus élevée de la palmeraie, prend la forme triangulaire, sa base n'est que le répartiteur principal en forme de peigne appelé Kasria lakbira ou Machta construite en pierre. Les ouvertures ou les couloirs de la Kasria sont déterminés selon le quota de partage. L'intervalle entre deux dents de peigne ou l'ouverture mesure le volume d'eau attribué à chaque propriétaire. La Kasria est caractérisée par son partage entre les grandes familles ayant participé à sa création. La Kasria d'El Meghier est la plus importante dans la région de Timimoun est partagée en 04 grandes parties ; trois parts entre les familles et la quatrième part revient aux institutions publiques (mosquée, l'école de la mosquée...). A l'amont de chaque Kasria Lakbira et secondaire existe un tranquillisateur placé au milieu du réservoir de répartition ; c'est un peigne qui présente des trous égaux, pour stabiliser l'écoulement de l'eau à la sortie de la foggara, laquelle permettra au Kial El Ma de prendre des mesures du débit dans de très bonnes conditions. Une fois l'eau divisée entre les propriétaires, elle est canalisée par une série de seguias vers des Kasriates secondaires, puis grâce à des petites seguias (canaux à ciel ouvert réalisés en argile ou en ciment), l'eau arrive aux Kasriates tertiaires et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle arrive au bassin de collecte de chaque copropriétaire, appelé Madjen.

Ce dernier est un bassin de réception et de régularisation à l'air libre, construit en argile ou en ciment. Il est réalisé de telle sorte à ce qu'il se remplit en 24 heures. Le Madjen est un réservoir peu profond qui se trouve à l'endroit le plus haut du jardin pour permettre d'irriguer gravitairement les Guemouns (jardins). Pour éviter l'infiltration, le propriétaire place une couche d'argile sur le fond du Madjen. Ce dernier est utilisé pour régulariser l'eau qui arrive en minces filets liquides et qui est distribuée en quantité suffisante par des canaux d'irrigation appelés Guentra après être passé par un orifice appelé Enfif.

Ce réseau de Guentra très dense et complexe dont les ramifications appelés Abadou aboutit dans les jardins appelés Guemoun. Ces derniers sont délimités par des murs en terre cuite. Une fois l'opération d'irrigation terminée, l'eau s'écoule dans les sols pour atteindre la sebkha qui se trouve dans l'endroit le plus bas du jardin. L'irrigation gravitaire par écoulement continu de l'eau permet le lessivage constant du sol, ce qui élimine le dépôt du sel dans les zones proches de la sebkha.

Conclusion

Comme nous l'avons montré au début de ce chapitre, la population oasienne a mis en place des procédés de mesure et de jaugeage des débits et des parts d'eau de chaque propriétaires. Il s'agit du « louh » ; la plaque de jaugeage considérée comme le débitmètre de la foggara. Le kiel el ma ; celui qui mesure et calcule les débits de chaque abonné. Le Zemmam ; un genre de registre où toutes les valeurs sont mentionnées par le kiel el ma.

Chapitre III

LES TYPES DE FOGGARAS

Introduction

Le système des galeries drainantes est connu dans le monde par plusieurs appellations. Il s'agit de la foggara en Algérie, la Qanat en Iran, le Falj au sultanat Oman, le Kariz en Afghanistan et au Pakistan, la khattara au Maroc, la Qanat romani au Jordanie et en Syrie, le Kanerjing en Chine, et la Kriga en Tunisie. Ce sont là, des noms pour désigner le même principe de fonctionnement, basé sur les galeries drainantes. Elles sont réparties sur plus de 30 pays à travers le monde. C'est la qanat qui constitue la plus ancienne technique ; elle a été réalisée depuis plus de 3000 ans et c'est le nord ouest du plateau iranien qui est considéré comme le foyer d'origine de ses galeries (Goblot, 1979). Plus de 50000 qanats étaient en exploitation en Iran. Aujourd'hui il ne reste que 22000 qanats fonctionnelles dont la longueur totale des drains avoisine les 250 000 km (Wulf H.E., 1968). Le plus long qanat a une galerie d'une longueur de 50 km et se trouve dans la région de Kerman. Le falj se localise dans la partie nord du sultanat Oman. Les Aflajs ont été développées depuis 3000 ans (Al Marshudi AS., 2007). Actuellement, il ne reste que 3017 falj fonctionnels sur un total de 4112, drainant ainsi un débit de 680 millions de m³/an pour une longueur de 2900 km (Al Gharfi A., et al, 2000). Contrairement aux qanats qui puisent l'eau des nappes souterraines, il existe trois types de falj :

- Le falj Ghaili qui capte les eaux des oueds, il représente 49% des Aflajs d'Oman.
- Le falj Aini qui capte les sources naturelles pérennes, il représente 28% du total d'Aflaj.
- Le falj Daoudi qui puise l'eau des nappes phréatiques au pied des montagnes, il représente 21% du total des Aflajs.

Dans le Tafilalet au sud du Maroc, les Khettaras sont au nombre de 300 au début du 20ème siècle pour environ 450 km de galeries. Elles se concentrent sur la rive droite de l'oued Ghriss et au nord – est du Tafilalet. En l'an 2000, il ne restait que 150 khettaras fonctionnelles (Ben Brahim M., 2003).

Il est très difficile de situer avec précision le point de départ de la foggara. Connus sous le nom de « qanat », en Iran, Khettara au Maroc (PNUD., 1986), « Ngoula » ou « Kriga » en Tunisie et « Sahridj » au Yémen, la foggara est une technique de captage des eaux qui a pris naissance en Iran selon Goblot H. (in PNUD, 1986). La qanat qui alimentait Ibril en Perse, a été construite à la fin du VIIème siècle avant JC, ce qui atteste des origines très lointaines de ce type de captage. Dans le Sahara Algérien, les foggara auraient été introduites au XIème et XIIème siècle par El Malik El Mansour qui aurait creusé la première foggara à Tamantit (à 15km d'Adrar) (Hassani I., 1988). Ensuite, les foggaras ont été développées dans le Touat et Gourara par des tribus arabo - berbères du sud Marocain (Mrabtine, Chorfa) sur la base de l'esclavage de la main d'oeuvre noire (Harratine) locale ou provenant des régions voisines (Mali, Niger et Soudan). (Arrus R., 1985).

La plus grande foggara de la région de Timimoun est celle d'El Meghier (à 200km d'Adrar). Elle a été forée à une époque qu'on ne peut plus préciser, elle aurait été développée par le Marabout Sid Othmane et son fils qui vivaient au 9^{ème} siècle de l'hégire.

Que se soit la Qanat, la Khattara le Falj ou la Foggara, toutes ses techniques ont le même principe de fonctionnement ; il s'agit de captage des eaux à l'aide des galeries drainantes munis de puits d'aération. Cependant, la source d'eau captée diffère d'un procédé à un autre. La Qanat et la Khattara captent les eaux de la nappe phréatique au pied des montagnes, une partie de Falj capte les eaux de source et une autre partie de falj capte les eaux des oueds. En Algérie, lorsqu'on parle de la foggara, on parle automatiquement des Foggaras de Tout, Gourara et Tidikelt qui captent les eaux de la nappe albienne. Plusieurs auteurs, notamment Kobori I. (1983), Dubost (1963) ont beaucoup cité ce type de Foggara dans leurs travaux. C'est dans le but de mettre en évidence les différents types de foggaras qui ont participé à donner la vie aux oasis du Sahara algérien que cette étude a été menée.

III.1. Méthodes et enquêtes

Cette étude a été basée sur des sorties sur le terrain et des enquêtes effectuées auprès des oasiens et les propriétaires des foggaras. Plus d'une vingtaine de sorties de prospections durant la période 2006-2008 ont été effectuées dans les oasis situées à la périphérie du Grand Erg Occidental. Des foggaras vivantes et abandonnées de 20 oasis ont été prospectées. Il s'agit des oasis de Moghrar (Naama), Boussemghoune (El Bayadh), Timimoun, Adrar, Beni Abbes (Bechar), Tabalbala (Bechar), Lahmar (Bechar), Taghit (Bechar), Wakda (Bechar), Beni Ounif (Bechar), Ouled Said (Timimoun), Kali (Timimoun), Ghardaia (fig. III.1 et III.2).

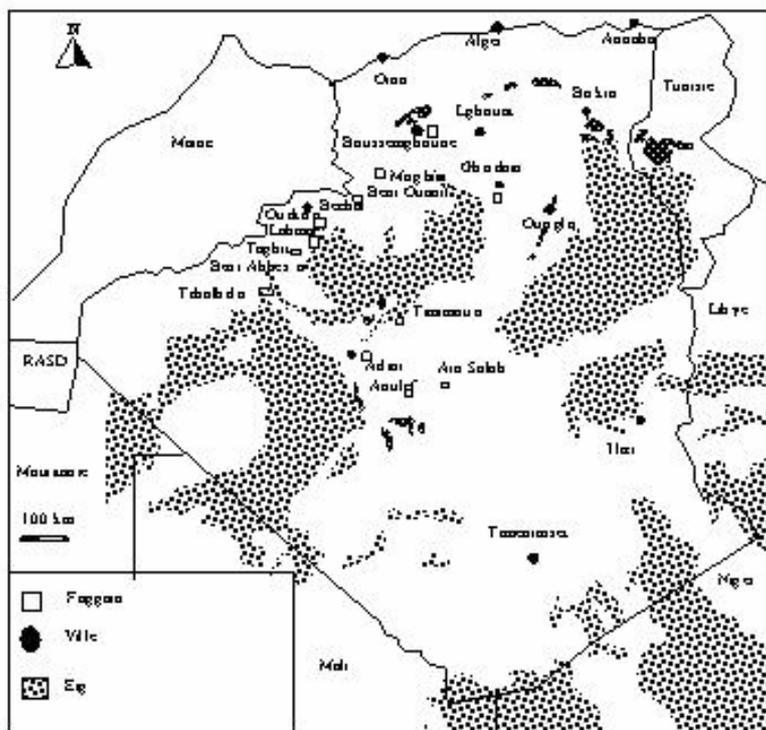


Fig. III.1. Situation des foggaras étudiées

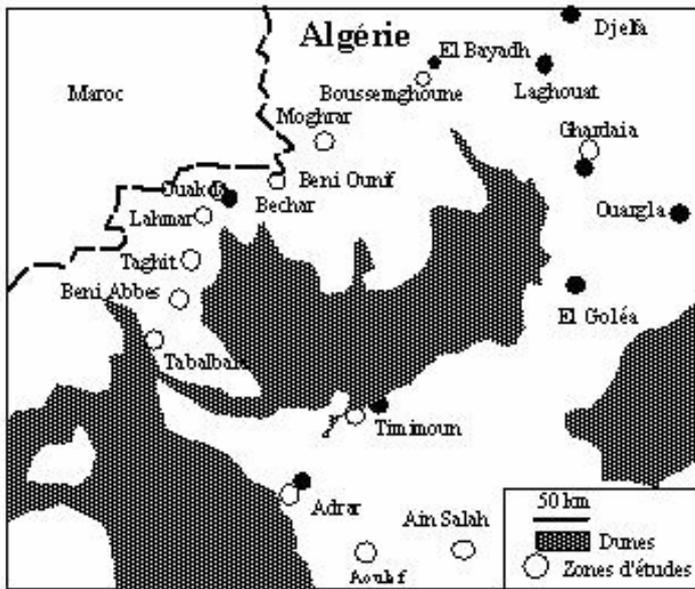


Fig. III.2. Situation des foggaras étudiées autour du Grand Erg Occidental

III.2. Résultats et discussions

Plusieurs auteurs définissent la foggara du Sahara Algérien comme étant une galerie souterraine captant les eaux de la nappe du Continental Intercalaire. Mais suite à plusieurs sorties sur le terrain dans divers régions, nous avons pu recensé sept types de foggaras. Il s'agit :

- La foggara de l'Albien
- La foggara de l'Erg
- La foggara d'El Ain
- La foggara de jardin
- La foggara de l'oued
- La foggara de Montagne
- La foggara des crues.

III.2.1. La foggara de l'Albien

La foggara de l'Albien appelée foggara classique est la plus connue et la plus décrites par de nombreux auteurs. Ce type de foggara se localise dans le sud ouest du Grand Erg Occidental dans les régions de Touat, Gourara et Tidekelt dont le plateau de Tadmaït constitue le véritable château d'eau. En effet, la nappe albienne plus profonde se rapproche de la surface dans la périphérie du plateau en creusant des galeries souterraines de cette foggara dans les couches du Grés du Continental Intercalaire qui pénètrent dans la partie supérieure de la nappe à la périphérie du plateau de Tadmaït (Fig. III.3). Ces galeries assurent un écoulement par gravité vers les dépressions basses où se localisent les palmeraies et les jardins. On dénombre environ 820 Foggaras en service actuellement dont le débit avoisine 2.8 m³/s pour une longueur de 2000 km. Pour ce type de Foggara, l'écoulement est en continue durant toute l'année. Il y aura interruption de l'écoulement dans le cas d'un effondrement d'une partie de la galerie ou un rabattement rapide provoquée par l'installation d'un forage près de la foggara.

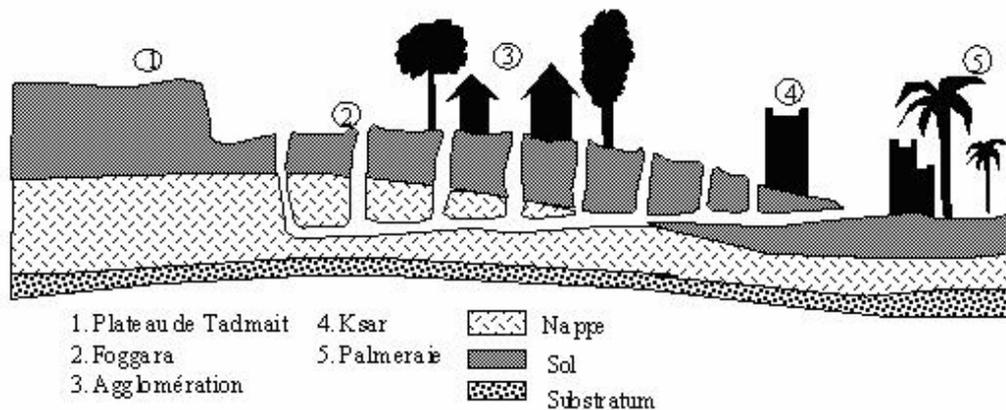


Fig. III.3. Schéma synoptique de la foggara de l'Albien

III.2.2. La foggara de l'Erg

La foggara de l'Erg est une foggara qui capte les eaux de la nappe qui se forme au dessous du Grand Erg Occidental grâce à l'eau qui s'écoule lentement sous l'Erg dans les anciens cours d'eau en provenance de l'Atlas Saharien (Fig. III.4). Contrairement à la foggara de l'Albien, le débit de la foggara de l'erg reste stationnaire durant toute l'année. Son eau est moins salée et de bonne qualité. Ce type de foggara se localise dans les oasis de Ouled said (Timimoun). Actuellement, il existe une centaine de foggaras, dont moins de 80 sont fonctionnelles. Il est tout a fait difficile de connaître la longueur exacte de ce type de foggara ; les galeries et les puits sont perdus sous les dunes du Grand Erg Occidental. Même les vieux Oasiens n'arrivent pas à localiser le puit mère et même une partie de la galerie. A titre d'exemple, nous avons suivi la seguia principale des foggaras d'Ifli Nbara et Outakou (de débit respectivement égales à 0,8 l/s et 0,3 l/s) en partant de la kasria principale jusqu'à l'erg, nous n'avons pas pu trouver l'origine de départ de ces foggaras.

La foggara de l'erg a ses propres caractéristiques à savoir :

- La longueur ainsi que le nombre de puits sont difficiles à les identifier.
- Difficultés de trouver le puit mère de la foggara vu l'impossibilité d'accéder dans l'Erg.
- Son eau est de bonne qualité
- Son débit est stationnaire dans le temps
- Les kasriates, les seguias et les puits sont couverts par des dalles rocheuses pour les protéger contre l'ensablement
- La galerie est en zézag dans l'erg pour diminuer les pertes de la vitesse de l'écoulement à l'arrivée de la kasria principale.

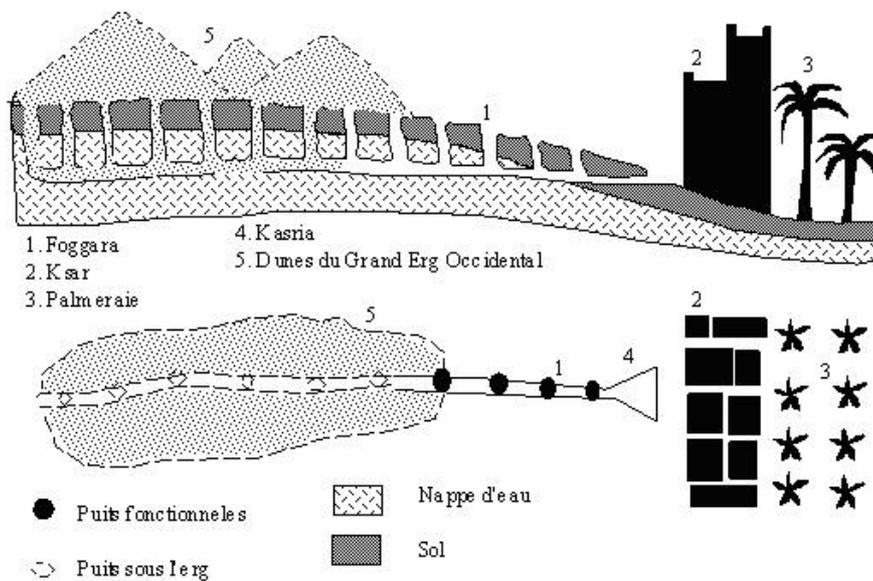


Fig. III.4. Schéma synoptique de la foggara de l'erg

III.2.3. La foggara de Jardin

Ce type de foggara est unique, c'est une particularité du Sahara algérienne. Elle n'a pas été citée par la bibliographie technique. Elle se localise dans les palmeraies de Timimoun. C'est une petite foggara dont la longueur de la galerie ne dépasse pas les 1,5 km. Elle appartient à une seule famille. Elle se localise à l'aval d'une ou de plusieurs grandes foggaras Albiennes (classique) pour capter les eaux de drainage et d'infiltration et d'irrigation en provenance des eaux d'irrigation de la palmeraie et les jardins (Fig. III.5). Même les eaux d'infiltration en provenance des seguias et des madjens de la foggara classique sont récupérées par cette foggara. Ceci prouve qu'il n'y a pas de pertes d'eau, toute l'eau est utilisée.

Quant à la distribution et le partage de l'eau pour ce type de foggara est simple et ne demande aucune mesure ou calcul. Elle n'est même pas équipée par une kasria (peigne), l'eau en provenance de la galerie passe directement dans le réservoir (le Madjen). Une telle foggara est équipée par une petite kasria, équipée par un orifice qui se bouche avec un caillou recouvert d'un tissu et d'argile pour minimiser les fuites (une sorte de vanne).

Pour réussir une bonne opération d'irrigation on obture l'orifice par le caillou jusqu'à le remplissage des madjens dans un délai acceptable.

On a recensé 7 foggaras de ce type qui se localisent dans la région de Timimoun dont la longueur ne dépassant pas 1 km et au maximum 20 puits. Il s'agit des foggaras de Agalou (20 puits), Zahzaa (15 puits), Akraf, Ksar el Kadim1, ksar el kadim2, oukala (abandonnée) et Bouchouk (abandonnée).

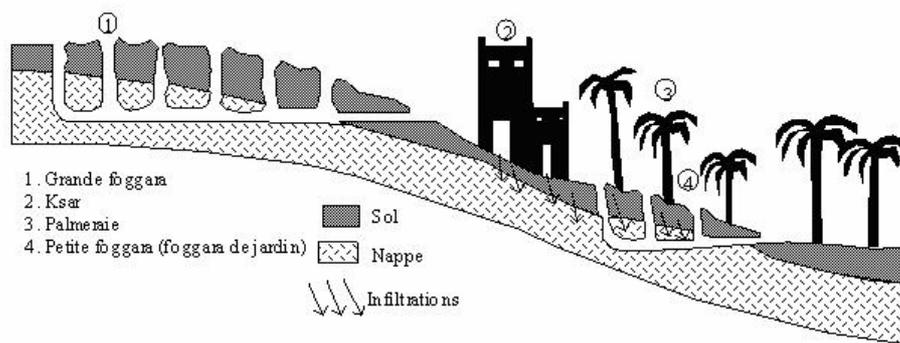


Fig. III.5. Schéma synoptique de la foggara de jardin

III.2.4. La foggara d'El Ain

C'est une foggara qui capte les eaux d'une source naturelle (Fig. III.6). A la différence de la foggara classique, la foggara d'El Ain capte les eaux de source. On a recensé 15 foggaras appelés les « Aayounes » pluriel de « Ain » qui sont répartis entre les oasis de Moghrar (Naama), de Beni Abbes (Bechar), d'Adrar, de Beni Ounif (Bechar) et de Boussemgoune .

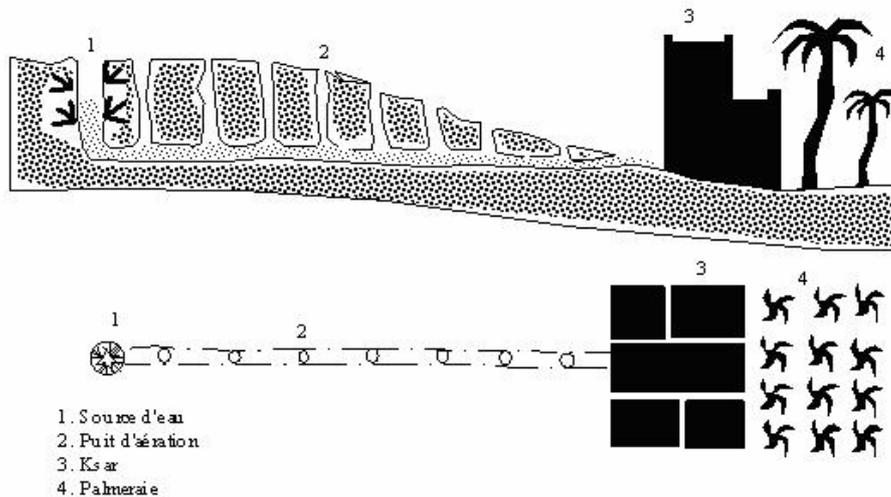


Fig. III.6. Schéma synoptique de la foggara de source

Les oasis d'Adrar sont connues par leurs foggaras de type Albien à l'exception de la foggara de Hennou, qui est une foggara de source. Elle n'est pas alimentée par la nappe du Continental Intercalaire comme les foggaras de l'oasis d'Adrar, mais elle exploite une source d'eau naturelle et pérenne (Oleil J., 1994). La foggara de Hennou reste une particularité de la région. La découverte de la grande source d'eau naturelle dans l'oasis de Beni Abbes a été un événement pour les oasiens qui l'ont relié par une galerie jusqu'à leurs jardins. Malheureusement, cette foggara qui a participé au développement des palmeraies de Beni Abbes se trouve aujourd'hui abandonnée.

Les palmeraies et les jardins de l'oasis de Boussemghoune dans la wilaya d'El Bayadh, sont irriguées par neufs foggaras de source dont l'eau coule toujours, mais le débit a fortement diminué par rapport aux années quatre vingt dix . La source d'eau est reliée par une galerie souterraine qui permet à l'eau d'atteindre le jardin ou le ksar par gravité. Aujourd'hui, Pour ce type de foggara, il existe un seul Madjen collectif, contrairement aux foggaras classiques de types albien ou chaque propriétaire possède son petit Madjen.

Ce type de foggara ressemble à celui du Falj Aini de Sultanat Oman qui draine lui aussi les eaux de source ; c'est pour cette raison qu'il porte le nom Aini (source). L'oasis de Beni Ounif possède deux foggaras de sources qui sont fonctionnelles.

Dans l'oasis de Moghrar (qui possède 2 foggaras), la foggara el Foukania (que nous avons visité), est constituée d'une source d'eau (Ain) représentat le puit de captage et une galerie souterraine d'une centaine de metres légèrement inclinée. Elle diverse en permanence dans le Madjen collectif situé dans la palmerie avant d'atteindre le réseau des seguias qui distribue l'eau dans les jardins.

III.2.5. La foggara de montagne

Ce type de foggara n'est plus en service dans le Sahara Algérien. Les quelques foggaras qu'on a recensées se localisent dans la région de Bechar. La foggara de Djebel est une foggara qui capte son eau à partir d'une nappe phréatique qui se recharge à partir des eaux de ruissellement en provenance des montagnes périphériques (Fig. III.7). Ce type de foggara a beaucoup de similitude avec la Khettara Marocaine, la Qanat iranienne et le Kariz d'Afghanistan. La caractéristique principale de la foggara d'El Ain est la variation de son débit durant l'année. En effet, c'est durant la période des pluies que le débit enregistre les valeurs les plus élevées à cause de la recharge de la nappe phréatique. Suite aux différentes périodes de sécheresses depuis plusieurs années et faute d'entretien, les 03 foggaras de Montagne qu'on a recensé dans l'oasis de Taghit se trouvent actuellement abandonnés. Une des caractéristiques principales de cette foggara est sans aucun doute la variation du débit durant l'année. C'est durant les périodes de pluies que le débit enregistre les valeurs les plus élevées. L'assèchement des foggaras s'effectue en périodes chaudes.

Ce type de foggara se localise au pied de Djebel Marhoma à Beni Abbes. Il est caractérisé par une longueur de la galerie qui ne dépasse pas les 1000 m. Elle est large par rapport aux foggaras de l'Albien

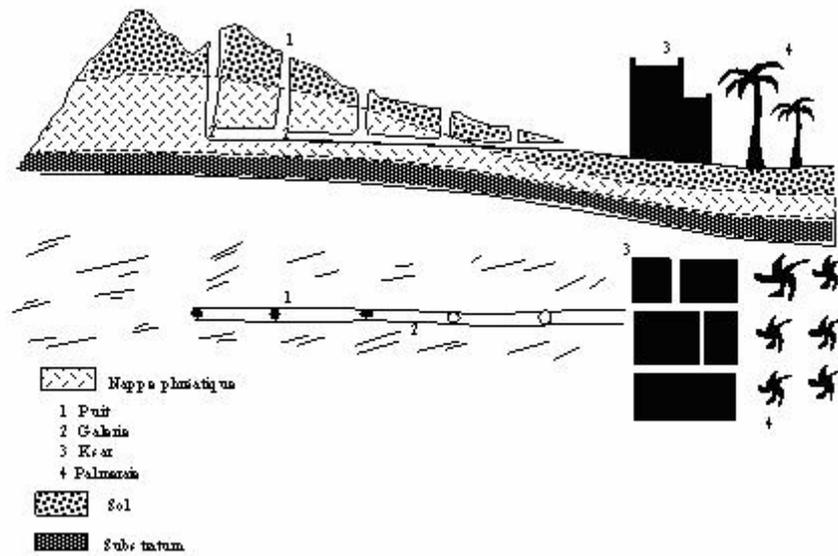


Fig. III.7. Schéma synoptique de la foggara de la montagne

III.2.6. La foggara de l'oued

Ce type de foggara capte les eaux des oueds, elle ressemble au Falj de la Sultanat d'Oman. Elle est creusée dans les sables grossiers des alluvions de l'oued (Fig. III.8). C'est une foggara temporelle qui fonctionne en période humide en captant les eaux de la nappe inféroflux. Aucune foggara de ce type ne fonctionne actuellement, elles sont abandonnées suite à l'effondrement et à l'assèchement des oueds. Ce type de foggara se localise dans les régions de Becher at Tamanrasset.

Pour ce type de foggaras, le puit mère ainsi que les puits d'aération se trouvent dans le lit de l'oued. Les types de sol rencontrés sont généralement argilo limoneux et parfois caillouteux. La longueur de cette foggara peut atteindre 1500 m. Elles sont vulnérables aux crues et à l'ensablement. Ce type de foggara se localise dans les oasis de Lahmar. Les puits d'aération sont couverts par les alluvions d'El Oued.

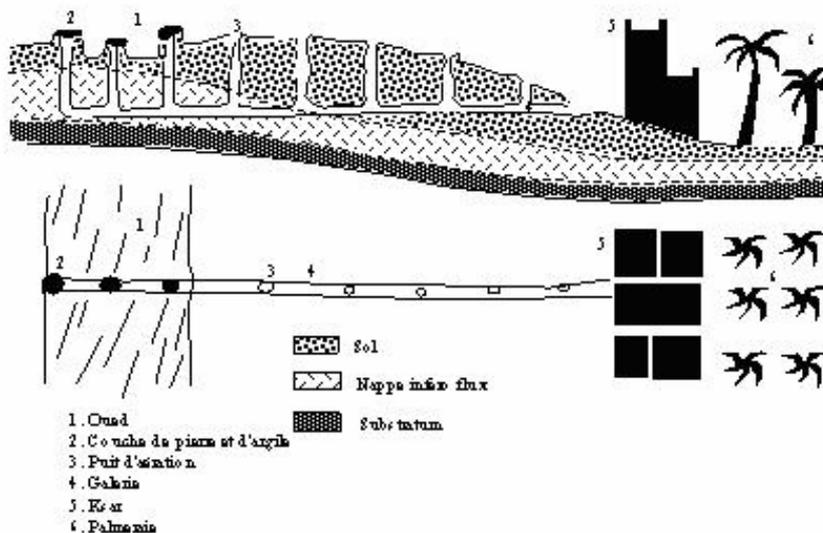


Fig. III.8. Schéma synoptique de la foggara de s oueds

III.2.7. La foggara des crues

C'est une foggara particulière, elle est unique en Algérie. Localisée dans la vallée de Mزاب dans l'oasis de Ghradaia. Cette technique est destinée à récupérer les eaux de crues, qui une fois collectées au niveau de la retenue appelée (Bouchene), l'eau est canalisée par les galeries de longueurs de 200 m environ qui sont équipées par une dizaine de puits d'aération (Fig. III.9). L'eau se dirige directement dans les seguias qui alimentent les jardins, le surplus de la crue sera récupéré à l'aval dans une retenue appelée Ahabass pour réalimenter la nappe. Cette foggara est équipée de 4 galeries.

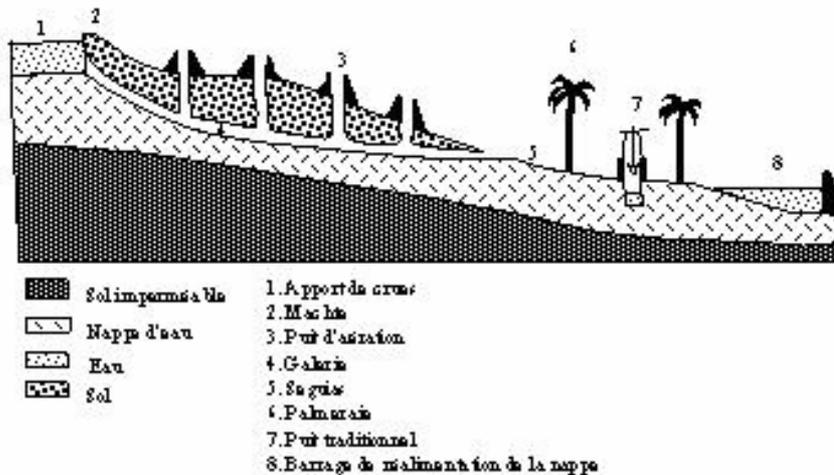


Fig. III.9. Schéma synoptique de la foggara de crues

III.3. Le partage et la distribution de l'eau d'une foggara

Une fois l'eau arrive au niveau des jardins, son partage s'effectue selon deux méthodes ; volumique et horaire.

III.3.1. La méthode volumique

Chaque copropriétaire est destinataire d'un volume d'eau déterminé en fonction de sa contribution à l'entretien et à la maintenance de la foggara. Cette répartition est assurée par les kasriates (pluriel d'une kasria). Le réseau de distribution est équipé d'un nombre de kasriates qui est proportionnel au nombre d'abonnés. Les kasriates sont disposées en forme d'une pyramide. A partir de la kasria lakbira (principale) ; une sorte d'un bassin triangulaire muni d'un répartiteur (peigne) qui reçoit la totalité de l'eau de la foggara et répartir le débit en trois, quatre et même cinq rigoles (seguias). A partir de la kasria principale, les seguias vont en éventail dans tous les sens. Au bout de ses seguias, d'autres kasriates secondaires repartissent l'eau puis d'autres prennent naissance et ainsi de suite qui s'achèvent par d'autres kasriates et ainsi de suite jusqu'aux Guemouns (les jardins).

Ce type de partage est le plus répandu en Algérie. Dans toutes les oasis à foggara Albienne, le partage de l'eau s'effectue par la méthode volumique.

III.3.2. La méthode horaire

Cette méthode de partage de l'eau se base sur l'unité de temps. Les foggaras des sources, des montagnes et des oueds, le partage de l'eau s'effectue par le procédé horaire appelé « Nouba », c'est-à-dire tour à tour. Il est défini comme étant la durée de temps suffisante pour irriguer complètement le jardin. Le partage des eaux des Khettars de Tafilalet (Maroc) et des Qanats (Iran) s'effectue selon le mode de la « nouba ». En Algérie, le partage de l'eau par unité de temps s'effectue actuellement pour les eaux des deux foggaras de Moghrar (Naama) qui fonctionne de la même façon que celles des Khettaras Marocaines. La répartition de l'eau entre les copropriétaires se déroule tour à tour.

Dans la région d'Adrar, les eaux de la foggara de Hanou qui est une foggara horaire s'effectue tour à tour. Il n'y a pas de kasriates comme les autres foggaras avoisinantes. Des seguias relativement importantes qui partent directement d'un grand Madjen (réservoir). La foggara est obstruée une à deux fois le jour pour permettre de reconstituer le niveau requis, puis libérée pour un temps donné, proportionnel à la contribution versée par le bénéficiaire (Oleil J., 1994).

III.4. Répartition des foggaras dans le Sahara Algérien

Aujourd'hui, personne ne peut affirmer le nombre exact de foggaras fonctionnelles en Algérie. Cependant pour cette première étude de prospection sur le terrain, nous avons pu estimer les foggaras fonctionnelles à environ 930, classés selon 7 types qui se localisent autour du Grand Erg Occidental (tableau III.1 et Fig. III.10). Ce chiffre reste approximatif pour des raisons techniques ; des foggaras abandonnées annuellement, d'autres réhabilitées, soit par des agriculteurs soit les services locaux. Pour les foggaras de l'erg, il est impossible de donner un chiffre exact, puisque plusieurs foggaras sont sous le sable du Grand Erg Occidental. Nous avons trouvé des traces des foggaras dans certaines régions mais il était difficile d'estimer leur nombre.

Tableau III.1. Caractéristiques des foggaras du Sahara

Types de la foggara	Nombre de foggara	Source de captage	Mode de partage	Nom de la foggara ou de l'oasis	Etat de la foggara
Foggara de l'Albien	1300	Nappe du Continental Intercalaire	Volumique	Oasis d'Adrar, de Timimoun et Ain Salah t	820 fonctionnelles sur un total de 1300 foggaras
Foggara de l'erg	100	Nappe du Grand Erg Occidental	Volumique	Oasis de Kali et ouled Said (Timimoun)	80 fonctionnelles
	05		Volumique	Oasis de Tabalbala	05 abandonnées
Foggara de jardin	06	Les eux de drainage et d'infiltration	Foggara personnelle	Oasis de Timimoun	02 fonctionnelles
Foggara de source	02	Eau de source	Horaire	Oasis de Moghrar (Naama)	fonctionnelles
	01	Eau de source	Horaire	Foggara de Hanou (Adrar)	fonctionnelle
	02	Eau de source	Horaire	L'oasis de Beni Ounif (Bechar)	fonctionnelle
	09	Eau de source	Horaire	Oasis de Boussemghoune (El Bayadh)	fonctionnelle
	60	Eau de source	Horaire	Oasis de Beni Abbes (Bechar)	10 Fonctionnelle
Foggara des oueds	02	Eau de la nappe inferoflux et les eaux de surface	Horaire	Oasis Lahmar (Bechar)	02 Foggaras abandonnées
	10		Horaire	Oasis Beni Abbes (Bechar)	06 fonctionnelles
Foggara des Montagne	12	Eau de la nappe phréatique	Horaire	Oasis Ouakda (Bechar)	Foggaras abandonnées
	10		Horaire	Oasis Taghit (Bechar)	
	02		Horaire	Oasis Lahmar (Bechar)	
Foggara des crues	01	Eau des crues	volumique	L'oasis de Ghardaia	01 foggara fonctionnelle

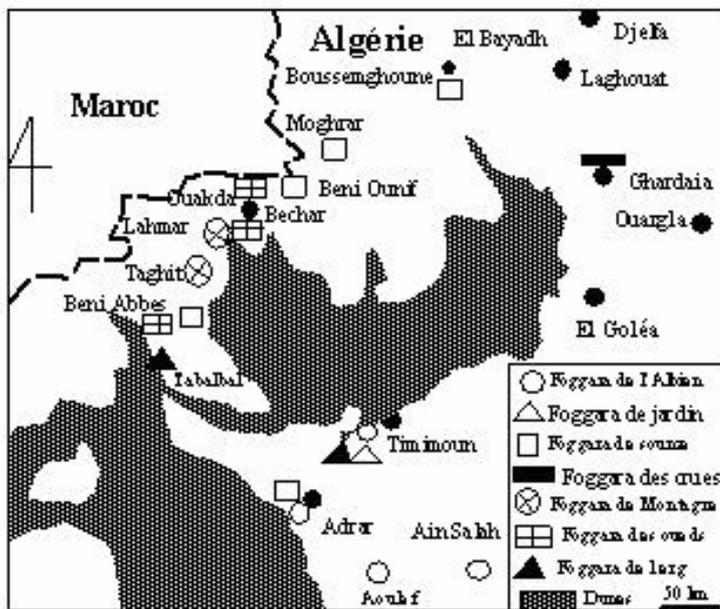


Fig. III.10. Répartition des foggaras autour du Grand Erg Occidental

Conclusion

La technique de captage et de distribution de l'eau connue par les galeries drainantes avec différentes appellations (foggara, Kariz, Qanat Khattara) est pratiquée dans plusieurs pays arides et semi arides depuis plusieurs siècles. Cependant, malgré leur point commun qui est la galerie horizontale, cette technique présente des différences au niveau de la source de captage et le mode de partage des eaux entre les copropriétaires selon les pays. L'originalité de cette étude réside que ce procédé hydraulique existe dans les oasis algériennes sous toutes ses formes, il est connu par le nom de la foggara. Sept type de foggaras ont été inventorié dans le Sahara Algérien. Si les foggaras des sources, des montagnes et des oueds ressemblent bien aux Aflajs de la Sultanat Oman, Khattara du Maroc et les Qanats iraniennes, cependant les foggaras de l'Albien, de jardin, de l'erg et des crues sont des techniques propres aux oasis du Sahara algérien.

Localement, si la foggara de l'Albien est le procédé le plus répandu, avec un nombre de 890 foggaras fonctionnelles sur les 1400 inventoriés, la foggara des crues est l'unique au monde avec toutes ses particularités ; notamment les modes de fonctionnement et la distribution de l'eau. La Foggara de jardin est un modèle de la gestion rationnelle de l'eau dans une région aride. Au nombre de 06, la foggara de jardin creusée à l'aval des grandes foggaras de l'Albien dans quelques oasis de Timimoun, capte uniquement les eaux d'infiltration et de drainage des eaux d'irrigation en provenance des jardins amont.

La foggara de l'erg que seuls les quelques vieux oasiens de la région de Timimoun connaissent le secret de sa naissance au milieu des immenses dunes de sables du Grand Erg Occidental. Si aujourd'hui l'eau coule dans ces foggaras c'est grâce à l'ingéniosité des oasiens malgré leurs moyens rudimentaires ont su capter les eaux cachées au dessous du Grand Erg Occidental qu'aujourd'hui cette nappe n'a pas été quantifiée.

Chapitre IV

LA FOGGARA DE L'ALBIEN

Introduction

Dans les régions hyper aride du Sahara comme le Touat et le Gourara, où les précipitations sont au dessous de 15 mm/an. Ce sont donc les eaux des nappes souterraines qui constituent la ressource hydrique des oasis de Touat et de Gourara. Les oasiens ont développé des techniques hydrauliques d'acquisition des eaux souterraines appelées foggaras.

La foggara est une technique universelle, qui existe dans plus de 35 pays de la planète (Hofman A., 2007, Abdin S., 2006). Elle est connue sous différentes appellations : la qanât en Iran, la khattara au Maroc, le falj au Sultanat d'Oman, la kriga en Tunisie et le kariz au Pakistan et en Afghanistan. Même s'il existe encore des doutes sur son origine, plusieurs auteurs donnent le nord ouest du plateau Iranien comme étant le lieu de sa naissance depuis plus de 3000 ans (Hussain I. et al, 2008, Kazemi GA., 2004, Wulf H.E., 1968.). La foggara qui présente des similitudes avec la qanat iranienne, la khattara marocaine et le falaj d'Oman a été amélioré et adaptée aux conditions locales de la région.

Grâce à l'ingéniosité et à la compétence de l'oasien, la foggara a connu un développement extraordinaire notamment au niveau du réseau de distribution. Pour cela, les oasiens se sont largement inspirés de l'observation de leur milieu naturel. Ils utilisaient la topographie et l'hydrogéologie à leur avantage sans endommager l'environnement. Par un travail acharné, ils ont pu fertiliser en leur faveur un milieu aride et contribuer au développement d'un écosystème agricole.

Dans la présente étude on examinera les particularités et les caractéristiques de la foggara de l'Albien, qui a été creusé dans les oasis de Touat et Gourara à la périphérie du plateau de Tadmaït depuis plus de 10 siècles.

IV.1. Région d'étude et données utilisées

Nos investigations portent sur les foggaras de l'Albien situées dans les oasis de Touat et Gourara à environ 1000 km au sud ouest d'Alger (Fig. IV.1). Trois missions ont été effectuées dans ces oasis en 2007, 2008 et en 2010. Des enquêtes ont été effectuées auprès de la population ksourienne pour avoir des informations sur les originalités d'un tel ouvrage. Pour mieux exploiter nos résultats, nous avons utilisé les données du dernier inventaire des foggaras effectué par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques entre 1998 et 2001.

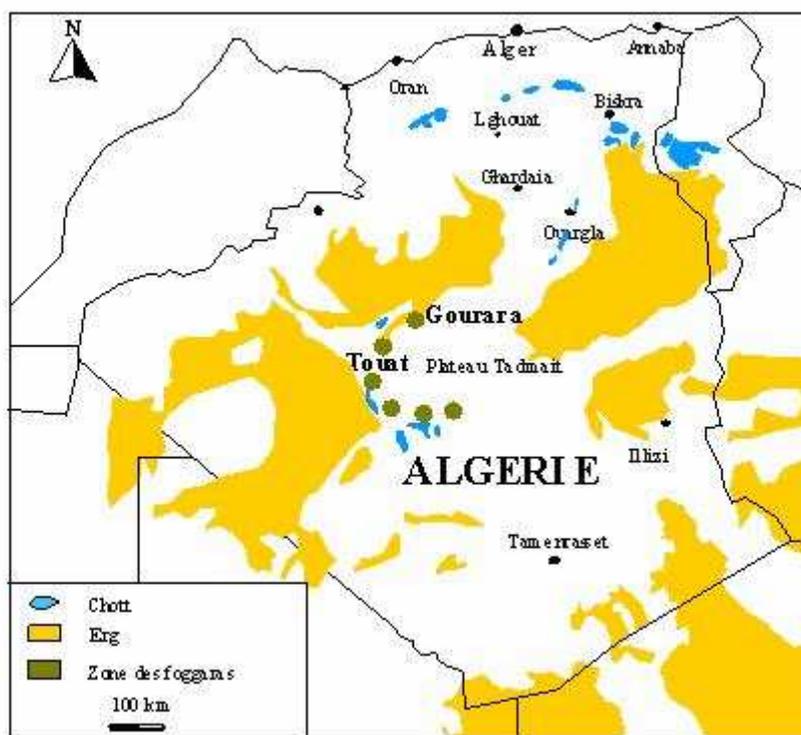


Fig. IV.1. Situation de la zone des foggaras de l'Albien

IV.2. Résultats et discussions

IV.2.1. Définition de la foggara

La foggara est une galerie légèrement inclinée équipée d'une multitude de puits d'aération qui draine l'eau de l'aquifère amont vers les terrains les plus secs situés en aval, en direction du ksar, la palmeraie et enfin la sebkha. Les puits d'aération ont une profondeur moyenne de 14 m, un diamètre moyen de 90 cm et une distance moyenne de 13 m comme intervalle entre deux puits (Fig. IV.2)

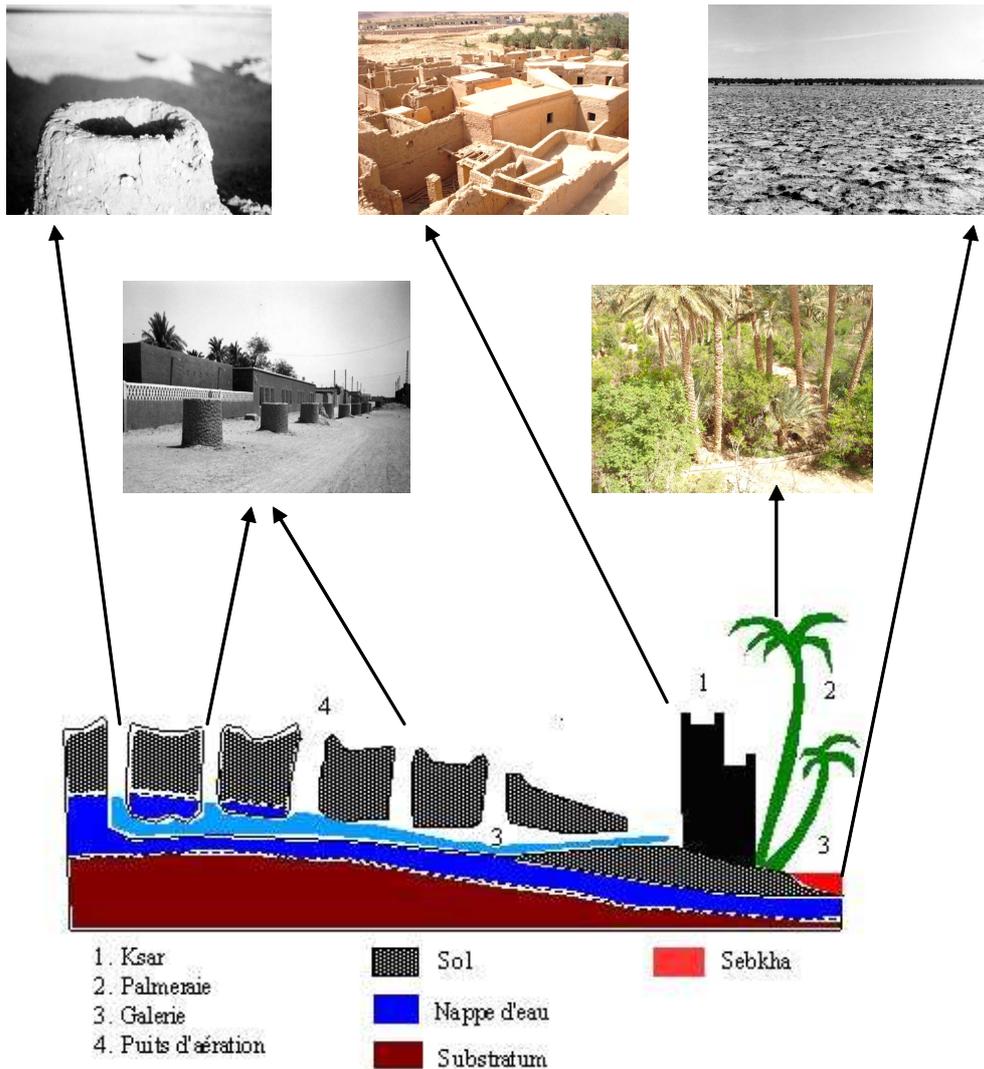


Fig. IV.2. Schéma synoptique d'une foggara de l'Albien

IV.2.2. Creusement de la foggara de l'Albien

a) Moyens matériels et humains mis à la disposition du projet

La réalisation d'une foggara est considérée comme un mégaprojet basé sur une étude sérieuse sans la moindre erreur. C'est un investissement colossal qui demande plusieurs années de travail acharné. Selon Arrus R. (1985), le creusement d'une foggara de 4 km de longueur avec une profondeur moyenne de 12 m demande environ 4800 journées de travail, soit plus de 130 années. Lors de la réalisation d'un tel projet une organisation minutieuse sera suivie dès le début du projet jusqu'à la finalisation des travaux.

Des moyens matériels et humains sont utilisés pour mener à terme les différentes étapes du projet. Parmi les moyens matériels pour la réalisation de la foggara dans la région de Touat et Gourara, on peut citer :

- des couffins (fabriqués par les palmes)
- Plusieurs mètres de corde
- Des pioches
- Des poulies (en bois)

- Des Quinquets ou des bougies
- Des animaux (généralement les ânes et les chameaux) pour le transport.

Avec ces moyens rudimentaires, plus de 1200 foggaras ont été creusés dans les oasis de Touat et Gourara depuis plus de 10 siècles. Des millions de tonnes de terres du sous-sol ont été excavés. Le tableau IV.1, donne une idée sur le tonnage des terres excavées lors du creusement de quelques foggaras.

Tableau IV.1. Tonnage des terres excavées de quelques foggaras de Touat et Gourara

Nom de la foggara	Longueur (km)	Nombre de puits	Profondeur moyenne des puits (m)	Superficie des jardins (hectares)	Masse des terres excavées (tonne)
Sidi Abdallah (Cheraouine)	10	366	7	300	30000
Massina Tahtania (Cheraouine)	3	45	4	20	3500
Ouled Main (Timimoun)	7	250	28	12	10000
Amradj (Deldoul)	12	120	10	220	12500

Quant aux moyen humains une hiérarchie de travail de la foggara a été organisée comme suit :

- El Ouakaf est le premier responsable du projet de la réalisation de la foggara début jusqu'à la fin des travaux. Les propriétaires de la foggara peuvent le remplacer au cours de la réalisation du projet. C'est à lui de donner la décision du début ou l'arrêt du projet en cas de problèmes, comme les accidents de travail, les vents de sable et les intempéries.
- El Khabir (l'expert), il est le pilier du projet, il maîtrisait la topographie et l'hydrogéologie de la région. C'est lui qui détermine le lieu exact du creusement du premier puit (le puit mère), l'itinéraire, la sortie et la pente de la galerie. Il peut même estimer la profondeur de la nappe d'eau. Tout ce savoir faire n'est pas donné à toute la population oasienne. El Khabir est la personne qui ne chaume pas et travaille dans plusieurs foggaras à la fois. Son salaire est le plus élevé par rapport aux autres ouvriers.
- El Kerar est chargé de contrôler et de surveiller les ouvriers et l'avancement des travaux.
- El Nezal s'occupe du creusement des puits et de la galerie,
- El Djebbad s'occupe de la remonter des débris du fond des puits jusqu'à la surface du sol en utilisant la corde et la poulie.

Généralement l'équipe du projet est composée d'une dizaine de personnes ou plus. Il s'agit d'un Ouakaf, un khabir, deux à trois El kerrar, et quatre El Djebbad.

Vu le travail colossal, les efforts dépensés par les ouvriers et les difficultés du climat, le volume hebdomadaire du travail est de 28 h/semaine, soit 4h/jour de 06 h à 10 h du matin.

b) Les étapes de la réalisation de la foggara

Dans le Touat et le Gourara, les premières oasis ont été créées sur la base de l'acquisition de l'eau des nappes par les puits artésiens et les puits traditionnels (Fig. IV.3.a). Avec l'extension des palmeraies et la création d'autres oasis, le niveau d'eau a fortement baissé, ce qui a

amener les oasiens à procéder au creusement des foggaras pour régler définitivement le problème des pénuries d'eau.

La création d'une foggara est conditionnée par l'élévation de la cote de la nappe par rapport à celle des jardins à irriguer. Cette condition est généralement remplie quand une région plate est drainée par un système de dépression (sebkha) qui provoque un rabattement important de la nappe. C'est le cas de la région du Touat, du Gourrara. La direction de l'écoulement des foggaras dépend de la topographie de la région; elle est toujours parallèle à la direction de l'écoulement de la nappe.

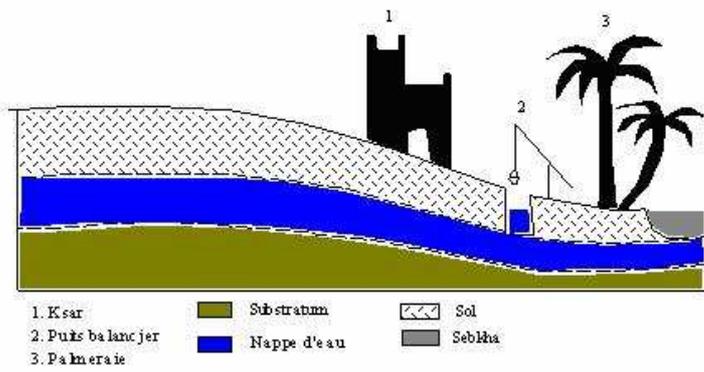
Avant la réalisation d'une foggara, on procède au creusement du premier puit au niveau d'un point élevé, qui sera déterminé après s'être assuré de la présence d'eau souterraine (Fig. IV.3 b).

Pour des raisons techniques (pour éviter les écoulements des eaux souterraines) tout comme la qanat iranienne, le creusement de la foggara débute de l'aval à l'amont (de la sortie de la galerie vers le puit mère).

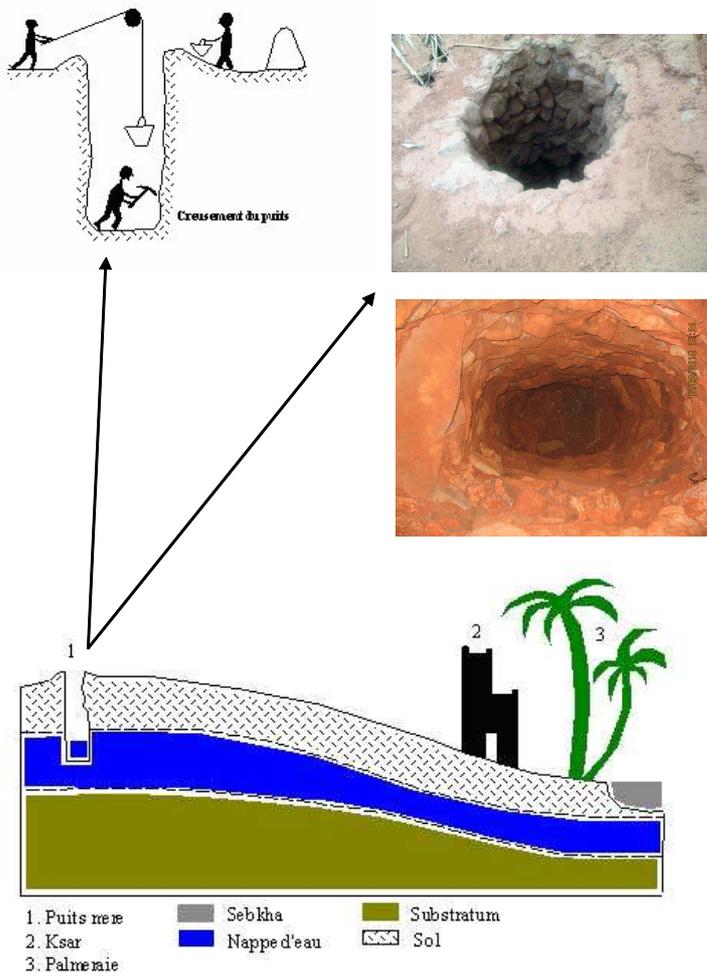
Au début, pour des foggars qui ont un niveau convenable à la surface à irriguer, on procède au creusement d'un canal à ciel ouvert (segua). Cette partie se trouve entre le premier puits de la foggara et la kasria principale, elle s'appelle : Aghrissou. Elle peut être couverte par des pierres plates ou laissée à l'aire libre dans des régions où il n'y a pas de risque d'ensablement. Dès que la profondeur devient importante, on procède au creusement du premier tronçon de la galerie (Fig. IV.3 c). Par contre il existe des foggaras dont la longueur d'Aghrissou est faible, c'est-à-dire la kasria est installée juste à la sortie de la galerie (Fig. IV.3d). Les premier et deuxième puits creusés, leurs fonds seront reliés par un tunnel (Fig. IV.3e et IV.3f). Contrairement aux iraniens qui creusent simultanément le puit et le tunnel (Fig. IV.4) (Cristini A. et Langlais S., 2004) les oasiens de Touat et Gourrara creusent d'abord deux puits pour ensuite entamer le creusement du tunnel. Il sera exécuté par deux Nezzal, l'un à l'amont et l'autre à l'aval. Le tunnel sera achevé une fois les deux El Nezzal se rencontreront au milieu du tunnel (Fig. IV.3g)

Le drainage prend de l'importance au fur et à mesure que la foggara pénètre dans les hauteurs et la nappe. Au début du creusement, le canal ne dépasse pas à l'intérieur un mètre de hauteur et 0,5 mètre de largeur. Ces dimensions réduites n'ont d'autres utilités que d'éviter un poids important de terre à tirer péniblement pour le mettre à la surface. Mais petit à petit, le canal finit par voir son plafond s'éloigner de la surface de l'eau. Une fois le troisième puit creusé, on procède au creusement du troisième tunnel et ainsi de suite jusqu'à la finalisation de la foggara (Fig. IV.3h). Une fois le débit de la foggara sera jugé appréciable par les propriétaires de la foggara, le projet sera achevé.

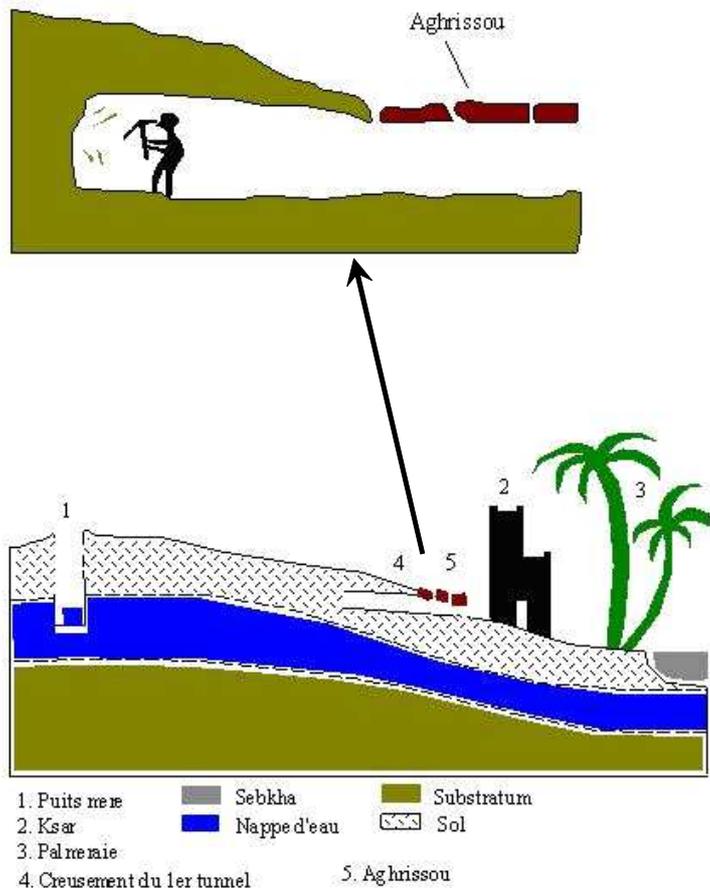
Notons enfin qu'en plus de son entretien périodique, la foggara est un ouvrage en net évolution ; il est appelé à grandir à chaque fois qu'il y a un déficit d'eau (du à l'extension de la palmeraie par exemple). La foggara est une entreprise créatrice d'emplois que ce soit lors de sa réalisation ou lors de son exploitation.



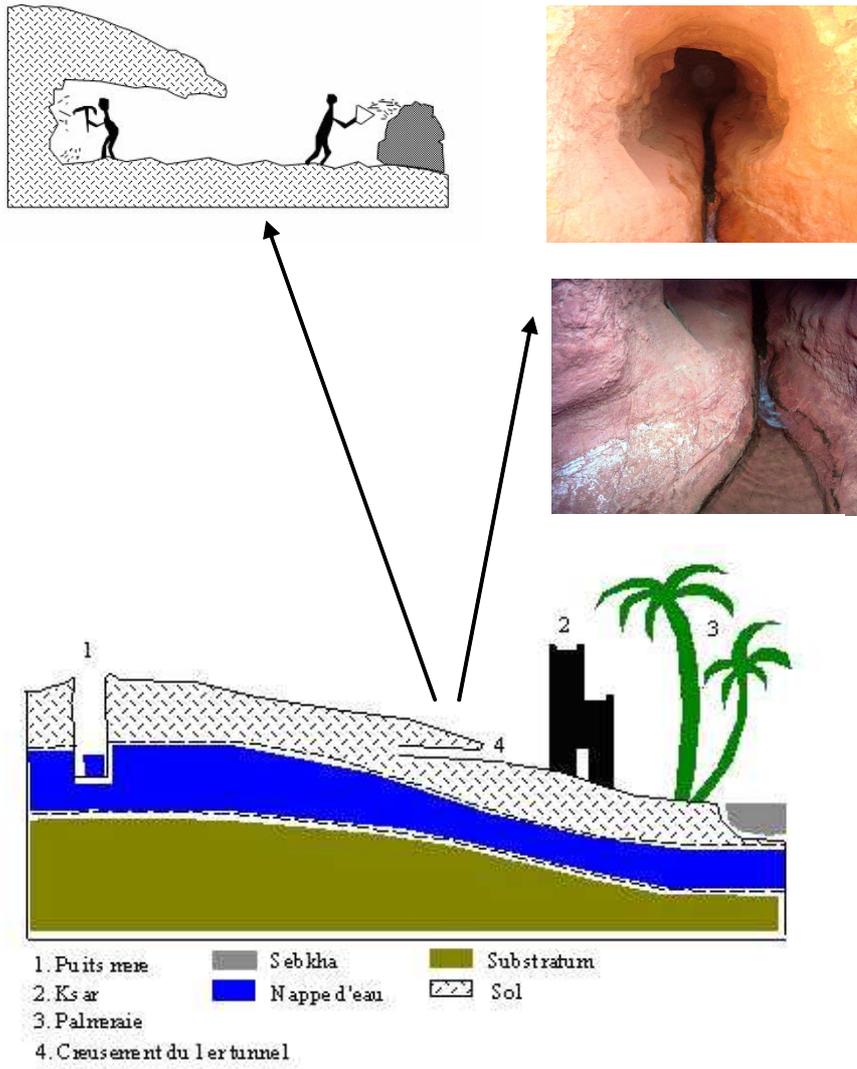
a) Nappe exploitée au début uniquement par des puits traditionnels



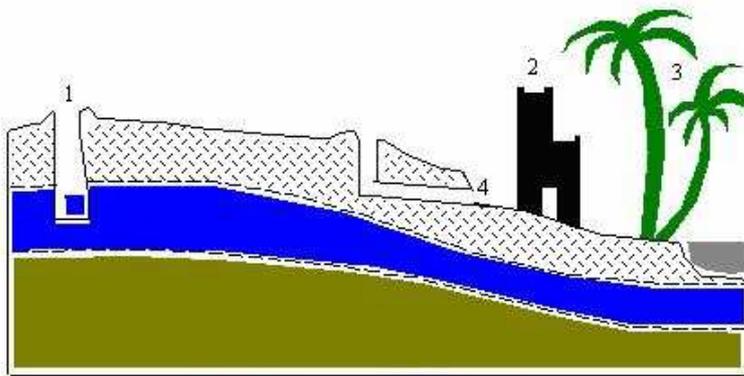
b) Creusement du puit mère



c) Construction d'un Aghrissou

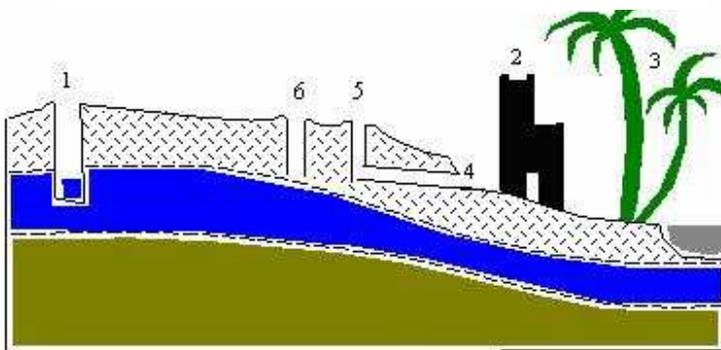


d) Creusement du premier tunnel



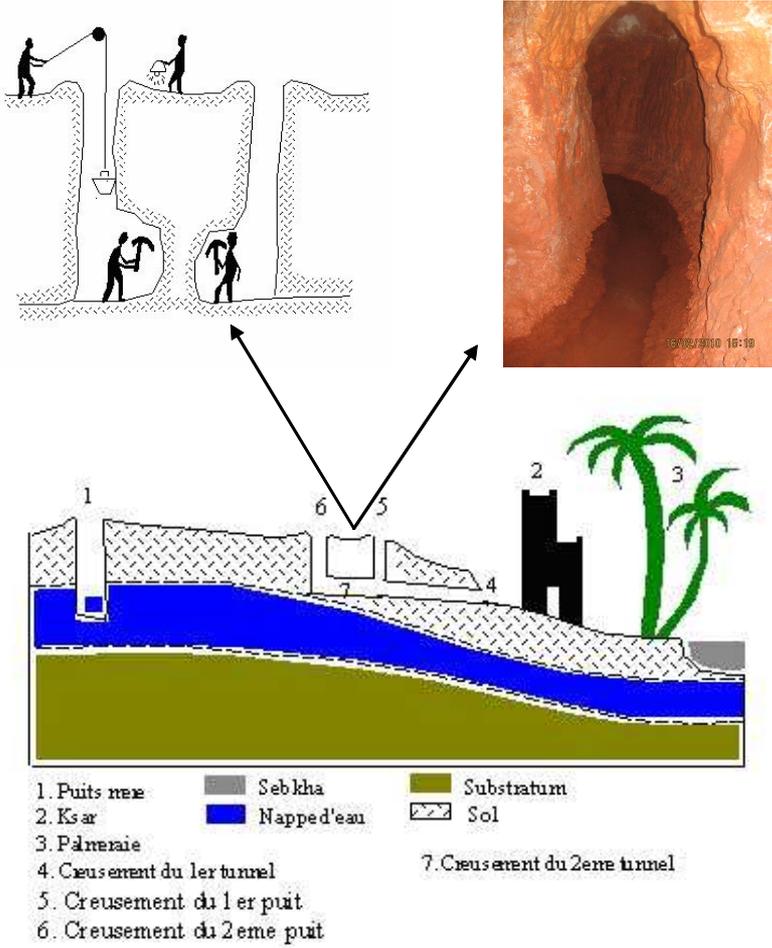
- | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|
| 1. Puits mère | Sebkha | Substratum |
| 2. Ksar | Nappe d'eau | Sol |
| 3. Palmeraie | | |
| 4. Creusement du 1er tunnel | | |

e) Creusement du premier puit d'aération

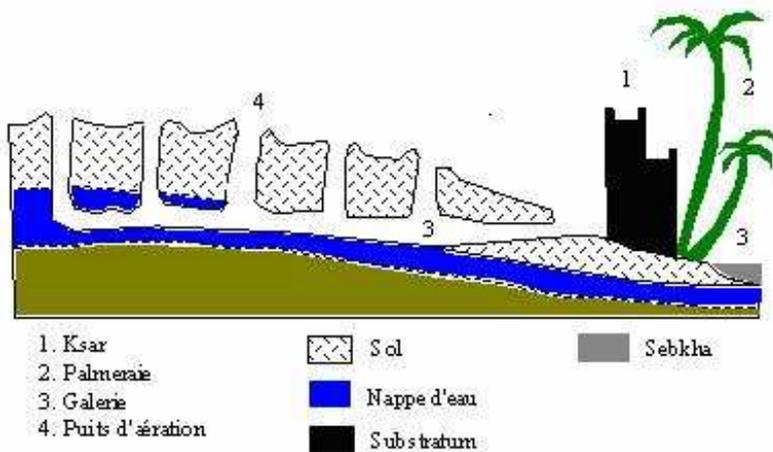


- | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|
| 1. Puits mère | Sebkha | Substratum |
| 2. Ksar | Nappe d'eau | Sol |
| 3. Palmeraie | | |
| 4. Creusement du 1er tunnel | | |
| 5. Creusement du 1er puit | | |
| 6. Creusement du 2eme puit | | |

f) Creusement du deuxième puit d'aération



g) Creusement du deuxième tunnel



h) Finalisation de la foggara

Fig. IV.3. Schéma simplifié des différentes étapes de la réalisation d'une foggara

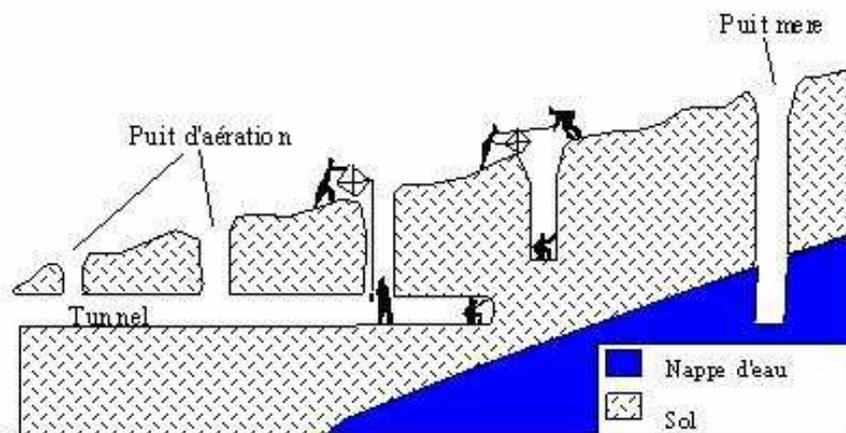


Fig. IV.4. Creusement d'une qanât dans le nord Iranien (Cristini A. et Langlais S., 2004)

IV.2.3. L'originalité de la foggara de l'Albien

La foggara de l'Albien est la plus répandue dans les oasis de Touat et de Gourara. Sur les 903 foggaras inventoriés par l'agence nationale des ressources hydriques entre 1998 et 2001, on dénombre dans les régions de Touat et Gourara environ 820 foggaras de l'Albien en service, dont le débit avoisine $2.8 \text{ m}^3/\text{s}$ pour une longueur totale de 2000 km. Ces foggaras ont été creusées dans les couches de grés du Continental Intercalaire qui pénètrent dans la partie supérieure de la nappe située sur la périphérie du plateau de Tadmaït (le château d'eau des foggaras) pour assurer un écoulement gravitaire vers les jardins.(Fig. IV.5).

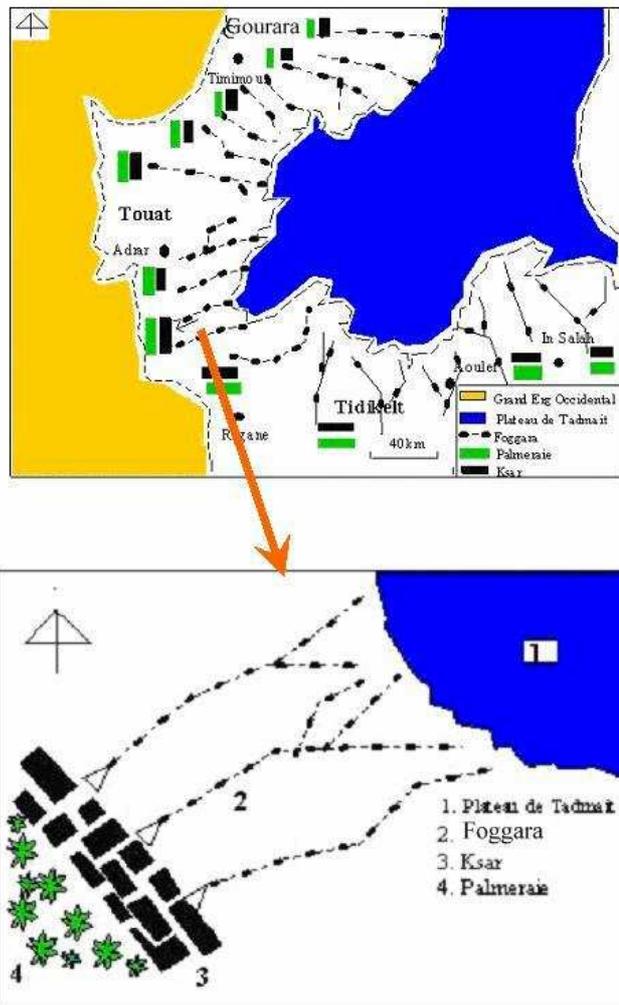


Fig. IV.5. Plateau de Tadmaït : véritable château d'eau des foggaras de l'Albien

Contrairement à la khattara marocaine ou la qanat iranienne qui exploitent la nappe phréatique, la foggara de l'Albien capte les eaux de la nappe du Continental Intercalaire (Albien) (fig. 6). C'est pour cette raison qu'on a préféré l'appellation « foggara de l'Albien ». Cette nappe appartient au système aquifère du Sahara Septentrional (SASS) qui désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes : la nappe du Continental Intercalaire (qui est la plus étendue et la plus profonde) et celle du Complexe Terminal. Le SASS couvre une superficie de plus de 1 million de km², dont 700000 km² se trouvent en Algérie, 80000 km² en Tunisie et 250000 km² en Libye (Larbes A., 2003, Abdous B. et al, 2005).

Le principe de captage et de drainage de la foggara de l'Albien présente des similitudes avec celui de la khattara ou de la qanat : il est basé sur une galerie souterraine équipée d'un nombre assez important de puits qui jouent le rôle d'aération et dont le nombre varie d'une foggara à l'autre. Par contre, la distribution de l'eau est différente, celle de la foggara de l'Albien est basée sur la méthode volumétrique.

L'irrigation des jardins s'effectue en même moment. On parle de l'irrigation en parallèle (fig. IV. 6 a). Contrairement à la khattara marocaine, la répartition de l'eau est soumise à la méthode temporaire. Dans ce cas, l'irrigation s'effectue tour à tour (nouba) c'est-à-dire, jardin après jardin. On parle de l'irrigation en série (fig. IV. 6b). La kasria (peigne répartiteur) est la

pièce maîtresse de la méthode volumétrique. A l'arrivée de l'eau à la surface du sol, elle sera répartit d'une façon équitable entre les propriétaires en fonction de leur contribution.

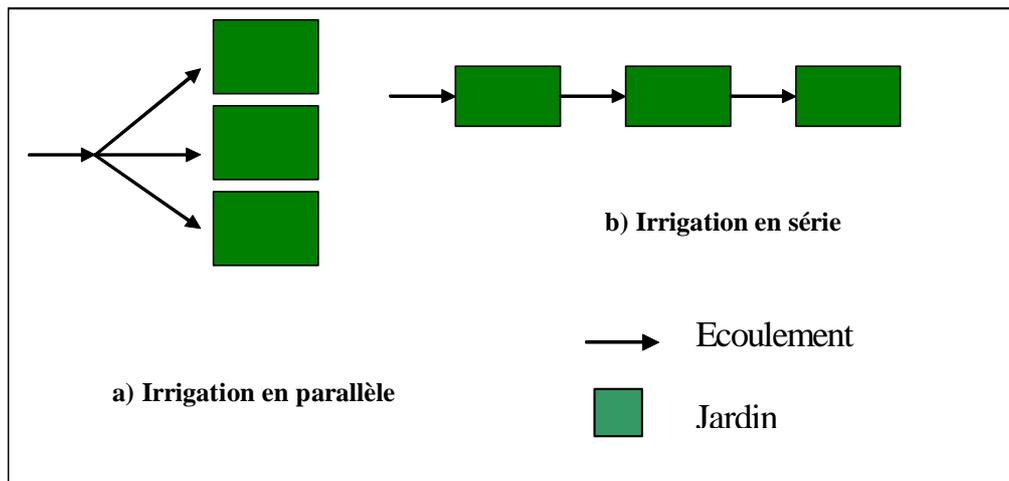


Fig. IV.6. Deux types d'irrigation

Cependant pour des problèmes d'effondrement de galeries et de tarissement de la nappe, le nombre de foggaras de l'Albien ne cesse de diminuer chaque année. L'effondrement des galeries est provoqué généralement par des crues, l'extension des villes et la circulation des véhicules. Les inondations de 2004 qui ont frappé la région ont provoqué l'effondrement de plusieurs tronçons de galerie, comme le cas de la foggara d'Amokrane qui a été asséché. La foggara d'El Meghier, la plus grande de Timimoun capte son eau de la nappe du Continental Intercalaire. D'une longueur de 11 km, contient 600 puits d'aération, son débit a atteint la valeur de 50 l/s durant les années soixante. Plus de 200 familles vivaient de cette foggara et une palmeraie d'une superficie de 80 hectares est irriguée quotidiennement (Remini B. et Achour B., 2008). Aujourd'hui, a cause de l'effondrement des galeries, son débit ne dépasse pas les 3l/s.

Faute de la forte exploitation de la nappe du Continental Intercalaire depuis une trentaine d'années, le tarissement de plusieurs foggaras a été signalé dans l'ensemble des oasis de Touat et de Gourara (fig. IV.7).

Aujourd'hui, le SASS est exploité par près de 8800 points d'eau; forages, foggaras et sources répartis entre les 03 pays (l'Algérie : 6600, la Tunisie : 1200 et la Libye : 11000). Soit un débit total exploité égal à 2,2 milliards de m³/an : 1,33 milliards de m³/an en Algérie, 0,55 milliards de m³/an en Tunisie et 0,33 milliards de m³/an en Libye (Abdous B., 2005 et Remini B., 2007). Cette forte consommation d'eau par les 3 pays a provoqué une baisse sensible du niveau de la nappe et par conséquent la diminution des débits des foggaras dans le temps.

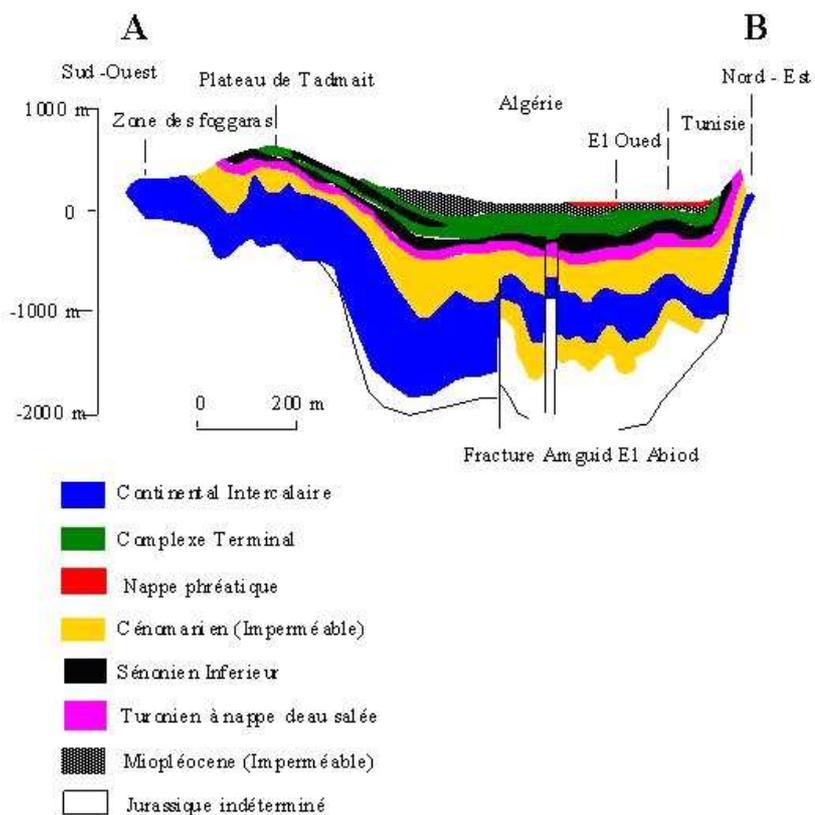
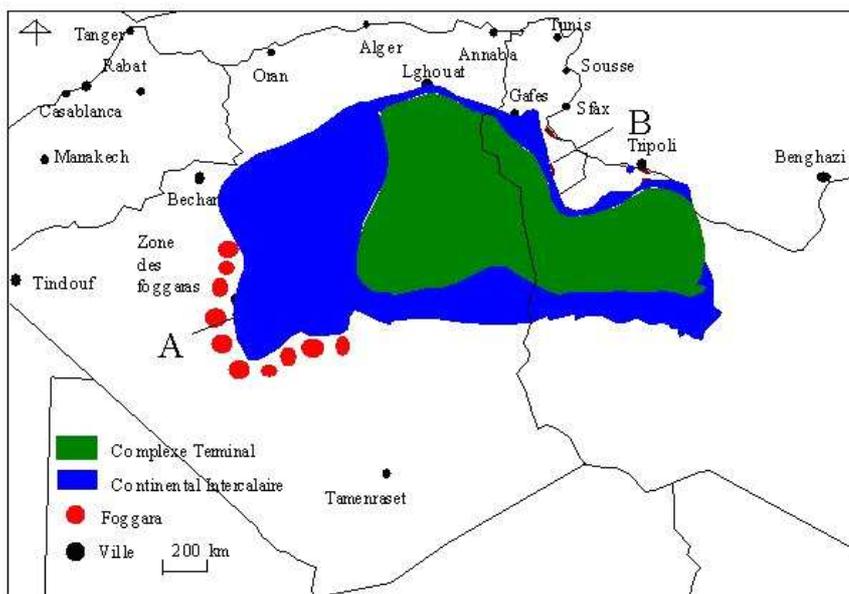


Fig. IV.7. Nappe Continental Intercalaire : source de la foggara de l'Albien (source Unesco 1972 in Castany G., 1985 modifiée par l'auteur)

IV.2.4. Les fonctions de la foggara de l'Albien

Il est intéressant de signaler que la foggara ne se gère pas comme un forage d'eau ou un barrage, la foggara ne s'arrête pas à la fonction technique, mais une organisation sociale s'est établit en adéquation étroite avec le système technique.

La foggara ne s'arrête pas à la fonction technique de captage des eaux, mais une organisation socio économique et environnementale s'est établit en adéquation étroite avec le système technique durant dix siècles. On parle plutôt de la société « foggara » comme le montre la figure IV. 8.

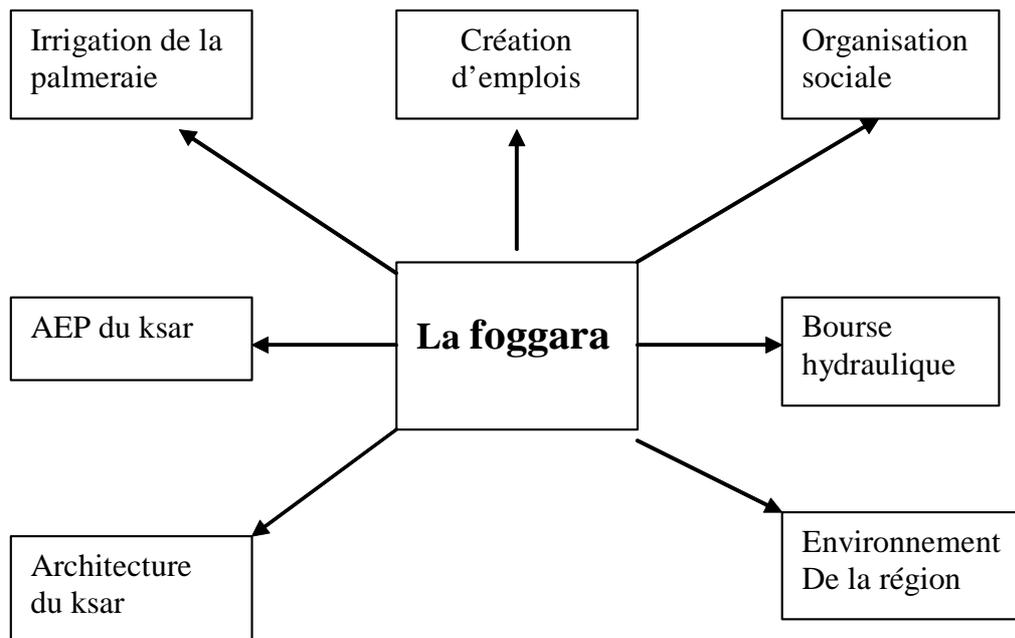


Fig. IV.8. Les fonctions de la foggara de l'Albien

a) La foggara irrigue la palmeraie

La rareté de l'eau dans une région hyper aride comme celle de Touat et Gourara, a permis à l'oasien de connaître mieux la valeur de l'eau. Pour maîtriser la répartition de l'eau entre les familles, l'oasien a adopté au cours des siècles une discipline rigoureuse pour le contrôle de l'eau. Chacun reçoit sa part d'eau en fonction de sa contribution.

La foggara grâce à la pente de la galerie, l'eau arrive à la palmeraie qui sera repartit entre les propriétaires grâce à la kasria. Ensuite les seguias assurent le transport de l'eau jusqu'au madjens ou elle sera stockée pour ensuite irriguer les guemouns (fig. IV.9). Offrant ainsi une diversité de fruits et légumes permettant ainsi une autosuffisance alimentaire pour la population du ksar et même d'apporter des gains aux familles par vente d'une partie de leur récolte dans le souk. L'économie des ksouriens dépend directement des cultures des terres de la palmeraie.

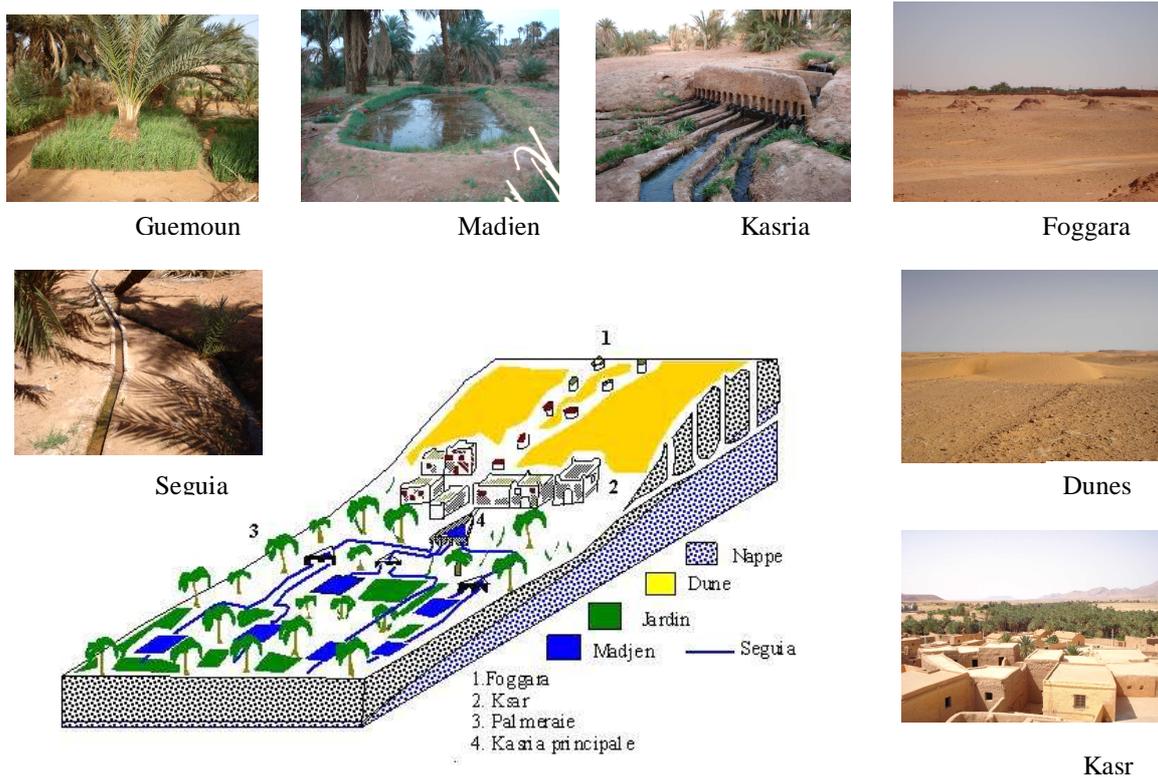


Fig. IV.9. Schéma synoptique du réseau de distribution de la foggara (photos Remini B.)

Nous avons représenté sur la figure IV.10, le débit de chaque foggara des oasis de Touat et Gourara en fonction de la superficie des terres cultivables. Il est intéressant de constater qu'il existe une bonne corrélation entre les deux paramètres : Débit – superficie. Le même résultat a été obtenu par la figure IV.11 qui confirme la relation entre le débit, la longueur de la foggara et la superficie des jardins irrigués. Cette bonne corrélation est synonyme d'une bonne gestion de l'eau dans les jardins ; il n'y avait ni déficit, ni surplus d'eau, chaque parcelle recevait exactement sa part d'eau. Même des petits jardins ne dépassant pas la superficie de 9 m² sont irrigués par un filet d'eau véhiculé par de minuscules rigoles (canaux tertiaires).

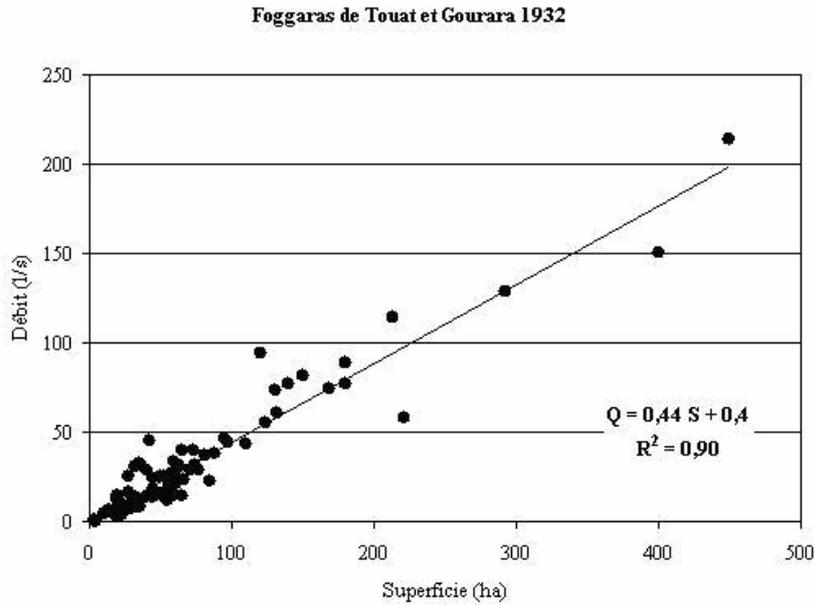


Fig. IV. 10. Relation entre le débit et la superficie des terres Irrigués (Source des données ; Arrus R., 1985)

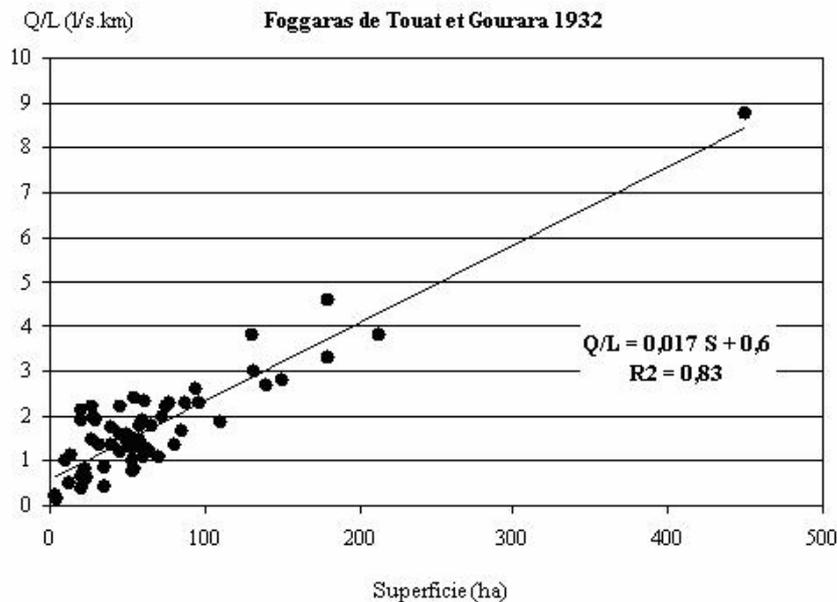


Fig. IV. 11. Relation entre le débit, la longueur de la foggara et la superficie des terres irrigués (Source des données ; Arrus R., 1985)

b) La foggara alimente le ksar

La priorité de la foggara est d'alimenter la population du ksar par l'eau potable. La réalisation du ksar se fait toujours à l'amont de la palmeraie sur le cheminement de l'eau. Généralement la kasria principale est installée au centre du ksar et les seguias traversant les ruelles du ksar. Dans plusieurs endroits du ksar, des seguias sont munis de trous de même dimensions de la forme d'un sceau d'eau permettant ainsi à la population de s'alimenter quotidiennement de l'eau de la foggara (fig. IV.12).



Fig. IV.12. Lieu d'approvisionnement en eau pour le ksar (photo. Remini B., 2008)

c) La foggara dimensionne le ksar

La foggara est l'élément principal de la détermination de la superficie du ksar. En effet, il n'y a jamais eu de pénurie d'eau dans le ksar. La taille du ksar et plus exactement le nombre de familles est lié à l'apport d'eau de la foggara. Le ksar a été réalisé sur le cheminement de l'eau à l'amont de la palmeraie. Un ksar peuplé veut dire que l'eau de la foggara est abondante. Un ksar moins habité veut dire que le débit de la foggara est assez faible. Dans une oasis d'Aghlad (Timimoun), le débit de la foggara a considérablement diminué à cause de l'ensablement, il ne restait que trois familles dans le ksar en 2005. Donc la foggara a directement un impact sur la capacité d'hébergement du ksar et de la superficie des terres cultivables dans la palmeraie.

d) La foggara influe sur l'environnement

La foggara est le véritable créateur d'un microclimat dans l'oasis. Effectivement, grâce au réseau ramifié de milliers de kilomètres de souaguis et d'une centaine de madjens, un microclimat a été créé dans la palmeraie. Une fraîcheur se dégage continuellement suite au dégagement d'un taux élevé en humidité. On a constaté une différence de température de 5 à 10 degrés entre l'extérieur et l'intérieur de la palmeraie. Cette fraîcheur attire une multitude d'oiseaux migrateurs.

C'est la foggara qui protège et qui préserve l'écosystème et l'environnement de l'oasis. C'est ainsi que malgré un écoulement en continu, la foggara grâce à la faible pente de la galerie exploite la nappe souterraine modérément et n'a jamais dépassé le seuil critique contrairement aux forges qui exploitent massivement les réserves d'eau souterraine.

e) La foggara ; un système social

C'est grâce à la foggara qu'une organisation sociale s'est adoptée au cours des siècles. La foggara ouvrage collectif un contrôle rigoureux de la gestion de l'eau. Un système social s'est organisé au cours des siècles. Des traditions (Touiza), des instruments de mesures (Louh), des moyens de partage (Kasria), des unités de mesures (La habba) et des spécialistes de l'eau (kial el ma) ont été instaurés durant l'existence de la foggara.

f) La foggara : une véritable bourse hydraulique

La foggara est considérée comme une entreprise à multi actions, ou l'eau est le véritable foncier, elle se vend, s'achet et se loue. Chacun peut avoir une à plusieurs parts d'eau dans une ou plusieurs foggaras.

g) La foggara créatrice de l'emploi

Que ce soit lors de sa réalisation, lors de son entretien ou lors de son exploitation, la foggara est une entreprise créatrice d'emplois temporaire et permanent. La foggara a créé des spécialistes et des milliers de poste d'emplois.

IV.2.5. Dégradation de la foggara de l'Albien

Aujourd'hui ce système hydraulique devenu un monument historique caractéristique des villes de Timimoun et d'Adrar est menacé de disparaître à court terme pour des raisons technique et socio économique. La démographie galopante et les exigences de développement ont provoqué l'extension de la ville de Timimoun et d'Adrar caractérisées par la multiplication des routes et la réalisation des habitations au dessus des galeries des foggaras. Cette situation a engendré des effondrements et des éboulements périodiques des galeries. Pour remédier à ce problème purement technique, des opérations de réhabilitations ont été entamés par les services publics ces dernières années.(fig. IV.13), mais elle reste toujours comme solution temporaire, tant qu'une solution d'ordre socio économique n'a pas été abordée.



Fig. IV.13. Opération de réhabilitation des foggaras dans le Touat en 2010 (photo. Nouh et Remini B.)

La foggara est de plus en plus délaissée au détriment des techniques modernes comme les forages par exemple (fig. IV.14). L'oasien est de plus en plus exigeant et demande du confort et la facilité d'acquérir l'eau avec une quantité aussi importante et sans efforts.

Une centaine d'oasiens et de propriétaires de foggaras que nous avons interrogé lors de nos missions a révélé que 80% de la population de différents âges ne s'inquiètent pas de l'état très dégradé de la foggara. D'ailleurs nous avons constaté des jardins complètement abandonnés par leurs propriétaires, d'autres sont à l'état très dégradé et non entretenus et leurs propriétaires viennent uniquement pour la récolte des dattes chaque automne (fig. IV.15)



a) Kasria d'une foggara de Touat



b) Kasria d'une foggara de Gourara



c) Puit devenu poubelle publique

Fig. IV.14. Foggaras abandonnées (photos Nouh et Remini B.)



Fig. IV.15. Conséquences de la dégradation des foggaras : palmeraies abandonnées (Remini B., 2008)

Conclusion

Notre étude révèle que la foggara de l'Albien présente certaines caractéristiques propres à elle. La nappe du Continental Intercalaire est la source principale de la foggara de l'Albien, dont le plateau de Tadmaït constitue son véritable château d'eau. L'irrigation par ce type de foggara est une irrigation en parallèle. La kasria représente la pièce maîtresse de la distribution de l'eau. Elle répartit l'eau en fonction de la contribution de chaque propriétaire. Le dépouillement des données du dernier inventaire effectué entre 1998 et 2001 par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, il y a environ 820 foggaras de l'Albien en exploitation. En 2010, ce chiffre sera revu à la baisse.

De nos jours, cette foggara connaît des difficultés de gestion et d'entretien en raison de l'effondrement des galeries et l'abaissement de la nappe. Même si les pouvoirs publics prennent actuellement en charge la réhabilitation de certaines foggaras, cette solution demeure temporaire puisque les véritables problèmes sont d'ordre socio-économiques. Malgré ces tentatives de réhabilitation qui sont à encourager et à les généraliser sur l'ensemble des foggaras, ce patrimoine hydraulique nationale que constitue la foggara n'a pas encore suscité tout l'intérêt nécessaire à sa préservation et sa sauvegarde.

Chapitre V

LA FOGGARA DE L'ERG

Introduction

La foggara la plus connue est celle qui exploite la nappe du Continental Intercalaire et localisée dans les régions de Touat et Gourara.. C'est la foggara classique, constituée d'une galerie souterraine légèrement inclinée pour drainer l'eau de l'aquifère vers la surface du sol. Par contre, le type de la foggara présenté dans cette étude est peu cité dans la bibliographie technique. Nous l'appellerons la foggara de l'Erg, suite à son exploitation de la nappe du Grand Erg Occidental.

Même s'il y a encore de doutes sur l'origine de la foggara, plusieurs auteurs affirment que ce système hydraulique est née dans le nord ouest du plateau Iranien depuis plus de 3000 ans (Hussain I. et al, 2008 ; Kazemi G.A., 2004). Connue sous le nom de qanat en Iran (Hussain I. et al, 2008 ; Goblot H., 1979 ; Goblot H., 1963), la khattara au Maroc (Lightfoot D.R., 1996), la karez au Pakistan (Daanish M. et Muhammed U.O., 2007) et falaj au Sultanat d'Oman (Al Sulaiman Z et al., 2007). La foggara est équipée d'une multitude de puits d'aération espacés de 10 à 15. L'irrigation de milliers de palmiers dattiers dans le sud –ouest algérien a été assurée depuis plus de dix siècles par la foggara. Actuellement, il ne reste qu'environ 880 foggaras en service drainant un débit de 3 m³/s. Ce nombre sera revu à la baisse dans les quelques années à venir. Déjà la majorité des foggaras sont à l'état très dégradé pour des raisons techniques, environnementales et sociales.

Dans cette étude, on développera un type de foggara qui présente le même principe de fonctionnement que celui de la foggara d'Albien, mais la différence réside dans la source de captage. Contrairement à la foggara classique qui exploite la nappe du Continental Intercalaire, ces foggaras captent les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental qu'on a préféré les surnommer « la foggara de l'Erg ». Pour comprendre, ces caractéristiques et son état fonctionnement on a mené des enquêtes et entretiens auprès des propriétaires des foggaras dans les oasis de Gourara.

V.1. Missions et enquêtes

Pour étudier les sources de captage des eaux des foggaras de l'Erg, nous avons effectué des missions en 2007, 2008 et en 2010 dans les oasis de Gourara. La région est située à environ 1000 km au sud ouest d'Alger (fig. V.1). Les oasis visitées sont : Ouled Said, Kali et Aghlad. En plus des visitées effectuées au niveau des foggaras, on a effectué des entretiens avec les vieux propriétaires et les responsables de foggaras.

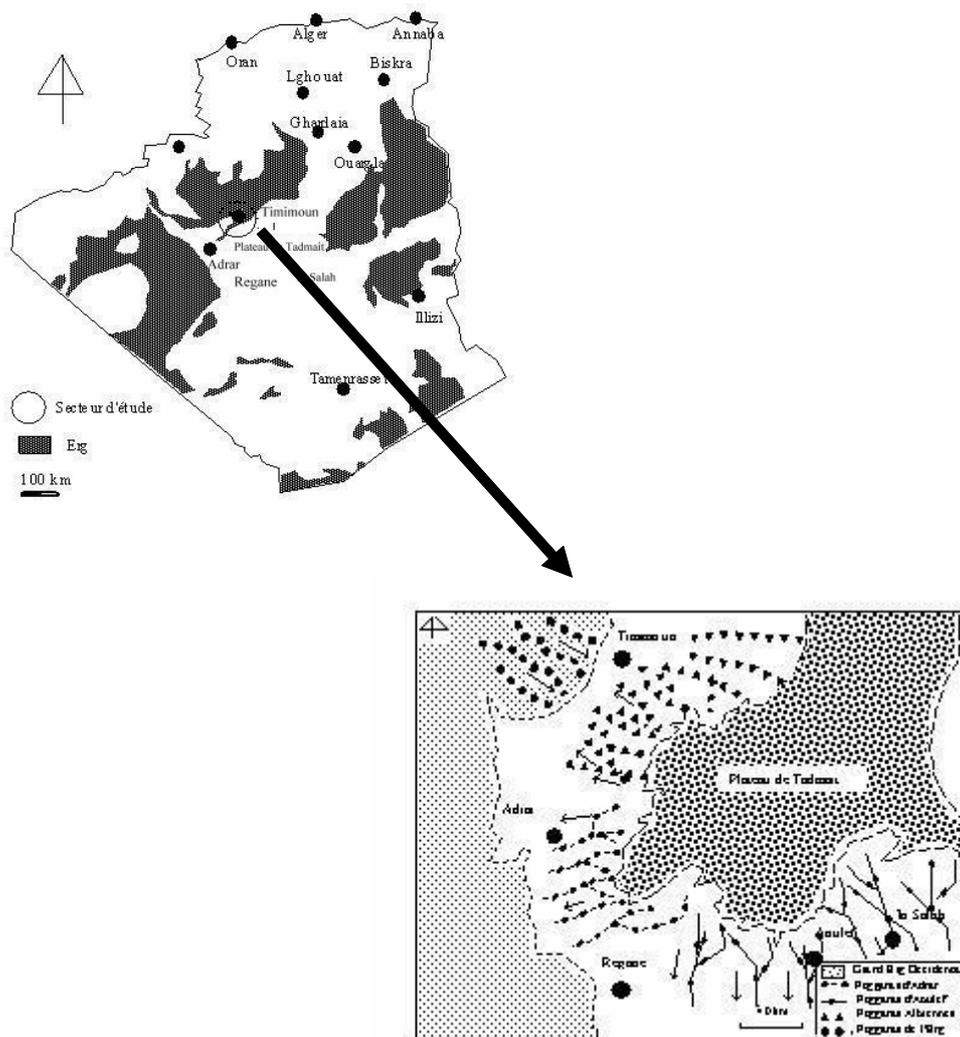


Fig. V.1. Situation de la foggara de l'Erg

V.2. Résultats et discussions

V.2.1. Fonctionnement de la foggara de l'Erg

La foggara de l'Erg est composée d'une galerie (de faible pente) équipée d'une multitude de puits d'aération qui capte les eaux de la nappe qui se forme au-dessous du Grand Erg Occidental grâce à l'eau qui s'écoule lentement sous l'Erg dans les anciens cours d'eau en provenance de l'Atlas Saharien.

Contrairement à la foggara classique, la foggara de l'Erg est équipée d'une seguia de plusieurs centaines de mètres qui relie la sortie de la foggara dans l'Erg et la kasria située à l'entrée de la palmeraie (fig. V.2).

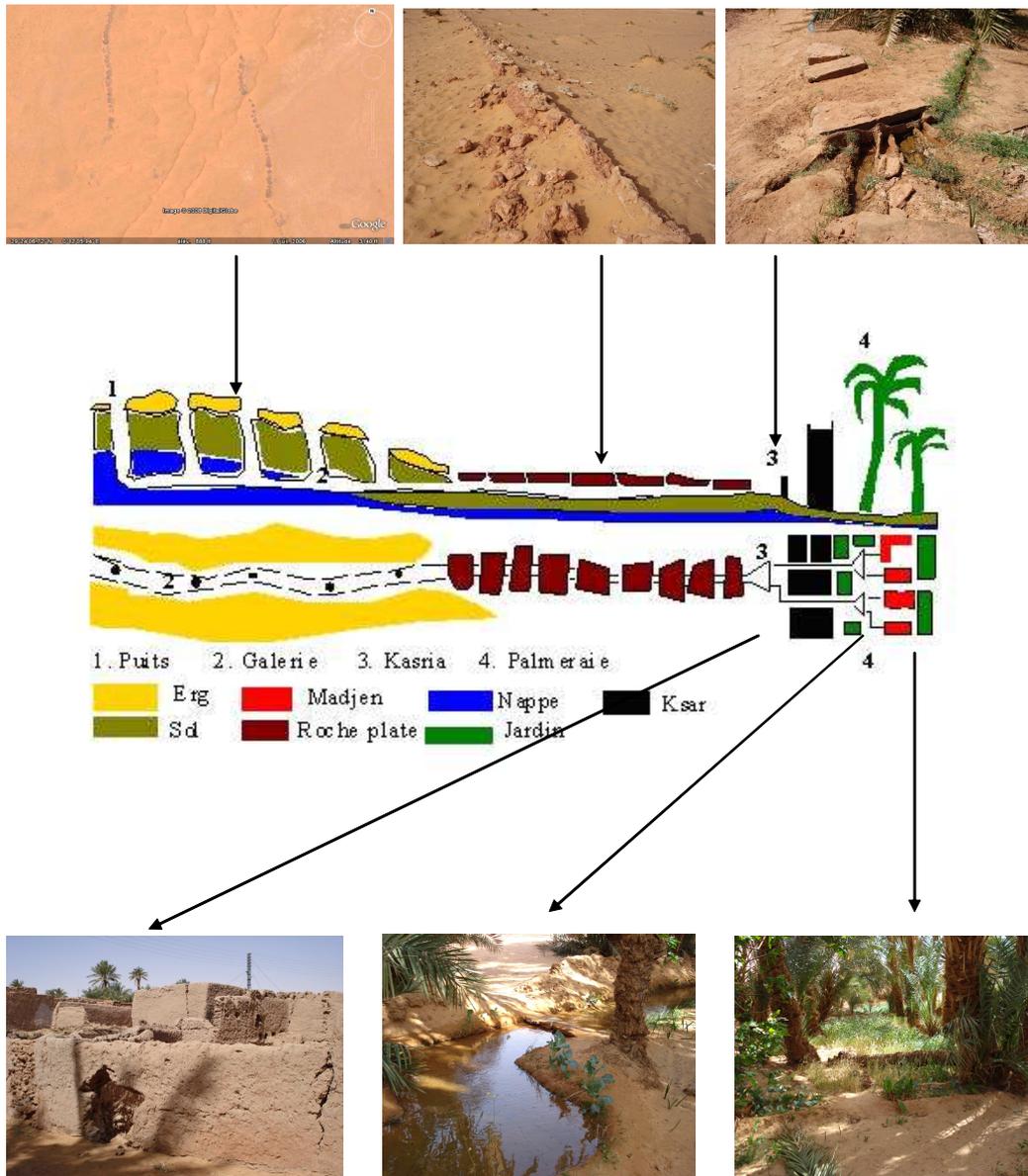


Fig. V.2. Schéma synoptique de la foggara de l'Erg (photos Remini B., 2008)

V.2.2. Caractéristiques et originalités de la foggara de l'Erg

Durant les trois missions que nous avons effectuées dans les oasis de la région de Timimoun, nous avons relevé les originalités suivantes :

- Vu l'importance de l'écoulement, la galerie est en zigzag au dessous de l'Erg pour diminuer les pertes de vitesse de l'écoulement à l'arrivée de la kasria principale.
- Pour minimiser le dépôt de sable en provenance du Grand Erg Occidentale, les puits, les seguias et les kasriates sont couverts par des roches plates (fig. V.3).
- Contrairement à la foggara classique, en l'absence de tranquillisateur à l'amont du peigne répartiteur dont le rôle est d'obtenir un écoulement calme, afin de faciliter la mesure des débits, la kasria de la foggara de l'Erg est plutôt allongé (fig.V. 4).
- En l'absence des forages dans l'Erg (difficultés d'accéder dans l'Erg), le débit de la foggara de l'Erg est stationnaire dans le temps.
- L'eau de la foggara de l'Erg est moins salée et de bonne qualité.

- La foggara de l'Erg se localise dans les oasis de Ouled Said (Timimoun).
- Il existe une centaine de foggaras de ce type, dont moins de 80 sont fonctionnelles.
- Impossible d'identifier la longueur de la galerie et le nombre de puits.
- Impossible de localiser le puits- mère de la foggara de l'Erg.
- Présence de 3 types de kasriates. Il s'agit de la kasria à dents de scie, kasria à ouvertures circulaires, kasria à ouvertures rectangulaires (fig. V.5 (a, b et c)).
- La foggara de l'Erg possède 6 types de madjens. Il s'agit du circulaire, arrondi, forme L, Zégzag, rectangulaire et allongé (fig. V.6 (a à f)). Les madjens de la foggara de l'Erg occupent une grande partie du jardin dont les périphéries sont entourées par des palmiers dont les racines sont constamment imbibées des eaux d'infiltrations des madjens. Cette forme de madjen de grande surface provoque une forte évaporation et par conséquent, elle crée une fraîcheur dans les jardins.

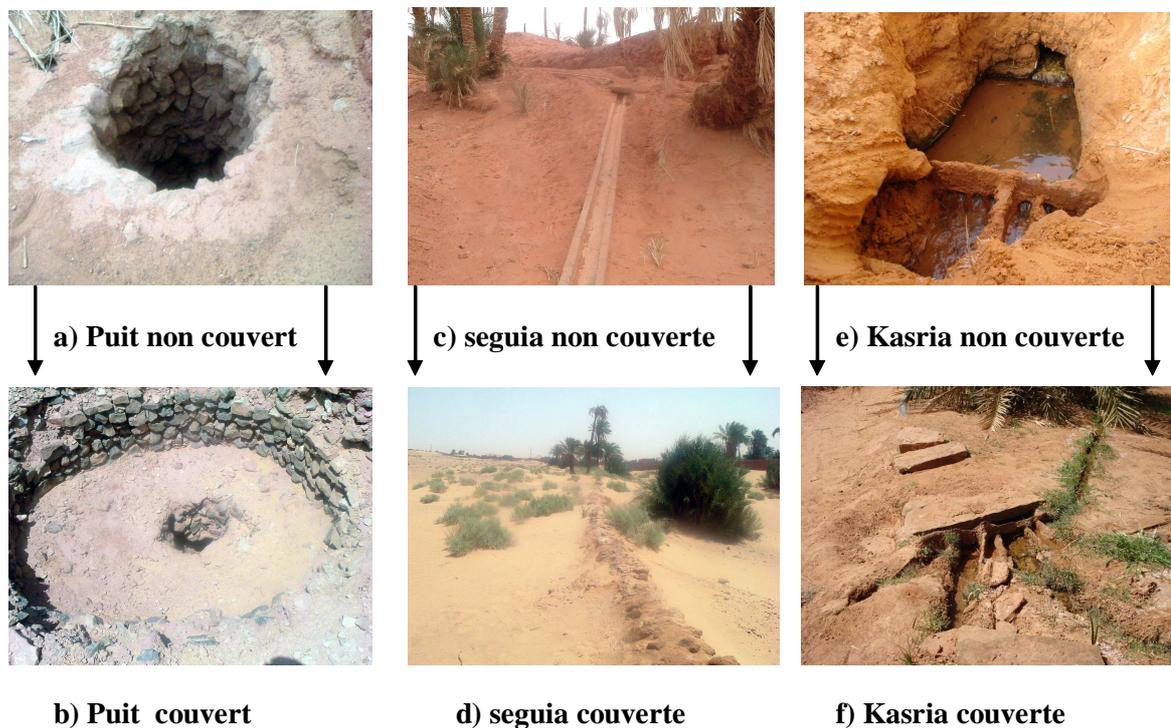


Fig. V.3. Ouvrages de la foggara de l'Erg cachés sous sol (photos Remini B., 2007)

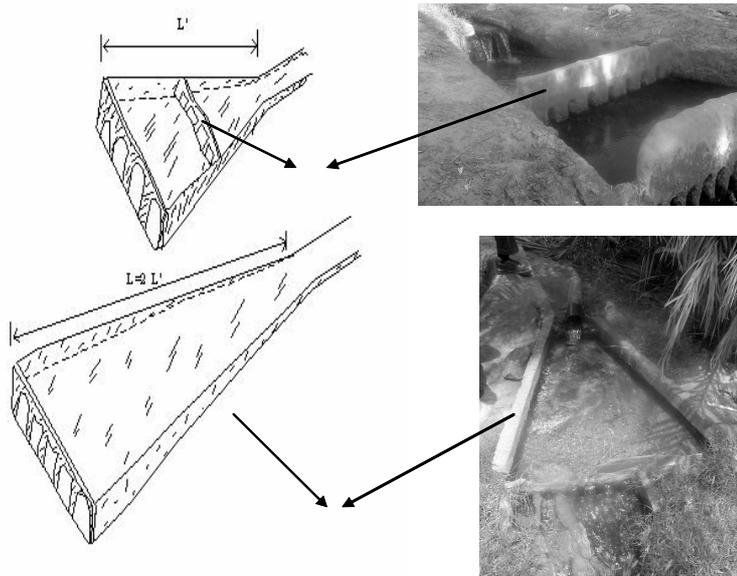
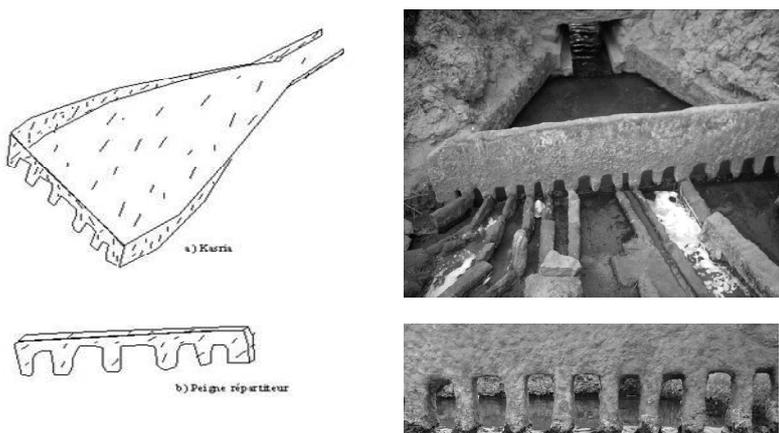
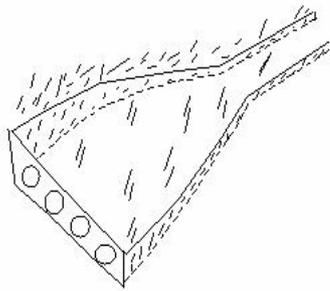


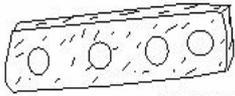
Fig. V.4. Kas ria de la foggara de l'Erg plus allongée que celle de la foggara classique (Remini B., 2008)



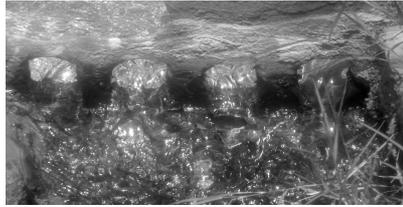
a) Kas ria à ouvertures rectangulaires (Remini B., 2007)



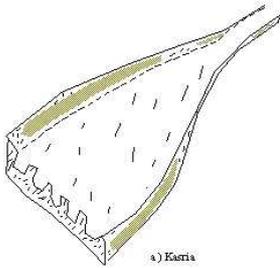
a) Kasria



b) Peigne répartiteur



b) Kas ria à ouvertures circulaires (Remini B., 2007)



a) Kasria



b) Peigne répartiteur



c) Kas ria à dents de scie (Remini B., 2007)

Fig.V. 5. Types de kasriates de la foggara de l'Erg



a) Forme arrondie



b) Forme circulaire



c) Forme « L »



d) Forme en zézag



e) Forme rectangulaire



f) Forme allongée

**Fig. V.6. Types de madjens de la foggara de l'Erg
(Remini B., 2009)**

V.2.3. Dégradation de la foggara de l'Erg

Deux problèmes majeurs dégradent constamment les foggaras de l'Erg, il s'agit de l'envahissement des foggaras par le sable et les plantes sauvages.

a) Ensablement de la foggara de l'Erg et les moyens de lutte

La présence du Grand Erg Occidental est un handicap majeur pour la foggara de l'Erg. A chaque vent de sable, tous les ouvrages (galerie, seguia, puit, kasria et madjen) de la foggara se trouvent ensablés (fig. V.7). Il se trouve que les oasisiens mènent un combat quotidien pour réduire les effets néfastes de l'ensablement. A titre d'exemple, les kasriates et les seguias des foggaras des oasis d'Aghlad et de Badou sont constamment ensablés. Malheureusement, la seule solution existante est le curage quotidien des ouvrages par des moyens rudimentaires.

Pour prolonger la périodicité du curage, les oasisiens procèdent d'abord à la couverture des ouvrages. C'est toute une opération délicate qui se prépare par la recherche de la roche et puis la tailler en forme de dalles plates. L'argile mélangée à l'eau sert à colmater les ouvertures entre les roches plates pour éviter la pénétration du sable (fig.V. 8 et V.9). .

Malgré cette opération délicate, les oasisiens procèdent périodiquement au curage et au nettoyage des ouvrages du dépôt sableux (fig. V.10 (a et b)). Les oasisiens découvrent de nouveau ces ouvrages de ces roches taillées et une fois l'opération de curage est achevée, les dalles redeviennent à leurs positions initiales et ainsi de suite le combat continue entre l'oasisien et l'ensablement.



a) Ecoulement dans une seguia



b) Seguia par le sable

**Fig. V.7. Seguia ensablée dans l'oasis de Kali
(Remini B., 2008)**

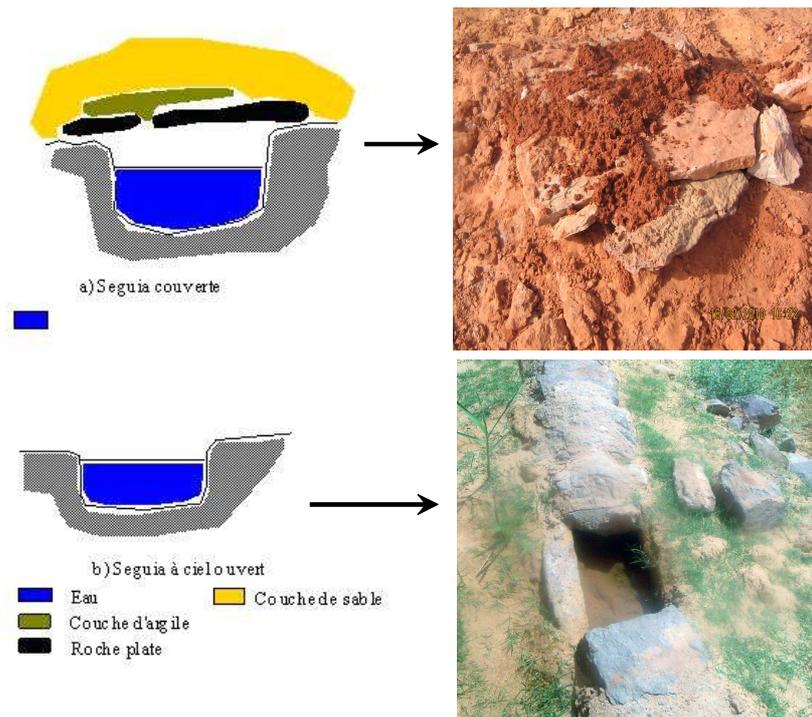


Fig.V. 8.Segua de la foggara de l'Erg de l'oasis de Kali couverte de roches plates (Remini B., 2007)

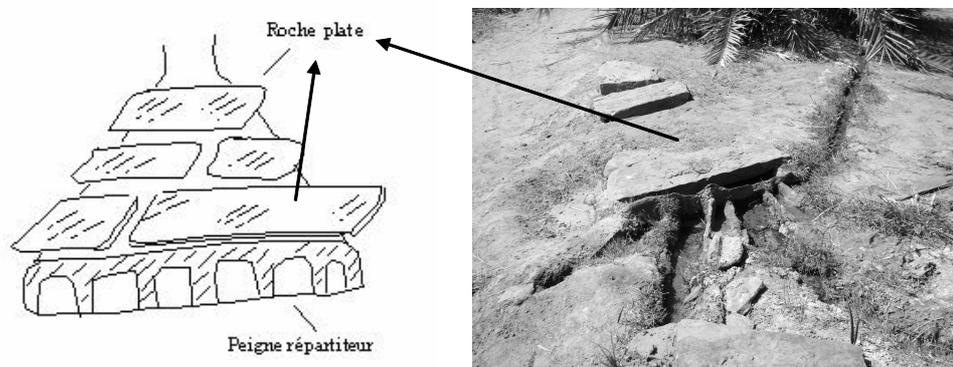


Fig. V.9. Kasria couverte de la foggara de l'Erg dans les oasis de Kali (Remini B., 2007)



a)



b)

**Fig. V.10. Curage d'une kasria dans l'oasis de Kali
(Remini B., 2007)**

b) Envahissement de la foggara de l'Erg par les plantes sauvages

Deux plantes sauvages appelées localement : Tarza et Taghanimt envahissent constamment la foggara de l'Erg et étouffent les seguias et les kasriates par leurs racines. Ces deux plantes qui poussent dans le sable du Grand Erg ont des racines dépassant les dix mètres de longueur. La présence de ce type de plantes est synonyme de l'existence de l'eau dans un rayon d'une dizaine de mètres. Les racines arrivent facilement dans la seguia principale qui relie la sortie de la foggara à la kasria principale. Ces deux plantes se multiplient rapidement jusqu'à ce qu'elles obturent la section de la seguia couverte (fig. V.11 et V.12). Les oasiens de Kali, d'Aghlad et d'Ouled said mènent une lutte quotidienne contre la propagation de ces deux plantes. Le seul moyen d'arrêter l'envahissement de Tarza et de Taghanimt est de les brûler (fig. V.13). Mais l'ensablement et l'envahissement de ces deux plantes colmatent toujours la foggara de l'Erg. L'entretien demeure l'unique voie pour sauver ce patrimoine hydraulique. La population du ksar Kali (Timimoun) est un exemple pour la région de Gourara, elle garde toujours leurs traditions en organisant des touizas (volontariat). Elle a pu réhabiliter la foggara Iflambra en 2002 et la foggara du Ksar Aghlad en 2004 (tableau V.1).



a) Tarza



b) Racines

Fig. V.11. La plante de Tarza dans l'oasis de Kali (Remini B., 2007)



Fig. V.12. La plante Taghanimt dans l'oasis de Kali (Remini B., 2007)



a)



b)

Fig. V.13. Brûler la plante : l'unique solution (Remini B., 2007)

Tableau V.1. Quelques foggaras réhabilitées

Foggara	Année
Foggara de ksar Kali	Foggara abandonnée en 1966 et réhabilitée par la population durant les années 90
Une foggara de Ksar Aghlad	Foggara réhabilitée par la population en 2004
Iflanbara	Foggara réhabilitée par la population en 2002

Conclusion

La foggara de l'Erg reste encore méconnue par les spécialistes. Peu d'études ont été faites sur ce patrimoine hydraulique. Ces foggaras continuent toujours à fournir de l'eau aux oasis malgré que leurs galeries soient perdues au dessous des immenses dunes du Grand Erg Occidental. Par conséquent, nous n'avons aucune information sur la situation et la localisation des galeries et les puits mères de ces foggaras. Faute d'accès dans l'Erg, ce type de foggara demeure toujours sans entretien.

La population est constamment confrontée aux difficultés de la nature de la région. L'envahissement du sable et les plantes sauvages sur les galeries et les seguias des foggaras de l'Erg constituent les défis quotidiens des ksouriens. L'enlèvement du sable et le curage de des foggaras par des moyens rudimentaires est une opération périodique. Quant aux plantes : Terza et Taghanimt qui obturent la foggara par leurs longues racines, les ksouriens n'ont trouvé que le feu comme l'unique solution pour arrêter la multiplication de ces herbes.

CHAPITRE VI

LA FOGGARA DES CRUES

Introduction

La création des oasis est conditionnée par la présence d'une source d'eau. C'est ainsi que dans les régions hyper arides du Sahara Algérien caractérisés par de faibles précipitations, l'oasien a développé au cours du temps diverses techniques traditionnelles de captage des eaux souterraines et superficielles (crues). Pour le captage et le stockage des eaux de crues, l'oasien a développé de petits barrages réalisés en matériaux locaux et des seguias (canaux à surface libre) pour la distribution et l'acheminement de l'eau vers les jardins.

Pour l'acquisition des eaux souterraines, l'oasien a su développer des techniques de captage des eaux de la nappe sous forme de puits qui ont évolué dans le temps d'un puit vertical fonctionnant avec une énergie (humaine ou animale) à un puit horizontal utilisant uniquement la pente. L'eau arrive plus facilement dans les jardins par gravité. Cette technique appelée foggara est largement développée dans les oasis de Touat et Gourara, puisque les conditions topographiques et hydrogéologiques de la région sont favorables à la réalisation d'un tel ouvrage. Plus de 1400 foggaras ont été creusées dans ces régions depuis dix siècles. Aujourd'hui, faute de problèmes techniques et socio-économiques, il ne reste qu'environ 880 en exploitation. Cette technique s'est développée dans toutes les régions arides de la planète, puisqu'elle existe dans plus de 35 pays (Boustani F., 2008). L'Iran reste le pays détenteur du plus grand nombre de la foggara connue sous le nom de la qanat ; elles sont environ 22000 qanat en exploitation dans les régions arides de l'Iran (Larson R.C. et McLaughlin D., 2006). Le Maroc possède 570 khattaras dont 250 sont opérationnelles (MATEE, 2006).

Mais ce système ne s'est arrêté pas au stade d'acquisition des eaux des aquifères, elle s'est généralisée à l'exploitation des eaux de surface. Des améliorations et des perfectionnements ont été apportés à ce système au cours du temps. A titre d'exemple, il existe en Iran des qanats à double galeries superposées une au-dessus de l'autre (Safi Nejad in Balland, 1992).

Dans le présent article, nous décrivons une foggara originale que nous avons aperçue en 2009 lors d'une étude sur les crues dans la vallée de Mzab. Elle est conçue pour capter une partie des eaux de crues drainées par l'oued Mzab qui se trouve à 600 km au sud-ouest d'Alger.

IV.1. Site d'étude

Lors d'une mission effectuée en 2009 dans l'oued Mzab pour étudier l'impact des crues sur la dégradation du système hydraulique ancestral, nous avons aperçu au milieu de l'oued Mzab une foggara particulièrement différente de celle de Gourara et de Touat. En 2010, une deuxième mission sur le site a été menée pour prendre toutes les caractéristiques de la foggara.

Ghardaïa ville touristique est située à 600 km au sud d'Alger. Le site d'étude est localisé dans au centre de l'oued Mzab à 2 km environ à l'amont de la palmeraie de Ghardaïa (fig.VI.1).

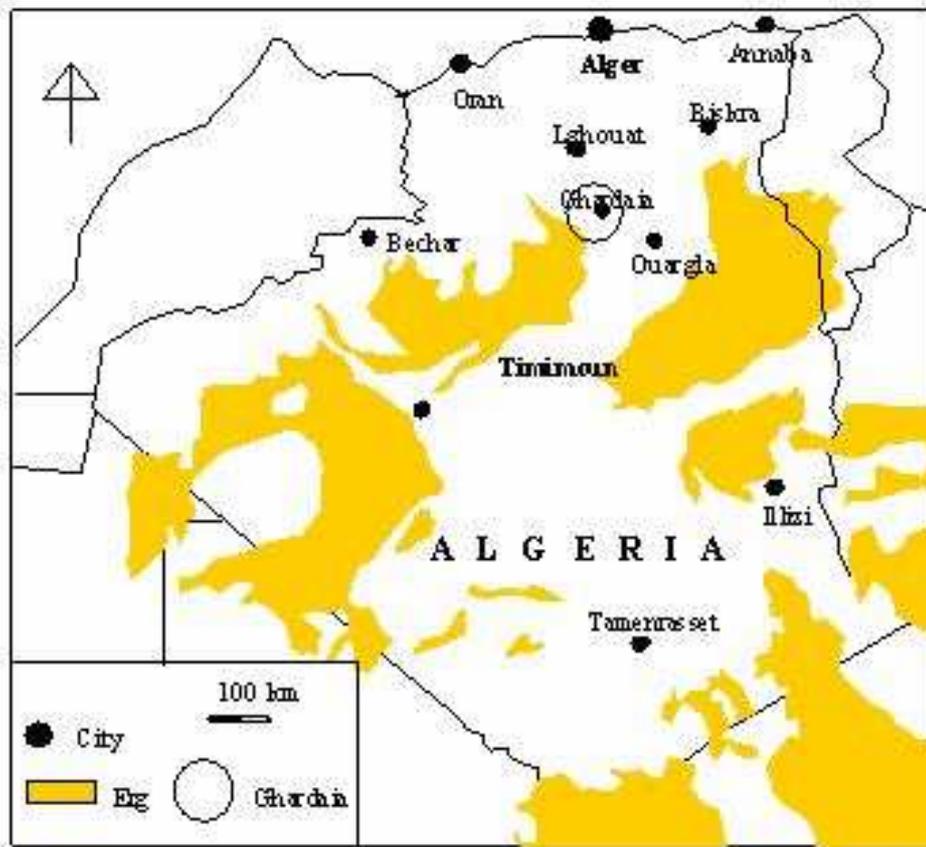


Fig.VI. 1. Situation de la région d'étude

Pour prendre les caractéristiques géométriques de la foggara : longueur et pente de la galerie, profondeur, diamètre des puits et intervalles entre les puits, nous avons utilisé un décamètre à roue et GPS (fig.VI. 2).



a) Décamètre à roue



b) GPS de marque GARMIN

Fig. VI.2.Appareils de mesures

VI.2. Résultats et discussions

C'est lors d'une mission dans la vallée de Mzab en 2009, que nous avons découvert l'ouvrage au milieu du lit de l'oued Mzab. Son principe de fonctionnement a des similitudes avec celui des foggaras de Touat et de Gourara. La foggara de Mzab est constituée d'une galerie de faible pente équipée de puits d'aération, sauf qu'elle capte les eaux de crues de l'oued Mzab et la foggara de Touat et de Gourara exploite les eaux de la nappe. C'est une foggara unique dans le monde, mais personne ne peut confirmer ses origines, ni la période de sa construction. Il existe des Aflajs Aoudi du Sultanat d'Oman captent les eaux des oueds, mais à partir de la nappe inféro - flux (Al-Marschudi A.S., 2007).

Construite pour l'irrigation d'une partie de la palmeraie de Ghardaïa (partie Est), la foggara de Mzab est composée de deux parties ; une galerie souterraine et une seguia à ciel ouvert (fig. VI.3). La section de la galerie est ovoïde et ressemble à celle de la qanat Iranienne (Daanish M. et Muhammed U.O., 2007). Par contre la section de la foggara de Gourara et de Touat ressemble plutôt à celle du karez Pakistanaise (fig.VI.4) (L'Hote Y., 1990).

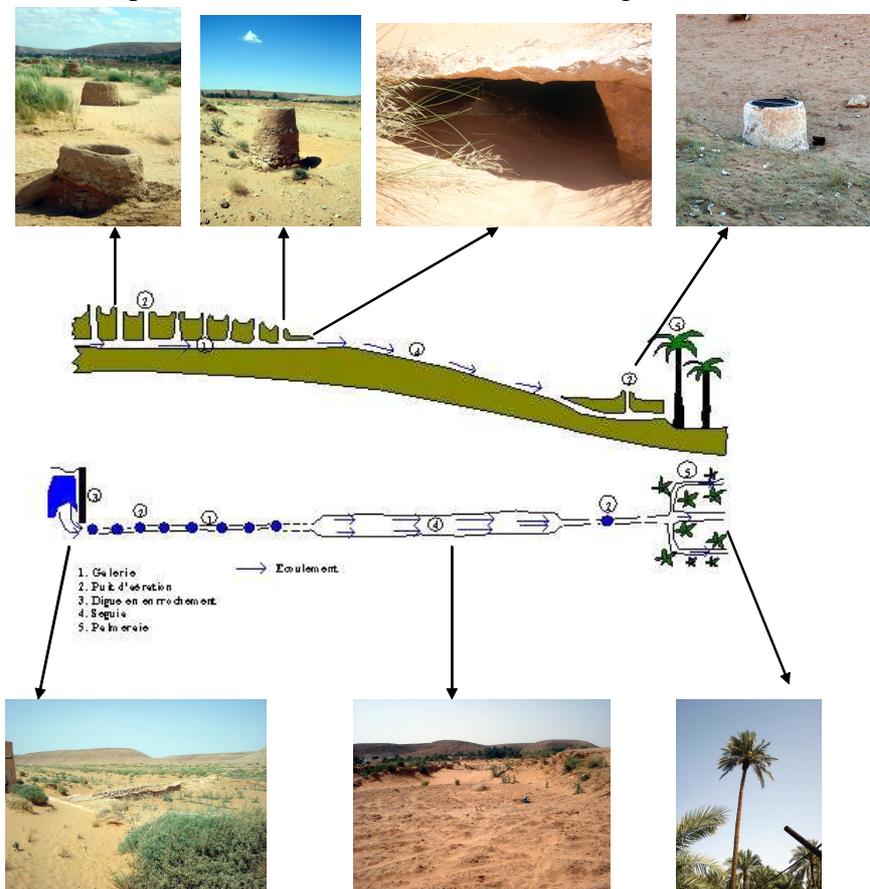


Fig. VI.3. Différentes parties de la foggara de Mzab (Remini B., 2010)

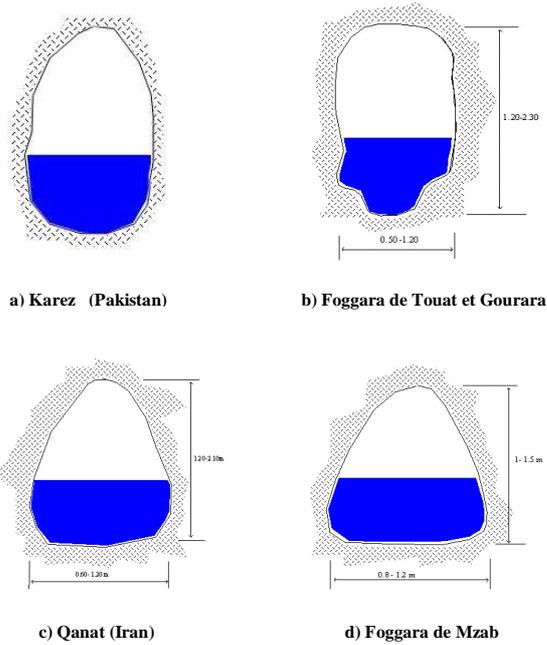


Fig. VI.4. Différentes sections de galeries

La foggara de Mزاب exploite les eaux de crues une fois stockées dans la retenue formée par la digue en enrochement de 77 m de largeur et de 1.5 m de hauteur. L'eau est acheminée par une galerie souterraine de 170 m de longueur aériée par 8 puits verticaux de 3 m de profondeur et de 1 m de diamètre. A la sortie de la galerie, l'eau sera drainée par une seguia (canal à ciel ouvert) de 900 m de longueur et de 1.5 à 3 m de largeur, puis elle sera de nouveau acheminer par une galerie de 50 m de longueur équipée d'un seul puit d'aération pour atteindre les jardins. Une fois dans la palmeraie, elle sera réparti entre les propriétaires par un réseau de souaguis (fig. VI.5). Un débit estimatif de la foggara peut atteindre 300 l/s pour une crue importante.

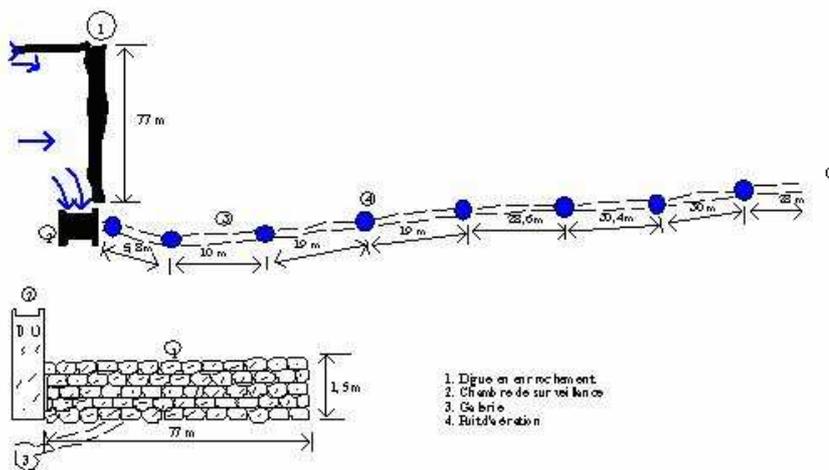


Fig. VI.5. Schéma de fonctionnement

Conclusion

Contrairement à la foggara à écoulement permanent de Touat et de Gourara qui capte les eaux de la nappe, la foggara de Mzab exploite les eaux de crues et par conséquent son écoulement est temporaire. Réalisée pour irriguer la partie ouest de la palmeraie de Ghardaïa, elle dispose d'une galerie de 170 m de longueur aérée par 10 puits verticaux de 1 m de diamètre et une seguia de 900 m de longueur et de 1.6 m de largeur. C'est un ouvrage unique dans la Sahara algérien.

Chapitre VII

UNE TECHNIQUE MECONNUE : LA FOGGARA DE JARDIN DE TIMIMOUN

Introduction

La technique des galeries drainantes de captage des eaux souterraines est d'origine minière (Goblot H., 1974). Elle est apparue depuis 3000 ans au nord ouest du plateau Iranien (Wulf HE., 1968 et Stiros SC., 2006) et s'est propagée dans plus d'une trentaine de pays des régions arides et semi arides. Elle est connue sous différentes appellations ; Qanat en Iran, Khettara au Maroc et Karez en Afghanistan (Ben Brahim M., 2003), la foggara en Algérie est un drain souterrain qui permet d'amener l'eau des nappes vers les jardins et les palmeraies. Cette invention a marqué une avancée technologique dans le domaine de captage des eaux et d'irrigation. Environ 50000 Qanats ont été creusés en Iran (Safi Nezaad J. in Balland D., 1992) et 1400 foggaras en Algérie.

En maîtrisant les techniques de creusement, l'oasien a développé dans les temps ce système de captage des eaux ; les galeries étaient de plus en plus façonnées légèrement inclinées avec une pente de $c1/1000$ à $1/1500$ pour permettre à l'eau de s'écouler lentement à la surface du sol. De plus en plus des drains beaucoup plus long et des puits beaucoup plus profonds ont été creusés.

Des Qanats de plus de 50 km de galerie et des puits de plus de 300 m de profondeur ont été creusés à Kerman (Iran). Divers modèles de Qanats ont été développés en Iran et en Afghanistan destinés à l'irrigation et à l'alimentation en eau potable.

L'absence des rivières dans les régions arides a été remplacée par des Qanats spéciaux destinés à actionner les roues des moulins (Papoli-Yazdi in Balland D., 1992). Des Qanats et des Karez particulièrement spectaculaires ont été observés en Iran et en Afghanistan montrant l'art des oasiens. A titre d'exemple, on peut citer le Karez de montagne d'Afghanistan (Balland D. et Brognetti M. in Balland D., 1992), le Qanat étagé (Safi Nezaad J. in Balland D., 1992) et le triple Qanat en Iran (Papoli-Yazdi in Balland D., 1992).

En Algérie, des foggaras remarquables ont été observées dans les régions de Touat et Goura mais sans les avoir étudiées. Différente de la foggara classique, le présent article apporte des éléments nouveaux sur un type de foggara tout à fait original que nous avons observé dans les oasis de Timimoun lors de nos missions de terrain.

VII.1. Quelques techniques remarquables utilisées dans le monde

Trois techniques de galeries drainantes ont fait l'admiration des spécialistes. Il s'agit des cas suivants :

VII.1.1. Le Qanat étagé de Mun (Iran)

C'est une Qanat tout a fait remarquable et originale, il alimente les oasis d'Ardistan d'une superficie de 400 ha. (fig. VII. 1). Le Qanat de Mun se compose de deux galeries superposées et sont percées à 3 m l'une de l'autre selon une pente rigoureusement parallèle. Chaque galerie son propre puit de tête d'une profondeur respective de 27 et 30 m..

Tous les puits d'aération sont communs aux deux galeries. Il y a 30 puits distants de 25 à 30 m. Pour éviter que l'eau drainée par la galerie supérieure ne s'infiltré pas dans la galerie inférieure, le tracé de la première contourne chacun des puits à leur débouchée. Cette technique complexe a été réalisée dans le but d'augmenter le débit du Qanat dans un contexte de grave pénurie d'eau.

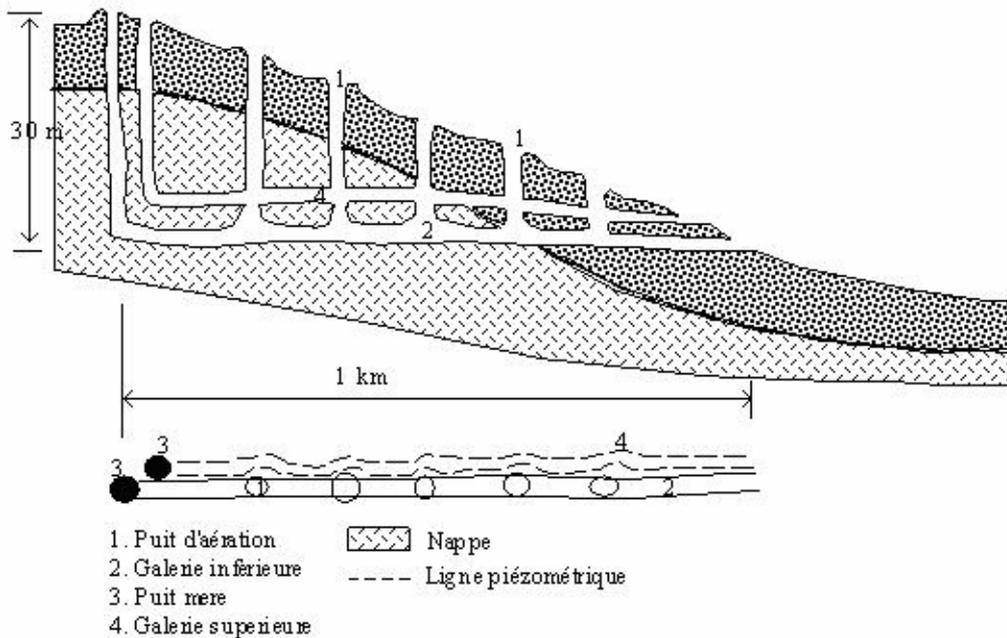


Fig. VII.1. Schéma synoptique du Qanat étagé de Mun (Iran)
(Safi Nezaad J. in Balland D., 1992)

VII.1.2. Le Karez de Montagne du Hazarajat (Afghanistan)

Le Karez de Montagne est une galerie souterraine de longueur très courte ne dépassant pas les 15m., dépourvue totalement de puit d'aération (fig. VII.2). Elle se termine en amont par une excavation assez large qui pénètre dans une zone de suintement. L'eau perle goutte à goutte le long des parois, se concentre à leur base et s'écoule par la galerie. A l'aval à son débouchée à l'air libre, un petit bassin d'accumulation recueille l'eau avant qu'elle se dirige vers les jardins.

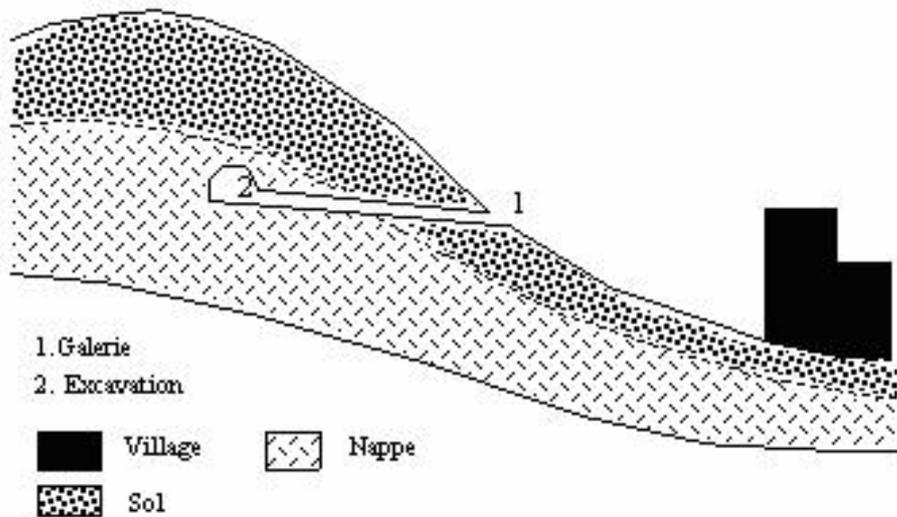


Fig. VII.2. Schéma synoptique du Qanat étagé de Mun (Iran)
(Balland D. et Brognetti M. in Balland D., 1992)

VII.1.3. Le triple Qanat en escalier (Dehabad, Iran)

Appelé Qanat à Moulin, le Qanat en escalier est composée de 03 Qanats (fig. VII.3). Le premier dont le puit mère profond de 65 m, d'une galerie de longueur de 3 km. Le débit évacué est partagé entre l'irrigation et l'alimentation d'un moulin situé à l'aval au pied d'une fosse de 6 m de profondeur et 8 m de diamètre. Un deuxième Qanat juste à l'aval du premier moulin d'une longueur de 3 km dont le débit est destiné à l'irrigation et à l'alimentation d'un deuxième moulin situé dans une fosse de 18 m de profondeur et de 10 m de diamètre. en aval de ce moulin il existe un troisième Qanat de 6 km de longueur dont le débit est destiné uniquement à l'irrigation.

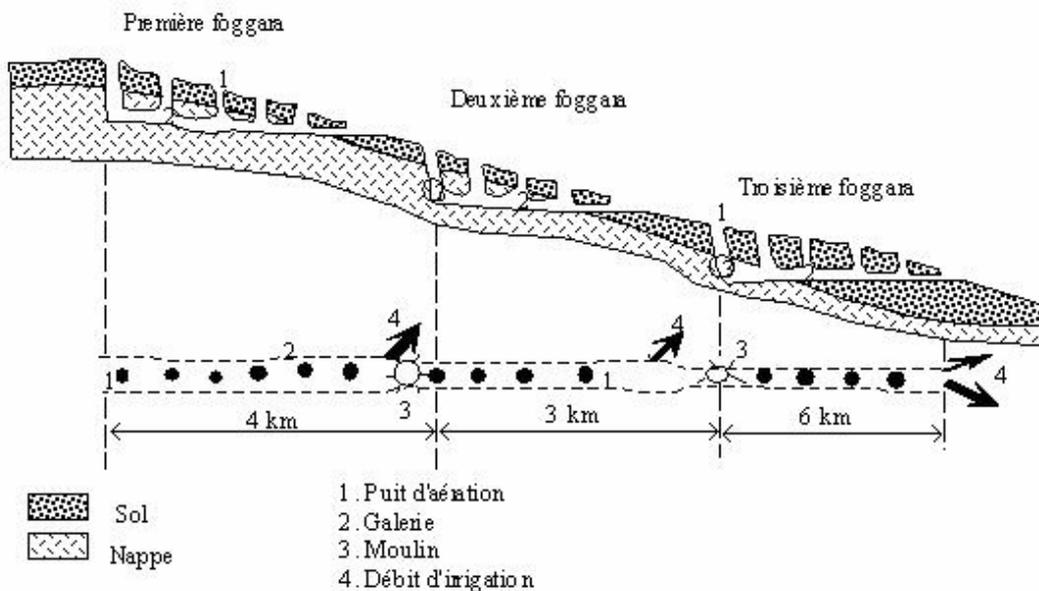


Fig. VII.3. Schéma synoptique du triple Qanat en escalier (Dehabad, Iran)
(Papoli-Yazdi in Balland D., 1992)

VII.2. Missions et observations

C'est lors de nos missions effectuées dans les oasis de Timimoun en 2007 et en 2008 que nous avons aperçu une Kasria différente des Kariates classiques ; elle est munie d'une seule ouverture et une seguia (Fig. VII.4). Contrairement à la kasria classique qui possède plusieurs ouvertures et plusieurs seguias (Fig. VII.5). En suivant la galerie suivant l'alignement des puits, nous avons constaté qu'elle ne dépasse pas la longueur de la palmeraie. Généralement, c'est une « foggara de famille », elle est située à l'intérieur du jardin. Nous avons rencontré ce type de foggaras uniquement dans quelques oasis de Timimoun, qui est située à 1200 km au sud d'Alger (Fig. VII.6). Nous avons recensés 7 foggaras de ce type dont 5 sont exploitation et 2 abandonnées



Fig. VII.4. Kasria de la foggara de Zahzah (foggara de jardin) dans le Ksar de Beni Mehllal (Remini B., 2007)



Fig. VII.5. Kasria de la foggara de Meghier (foggara classique) à Timimoun (Remini B., 2007)

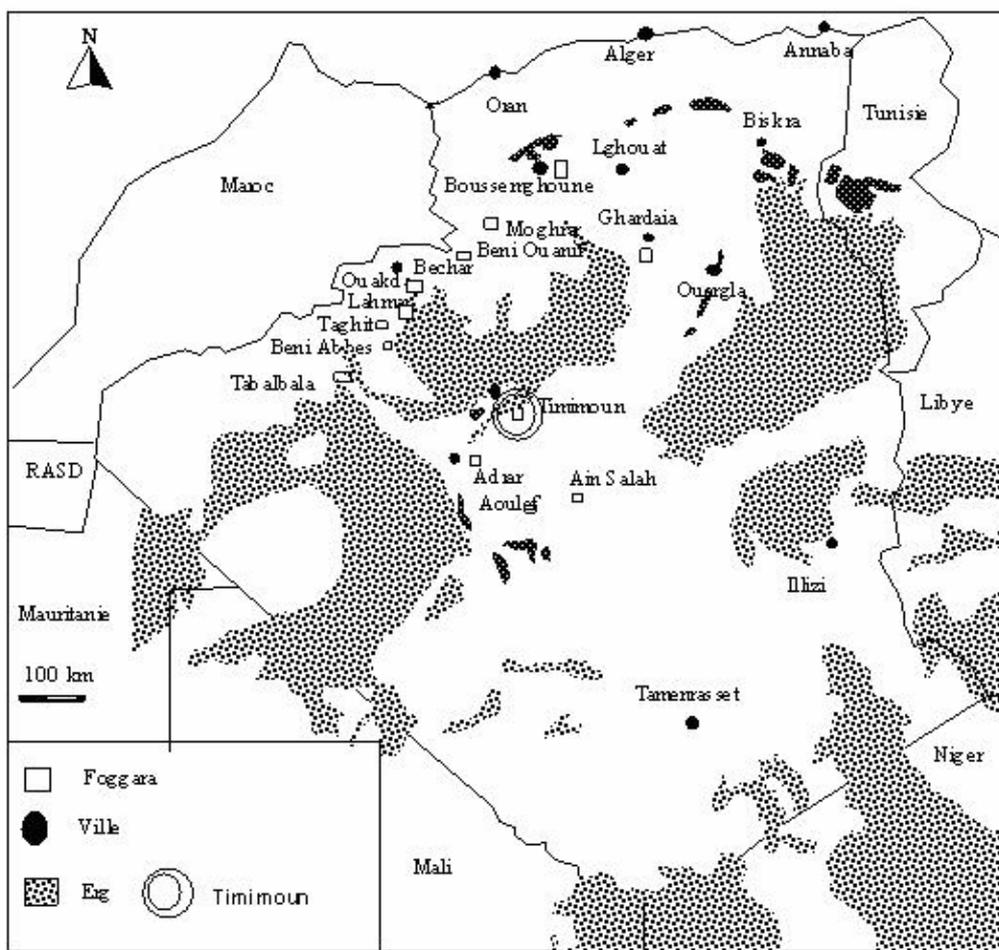
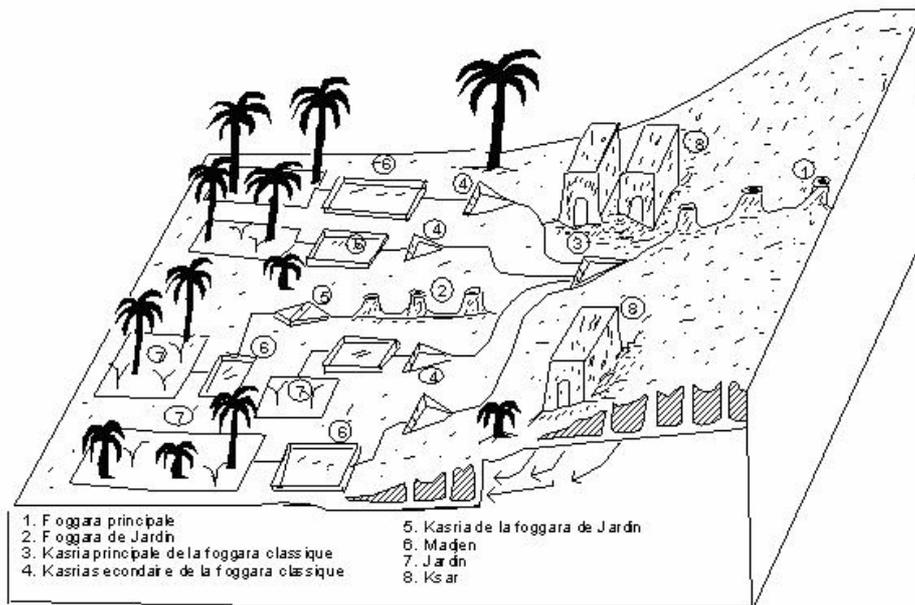


Fig. VII.6. Situation de la région d'étude

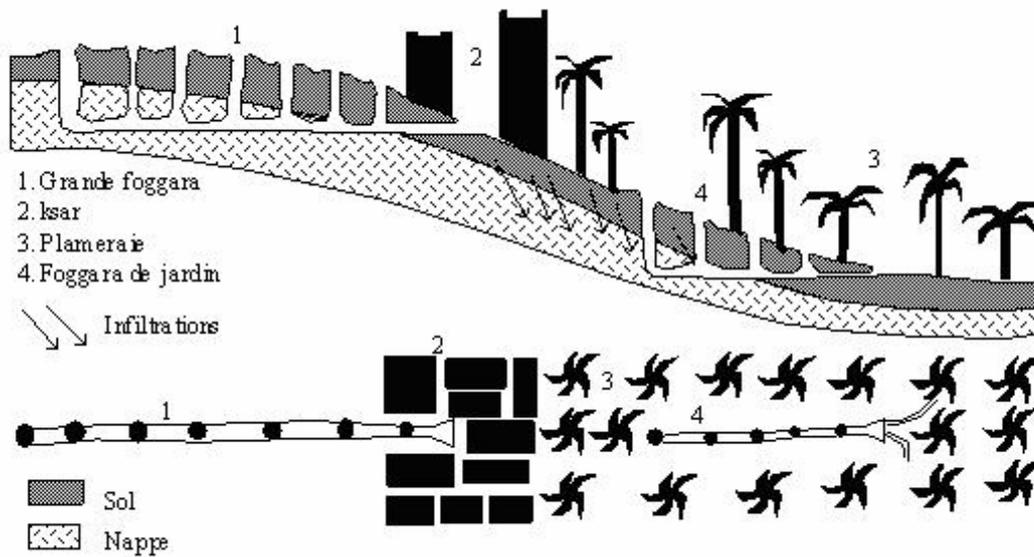
VII.3. La foggara de jardin

VII.3.1. Caractéristiques de la foggara de Jardin

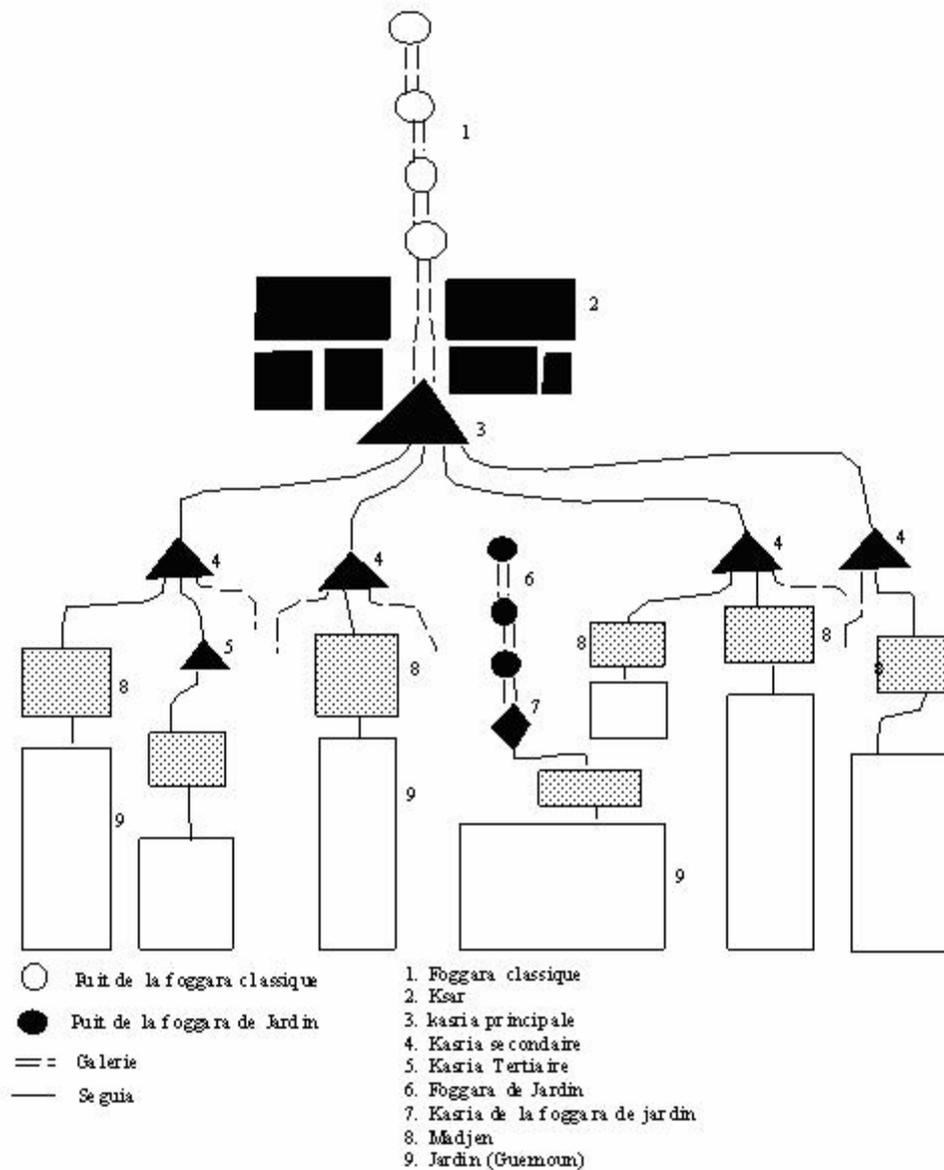
La foggara de jardin est une petite foggara dont la longueur ne dépasse pas 1.5 km. C'est une foggara qui appartient à une seule famille. Son débit est faible par rapport à la foggara classique. Elle est creusée à l'aval d'une ou de plusieurs foggaras classiques. Elle capte son eau à partir des eaux de drainage et de lessivage d'irrigation de la palmeraie en provenance des grandes foggaras. Toute eau perdue par la foggara classique ; par infiltration des eaux de seguias, des Madjens est récupérée par cette petite foggara (Fig. VII.7 (a, b et c)). La distribution de l'eau pour ce type de foggara est simple et ne demande aucun partage. Ce type de foggara n'est pas équipé d'une Kasria classique, mais plutôt kasria spéciale dont le peigne est muni d'une ouverture centrale.



a) Vue générale d'une foggara de Jardin



b) Coupe d'une Foggara de jardin



c) Vue en plan d'une Foggara de jardin

Fig. VII.7. Schéma synoptique d'une foggara de Jardin

VII.3.2. Fonctionnement de la foggara de Jardin

Le fonctionnement d'une telle foggara est très simple et ne demande aucun partage entre les co-propriétaires comme la foggara classique : elle appartient à un seul propriétaire. A la sortie de la galerie, on trouve une kasria de forme losange (Fig. VII.8) et non triangulaire comme la classique. Dans la kasria, on place une plaque rocheuse de forme rectangulaire trouée au centre qui se ferme avec un tissu imbibé d'argile (joue le rôle d'une vanne). Pour une bonne opération d'irrigation, on obture l'ouverture et une fois la galerie se remplit d'eau, on ouvre l'orifice pour permettre le remplissage des Madjens dans un délai acceptable (Fig. VII.9 et VII.10).

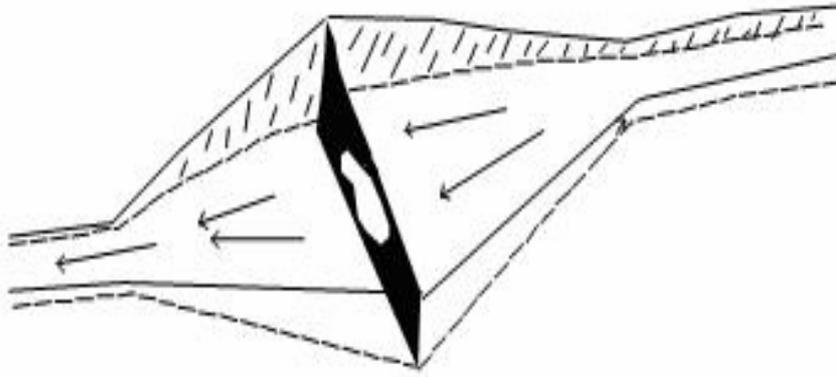


Fig. VII.8. Schéma synoptique d'une kasria de la foggara de Jardin

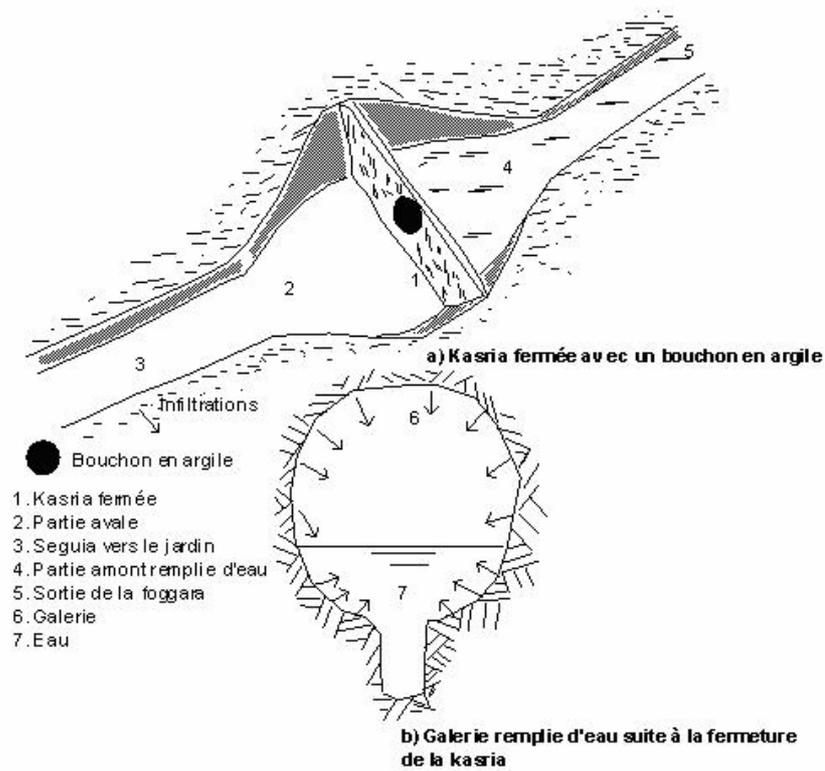


Fig. VII.9. Fermeture de la kasria et la remontée de l'eau dans la galerie

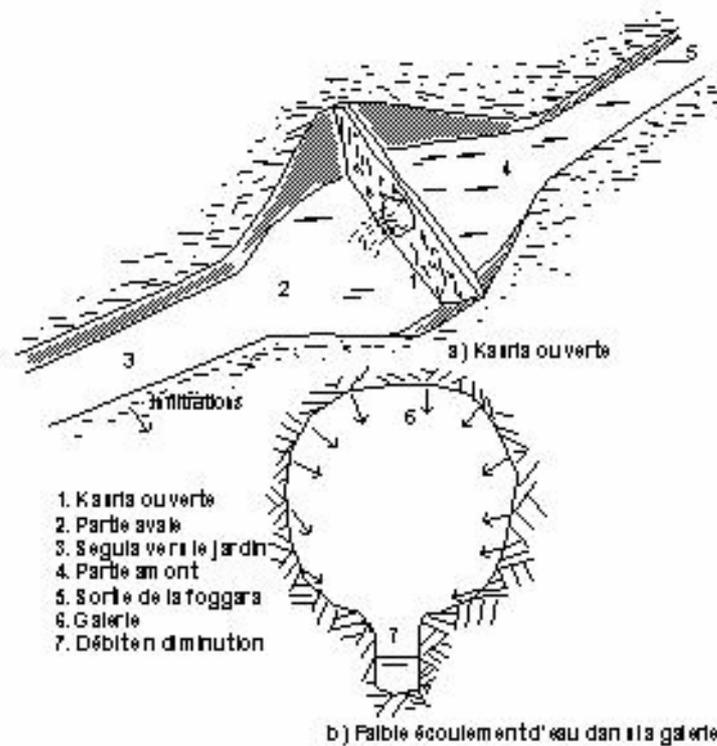


Fig. VII.10. Ouverture de la kasria et l'abaissement de l'eau dans la galerie

C'est un exemple particulièrement spectaculaire de l'art des oasis algériens. Ce type de foggara paraît ne jamais avoir été décrit ni même signalé jusqu'ici en Algérie. Non visible sur image satellitaire ni même sur photographie aérienne et les cartes topographiques, parce que ce sont de petites foggaras qui ne dépassent pas les 20 puits d'aération et sont situés dans la palmeraie.

Contrairement aux foggaras classiques, on ne connaît pas l'origine et le développement exact de cette technique. S'agit-t'il d'une évolution locale due au manque d'eau d'irrigation des jardins situés plus loin à l'aval de la foggara principale ? S'agit-t'il d'une maîtrise de la technique des foggaras qui permet de mieux gérer l'eau sans gaspillage et de bien exploiter l'eau pour l'irrigation ?

Pour cette première étude, nous avons recensé dans les oasis de Timimoun 7 foggaras de jardin, dont les caractéristiques figurent dans le tableau VII.1.

Tableau VII.1. Caractéristiques des foggaras de jardins

Foggara	Longueur (m)	Nombre de puits	Débit (l/s)
Agalou	100	20	0.012
Zahzaa	120	15	0.02
Akraf	60	10	0.01
Ksar Akdim1	50	2	0.01
Ksar Akdim2	90	20	0.01
Oukala	Foggara	abandonnée	
Bouchouk	Foggara	abandonnée	

Nous constatons d'après ces valeurs que la foggara de Jardin se caractérise par de faible débit et de courte galerie. A titre d'exemple, il faut 12 heures (durant la nuit) pour remplir la galerie de la foggara de zahzaa d'un volume de 850 litres.

Conclusion

Puisqu'elle est située dans les jardins, nous l'avons appelé « foggara de jardin ». C'est une technique originale qui n'a jamais été signalée en Algérie. Elle traduit le génie oasien qui montre l'intérêt des ksouriens des oasis de Timimoun envers cette denrée rare dans un milieu sec hostile à la vie. Il n'y a ni déficit, ni un surplus d'eau, aucune goutte d'eau ne se perd, tout est utilisé dans l'irrigation d'une façon optimale. La foggara de jardin récupère les infiltrations de la foggara classique à l'amont pour la réutiliser dans l'irrigation des jardins situés loin à l'aval. Nous avons recensé cinq sur sept foggaras de ce type en exploitation. Les foggaras de jardin sont généralement construit à Timimoun ; on compte 7 foggaras ; Agalou (20 puits), Zahzaa (15 puits), Akraf, Ksar el kedim1 et ksar el nkedim2. Les foggaras : Oukala et Bouchouk sont abandonnées.

Chapitre VIII

LA TRIPLE FOGGARA D'OULED SAID : L'INGENIOSITE DE LA PAYSANNERIE SAHARIENNE

Introduction

Le Sahara est le plus grand désert de la planète, il est considéré comme une région hyperaride et aride, la moyenne annuelle des précipitations ne dépasse pas les 150 mm/an. Pour faire face au déficit pluviométrique, le recours à l'exploitation des eaux souterraines est indispensable pour tout développement économique et social de la région. A cet effet, diverses techniques de captage des eaux des nappes ont été utilisées dans l'histoire des oasis. Le choix d'une technique est subordonné aux conditions hydrogéologiques du site et la maîtrise du savoir hydraulique. On trouve la technique du puits à balancier qui fait appel à l'énergie humaine (le Chadouf). Cette technique était répandue dans les oasis de Timimoun, Adrar, Mogharrar. Aujourd'hui il en reste un seul modèle fonctionnel dans les oasis de Bousemghoun (région d'El Bayadh). Une autre technique est très répandue dans la vallée de Mزاب, il s'agit de la « khottara », un puits traditionnel qui fait appel à l'énergie animale. Mais l'ingéniosité de l'oasien a été démontrée avec l'invention de la foggara. C'est un système hydraulique constitué d'une galerie souterraine de faible pente qui relie la nappe à la surface du sol. Sans énergie humaine ni animale, l'eau arrive tout simplement par gravité aux jardins. La galerie est équipée d'une multitude de puits d'aération creusés à intervalles réguliers. Que se soit pour la foggara du Sahara algérien ou la qanat d'Iran, le principe de fonctionnement est le même. Cependant, l'origine de la qanat est bien connue des spécialistes ; elle a été mise en service dans le nord - ouest de l'Iran il y a 3000 ans (Goblot H., 1979, Wulf HE., 1968, Goblot H., 1963). Par contre, l'origine de la foggara du Sahara algérien est entourée de doutes. Certains auteurs affirment que c'est une invention locale, d'autres disent que c'est plutôt une technique transférée de l'ancienne Iran via l'Arabie. Ce n'est pas l'objectif de cette étude, mais l'essentiel est que la qanat ait fait le tour de la planète, et qu'elle soit pratiquée dans plus de 35 pays (Hofman A., 2007).

Avec le temps, l'oasien a amélioré son système hydraulique tout en l'adaptant aux conditions socio-économiques et environnementales de la région. Généralement, une foggara est conçue pour l'alimentation en eau potable de la population et l'irrigation de la palmeraie. Elle peut être réalisée pour des situations particulières, comme la foggara d'El Meghier de Timimoun, destinée à l'alimentation de la population du ksar, l'irrigation de la palmeraie et, pour une moitié de son débit, à l'alimentation de la piscine communale (Remini B. et Achour B., 2008). Les paysans iraniens ont élaboré des qanats en escalier pour faire fonctionner des moulins en Iran (Papoli-Yazdi in Balland D., 1992).

Pour l'irrigation des petites parcelles au piémont des montagnes, les agriculteurs afghans ont inventé le karez de montagne, constitué d'une galerie horizontale de quelques mètres (Balland D. et Brognetti M. in Balland D., 1992). Pour l'amélioration du débit d'une foggara, des ramifications peuvent être ajoutées à la galerie principale ; c'est le cas des foggaras de Timimoun.

En Iran, une qanat à double galerie superposée a été inventée pour augmenter son débit (Safi Nezad J. in Balland D., 1992). A Timimoun, dans l'oasis d'Ouled Said, une foggara particulière a attiré notre attention, elle attire chaque année des centaines de touristes curieux du génie oasien. On a voulu comprendre dans cette contribution, le fonctionnement et le partage de la triple foggara. Les problèmes techniques, environnementaux et socio-économiques que rencontre la triple foggara seront traités dans cet article.

VIII.1. Missions dans la région de Timimoun

C'est à l'occasion de missions effectuées en 2007 et en 2008 dans les oasis du sud-ouest du Grand Erg Occidental qu'on a visité 25 foggaras opérationnelles sur les 100 existantes. Une foggara particulière nous a impressionnés, il s'agit de la triple foggara d'Ouled Said. Elle est située au milieu des oasis d'Ouled Said, à 20 km au sud de la ville de Timimoun et à 1200 km au sud d'Alger (fig. VIII.1). Vu l'absence d'études sur cette foggara, on s'est contenté de mesures hydrométriques des débits au niveau des galeries et des souaguis. Des enquêtes et des entretiens auprès des propriétaires, paysans et de la population d'Ouled Said ont été menées durant les deux missions.

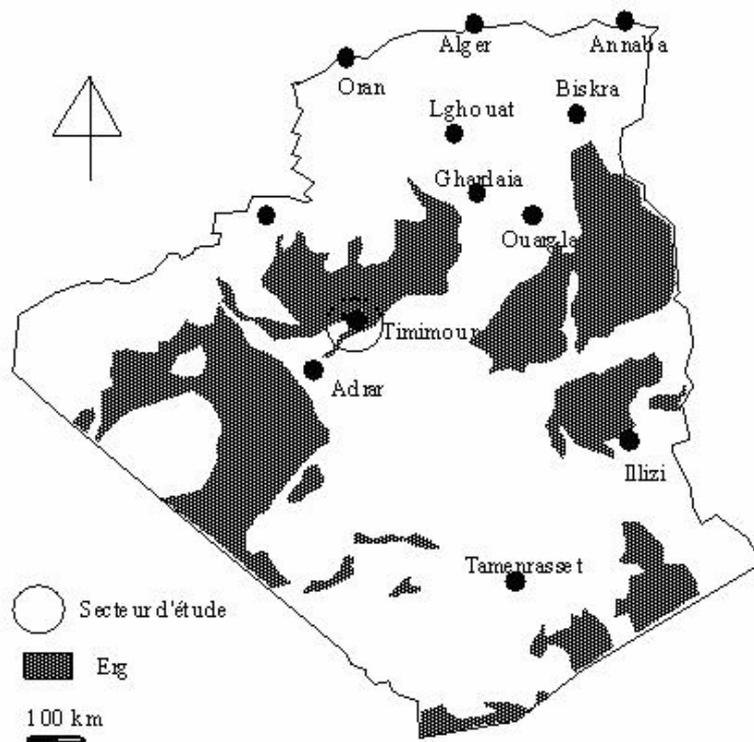


Fig. VIII.1. Localisation de la région d'étude

VIII.2. Résultats et discussion

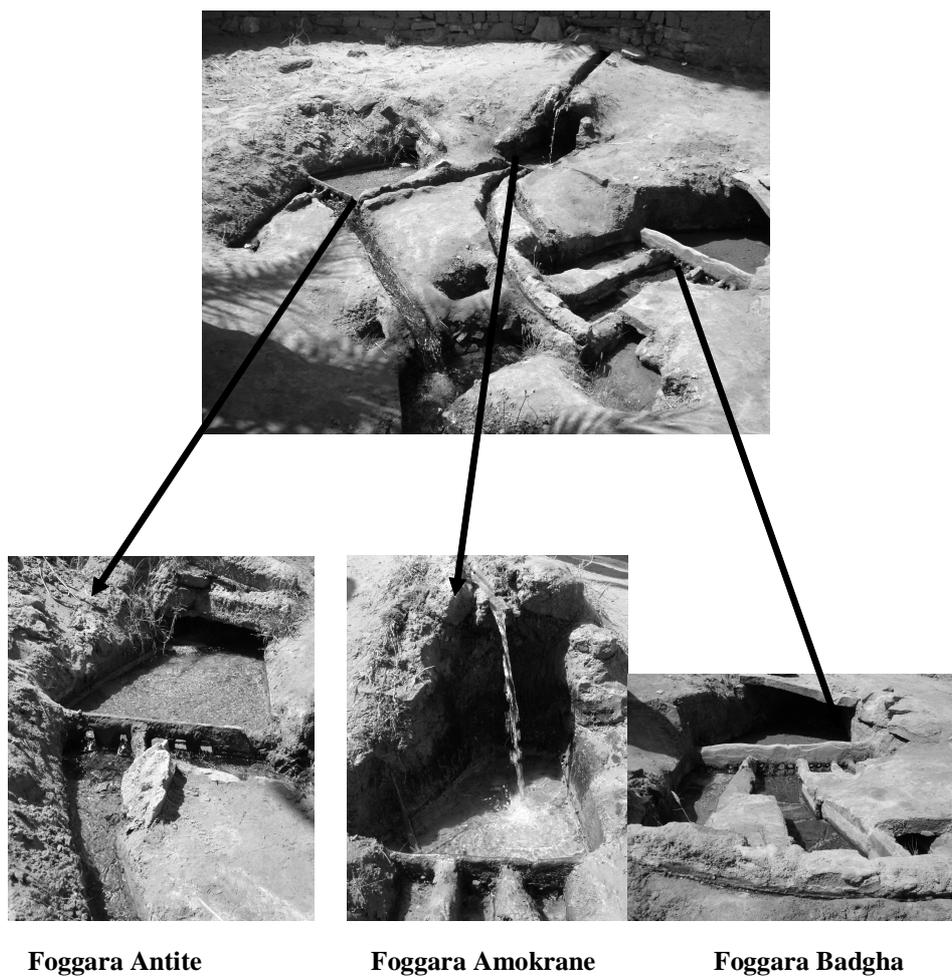
VIII.2.1. Caractéristiques de la triple foggara d'Ouled Said

Ouled Said est une commune très connue par ces ksours particuliers de couleur noire et ses 100 foggaras opérationnelles. Une foggara particulière, située au centre des jardins d'Ouled Said, regroupe trois foggaras sur le site d'Ouled Haroun.

Il s'agit des foggaras de Badgha, Amokrane et Antrite (Fig. VIII. 2 et VIII. 3). Contrairement aux foggaras de Timimoun centre et d'Adrar qui captent les eaux de la nappe profonde du Continental Intercalaire, ces trois foggaras exploitent les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental. Ces eaux se forment au dessous du Grand Erg Occidental grâce à l'eau qui s'écoule lentement sous l'Erg dans les anciens cours d'eau en provenance de l'Atlas Saharien. Les trois foggaras ont été creusées progressivement, au fil du temps. Les galeries en provenance du Grand Erg Occidental sont perdues au-dessous des immenses dunes de sable et personne n'a confirmées leur itinéraire exact. Une fois sortie de l'Erg, les trois foggaras d'une longueur dépassant 1 km convergent au même endroit au milieu des oasis d'Ouled Said pour former un site de partage et de répartition de l'eau, la foggara de Badgha, comme la surnomme la population locale. Quant à nous, on a préféré donner au dispositif le nom de la Triple foggara d'Ouled Said.

L'originalité de la triple foggara d'Ouled Said réside dans son réseau ramifié de souaguis (pluriel de la seguia), destinées à la distribution de l'eau entre les 150 propriétaires des foggaras. Il s'agit du réseau le plus dense et le plus compliqué de toutes les oasis du Grand Erg Occidental. C'est un véritable enchevêtrement de souaguis creusées et façonnées avec de l'argile et de la roche.

Tout est calculé et mesuré à une haba près sans la moindre erreur. Une haba qui représente l'unité de mesure dans la région d'Ouled Said est égale à 2,6 l/mn. Grâce aux kasriates (pluriel de Kasria), chaque propriétaire reçoit sa part d'eau en fonction de son effort et de sa contribution à la réalisation et à l'entretien de la foggara. Ce réseau a été conçu par le collectif graduellement dans le temps en fonction de l'évolution des quantités d'eau distribuées aux propriétaires ayant des actions dans les deux ou les trois foggaras



Foggara Antite

Foggara Amokrane

Foggara Badgha

Fig. VIII. 2. La Triple foggara d'Ouled Said (Timimoun) (Remini B., 2008)

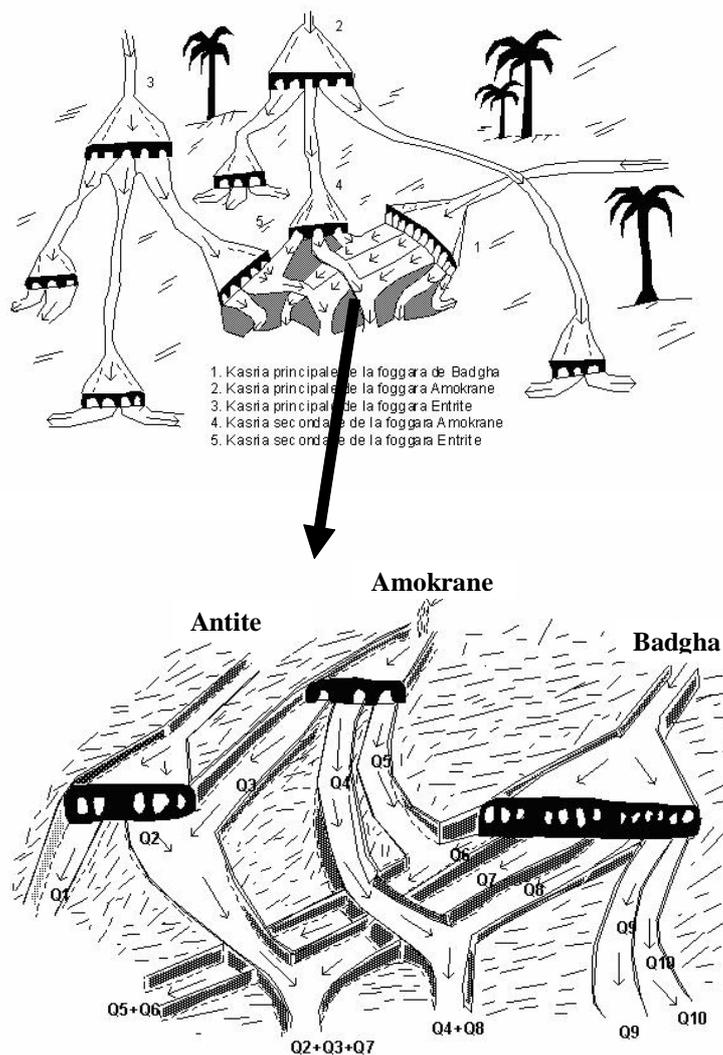


Fig. VIII. 3. Schéma synoptique du site d'Ouled Haroun : lieu de convergence des foggaras : Antrite, Amokrane et Badgha

VIII.2.2. Evolution du débit de la foggara

L'eau de la triple foggara provient de 3 foggaras différentes : Antrite, Badgha et Amokrane. Le débit total mesuré en 2008 au lieu de rencontre d'Ouled Haroun a diminué de 85% par rapport à son débit initial (26 l/s au début des années 90) pour atteindre 3,5 l/s. La foggara d'Antrite, d'une longueur de 1500 mètres, est équipée de 100 puits d'aération (fig. VIII.4). Son débit est de 4l/s selon le dernier recensement effectué en 1998 par l'Agence nationale des ressources hydriques. Ce débit a diminué pour atteindre 2l/s selon les mesures volumétriques que nous avons effectuées durant le mois de février 2008. Le débit mesuré au niveau de la kasia secondaire, au lieu de rencontre d'Ouled Haroun, est de 1,2 l/s.

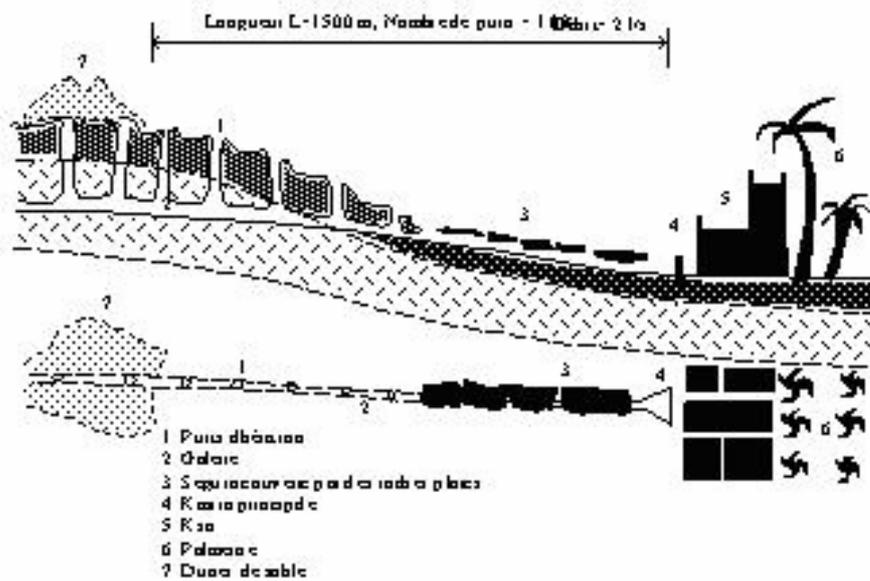


Fig. VIII.4. Schéma synoptique de la Foggara Antrite

La foggara Amokrane, d'une longueur de 2 kilomètres est équipée de 50 puits d'aération, débité 4l/s selon le dernier recensement effectué par l'Agence nationale des ressources hydriques (Fig. VIII.5). Les dernières mesures que nous avons menées en 2007 et en 2008 ont donné respectivement un débit de 2,5 l/s et de 2 l/s. Au niveau de la kasria secondaire sur le site d'Ouled Haroun, on a obtenu un débit de 1l/s.

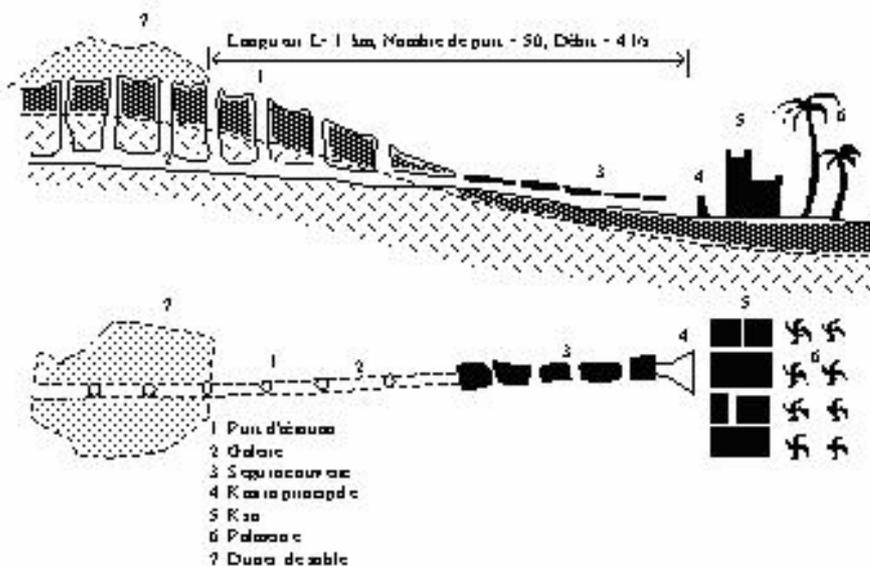


Fig. VIII.5. Schéma synoptique de la Foggara Amkrane

La foggara de Badgha, d'une longueur de 2 kilomètres, équipée de 200 puits, draine un débit de 0.8 l/s selon le dernier inventaire effectué par l'Agence nationale des ressources hydriques en 1998 (Fig. VIII.6). Son débit a augmenté pour atteindre 1,3 l/s selon nos mesures effectuées en 2008.

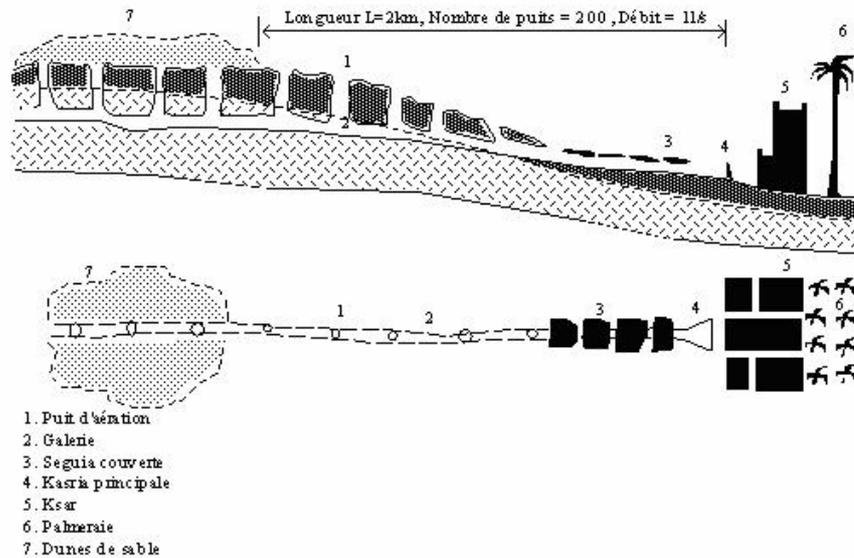
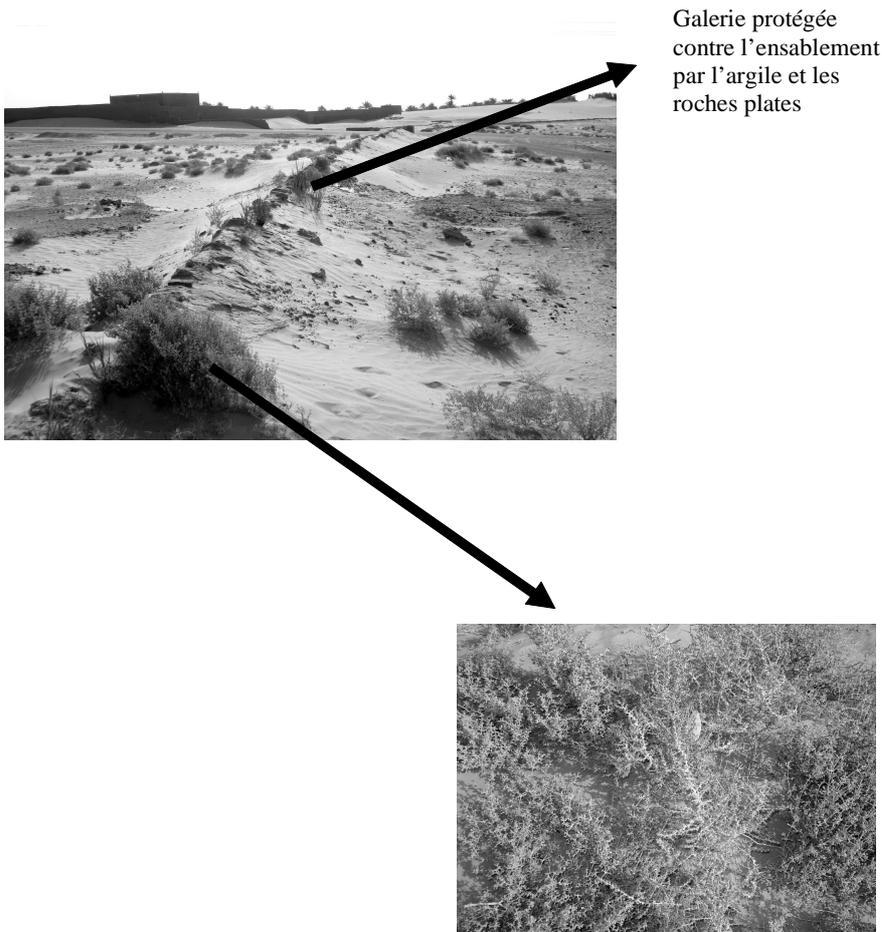


Fig.VIII. 6. Schéma de la Foggara Badgha

Il ressort de ces valeurs que le débit de la triple foggara sur le site d'Ouled Haroun avoisine 3,5 l/s. Il est en nette régression et risque de s'annuler à court terme. La population d'Ouled Said s'inquiète de cette décroissance, puisque la part d'eau de chacun des 150 propriétaires et héritiers devient insuffisante pour l'irrigation des jardins. La population pense que l'assèchement de la triple foggara est inévitable.

Selon les propriétaires de la foggara, des problèmes environnementaux et socio-économiques sont la cause principale de cette dégradation. L'ensablement demeure un problème épineux, puisque à chaque vent de sable, les kasriates et les galeries sont envahis par le sable. En plus du nettoyage périodique, la couverture des seguias et des galeries avec de l'argile et des roches plates est devenue une opération obligatoire. C'est une solution efficace, mais elle demeure temporaire. En cas de précipitations, l'argile se dilue dans l'eau et le matériau est emporté par le ruissellement. Les vents de sable accentuent le dépôt sableux dans les seguias et les galeries. L'entretien de ces ouvrages devient une opération délicate puisqu'elle nécessite le déplacement de moyens humains et matériels sur plusieurs kilomètres dans l'Erg. Une plante sauvage, appelée localement «Tezra», est qui pousse dans l'Erg envahi les galeries et les seguias (fig. VIII.7). Ses racines longues de plusieurs mètres, forment un véritable bouchon dans les galeries d'une foggara. Ceci entraîne une réduction rapide de la section mouillée et du débit de la foggara. Son entretien exige un déplacement de plusieurs kilomètres dans l'Erg pour brûler la plante ; l'unique solution pratiquée par les oasiens. Une solution temporaire, puisqu'en quelques jours, la plante repousse une nouvelle fois.



Galerie protégée
contre l'ensablement
par l'argile et les
roches plates

Fig. VIII. 7. La plante « Tazra » (Remini B., 2007)

Contrairement aux autres régions de Timimoun, il n'existe pas de problème de tarissement de la foggara suite à l'équipement des puits individuels par les motopompes. Ces puits captent une autre nappe. Mais l'apport de ces motopompes dans les oasis d'Ouled Said a accentué le creusement et la multiplication des puits.

La population s'éloigne de plus en plus de l'irrigation collective par foggara au détriment de l'irrigation individuelle (Puits à motopompe). Les oasisiens n'ont pas hésité à soulever les questions de l'héritage et de la migration de la population vers les grandes villes, qui a pris de l'ampleur ces dernières années. Déjà, on a constaté en ces lieux, la présence de jardins complètement dégradés et abandonnés, de terres fertiles livrées à l'érosion hydrique et éolienne. Tous ces problèmes cités précédemment ont des conséquences néfastes sur la vie socio-économique de l'oasis ; une agriculture abandonnée, la perte de l'autosuffisance alimentaire, une croissance du chômage et de la pauvreté.

VIII.2.3. La triple foggara d'Ouled Said : une véritable bourse hydraulique

La répartition de l'eau d'une foggara fait l'objet de tractations et de règlements complexes. Chaque propriétaire peut vendre, acheter ou louer sa part. La triple foggara d'Ouled Said est devenue une véritable bourse d'eau où les gens vendent, achètent et louent leurs actions qui représentent les parts d'eau.

Ceci implique l'existence d'une organisation de partage et de répartition de l'eau de la foggara. Le point de convergence des trois kasriates est devenu un lieu de rencontre des vendeurs et des acheteurs d'eau. A chaque événement de vente ou d'achat d'une action (part d'eau), les propriétaires, le Kial el ma, avec ses instruments de mesure (Louh), El Hassab, les Chouhous et la population assistent à l'opération. C'est le Kial el ma qui procède à la mesure du débit, lequel sera enregistré dans le Zemmam (registre) en présence des Chouhous. Une fois que le nouvel actionnaire est enregistré, on procède au creusement et au façonnement de la nouvelle seguia (canal en terre) qui va joindre la kasria à sa seguia initiale (qui provienne de sa première foggara) ou directement au jardin. Sur la figure VIII.3, on a représenté un groupe de propriétaire détenteurs de 3 seguias en provenance de 3 kasriates (Q2+ Q3+Q7) qui se rencontrent au même point pour rejoindre la seguia principale puis les jardins. Ces propriétaires possèdent des actions dans les trois foggaras. Deux autres groupes de propriétaires ont des actions dans deux foggaras (Q4+Q8 et Q5+Q6). Une fois définie la part d'eau par le Kial El ma, elle sera subdivisée encore une deuxième fois à l'aval par une kasria secondaire entre le groupe d'actionnaires. Dans ce cas, chacun reçoit sa part d'eau en fonction de sa contribution.

Conclusion

Uniques dans le Sahara algérien, trois foggaras s'unissent sur le site d'Ouled Haroun au milieu des jardins des oasis d'Ouled Said dans la région de Timimoun ; on l'a surnommée la triple foggara d'Ouled Said. Il s'agit des foggaras d'Antrite, Amokrane et Badgha. Un véritable enchevêtrement de seguias en provenance des trois kasriates alimente d'autres seguias et les jardins des propriétaires. Chacun des propriétaires reçoit sa part d'eau exacte attribué au départ par le Kial el ma en fonction de sa contribution. Les mesures de débit effectuées auprès des trois kasriates ont donné un débit de 3,5l/s. Il est beaucoup plus faible que celui de 1970, puisqu'il était égal à 26 l/s. Ce débit ne satisfait pas les besoins d'irrigation de 150 propriétaires. Ce sont des problèmes techniques, socio-économiques et environnementaux qui ont contribué à la dégradation de cet ouvrage. On risque à court terme de perdre ce patrimoine socio culturel, objet de fierté de toute la population d'Ouled Said. Sa réhabilitation, même si elle s'avère être une solution temporaire, devient aujourd'hui indispensable pour la sauvegarde des oasis de la région.

Chapitre IX

LES TISSANBATHE DE GHARDAIA

Introduction

S'il y a un exemple à prendre et à suivre pour la gestion de l'eau c'est celui de M'zab. En effet malgré le climat hostile de la région de M'zab connu pour sa faible pluviosité, les Mozabites depuis sept siècles maîtriser les déficits en eau en cas de sécheresse et l'excès en cas d'inondations. Il est à signaler que chez les mozabites le jour d'arrivée des crues dans la région est un jour de fête. Tout le monde se met à bord de l'oued à observer et à fêter l'événement. L'eau est considérée par les Mozabites comme un bien précieux. Pour récupérer les eaux de crues, les Mozabites ont pu réaliser un système ingénieux de captage des eaux de ruissellement dans la vallée de Mzab. Le système appelé par les Mozabites « Tissanbathe » est toujours fonctionnel grâce à l'organisation sociale Mozabite.

IX.1. Aperçu historique

Certains auteurs disent que le fondateur du système de partage d'eau est le cheikh Hamou Ould Hadj décédé en 1717. D'autres le considèrent comme le rénovateur, par contre le fondateur de ce système est le cheikh ba Mohamed Abou Sahaba décédé en 1273. Une crue a endommagé le système de partage en 1306, et c'est le cheikh Hamou Ould El Hadj qui a reconstruit le barrage de Bouche et Touzouz durant la fin du seizième siècle.

IX.2. Un aperçu sur les crues de Oued Mzab

La vallée de M'zab est une vallée saharienne située dans une sorte de filet de montagnes sèches dépourvues de tout cours d'eau naturel appelé chebka (fig. IX.1) L'oued Mzab passe par la ville de Ghardaïa, il est constitué à l'amont par la confluence de trois oueds ; El Abiod Laadhira et Arguedane. L'oued M'zab ; oued prenant naissance dans la région de Botma Touila et se termine dans la sebkhat Sefioune (fig. IX.2 et IX.3). Appelée par les Mozabites, la rivière qui « balaie tout » en raison de son écoulement exceptionnel, dont la vitesse peut atteindre 6 m/s. L'oued de M'zab est caractérisé par des crues exceptionnelles qui se produisent le plus fréquemment du mois de septembre au mois d'avril. L'oued M'zab a connu une crue qui a coulé pendant 3 jours du 28 au 29 septembre 1992. Il a connu aussi de 1943 à 1949 des sécheresses extrêmement redoutables. Le jour de pluie reste un moment exceptionnel pour les Mozabites. Il est considéré comme un jour de fête et de joie. Le caractère heureux de l'arrivée d'une crue s'exprime par le mot « El Oued Youssed » (l'oued est venu). Ceci montre l'importance que donne la population de M'zab à l'eau.



Fig. IX.1. Vue générale de la vallée de M'zab (Remini B., 2006)

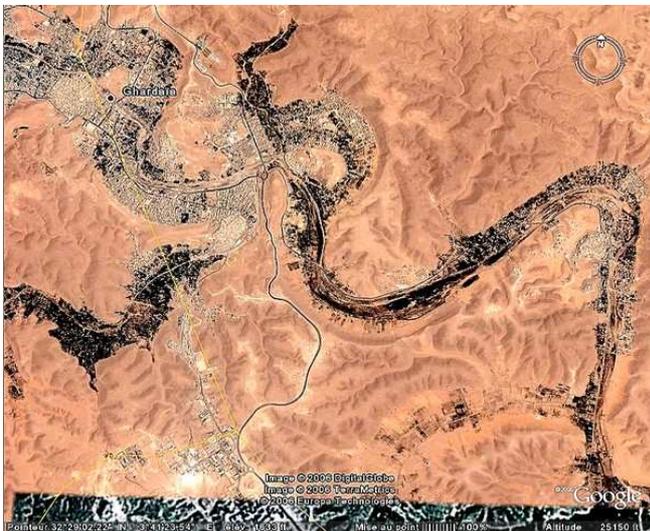


Fig. IX..2. Image satellitaire de Oued Mzab (Source Gogle Earth)

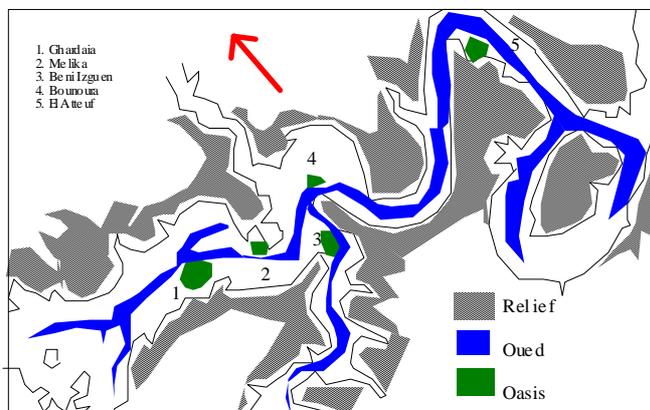


Fig. IX.3. Schéma du cheminement de l'oued M'zab

IX.3. Description du système Msaraf de Ghardaïa

Toutes les eaux de crues des oueds de la région de M'zab sont captées et récupérées par un système ingénieux appelé : « Msaraf » pluriel du mot « Masraf » qui veut dire évacuer. Le système Msaraf est constitué de cinq éléments principaux qui se situent de l'amont à l'aval de la palmeraie.

IX.3.1. Seuils en enrochement

Des seuils (murs construits en roche et en gypse) de 50 a 60 m de longueur et de 01 m de hauteur sont placés en chicanes dans les versants rocheux. Leur rôle est de drainer l'eau ruisselée jusqu'à l'oued Mzab (Fig. IX.4).



Fig. IX.4. Seuils de de collecte des eaux de ruissellent (Remini B., 2007)

IX.3.2. Barrages de stockage

C'est des barrages de stockage qui servent à capter les eaux collectées durant les crues. Ce sont les barrages de Touzouz et Bouchene (Fig. IX.5 et IX.6).



Fig. IX.5. Barrage Bouchene (photo. Remini B., 2007)



Fig. IX.6. Barrage de Touzouz (photo. Remini B., 2007)

IX.3.3. Le Peigne appelé le Machte

C'est une sorte de grand peigne présentant 36 ouvertures rectangulaires réalisées avec des pierres taillées, muni par des vannes coulissantes. Le Machte permet de faire chuter l'énergie cinétique de l'écoulement avant l'arrivée dans les galeries souterraines (Fig. IX.7 et IX.8).



Fig. IX.7. Machte (Msaref) (photo. Remini B., 2007)



Fig. IX.8. Ouvertures du Machte de forme rectangulaire (photo. Remini B., 2007)

IX.3.4. Les galeries souterraines

Le système de partage de Ghardaïa se compose de 04 galeries souterraines qui se dirigent en groupe dans les différents quartiers de la palmeraie. Elles relient le Machte jusqu'aux seguias (à l'entrée de la palmeraie). Les galeries de sections rectangulaires présentent la forme d'un divergent de dimensions en amont de 0,80 m × 1 m et en aval de 1,5 m × 2 m (Fig. IX.9). Cette configuration permet d'amortir pour la deuxième fois la vitesse de l'écoulement à l'entrée de la palmeraie et d'éviter l'éclatement des galeries lors de fortes crues. La vitesse de l'écoulement à la sortie de la galerie sera dans ce cas égale au $\frac{1}{4}$ de la vitesse initiale.

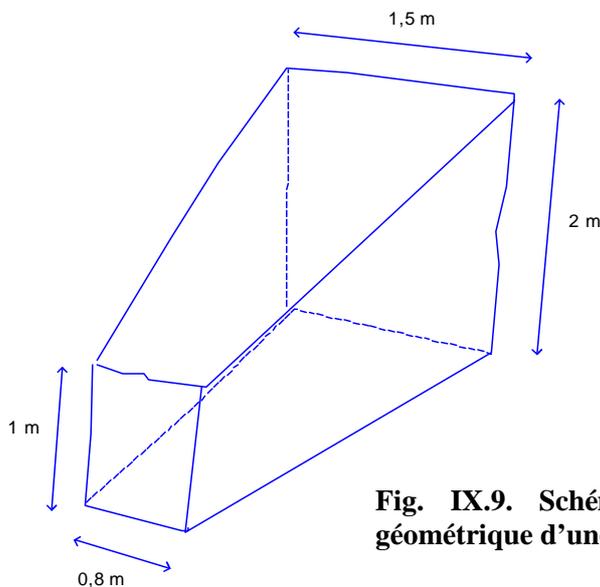


Fig. IX.9. Schéma de la forme géométrique d'une galerie

Les galeries sont équipées par des puits d'aération. Elles ont été perforées par des moyens manuels et portent une margelle élevée réalisée avec des pierres et du gypse. Afin d'éviter des situations de bouchage et de colmatage lors des crues, les galeries communiquent entre elles en formant un réseau souterrain complexe (Fig. IX.10, IX.11, IX. 12 et IX.13).



Fig. IX.10. L'entrée de la galerie (photo. Remini B., 2007)

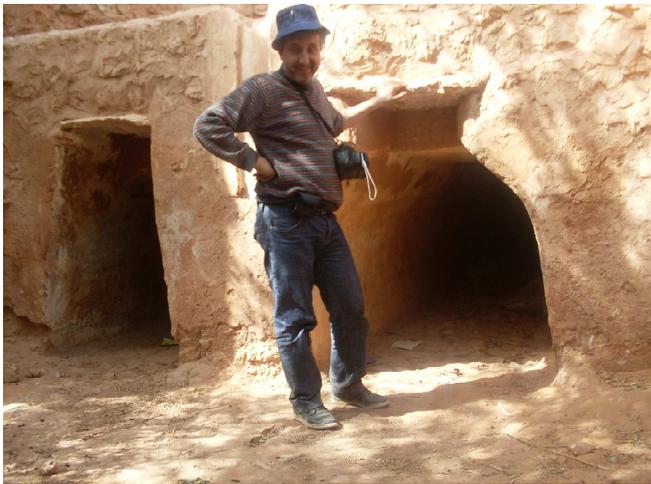


Fig. IX.11. La sortie de la galerie (photo. Remini B., 2010)



Fig. IX.12. Les puits d'aération des galeries (photo. Remini B., 2007)



Fig. IX.13. Un puit d'aération (photo. Remini B., 2007)

IX.3.5. Les Seguias

Les ruelles de la palmeraie jouent un double rôle ; circulation des oasisiens en période de sécheresse et comme seguias pour drainer l'eau en période de crues (Fig. IX.14). Il existe des seguias principales dont la largeur est égale à la somme de deux ânes bien chargés circulant l'un à côté de l'autre et des seguias secondaires dont la largeur est égale à un seul âne bien chargé. Les murs des jardins qui servent de berges de seguias, sont réalisées en roche et en gypse pour la partie inférieure (environ 1 m) et en terre pour la partie supérieure (environ deux mètres) (Fig. IX.15. et IX.16). Cet aménagement sert en cas de surélévation du niveau d'eau dans la seguia (fort débit d'eau). Quand la hauteur d'eau dépasse le niveau du mur inférieur, l'eau détruit facilement le mur en terre et inonde les jardins. Ceci minimise les dégâts à l'aval ;



Fig. IX.14. Ruelle / seguia principale (photo. Remini B., 2007)

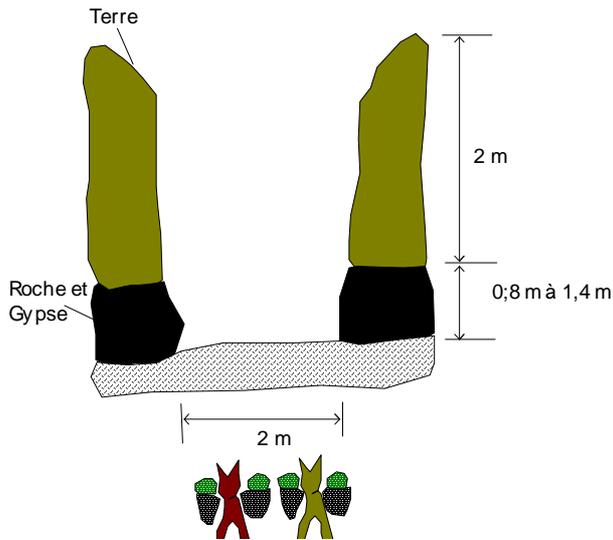


Fig. IX.15. Schéma d'une section transversale d'une seguia

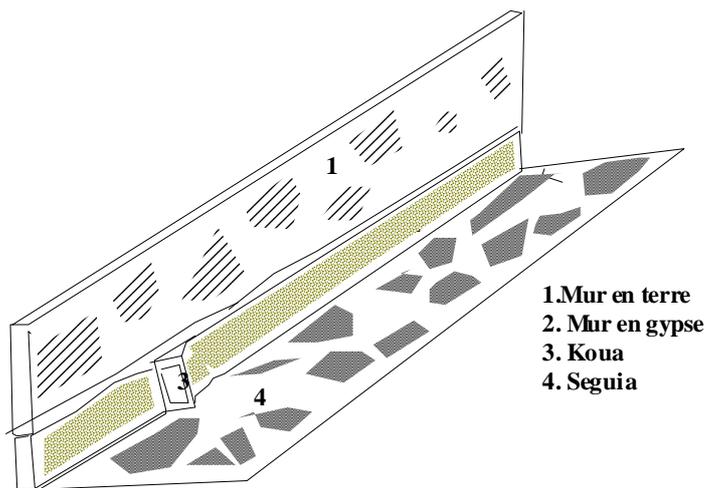


Fig. IX.16. Schéma simplifié d'une partie de seguia

IX.3.6. Dignes (Ahas)

Des digues de barrages appelés Ahas est localisés dans l'oued Mzab à l'aval de la palmeraie qui capte le surplus d'eau de crues qui viennent de la palmeraie. Ces seuils favorisent l'infiltration et réalimentent la nappe phréatique et jouent le rôle d'obstacles pour les sédiments (Fig. IX.17).



Fig. IX.17. Ahbas Ajdid (photo. Remini B., 2007)

IX.4. Fonctionnement de la foggara de Ghardaïa

Le système hydraulique de Ghardaïa se compose de trois parties principales (Fig. IX.18). L'amont est constitué des barrages de Touzouz, de Bouchene, des Mssaref et des galeries souterraines. Au niveau de la palmeraie, surnommée El Ghaba (forêt), on trouve des seguias, des jardins et des puits traditionnels. A l'aval de la palmeraie, on rencontre des digues de captage des eaux (Fig. IX.19 et IX.20).

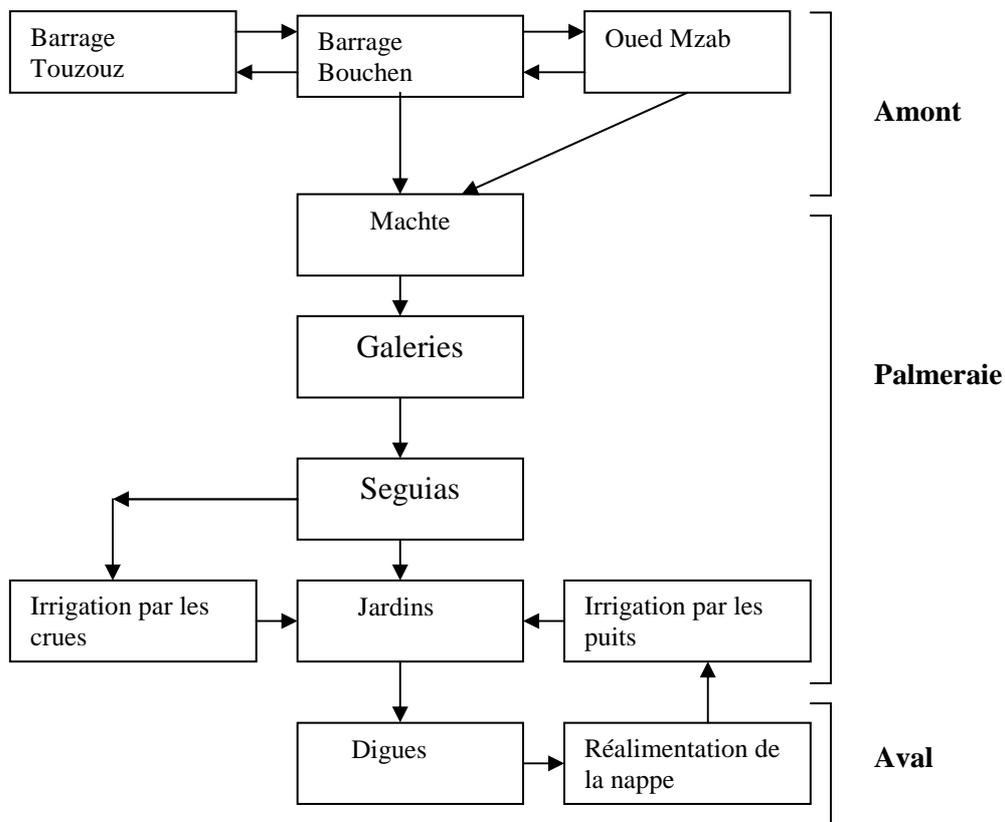


Fig. IX.18. Etapes de fonctionnement du système des Msaraef

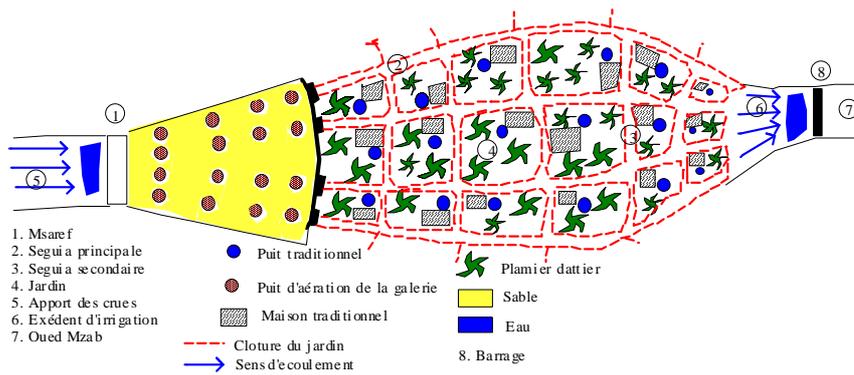


Fig. IX.19. Schéma simplifié du système Msaref

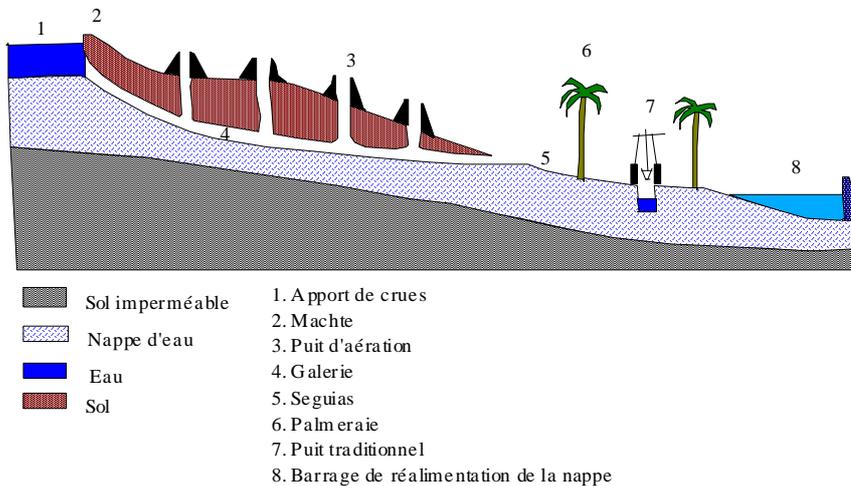


Fig. IX.20. Coupe du système Msaref

a) A l'amont de la palmeraie

C'est un réseau très complexe qui sert à capter les eaux de crues. Tous les oueds sont reliés par des galeries et des barrages de déversoirs qui permettent d'avoir une communication entre les oueds. Une fois l'eau est stockée dans les deux retenues Bouchene et Touzouz et si la crue est faible, l'eau s'infiltre et réalimente la nappe. D'ailleurs au niveau de la retenue, il existe deux puits d'infiltration qui permettent de réalimenter la nappe. Par contre, lorsque la crue est importante, le surplus d'eau est déversé dans le retenue de Bouchene par un déversoir sous forme de peigne troué pour briser l'énergie de l'écoulement et retenir les débris ramenés par la crue (Fig. IX.21). Une fois l'eau passe dans l'oued elle sera acheminée jusqu'au Machet qui brise l'énergie de l'écoulement. Ensuite l'eau parcourt les galeries souterraines pour atteindre la palmeraie.

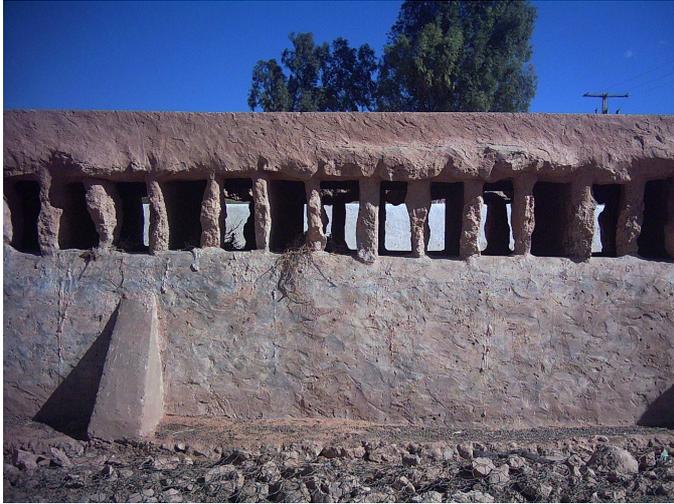


Fig. IX.21. Déversoir avec Machte (Remini B., 2007)

b) Au niveau de la palmeraie

Une fois l'eau arrive à l'entrée de la palmeraie, elle s'évacue par des ouvertures de géométrie ovoïde (Fig. IX.22) (le nombre des ouvertures dépend des efforts déployer par les oasisiens) dans des seguias pour à la fin arriver dans les jardins.

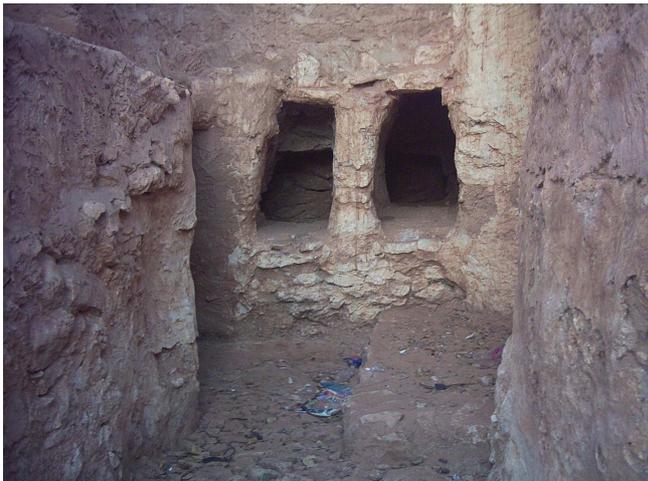


Fig. IX.22. Sortie de la galerie au niveau de la palmeraie (Remini B., 2007)

Au niveau de chaque mur de clôture d'un jardin il existe une ouverture perpendiculaire (ou faiblement inclinée) à l'écoulement appelé « Koua ». Cette fente de section rectangulaire, ne se fermera jamais. En cas de crues, les jardins sont alimentés par ces « Koua ».

c) A l'aval de la palmeraie

Le surplus d'eau d'irrigation lors des crues est transféré directement dans l'oued Mzab. Il sera stocké par les Ahbas pour réalimenter la nappe. Puis lors des périodes sèches, l'eau sera exploitée par l'intermédiaire des puits traditionnels.

Dans le cas d'un accident (effondrement d'un mur, ou d'un puit...), le Machte sera fermé temporairement grâce à des vannettes métalliques amovibles par les oumana (un comité chargé par la djemaaa pour la surveillance et le partage des eaux) (Fig. IX.23 et IX. 24). L'eau rejoint le barrage de Bouchen par le déversoir qui recharge la nappe directement par le

puit d'infiltration. Une fois ce dernier est rempli, l'eau revient de nouveau au barrage de Touzouz par le trop plein.



Fig. IX.23. Système de vannes coulissantes (Remini B., 2007)



Fig. IX.24. Ouverture par laquelle glisse une porte métallique (Remini B., 2007)

IX.5. Répartition et distribution des quotas d'eau

IX.5.1. Principe fonctionnement

La quantité d'eau de crue pour chaque jardin est fonction des travaux manuels et de nettoyage fournis par les propriétaires durant la période d'entretien des seguias et des galeries. Ce volume d'eau est fonction des dimensions d'une ouverture aménagée dans le mur du jardin perpendiculairement à l'écoulement. Les Moزابites l'appellent « Koua » (Fig. IX. 25 (a, b, c, d et e))



a)



b)



c)



d)



e)

Koua

Fig. IX.25. Ouverture aménagée dans le mur. Kouas de différentes dimensions. Chaque ouverture est proportionnelle à la superficie du jardin, à la contribution financière et à l'effort de chaque propriétaire (Remini B., 2007)

IX.5.2. Fonctionnement de la Koua

L'eau dans la seguia (principale et secondaire) s'écoule selon le principe du débit de route. Le débit initial diminue le long de la seguia d'un débit Q_i (débit nécessaire pour chaque jardin) arrivant à la fin de la seguia avec un débit Q' (Fig. IX.26) selon la relation suivante :

$$Q' = Q - \sum_{i=1}^I Q_i$$

- Q' : Débit final à la sortie de la palmeraie
- Q : Débit initial à l'entrée de la palmeraie
- Q_i : Débit entrant par la Koua dans le jardin

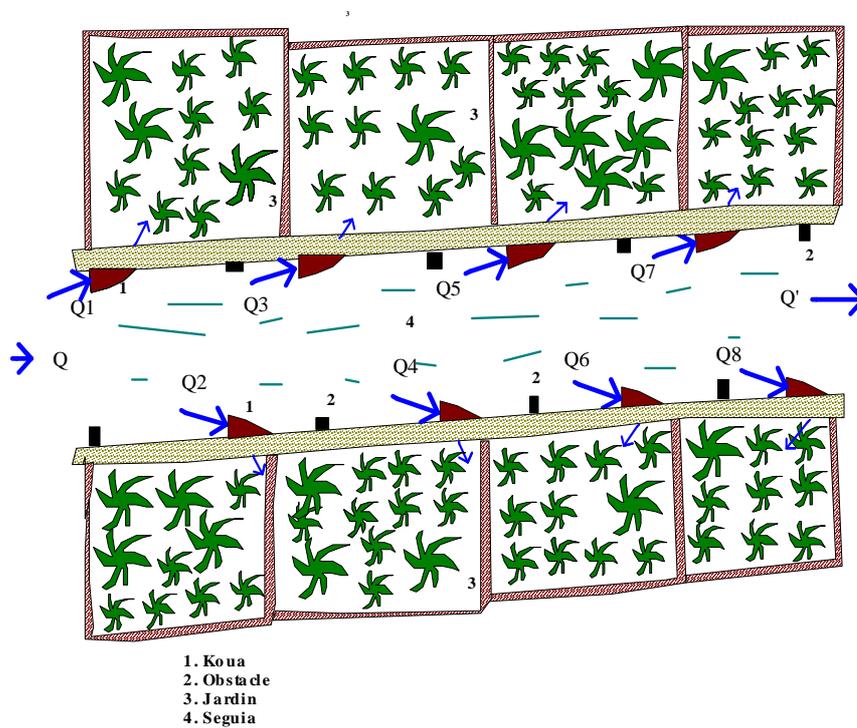
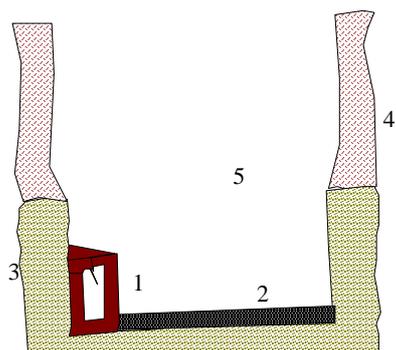


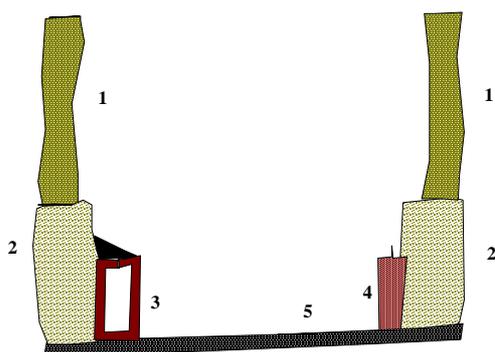
Fig. IX.26. Répartition des débits dans la palmeraie

Devant chaque Koua on trouve un seuil (surélévation) ou un rétrécissement (obstacle frontal). Ceci pour avoir une diminution de la section devant l'ouverture et une augmentation de la vitesse de l'écoulement pour augmenter le débit de l'écoulement par l'orifice (Fig. IX.27 et IX.28).



1. Koua
2. Seuil en ciment
3. Mur inférieur en enrochement
4. Mur supérieur en terre
5. Seguia

Fig. IX.27. Koua avec une surélévation



1. Mur en terre
2. Mur en gypse
3. Koua
4. Obstacle
5. Seguia

Fig. IX.28. Koua avec un obstacle frontale

Pour éviter la déperdition de l'eau à travers les petites ruelles, on construit une surélévation, l'eau prend la direction de la koua du jardin suivant (Fig. IX.29).



Fig. IX.29. Koua avec un obstacle frontale
(Remini B., 2007)

IX.5.3. Etapes de calcul des dimensions de la Koua

a) Nombre d'action pour chaque propriétaire

Le nombre d'actions est calculé par le rapport :

$$\mathbf{n = K.N}$$

n: nombre d'actions pour chaque propriétaire

N : Nombre de jours de travaux d'entretien

K : rapport ; $K=P/N$

P : nombre de propriétaires

$n=P$, Nombre d'action = Nombre des propriétaires

b) Détermination de longueur d'action unitaire

La longueur d'action est donnée par la relation :

$$\mathbf{M=B/Z}$$

M : longueur d'action unitaire

B : largeur de la segua

Z : nombre des actions des propriétaires.

Détermination de la largeur de l'ouverture

La largeur de l'ouverture (Koua) est donnée par :

$$\mathbf{b= M. n}$$

b : largeur de la Koua

M : longueur d'action unitaire

n : nombre d'actions pour chaque propriétaire.

Détermination de la hauteur de l'ouverture

La hauteur de la Koua est définie comme égale à :

$$\mathbf{h=n : nombre d'actions}$$

Exemple :

Soit 15 propriétaires qui ont participé au nettoyage des seguias durant 5 jours. Le nombre total des actions des propriétaires qui ont participé aux travaux est de 120 actions. La largeur de la seguia est de 240 cm.

Nombre d'actions pour chaque propriétaire

$$\mathbf{n= K.N}$$

avec $K= P/N = 15/5= 3$

$$n= 3.5 = 15 \text{ actions}$$

La hauteur de la Koua,

$$\mathbf{h=15 \text{ cm}}$$

Détermination de la longueur d'action unitaire

$$\mathbf{M= B/Z =240/ 120 = 2 \text{ cm}}$$

La largeur de l'ouverture

$$\mathbf{b= M.n}$$

$$b= 2. 15 = 30 \text{ cm}$$

Les dimensions de la Koua

Largeur = 30 cm

Hauteur= 15 cm

IX.6. Les Puits du Mzab

Les puits du Mzab appelé « Khattara » présentent une margelle un peu plus élevée sur laquelle se dresse deux montants verticaux supportant un travers horizontal muni d'une poulie (Fig. IX.30 et IX. 31). A coté du puit est aménagée une piste inclinée dont la pente a pour but de réduire l'effort de traction de l'animal (Mulet, âne ou un chameau) (Fig. IX.32). Elle est égale à la profondeur du puit. Le récipient utilisé est une outre de cuir (une peau de chèvre) d'une volume de 50 litres, appelée « El Guerba » ou « El Deleou ». Elle est ouverte par le haut et muni latéralement d'un tuyau de cuir destiné à l'évacuation de l'eau. El Guerba est suspendue à une corde qui passe sur la poulie. Le tuyau est maintenu relevé par une seconde corde qui glisse sur un rouleau de bois placé à l'ouverture du puit.



Fig. IX.30. La poulie d'une Khettara de Mzab (Remini B., 2007)



Fig. IX.31. Vue générale d'une Khettara de M'zab (Remini B., 2007)



Fig. IX.32. Piste inclinée sur laquelle circule l'animal (Remini B., 2007)

Le va et vient de l'animal (âne, Mulet ou un chameau) qui tire les cordes d'un bout à l'autre de la piste faite monter et descendre El Deleou dans le puit. Le tuyau étant maintenu relevé par la seconde corde, El Guerba remonte remplie d'eau. Une fois arrivée en haut, le tuyau s'abaisse et laisse s'écouler l'eau, El Guerba se vide dans un petit bassin appelé « Asfi », puis l'eau se déverse dans un grand bassin latéral nommé « Madjen » (Fig. IX.33). Ce dernier se déverse à travers des seguias bien étanches dans les jardins. Il existe dans la vallée de Mزاب plus de 3000 puits dont la profondeur varie entre 10 et 60 m.

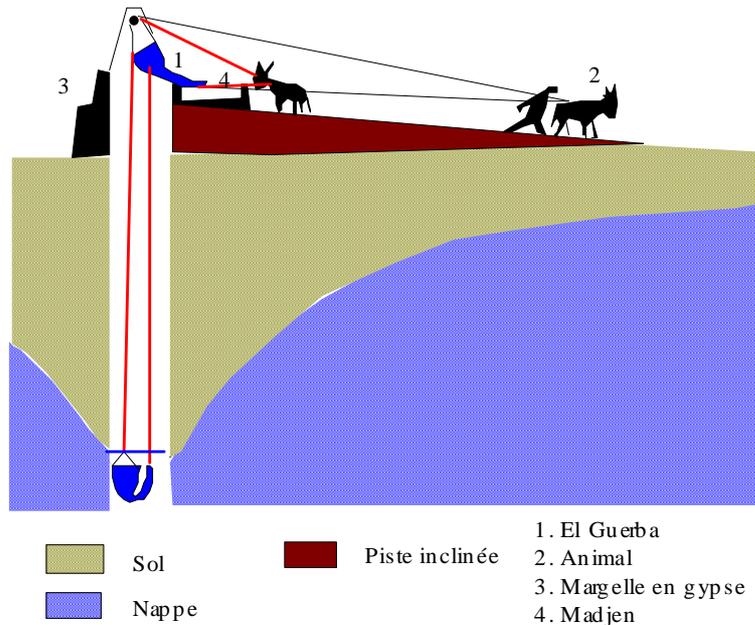


Fig. IX.33. Fonctionnement d'une khattara

IX.7. Recharge artificielles des nappes

Pour satisfaire la demande en eau domestique et en irrigation, les Mozabites utilisent en période de sécheresse la recharge des nappes. Deux procédés sont utilisés (Fig. IX.34) :

- Technique directe par puit placé au milieu du barrage de Bouchene (Fig. IX.35);
- Technique indirecte par un système de digues réalisés le long de oued M'zab

En période de crues, l'excès d'eau est drainé à l'aval de la palmeraie pour se déverser dans l'oued Mzab, lequel est équipé par une série de digues appelés « Ahbas ». Ces derniers ont un double rôle ; retenir les particules fines et favoriser l'infiltration pour la réalimentation de la nappe phréatique. En période de sécheresse, l'eau est prélevée à l'aide des puits. Ceci prouve que depuis déjà cinq siècles, les Mozabites ont maîtrisé la recherche artificielle des nappes. Malgré l'extension de la palmeraie et du ksar, les Mozabites n'ont pas rencontré assez de pénuries d'eau grâce à la bonne gestion de cette ressource.

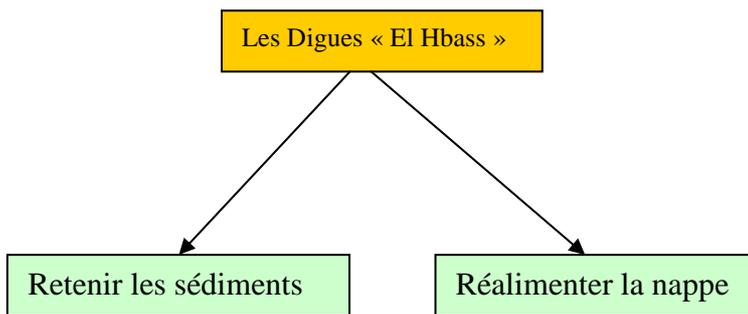


Fig. IX.34. Rôle des Ahbass



Fig. IX.35. Retenue de Bouchen e- Puit de réalimentation
(Photo. Remini B., 2007)

IX.8. Procèdes d'irrigation de la palmeraie

Une fois captée, l'eau des crues sert d'abord pour l'irrigation de la palmeraie. En absence de ruissellement, l'irrigation s'effectue par les eaux de puits traditionnels (les Khettara de M'zab). Donc, il y a deux procèdes, l'un temporaire qui est l'utilisation directe des eaux de crues pour l'irrigation, l'autre permanent, qui est le captage des eaux du puit pour l'irrigation et les besoins domestiques (Fig. IX.36).

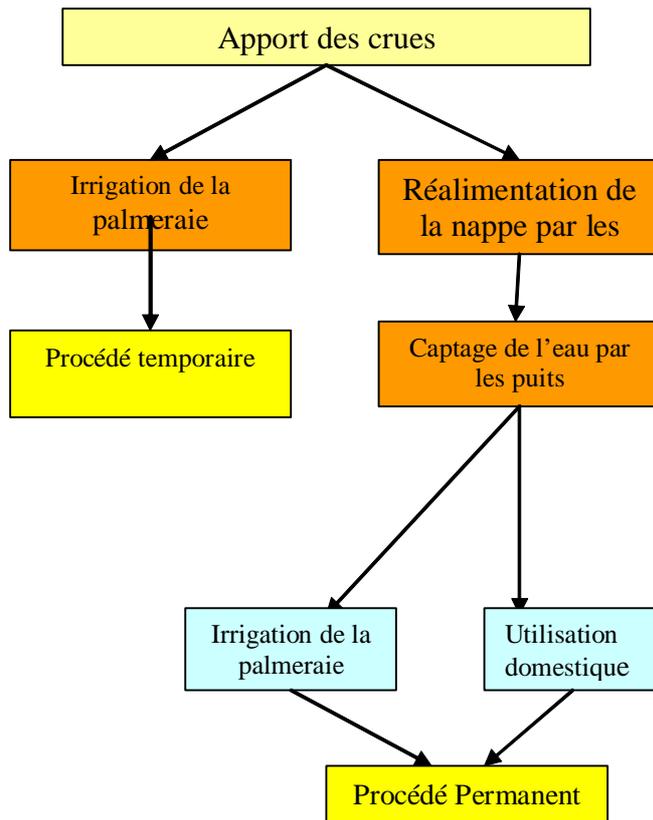


Fig. IX.36. Les procédés d'irrigation

IX.9. Captage des eaux de crues à l'amont de la palmeraie

Pour bien comprendre le fonctionnement des systèmes de captage et dérivation des eaux superficielles, nous avons schématisé sur la figure IX.37, le sens des écoulements ainsi que les éléments essentiels du système hydraulique.

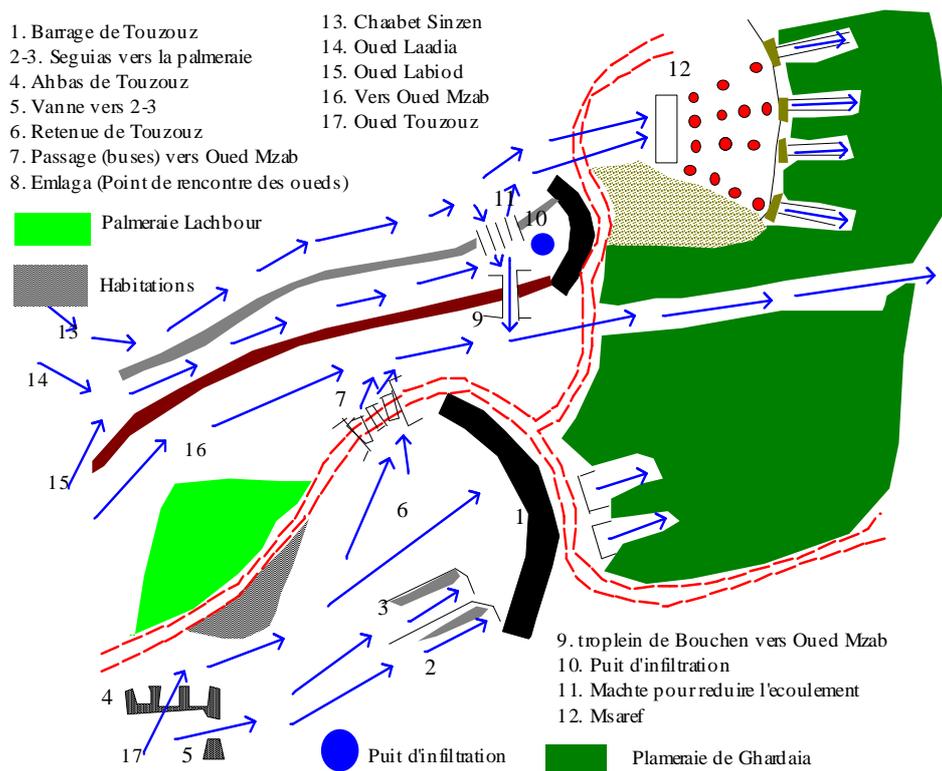


Fig. IX.37. Schéma des collectes des eaux de crues

Les crues d'automne et de printemps qui proviennent des oueds Laadia et Labiodh se rencontrent au point « Emlaga » (8). Une partie se dirige avec les eaux de chaabet Sinzen pour remplir la retenue du barrage Bouchene (Fig. IX.38).

Une autre partie de l'eau s'écoule directement vers l'oued Mzab. Les crues de oued Touzouz sont collectées et stockées dans la retenue du barrage de Touzouz (Fig. IX.39).

Ces crues sont régularisées à l'amont du barrage par Ahbas de Touzouz et un système de vanne (qui s'ouvre manuellement) qui évacue l'eau vers deux grandes seguias qui rejoignent la palmeraie de Ghardaïa (Fig. IX.40).



Fig. IX.38. Retenue de Bouchene (Remini B., 2007)



Fig. IX.39. Retenue de Touzouz (Remini B., 2007)



Fig. IX.40. Ahbas de Touzouz avec vanne Coulissante (Remini B., 2007)

Dans le cas où l'eau de la retenue de Bouchene n'atteint pas le niveau du Machte (11) (Fig. IX.41), l'eau s'infiltré à travers le puit d'infiltration réalisé spécialement pour cet objectif (10). Par contre si l'apport des crues est important, l'eau se déverse directement à travers le déversoir (Machte) pour atteindre les Msaref.



Fig. IX.41. Déversoir de Bouchene (Remini B., 2007)

Dans le cas où le niveau d'eau dans la retenue de Bouchene dépasse le niveau normal, l'eau se déverse directement dans l'oued Mzab à travers un trop plein (9) qui joue le rôle d'un évacuateur de crues. Même scénario au niveau de la retenue de Touzouz, l'eau se déverse à travers un passage (buses) (Fig. IX.42 vers l'oued Mzab).



Fig. IX.42. Système de buses (Remini B., 2007)

Si les Msarefs sont fermés pour des raisons d'entretien, l'eau coule à travers le déversoir (Machte) (11) vers la retenue de Bouchene pour réalimenter la nappe. Les eaux de la retenue de Touzouz rejoignent directement la palmeraie de Ghardaïa à travers les seguias (2) et (3). Si les Msarefs sont ouverts (Fig. IX.43 et IX. 44), l'eau s'écoule directement dans les galeries pour atteindre la palmeraie de Ghardaïa.



Fig. IX.43. Msaref en période sécheresse (Remini B., 2007)



Fig. IX.44. Palmeraie de Ghardaïa (Remini B., 2007)

IX.10. Dégradation du système Msaref : la problématique de la remontée

Après l'introduction des eaux de la nappe profonde du continental intercalaire par l'utilisation des forages, les oasiens ont eu recours à des motopompes et des forages pour les besoins domestiques et d'irrigation tout en délaissant le captage traditionnel (Khattara de M'zab) de la nappe phréatique. Ceci a provoqué un surplus d'eau dans le cycle. En plus de l'absence d'un réseau d'assainissement (il existe dans la région de M'zab, plus de 80% d'un réseau autonome constitué de fosses septiques) (Fig. IX.45). Ces deux facteurs (utilisation de l'albien et l'absence d'un réseau d'assainissement) ont engendré le phénomène de la remontée des eaux de la nappe. La pollution de la nappe commence à prendre de l'ampleur (Fig. IX.46 a, IX.46 b, IX.47 et IX.48) et peut devenir inquiétante pour la population de M'zab à partir de 2010, surtout pour les régions situées en basse altitude.

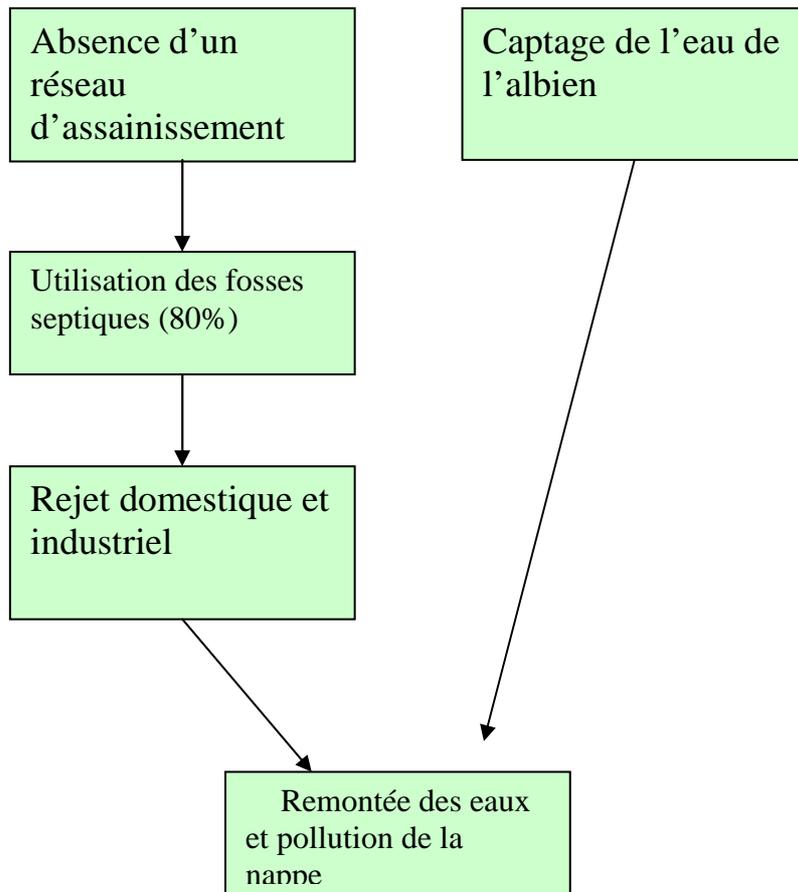


Fig. IX.45. Phénomène de la remontée des eaux

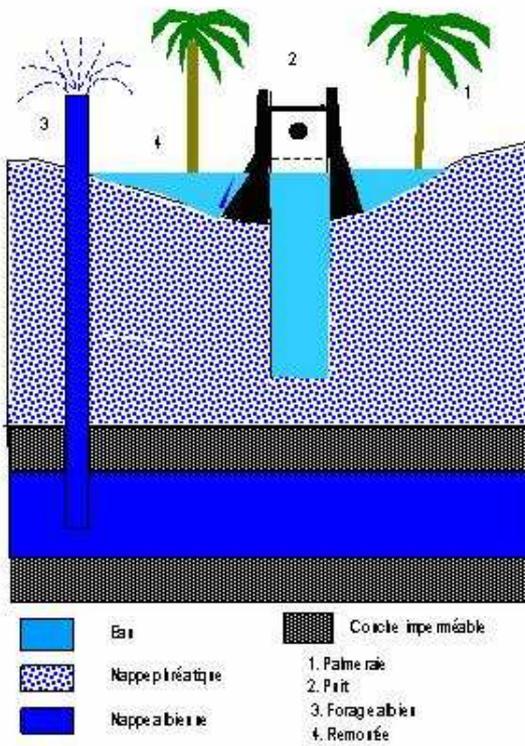
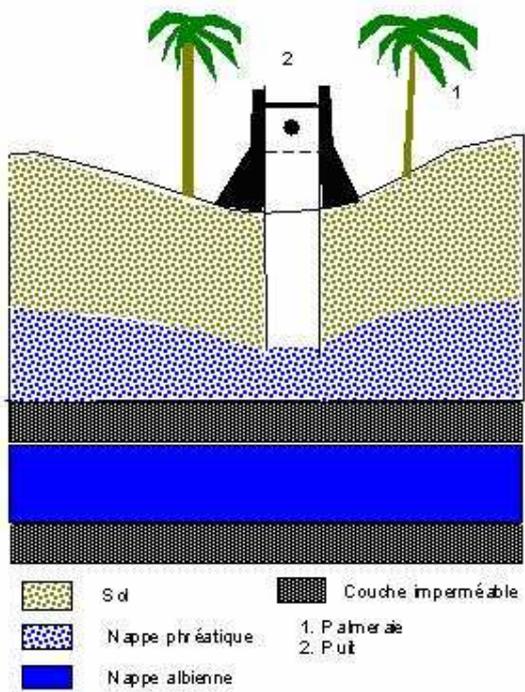


Fig. IX.46. Schéma du mécanisme de la remontée des eaux



Fig. IX.47. Un exemple de la remontée des eaux dans la vallée de Mzab (Remini B., 2007)



Fig. IX.48. Une forêt dense dans le lit de oued M'zab ; signe de la présence de la remontée (Remini B., 2007)

Conclusion

Comme nous l'avons montré au début de ce chapitre, les Tissanbathe ou les foggaras de Mzab sont originales et différentes de celles de Touat et de Gourara, puisqu'elles captent les eaux de crues. Elles sont constituées de plusieurs de ouvrages. Il s'agit des diversaires de partage, des puits d'aération et des galeries souterraines.

Chapitre X

LA FOGGARA D'EL AIN : LA FOGGARA DE MOGHRAR

Introduction

Dans un milieu sec hostile à la vie comme celui de la région de Moghrar, s'est développé un type de foggara différent de celui de la région de Touat et de Gourara. Si le principe de fonctionnement reste le même pour ces deux foggaras, cependant le principe de distribution du débit entre les agriculteurs présente des différences.

Dans ce chapitre, nous étudions le principe de fonctionnement et le réseau de distribution des eaux de la foggara de Moghrar appelée « Ain ».

X.1. L'Oasis de Moghrar

L'oasis de Moghrar fait partie de la commune de Moghrar (Cheikh Bouamama), elle se situe à 15 km à l'Est de la ville de Ain Sefra (wilaya de Naama). La palmeraie la plus importante, celle de Moghrar Tahtani (la plus basse) avec 40 hectares s'étale sur les 2 rives de l'Oued Moghrar, et compte outre ses 14.000 palmiers, des cultures étagées d'arbres fruitiers tel que le Figuier, l'olivier, le grenadier, l'abricotier, le pommier, le poirier. Il existe plusieurs variétés de dattes tel que la H'mira et Hartan Feggous et Ghrass. Le Ksar Moghrar est l'un des plus anciens ksours en Algérie. Il date de 7ème ou du 9 siècle. La djamaa existe aujourd'hui et s'occupe de la gestion de l'eau. Pour le captage de l'eau on utilise la foggara appelée « Ain » et les Hassi (puits traditionnels). Deux foggaras alimentent l'oasis de Moghrar. Au début, le ksar et la palmeraie s'alimentaient à partir de deux retenues situées sur l'oued Moghrar ; le barrage « El Fougani » (Plus haut) et le Tahtani (le plus bas). Mais, suite aux fortes crues drainées par l'oued, les deux barrages ont été emportés et détruits. Plusieurs fois les barrages ont été reconstruits. Mais après la découverte des sources d'eau dans la région, les oasiens ont construit deux foggaras spéciales qui drainent l'eau de sources à travers une galerie faiblement inclinée. Au départ, la foggara se déverse directement dans les seguias, et l'irrigation s'effectue tour à tour. L'accroissement des propriétaires dans le temps, a obligé les oasiens de construire un Madjen collectif pour chaque foggara avant la distribution dans le réseau des seguias. L'oasis de Moghrar est constituée des éléments suivants (fig. X.1, X.2 et X.3) :

- Deux foggaras spéciales différentes de celles de Touat et de Gourara (Fig. XI.2).
- Le Ksar, l'un des plus vieux ksar de l'Algérie (Fig. X.3).
- La palmeraie située sur l'oued Moghrar (Fig. X.4 et X.5).

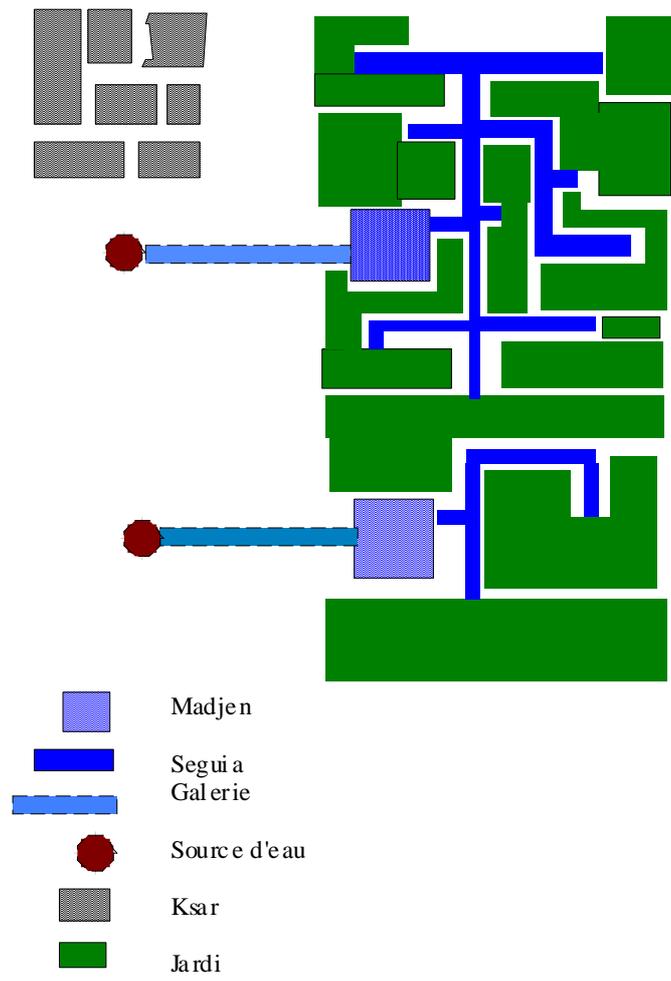


Fig. X.1. Schéma succinct de l'oasis de Moghrar El Foukani



Fig. X.2.Foggara de Moghrrar (Remini B., 2007)



Fig. X.3. Ksar de Moghrrar (Remini B., 2007)



Fig. X.4. La partie haute de la palmeraie de Moghrrar (Remini B., 2007)



Fig. X.5. La partie basse de la palmeraie de Moghrrar (Remini B., 2007)

X.2. La foggara de Moghrrar

La foggara de Moghrrar est différente des foggaras classiques, c'est à dire celles de Touat et Gourara. Elle est constituée d'une source d'eau qui représente le puit de captage et une galerie d'une centaine de mètres légèrement inclinée. Elle déverse d'une façon permanente dans le Madjen collectif situé dans la palmeraie avant d'atteindre le réseau des seguias qui distribuent l'eau dans les jardins (Fig. XI.6).

L'accroissement des propriétaires ces dernières années a obligé les oasiens à construire un Madjen collectif pour permettre d'irriguer continuellement 24h/24h. Avant, la foggara déversait directement dans les seguias. La foggara est équipée aussi d'un puit d'aération situé à coté de la source d'eau.

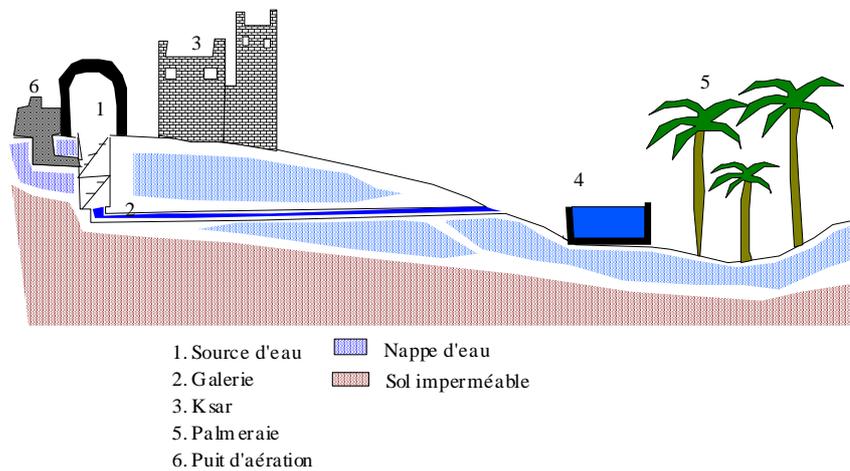


Fig. X.6. Schéma synoptique de l'oasis de Moghrrar avec sa foggara.

X.2.1. La source d'eau

Les oasiens l'appellent l'Ain, c'est une source d'eau collective qui appartient à tous les oasiens du Moghrar. Elle représente le puit mère. Elle est équipée d'un seul puit d'aération (Fig. X.7).



Fig. X.7. Puit d'aération (Remini B., 2007)

X.2.2. La galerie

C'est un drain d'une centaine de mètres qui transporte l'eau de la source vers la palmeraie.

X.2.3. Le Madjen

Le Madjen de Moghrar est différent de celui de Touat ou Gourara. C'est un grand bassin carré de 4 à 6 m de cote et de 1 à 1,2 m de hauteur. Il est équipé d'une ouverture au fond qui permet à l'eau de s'écouler vers les seguias (Fig. X.8a). La fermeture de l'ouverture s'effectue à l'aide de Mohguen (un bouchon en bois entouré d'une portion de tissu) attaché à un bâton d'environ 1,5 m pour faciliter la tâche à l'oasien (Fig. X.8b). La règle graduée de mesure des parts d'irrigation se place dans le Madjen (Fig. X.8c).

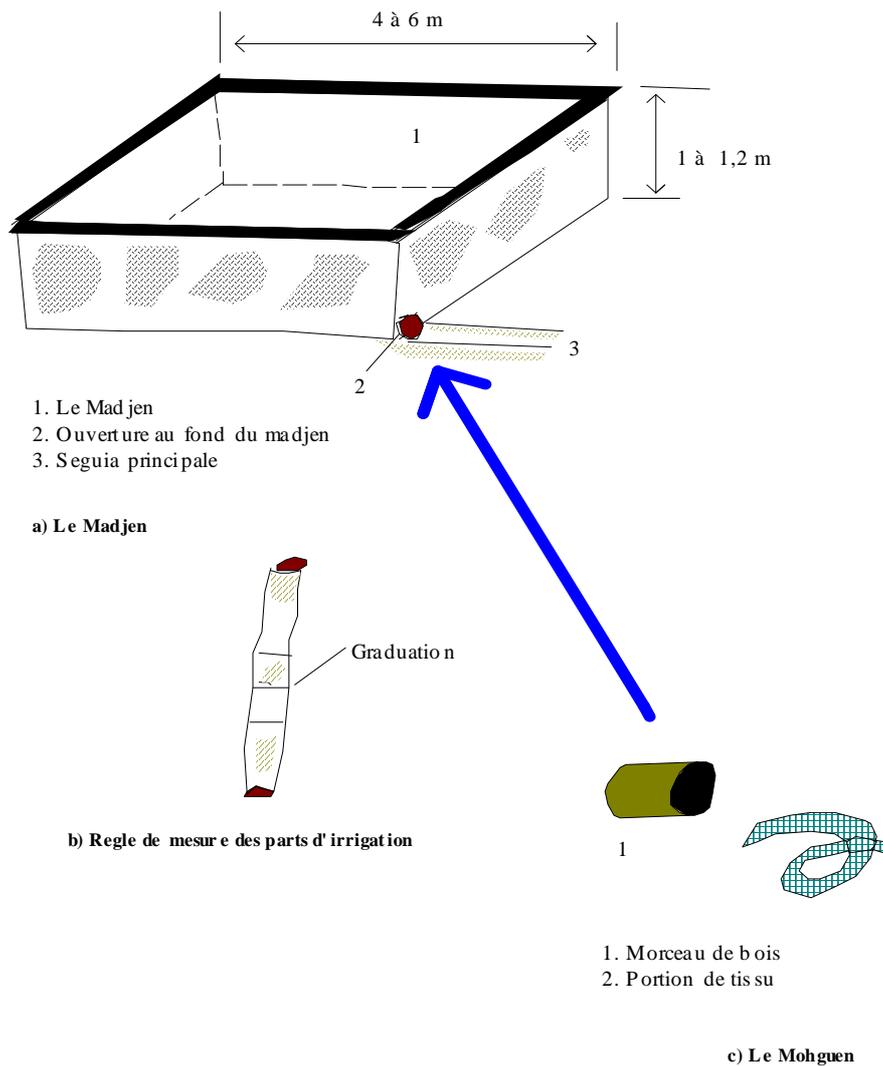


Fig. XI.8. Schéma d'un Madjen collectif avec ses accessoires

X.2.4. Les seguias

Les seguias de la palmeraie de Mogharrar se trouvent à l'extérieur des jardins (Fig. X.9 et X.10). Elles se trouvent au milieu de la ruelle ou à côté de la ruelle de la palmeraie. L'objectif est de faciliter les tours d'irrigation entre les propriétaires des jardins. Lorsque le tour d'un propriétaire A arrive à sa fin, le prochain propriétaire (B) ferme la segua de A et ouvre sa segua sans demander de permission. La fermeture d'une segua s'effectue manuellement par un bouchon formé par un morceau de bois entouré par un tissu rempli d'argile (Fig. X.11).



Fig. X.9. Seguia à l'intérieur d'un jardin (Remini B., 2007)



Fig. X.10. Seguias à l'extérieur d'un jardin (Remini B., 2007)



Fig. X.11. Aménagement des ouvertures pour la fermeture manuelle des seguias (Remini B., 2007)

Exemple de distribution de l'eau pour l'irrigation

La répartition des eaux d'irrigation est unique dans la ceinture oasienne du Sahara. Le tour d'irrigation entre propriétaires s'effectue selon la notion du temps, contrairement aux oasis périphériques du Grand Erg Occidental, où la répartition s'effectue selon la notion du volume. Le nombre de part d'irrigation est proportionnel à l'effort de chaque propriétaire. Cette part est définie par unité de temps quelque soit les systèmes traditionnels d'hydrométrie utilisés.

Si on prend l'exemple de la Fig. X.12) qui représente 03 jardins de propriétaires différents (1, 2 et 3). Le tour d'irrigation du jardin 1 vient de commencer, ce propriétaire ferme à l'aide des bouchons, les seguias 2 et 3. Une fois sa part d'irrigation est achevée, c'est au tour du jardin 2, son propriétaire ferme sans demander de permission ni au propriétaire 1 ni au propriétaire 3

les seguias 1 et 3. L'irrigation du jardin 2 est terminée, c'est l'agriculteur du jardin 3 qui ferme les seguias 1 et 2.

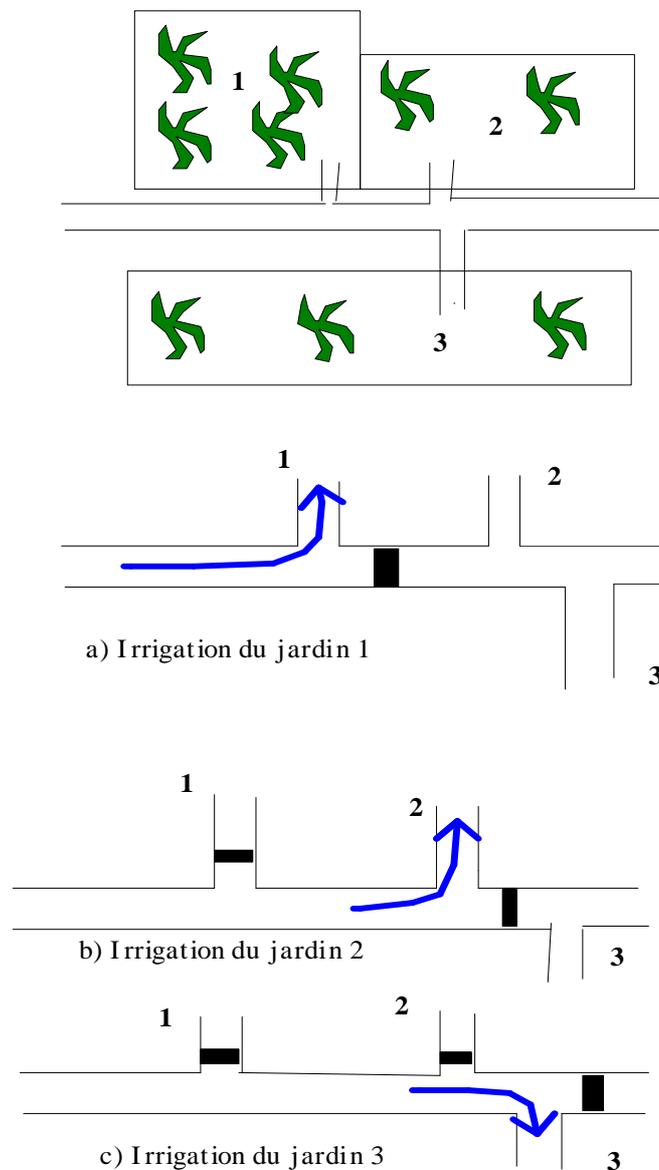


Fig. X.12. Exemple des tours d'irrigation entre les propriétaires

XI.3. Répartition de l'eau

On peut citer trois méthodes de mesure des parts d'eau pour l'irrigation des jardins, il s'agit :

X.3.1. Méthode du bâton gradué

Au début, la part d'irrigation de chaque propriétaire s'effectue à l'aide d'un bâton (palmier) gradué par des traits (généralement le bâton porte trois traits). Ce bâton est placé verticalement dans le Madjen avant l'irrigation. Chaque part est définie par une graduation qui dépend de l'effort fourni par le propriétaire durant la période de nettoyage et d'entretien.

X.3.2.Méthode du « Kadem » (le pas d'une personne en bonne santé)

Cette technique s'effectue les jours ensoleillés. Elle débute du levé du jour jusqu'au soir. Le nombre de Kadem est proportionnel à la contribution de l'agriculteur.

X.3.3. Méthode du Mordjen

Pendant la nuit ou lorsqu'il pleut ou il y a des brunes, on utilise la méthode du « Mordjen ». Le système est composé de deux seaux en cuivre (Fig. X.13). Le plus grand est posé à terre et rempli d'eau. Le deuxième plus petit gradué et troué au fond. On pose ce dernier sur la surface libre de l'eau du grand seau. Le temps de remplissage de la capsule, c'est-à-dire lorsqu'elle est émergée par l'eau, on compte une part d'eau d'irrigation.



Fig. X.13. Le Mordjen de Moghrar
(Remini B., 2007)

X.3.4. Méthode d'El Hadjra

El Hadjra (la pierre) ou Saat echems (la montre du soleil) réalisée par une pierre plate gravée de 32 graduations suivant un demi cercle avec un clou placée au centre du cercle. Le temps que met l'ombre du clou entre deux segments (qui représente 5mn) représente une part d'eau d'irrigation (Fig. X.14). Le nombre de graduations dépend des efforts fournis par l'oasien.



**Fig. X.14. El Hadjra de Moghrar
(Remini B., 2007)**

Conclusion

Cette étude a été basée sur une série de visites et des enquêtes auprès de la population de l'oasis de Moghrar. Les deux foggaras de l'oasis de Moghrar présentent un mode de distribution par unité de temps. On parle d'une distribution horaire. L'eau arrive aux propriétaires tour à tour, c'est une irrigation linéaire.

Chapitre XI

LA FOGGARA : LES TECHNIQUES D'AMELIORATION DU DEBIT

Introduction

La foggara est un ouvrage hydraulique ancestral, constitué d'une galerie légèrement inclinée qui permet de drainer les eaux de la nappe à la surface du sol. Situés à des intervalles réguliers, la galerie est aérée par une multitude de puits. Ce système ingénieux d'origine iranienne (Goblot H., 1979) a fait le tour de la planète, puisqu'il a été adopté par plus de 35 pays de la planète (Hofman, 2007). Contrairement à la khattara du Maroc qui capte les eaux de la nappe phréatique, (nappe renouvelable) la foggara capte les eaux de la nappe du Continental Intercalaire (nappe non renouvelable). Il se trouve donc que le débit de la khattara est variable durant l'année, il augmente en hiver et diminue en été. Par contre le débit de la foggara de l'Albien diminue dans le temps suite à la baisse du niveau de la planète. Il faut ajouter aussi les problèmes techniques et environnementaux qui contribuent à la diminution du débit de la foggara. D'autre part, deux situations exigent l'accroissement du débit de la foggara, il s'agit de l'augmentation du nombre des propriétaires et l'extension de la palmeraie.

Dans ce chapitre, on donne les solutions et les méthodes traditionnelles utilisées par les oasiens de Gourara et de Touat pour accroître le débit des foggaras.

XI .1. Sites d'études et données utilisées

Trois missions ont été menées dans les régions de Touat et Gourara en 2007, 2008 et en 2009 pour visiter l'ensemble des foggaras en service (fig. XI.1). Des entretiens et des enquêtes ont été menées auprès de la population locale pour comprendre les méthodes d'amélioration du débit pratiquées durant dix siècles de fonctionnement. En plus du travail de prospection sur les sites, nous avons utilisé les données volumétriques et géométriques des foggaras de la région du dernier recensement effectué par l'ANRH entre 1998 et 2001.

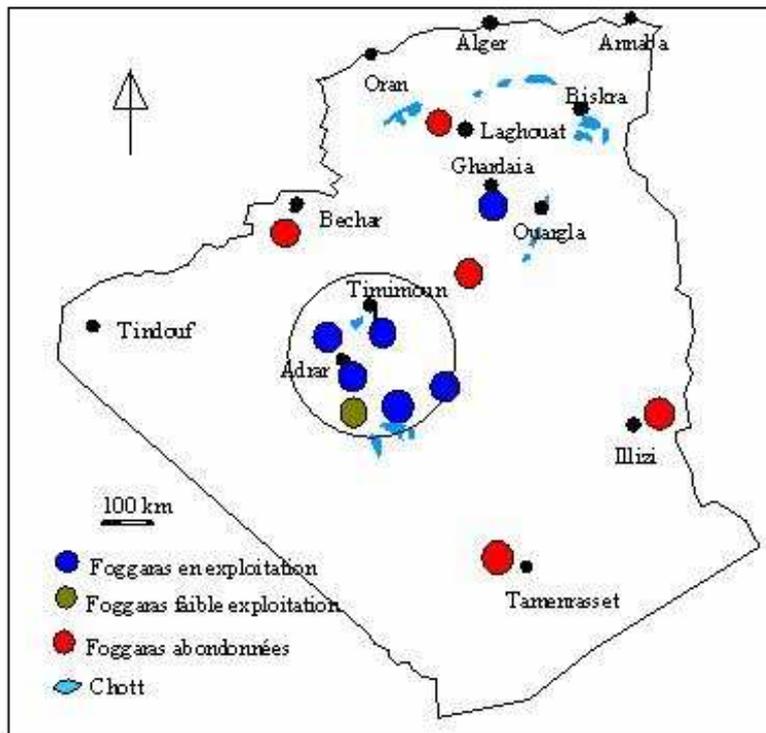


Fig. XI.1. Site d'étude

XI.2. Résultats et discussions

XI .2.1. Principe de fonctionnement

Dans sa partie amont (qui est la partie drainante située entre les points O et B), la galerie s'enfonce dans la zone saturée du réservoir (c'est à dire la galerie se trouve sous la surface de la nappe phréatique) et constitue un drain qui collecte les eaux de la nappe (Fig. XI.2). Cette partie est appelée « nefad ». L'écoulement dans ce cas est en charge. Quant à la partie aval (qui représente la partie non drainante située entre les points O et A) de la galerie, elle a pour fonction principale d'acheminer l'eau vers la « kasria » principale qui sera distribuée ensuite vers les palmeraies. L'écoulement s'effectue gravitairement. Le point O qui est le point de rencontre entre la ligne de saturation et la galerie représente l'indicateur de la « santé » de la foggara. En effet, le drainage opéré par la galerie provoque un rabattement de la nappe et le point O a tendance à se déplacer vers le point B. Lorsque le débit drainé est égal au débit affluent, il s'établit un écoulement permanent et le point O se stabilise à une position donnée : nous pouvons dire que la foggara est en bonne « santé ». Par contre, si le point O continue à remonter dans le temps vers le point B, il s'ensuivra un allongement du canal (partie OA) où les pertes par infiltrations contribuent à une baisse du débit.

Ces pertes ont été estimées entre 10 % et 20% du débit total drainé (Hassani, 1982). Dans ce cas, l'assèchement de la foggara est imminent. Dans cette partie, l'écoulement est à surface libre.

A la sortie de la foggara, l'eau est canalisée jusqu'à un répartiteur en forme de peigne, appelé « kasria » construit en pierres et en argiles dont le rôle est de la répartir selon le nombre des propriétaires. L'eau est divisée et canalisée par une série de canaux en argile vers les palmeraies à irriguer.

A différents niveaux de la palmeraie, l'eau est à nouveau divisée par d'autres peignes et conduite vers les parcelles par des canaux plus petits, qui parcourent ainsi un réseau de distribution très dense, dont les ramifications se terminent dans un bassin de collecte appelé « madjen ». Ce réservoir de récupération est utilisé pour régulariser l'eau qui arrive en minces filets liquides et qui est distribuée en quantité suffisante pour l'irrigation.

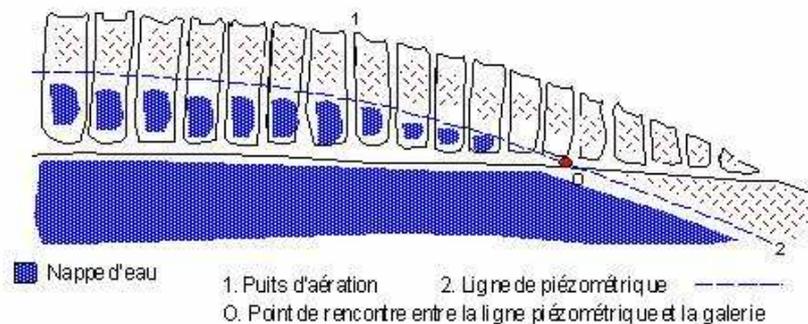


Fig. XI.2. Schéma synoptique du fonctionnement d'une foggara

Le principe de fonctionnement d'une foggara est basé sur le principe de drainage. La galerie d'une foggara est divisée en deux parties ; une partie amont à l'intérieur de la nappe destinée au captage des eaux appelée longueur drainante. Une partie aval en dehors de la nappe destinée au transport de l'eau vers la surface du sol appelée longueur de transport. Dans le cas d'un abaissement de la nappe, la longueur drainante diminue et par conséquent le débit diminue. Par contre le prolongement de la galerie drainante à l'amont augmente le débit de la foggara.. C'est à partir de ce principe que les oasisiens ont adopté diverses méthodes d'accroissement de débit.

XI .2.2. Méthodes d'accroissement du débit

En partant du principe d'accroissement de la longueur drainante, deux méthodes ont été adoptées ; il s'agit du prolongement de la galerie vers l'amont appelé la « tarha » et l'ajout d'une ou plusieurs galeries auxiliaires appelé « kraa ».

La tarha a été appliquée surtout dans la région de Timimoun. Quant à la deuxième elle est fortement utilisée pour les foggaras d'Adrar (Fig. XI.3).

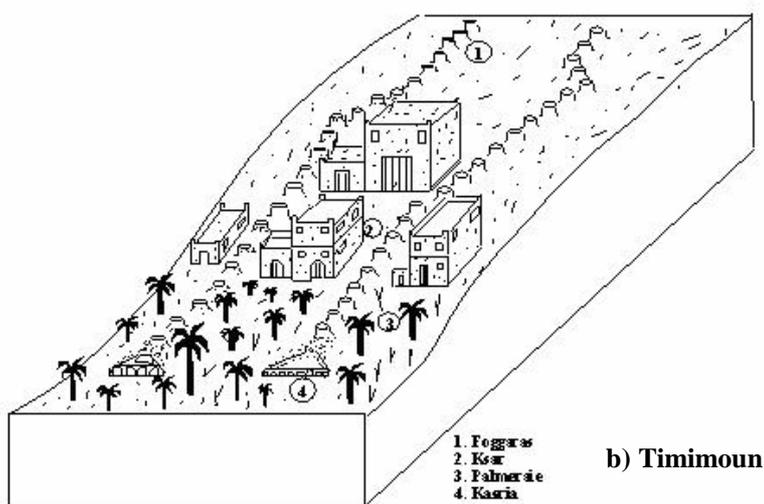
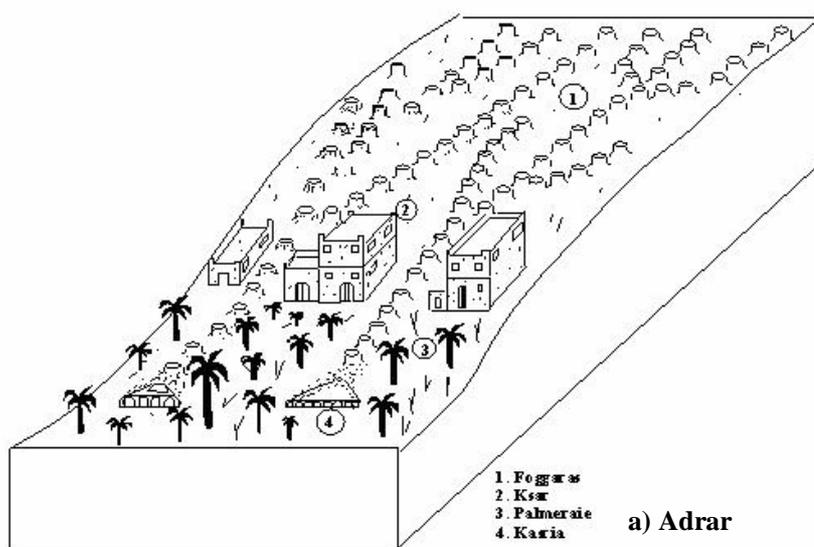


Fig. XI.3. Models de foggaras

a). La méthode « kraa »

L'ajout d'un Kraa ou deux à la foggara mère est une technique adoptée par les oasiens pour augmenter le débit de la foggara. Lorsque celui ci diminue dans le temps, ou le nombre de propriétaires augmente, les oasiens procèdent à l'ajout d'un ou plusieurs branches à la foggara initiale (Fig. XI.4). Ce bras qui quitte la partie mère dans une direction de 30 à 45° par rapport à celle ci, s'appelle Kraa.

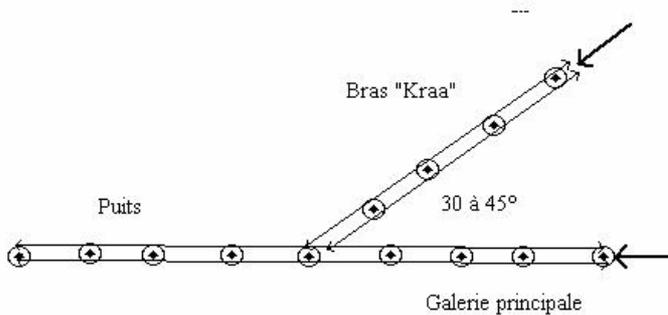


Fig. XI.4.. Schéma d'un Kraa

b) La méthode Tarha

La Tarha est définie comme le prolongement de la foggara mère à l'amont (Fig. XI.5). Le prolongement d'une foggara fait accroître la longueur drainante de la galerie et par conséquent augmente le débit.

Cette technique a été plutôt appliquée dans la région de Timimoun. Environ 250 foggaras ont subi la Tarha durant leur exploitation.

Le prolongement de la galerie s'effectue durant des années d'une façon continue. A chaque fois que le débit diminue, les ksouriens ajoutent un certain nombre de puits jusqu'à ce qu'ils retrouvent le débit initial. L'opération se répète à chaque fois que le débit décroît. On trouve souvent que la longueur de la partie prolongée de la galerie dépasse 5 fois la longueur de la galerie mère.

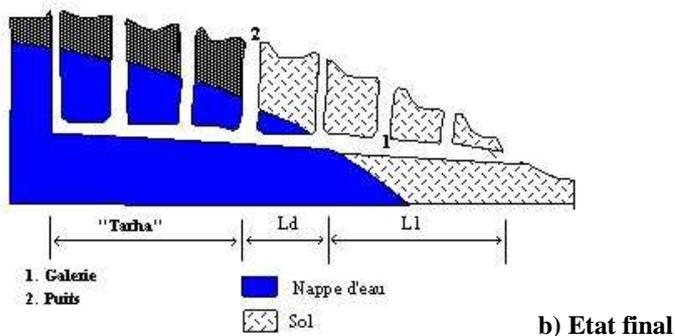
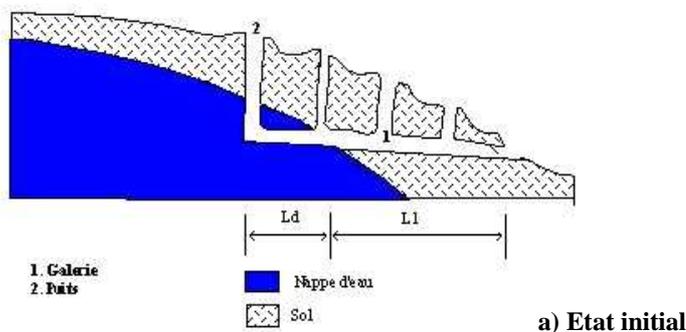
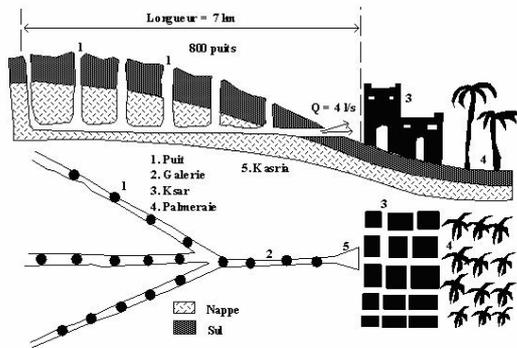


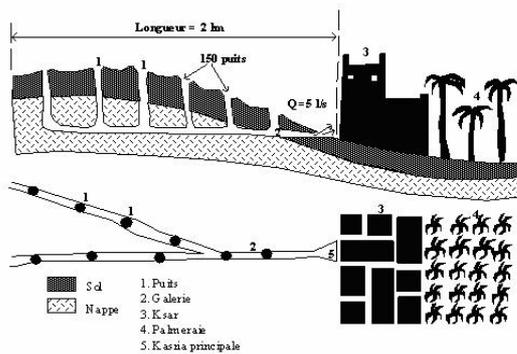
Fig. XI.5. Schéma d'une Traha

XI .2.3.Quelques exemples

Pour illustrer ces deux techniques, nous avons jugé utile de traiter quelques foggaras en service. La foggara El Kebira (Adrar) d'une longueur de 7 km a subit deux opérations de kraa durant la période 1960-2010 (Fig. XI.6 a). Par contre la foggara Telgha (Adrar) dont la galerie mère a subit un kraa pour faire face au rabattement de la nappe (Fig. XI.6b).



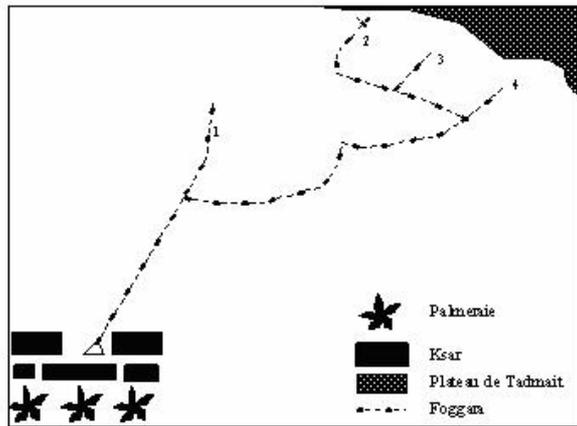
a).Foggara El Kebira (Adrar)



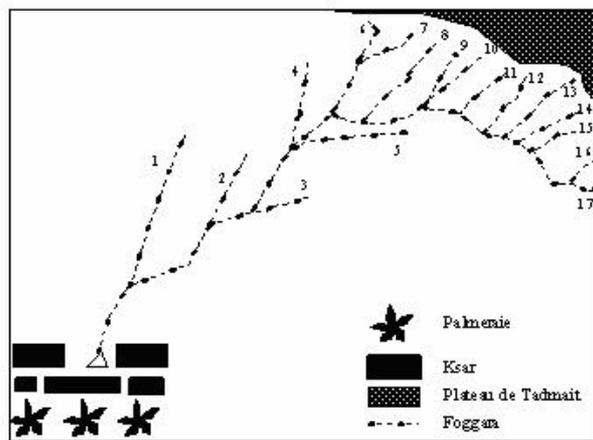
b) Foggara Tedgha (Adrar)

Fig. XI.6. Schéma de foggaras ayant subit une opération kraa

Avec l'adhésion de nombreux propriétaires dans une foggara, les branchements de kraa augmentent pour satisfaire la demande en eau. La foggara passe d'une galerie linéaire à un réseau de galeries. La foggara de Sidi Salem (Adrar) présente 4 kraa (Fig. XI.7a), alors que la foggara de Karet Massini détient un réseau de 17 kraa (Fig. XI.7b).



a) Foggara Sidi Salem 7 km (Adrar)



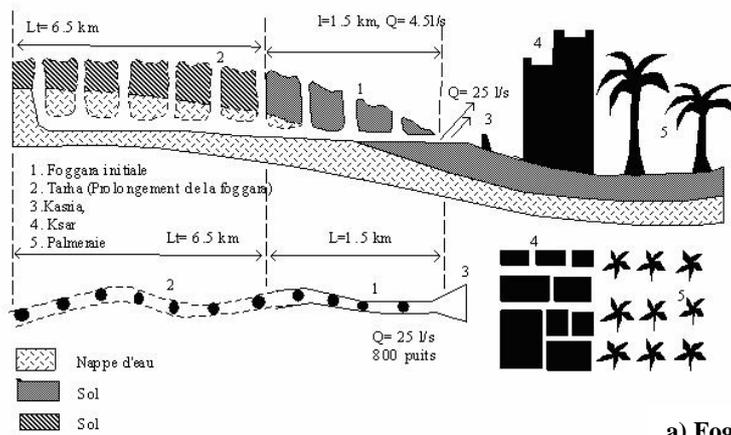
b) Foggara Karet Massini 7 km (Adrar)

Fig. XI.7. Foggaras à plusieurs kraa

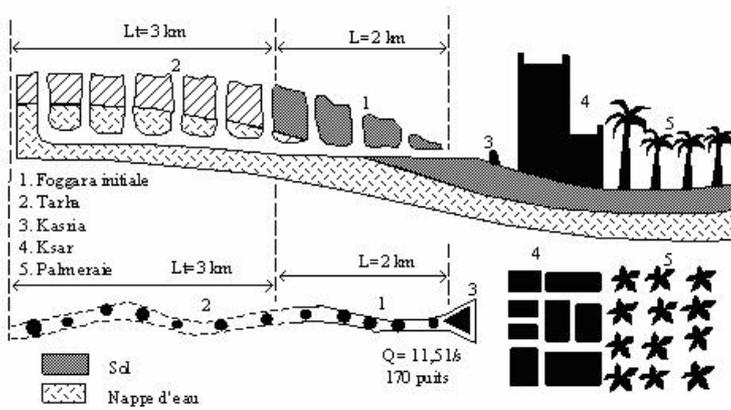
La foggara Aharda de la région de Reggane a été prolongée graduellement depuis sa mise en service jusqu'aujourd'hui d'une longueur de 6.5 km. La foggara initiale d'une longueur de 1.5 km se retrouve aujourd'hui avec une galerie de 8 km. Le nombre de puits a augmenté de 100 puits à 800 puits pour accroître le débit de 5 l/s à 25 l/s. Ce prolongement a provoqué l'extraction d'une quantité de 5500 tonnes de terre (Fig. XI.8a).

La foggara d'El Berda de Zaouit El Kaunta d'une longueur initiale égal à 2 km, équipée de 120 puits a fait l'objet d'une série de prolongement de la galerie durant son exploitation pour se devenir aujourd'hui une grande foggara d'une galerie de 5 km de longueur avec 170 puits, débitant un débit de 11.5 l/s. les creusements successifs provoqué des extractions de terre de 6500 tonnes de terre (Fig. XI.8b).

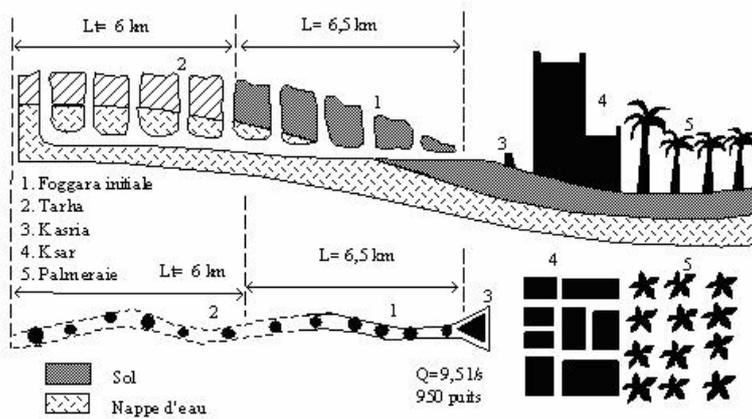
Pour augmenter son débit de 8 l/s à 9,5 l/s, la foggara d'Adrar a fait l'objet de plusieurs prolongements de sa galerie pour atteindre aujourd'hui une longueur de 12,5 km contre 6,5 km ; longueur de la foggara initiale. Le nombre de puits a passé de 500 à 950 puits. Une quantité de 8000 tonnes de terre ont été excavé par les Ksouriens (Fig. XI.8c).



a) Foggara Aharda



b) Foggara El Barda



c) Foggara Adrar

Fig. XI.8. Foggaras ayant subit une ou plusieurs tarha

XI .2.4.Evolution des foggaras

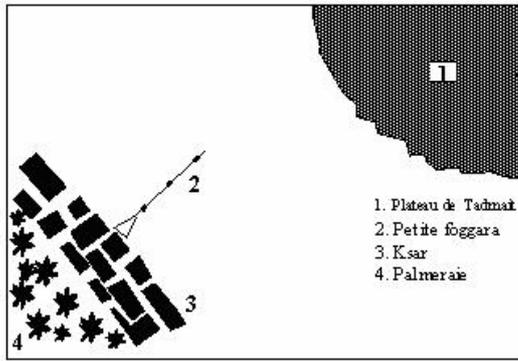
Sachant que la plateau de Tdmait constitue le véritable château d'eau des foggaras de Touat et Gourara et Tidikelt. La nappe du Continental Intercalaire affleure à la périphérie du plateau de Tadmait. Le creusement d'une foggara s'effectue de l'aval à l'amont en sens inverse de l'écoulement en partant du ksar vers le plateau de Tadmait. L'opération s'arrête dès que la galerie s'enfonce dans la nappe et que le débit est jugé satisfaisant par les propriétaires. Généralement, une ou deux familles débutent par le creusement d'une petite foggara d'une galerie ne dépassant pas les 2 km avec une vingtaine de puits d'aération. Dès que le nombre d'actionnaires augmente ou il y a une extension de la palmeraie et même dans le cas d'un abaissement de la nappe, l'augmentation du débit s'impose.

Dans une première étape, on prolonge la galerie d'une longueur L1 de telle façon qu'elle soit de nouveau dans la nappe ; on l'appelle la tarha (Fig. XI.9).

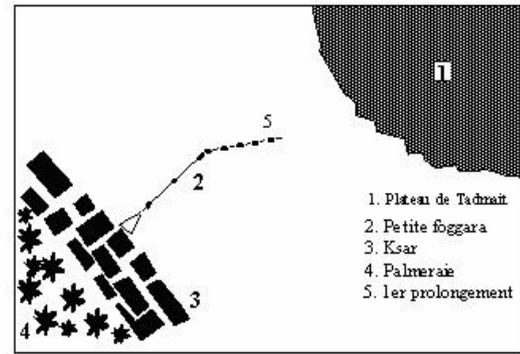
Dans une deuxième étape et si une des conditions citées précédemment se répète, alors on prolonge la galerie d'une deuxième tarha de longueur L2, puis d'une troisième tarha (L3) pour obtenir un débit élevé (Fig. XI.9).

Dès que le débit diminue, on procède dans une première étape à l'ajout d'une galerie auxiliaire (kraa) et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on obtient un réseau ramifié de galeries à la périphérie du plateau de Tadmait pour drainer le maximum d'eau possible.

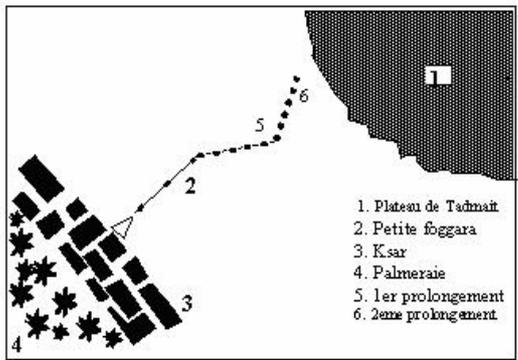
Cette configuration du réseau ramifié est plutôt une caractéristique des foggaras de la région d'Adrar. A Timimoun, il existe deux types de foggaras, celles qui exploitent la nappe du Continental Intercalaire (foggara de l'Albien). Pour ce type de foggara, c'est surtout la tarha qui est adoptée par les oasis. Par contre pour le type de la foggara de l'Erg, dont la galerie provient du Grand Erg, aucun procédé n'a été pratiqué vu les difficultés d'accès au milieu des immenses dunes.



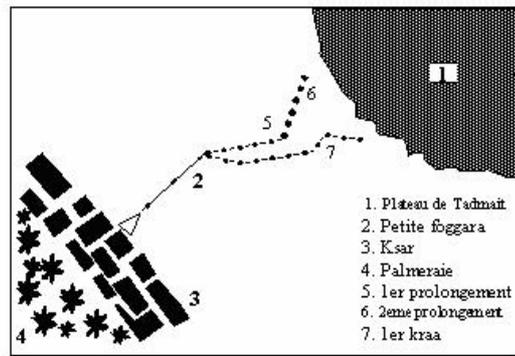
a)



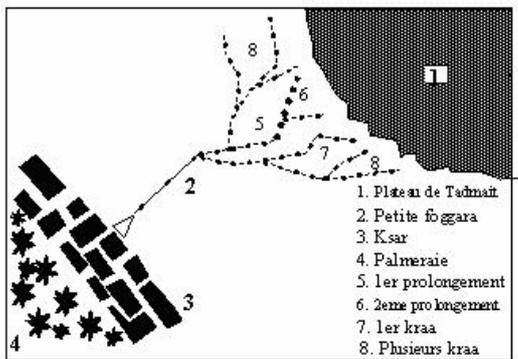
b)



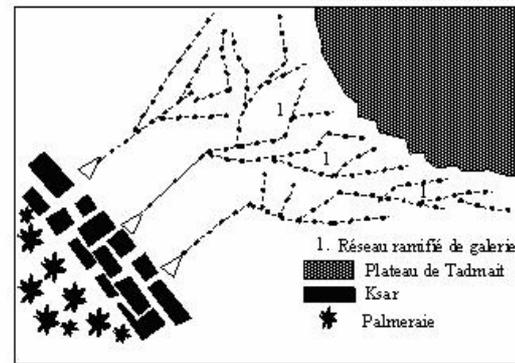
c)



d)



e)



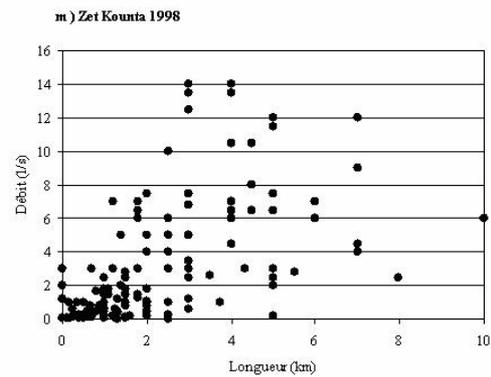
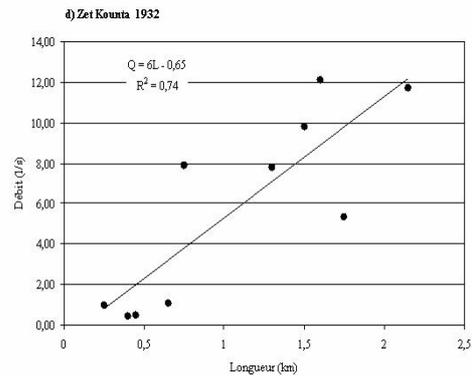
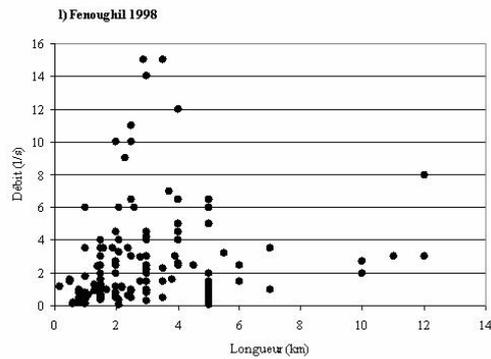
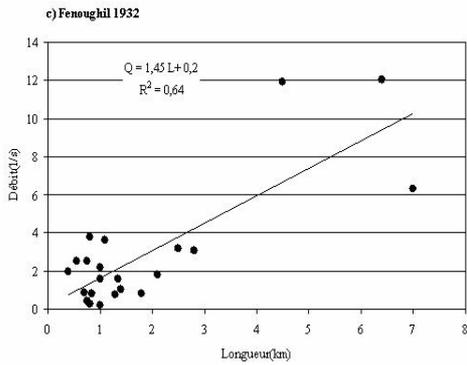
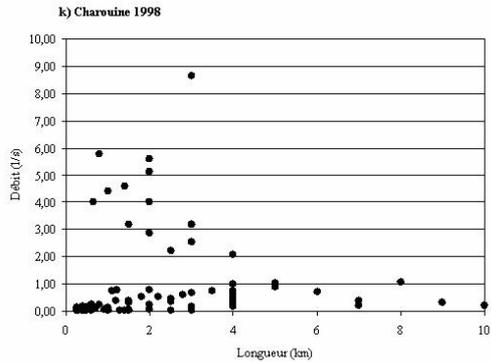
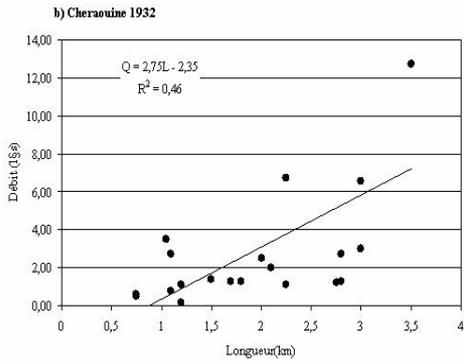
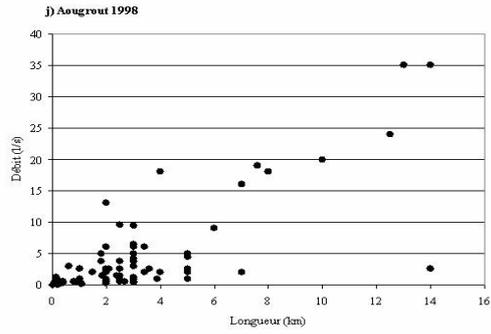
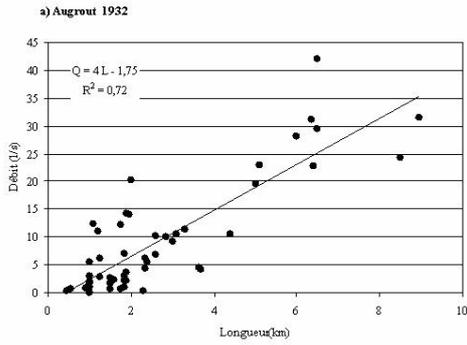
f)

Fig. XI.9. Evolution du réseau de captage

XI .2.5.Relation entre la longueur de la galerie et le débit de la foggara

Les deux techniques utilisées par les oasiens sont basées essentiellement sur la prolongation de la galerie. Donc nous avons jugé utile d'étudier l'influence de la longueur de la galerie sur l'évolution du débit de la foggara. A cet effet, nous avons utilisé les données de l'inventaire de 1932 et celles du dernier inventaire effectué entre 1998 et 2001 par l'ANRH.

La figure XI.10 représente le débit des foggaras en fonction de la longueur de la galerie pour les foggaras de Gourara et d'Adrar. Une bonne corrélation existe entre les deux paramètres pour les anciennes données. Ceci peut s'expliquer avant les années 60 les oasiens entretiennent périodiquement les foggaras. Par contre actuellement, en plus de l'état très dégradé et mal entretenu des foggaras, l'apport des motopompes et les forages a beaucoup influé sur le débit de la foggara.



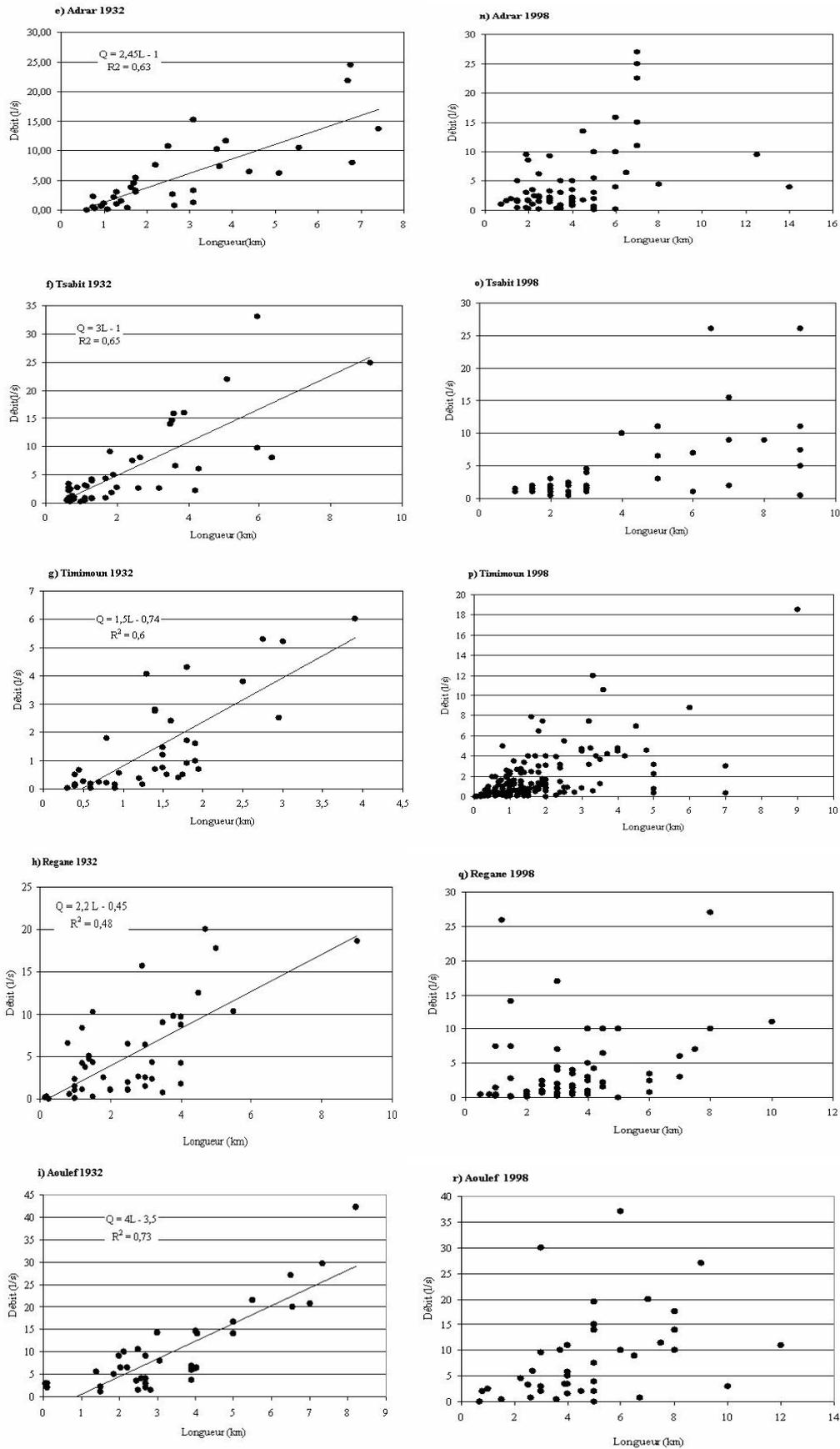


Fig. XI.10. Relation : débit – longueur de la galerie

Conclusion

Il ressort de cette étude que les oasiens de Touat et Gourara ont pu obtenir de l'eau grâce aux systèmes de foggaras qu'ils l'ont développé depuis plus de 10 siècles. Ils ont appris à gérer la ressource eau et son partage équitable entre la population en périodes de crises. C'est ainsi que lors de la baisse progressive du niveau piezométrique de la nappe qui se traduit par une diminution du débit de la foggara, les oasiens ont adopté deux méthodes pour accroître le débit ; le prolongement et l'ajout de nouvelles galeries au drain initial. A Timimoun, on applique plutôt la tarha pour les foggaras qui exploitent la nappe du Continental Intercalaire à partir plateau de Tadmait. Contrairement au kraa appliquée dans les oasis d'Adrar. On n'a aucune information sur le prolongement des galeries.

Chapitre XII

LA FOGGARA : UN SYSTEME HYDRAULIQUE EVOLUTIF

Introduction

Les oasis de Touat et Gourara situées dans les régions hyper –aride du Sahara algérien connue par la rareté des précipitations. Pour survivre dans un lieu hostile à la vie, les oasisiens aillent chercher l'eau dans les couches de grés du Continental Intercalaire en creusant des galeries souterraines qui pénètrent dans la partie supérieure de la nappe tout en assurant un écoulement par gravité vers les jardins situées dans les basses dépressions. Cette technique ingénieuse s'appelle la foggara qui ressemble au Qanat d'Iran (Abouei R., 2006) et la Khetara du Maroc (Lightfoot D.R., 1996). Ce procédé s'est développé depuis 3000 ans dans le sud Ouest du plateau pour ensuite se diffuser à travers 35 pays de la planète (Hofman A., 2007, Abdin S., 2006).

Le système foggara est un immense appareil hydraulique constitué de trois parties : captage, transport et distribution. Le captage et le transport d'eau sont assurés par un réseau de galeries souterraines équipées d'une multitude de puits assurant l'aération et l'entretien de la galerie. Quant à la distribution de l'eau, elle est assurée par un réseau complexe de seguias et de kasriates. Cependant la foggara n'est pas uniquement un ouvrage technique, mais toute une organisation sociale est instaurée autour d'elle ou l'eau constitue le véritable foncier ou chaque propriétaire peut vendre, acheter ou louer ces parts d'eau. Ceci a créé des changements et des modifications dans le réseau de distribution d'une manière courante par des interconnexions et des raccordements entre les foggaras. Dans cette étude, on s'intéresse aux types de raccordements entre foggaras et les seguias opérées durant dix siècles d'exploitation dans les oasis de Touat et Gourara.

XII.1.Site d'étude et données utilisées

Nous avons utilisés les données des foggaras recensés lors du dernier recensement effectué par l'ANRH durant la période : 1998 – 2001. Les foggaras étudiées sont localisées dans les régions de Touat et de Gourara situées à environ 1000 km au sud ouest d'Alger (Fig. XII.1). En 2001, l'ANRH a inventorié 907 foggaras opérationnelles. En 2010, ce chiffre a été revu à la baisse. Selon les informations que nous avons obtenu auprès de la population ksourienne et les propriétaires de foggaras et que malgré les quelques foggaras réhabilitées, le chiffre ne dépasse pas les 880 foggaras en service.

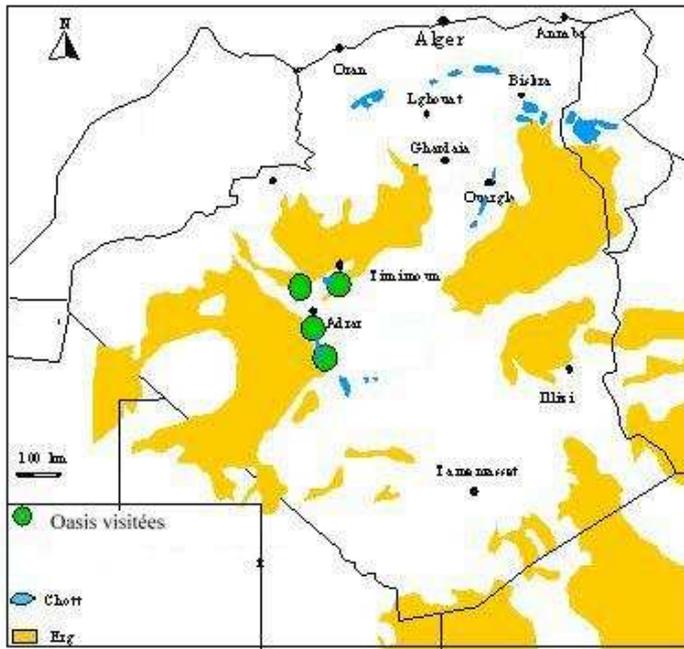


Fig. XII.1. Situation des oasis visitées

XII.2. Résultats et discussions

Les oasis de Touat et Gourara situées dans les régions hyper –arides du Sahara algérien où les précipitations sont faibles durant toute l’année. La seule source d’eau existante dans un tel milieu est l’eau souterraine emmagasinée dans l’aquifère du Continental Intercalaire. C’est dans cette nappe de l’Albien que les oasisiens sont allés chercher cette eau à l’aide d’un important appareil hydraulique connu sous le nom de la foggara. Le système est constitué d’une galerie souterraine de faible pente équipée d’une multitude de puits d’aération arrive à drainer l’eau de la partie supérieure de la nappe vers les jardins situés en bas de la dépression de telle façon à assurer un écoulement gravitaire. Une fois l’eau arrive à la surface du sol à l’entrée de la palmeraie, elle sera répartie entre les propriétaires d’une façon équitable grâce à la kasria ; un petit bassin triangulaire muni d’un peigne répartiteur en roche plate. A l’aval la kasria, un véritable réseau de distribution et de répartition en forme d’enchèvement se constitue. Il est composé de plusieurs milliers de mètres de souaguis et de kasriates de différentes dimensions (secondaires, tertiaires et multiples) qui alimentent de nombreux madjens autour desquels sont groupés des guemouns à cultiver.

La foggara possède deux fonctions : technique et sociale. La kasria sépare les deux fonctions et représente la pièce maîtresse du système foggara. Toute l’organisation sociale est créée autour de la kasria et le partage de l’eau entre les propriétaires s’effectue autour de la kasria qui nécessite des opérations de mesures par le Kial el ma à l’aide d’un instrument de quantification des débits (Louh). Les parts d’eau sont enregistrés et archivés dans un registre (le Zemmam) qui sera gardé chez le responsable de la foggara.

Dans une région chaude comme le Touat et le Gourara, l’eau reste le véritable foncier, elle se vend et s’achète, et la foggara au fil des années est devenue une sorte de bourse hydraulique où les actionnaires peuvent avoir des parts d’eau dans une ou plusieurs foggaras. Ceci compliquera davantage le réseau par l’interconnexion et le raccordement entre ces foggaras pour canaliser ces parts d’eau dans son propre jardin.

Ces opérations de raccordements se répètent continuellement durant toute l'année ; on assiste à des aménagements dans le réseau de seguias par la suppression, le prolongement et le creusement de nouvelles seguias.

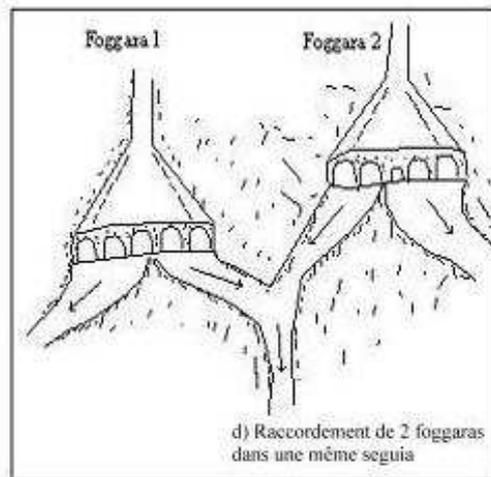
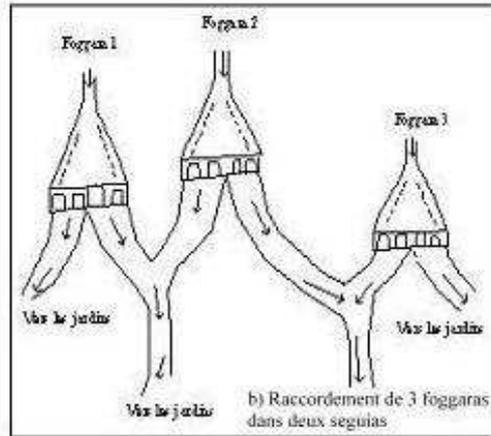
Lors de nos missions de 2007, 2008 et 2009 dans les oasis de Touat et Gourara, nous avons été impressionné par l'ingéniosité et l'avancée techniques dans le transfert et l'interconnexions entre les foggaras. La distribution ne s'arrête pas à quelques seguias, mais il s'agit d'un véritable réseau ramifié de plusieurs kilomètres de seguias de différentes dimensions. L'eau s'écoule dans tous les sens pour atteindre les madjens et les guemouns en provenance d'une kaseria ou de plusieurs kasriates. Des propriétaires qui détiennent des parts d'eau dans plusieurs foggaras. C'est ainsi qu'ils créent des seguais pour drainer l'eau vers les jardins.

Nous avons constaté dans les oasis de Touat et de Gourara des foggaras qui sont reliées entres elles que se soit à l'amont ou à l'aval de la kasria par une ou deux seguias. Les raccordement des foggaras est réalisé de deux façons : seguia –kasria ou seguia – seguia. Ils créent un véritable réseau complexe en formant un enchevêtrement de seguias. C'est un réseau évolutif dans le temps. Des actionnaires d'une foggara peuvent vendre acheter ou louer les parts d'eau ; on, assiste à une véritable bourse hydraulique. A chaque opération d'achat ou de vente des modifications sont apportées au niveau des seguias. Toute l'opération (ente ou achat) sera suivie d'une campagne de mesures et d'actualisation du débit des parts d'eau vendues ou achetées. Toute l'équipe composée du kial el ma et les chouhounds participeront à cette manifestation. Le système foggara composé de deux parties : captage et distribution est un système collectif vivant.

En se basant sur l'observation sur les terrains, les enquêtes auprès de la population locale et l'utilisation des données du dernier recensement des foggaras effectué entre 1998 et 2001 par l'ANRH, le raccordement des foggaras évolue dans le temps, en partant de 2 foggaras jusqu'à 6 foggaras. On a dégagé 2 types de raccordement :

- A l'amont de la kasria
- A l'aval de la kasria.

Environ une cinquantaine de cas de raccordement entre les foggaras ont été opérés dans les oasis de Touat et de Gourara ; 30 types de raccordements de 2 foggaras, 10 types de raccordement de 3 foggaras, 1 cas de raccordement de 5 foggaras et 1 cas de raccordement de 6 foggaras. Huit modèles de raccordements ont été adoptés par les oasisiens dans les régions de Touat et de Gourara comme le montre la figure XII.2.



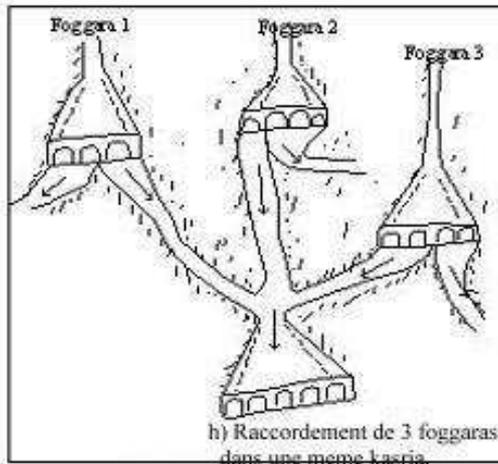
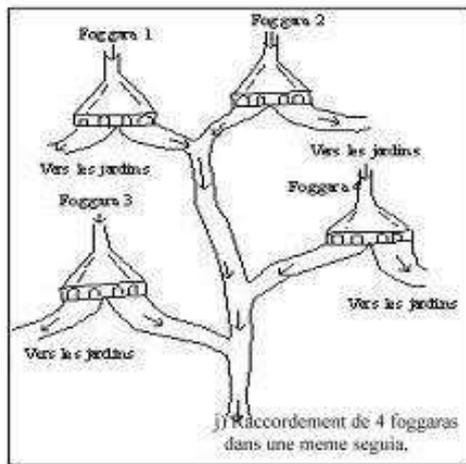
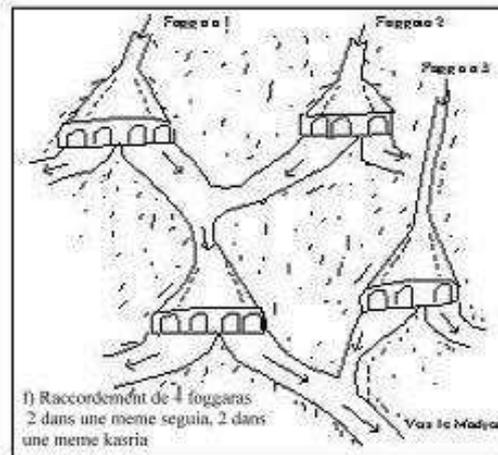
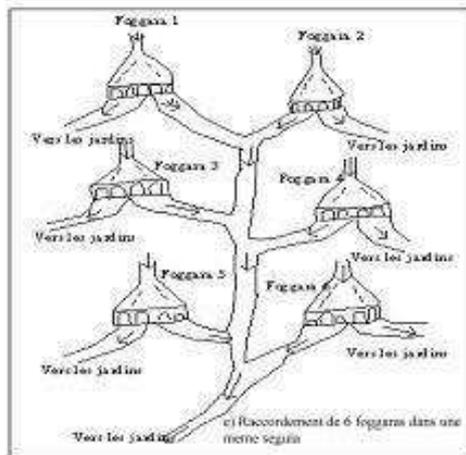


Fig. XII.2. Models de raccordement utilisés dans les oasis de Touat et Gourara

Dans les oasis de Regagane, les foggaras de Belchari et de Hadj Mebarek sont raccordées par les seguias dans une même kasria (Fig. XII.3). Dans les mêmes oasis, les foggaras de Ouabidou, Maatalah et Oulehass sont réunies dans une kasria (Fig. XII.4). Dans les oasis, 4 foggaras sont connectées dans la foggara de Tgaza (Fig. XII.5). Dans les oasis de Zet Kounta, cinq foggaras sont rattachées à la foggara de Ouled Ahmed (Fig. XII.6).

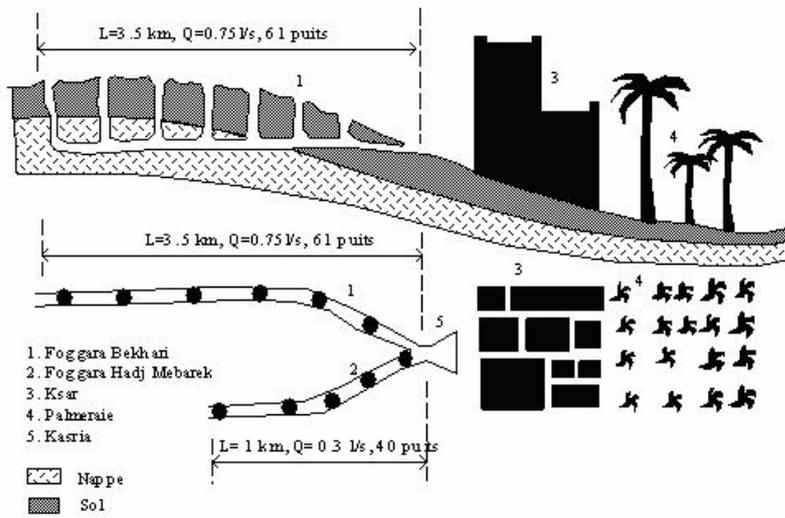


Fig. XII.3. Schéma synoptique de raccordement des foggaras de Bekhari et Hadj Mebarek (Reggane)

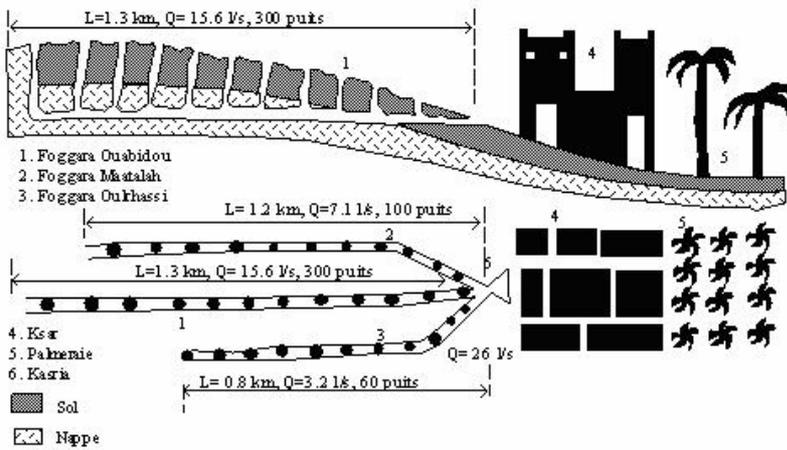


Fig. XII.4. Schéma synoptique de raccordement des foggaras Ouabidou, Maatalah et Oulehassi (Reggane)

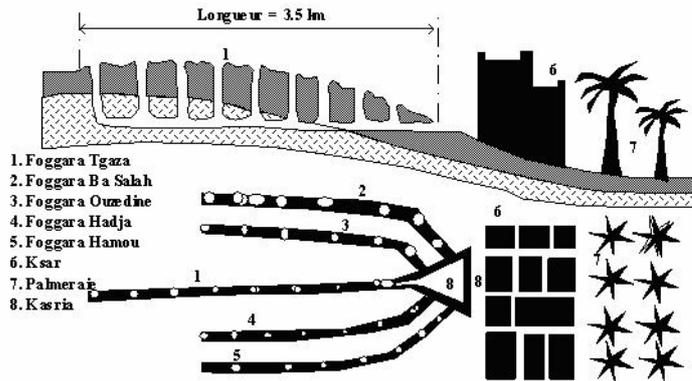


Fig. XII.5. Schéma synoptique de la foggara mère Tgaza

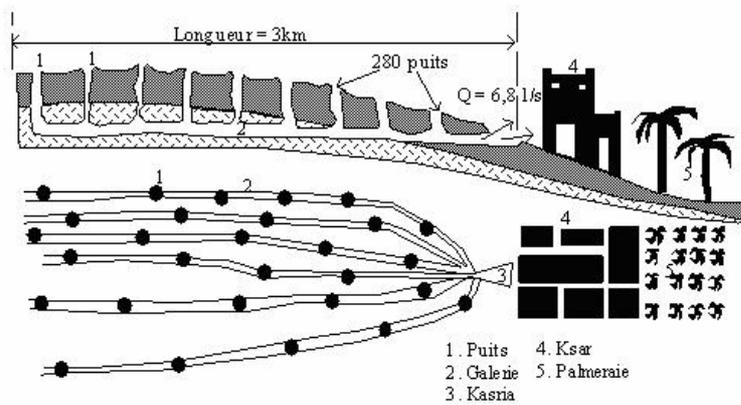
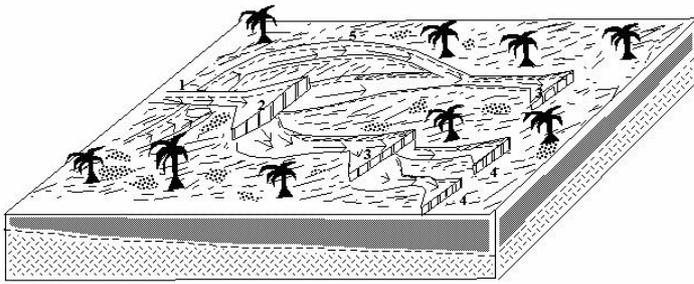


Fig. XII.6. Foggara de Ouled Ahmed (Zet Kaunta)

Généralement les foggaras qui se regroupent à l'aval dans une seguia présentent un schéma complexe comme le cas des foggaras de Ouzziane et Djeffara qui se regroupent à l'aval de la Kasria principale (Fig. XII.7).



- 1. Foggara Ouziane
- 2. Kasria principale
- 3. Kasria secondaire
- 4. Kasria tertiaire
- 5. Seguia de la foggara Djaffara
- Nappe d'eau
- Sol

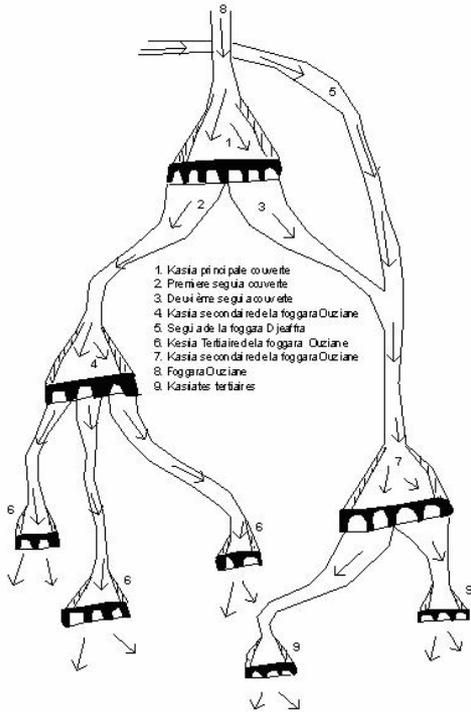


Fig. XII.7. Schéma synoptique du raccordement des foggaras de Ouziane et Djaffara

Dans les oasis de Ouled Said (Timimoun), le raccordement *segua* –*segua* à l’aval de la *kasria* opérées dans les trois foggaras de Tadgha, Mansoura, reste un très bon exemple de la maîtrise de la distribution des parts d’eau entre les différents actionnaires (Fig. XII.8 et XII.9).

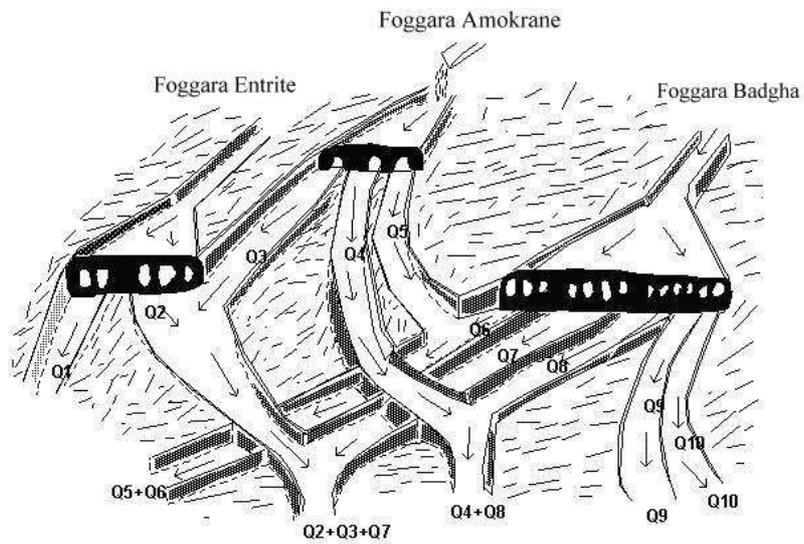


Fig. XII.8. Schéma synoptique du raccordement de 3 foggaras



Fig. XII.9. Raccordement des foggaras Entrite, Amokrane et Badgha (photo. Remini B., 2008)

Conclusion

Composée de deux parties : captage et distribution, la foggara est un système hydraulique dynamique. Il est évolutif dans le temps et en fonction de la demande. La partie amont composée essentiellement d'une galerie drainante dont le prolongement ne s'arrête jamais dans le temps. La partie avale composée d'un réseau de seguias qui se multiplient dans le temps. Cette dynamique est créée par les transactions des actionnaires de la foggara. Dans un milieu hyper aride comme celui de Touat et de Gourara, la valeur de l'eau est plus importante que celle de la terre ; l'eau s'achète, se vend et se loue. La foggara est considérée comme une bourse hydraulique ; il existe des propriétaires qui ont des actions dans plusieurs foggaras à la fois. Alors pour drainer ces parts d'eau dans son jardin, les foggaras dont il est actionnaires seront raccordées par des seguias. Neufs modèles ont été mis en évidence regroupant deux types de raccordement : à l'amont et à l'aval de la kasria.

Chapitre XIII

LA FOGGARA : UN PATRIMOINE EN PERIL

Introduction

Connue sous différentes appellations ; Khettara au Maroc, Qanat en Iran, le Falj au Sultanat d'Oman et le Karez en Afghanistan, la foggara en Algérie désigne une galerie souterraine légèrement inclinée qui draine l'eau de l'aquifère amont vers les terrains les plus secs situés en aval, en direction de la palmeraie (fig. XIII.1). Ce procédé utilise un système de galeries en pente douce d'une longueur pouvant atteindre les 20 km, équipés d'une série de puits d'aération espacés de 5 à 22 m (fig. XIII. 2). La foggara est un système technique lié à un système social de travail collectif mené par un comité de sages, appelé Djemaa, dont le rôle est de diriger et de surveiller l'entretien de la foggara et la répartition de son eau (fig. XIII. 3).

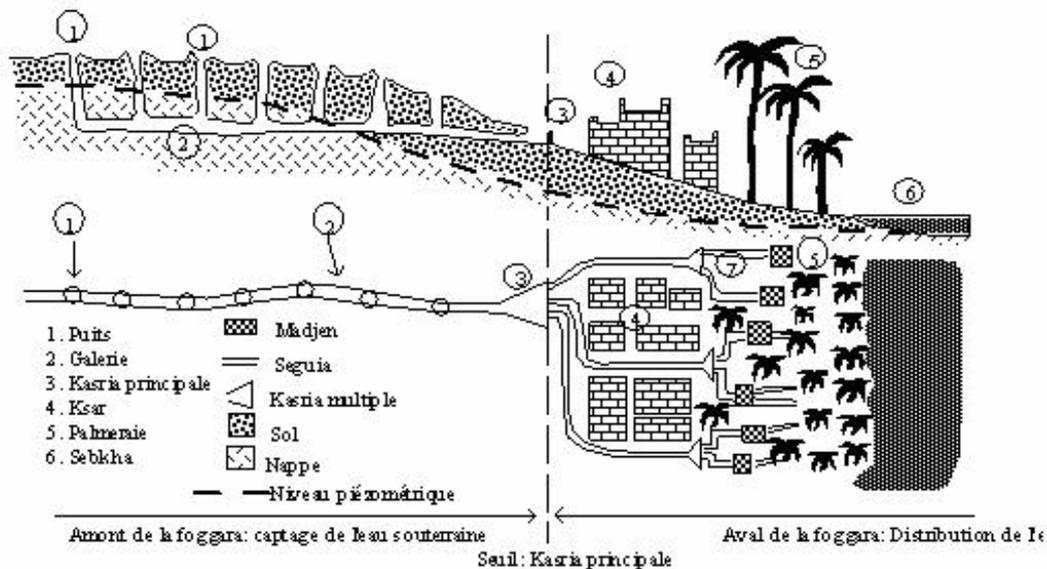


Fig. XIII. 1. Schéma général d'une foggara



Fig. XIII. 2. Un puit de la foggara au centre ville de Timimoun (cliché Remini B., 2008)



Fig. XIII. 3. Le grand Peigne (Répartiteur de débit) de la foggara d'El Meghier (Timimoun) (cliché Remini B., 2008)

D'origine Iranienne, la Qanat s'est développée dans le plateau Iranien depuis plus de 3000 ans (Goblot H., 1979, Wulff H.E., 1968 ; Wessels J., 2005). Elle est diffusée dans 35 pays de la planète (Boustani F., 2008). On la retrouve en Afrique du nord, dans le sud de l'Europe, en Amérique latine, en Asie centrale et en Arabie. Cependant, ce patrimoine hydraulique mondial se dégrade d'une année à l'autre. Il se trouve donc que le nombre de ces galeries drainantes est en nette régression suite aux divers problèmes techniques et sociaux. En Iran, les qanats ont diminué de 50000 (Ghorbani B., 2007) à 32000 en 1950 (Bonine M., 2006) et à 22000 en 2006 (Larson RC., 2006). Au Sultanat d'Oman, le nombre d'Aflajs (pluriel de Falaj) est passé de 4112 Falaj à 3017 falaj en 2007 (Al Gharfi A., 2003 ; Al Murshudi A.S., 2007). Dans le sud est du Maroc, la région de Tafilalet, le nombre des khattaras a beaucoup diminué de 300 au début du 20eme siecle à 150 en l'an 2000 (Ben Brahim M., 2003).

Par contre, en 1997, il existait 190 khattaras en service (Menjo M., 2007). Les khattaras abandonnées jusqu'en 2004 s'élevait à 262 sur un total de 308 khattaras dénombré en 1967 (Ouhassin M., 2004). En Algérie, le nombre des foggaras fonctionnelles est passé de 1400 à 907 foggaras selon le dernier inventaire effectué par l'agence nationale des ressources hydriques en 1998.

De nos jours la foggara connaît des difficultés de gestion et d'entretien en raison des problèmes techniques et sociaux. Des foggaras abandonnées, d'autres en baisse de productivité ont été signalées chaque année dans le Sahara Algérien.

Dans ce chapitre, nous mettrons en évidence les véritables problèmes techniques et sociaux qui menacent le fonctionnement de la foggara de la région de Gourara.

XIII.1. Région d'étude : Observations et témoignages

Le dernier inventaire de 1998 effectué par l'agence nationale des ressources hydriques a donné un nombre de 250 foggaras en service dans toute la région de Timimoun.

Pour comprendre le problème de la régression de ce système ingénieux, nous avons effectué deux missions en 2007 et en 2008 dans les oasis de la région de Timimoun, (Timimoun centre, Aghlad, Ouled Said, et Kali).

Timimoun ; région touristique très connue par l'oasis rouge, est située à 1200 km au sud ouest d'Alger (Fig. XIII. 4). Elle est connue par ces belles palmeraies, ses dattes de bonne qualité et plus de 200 ksours.

Durant nos séjours de 2007 et 2008, on s'est basé sur les observations sur le terrain des foggaras, sur les enquêtes auprès des oasisiens et plus particulièrement les propriétaires des foggaras, les membres de la « Djamaa » (commission des sages).

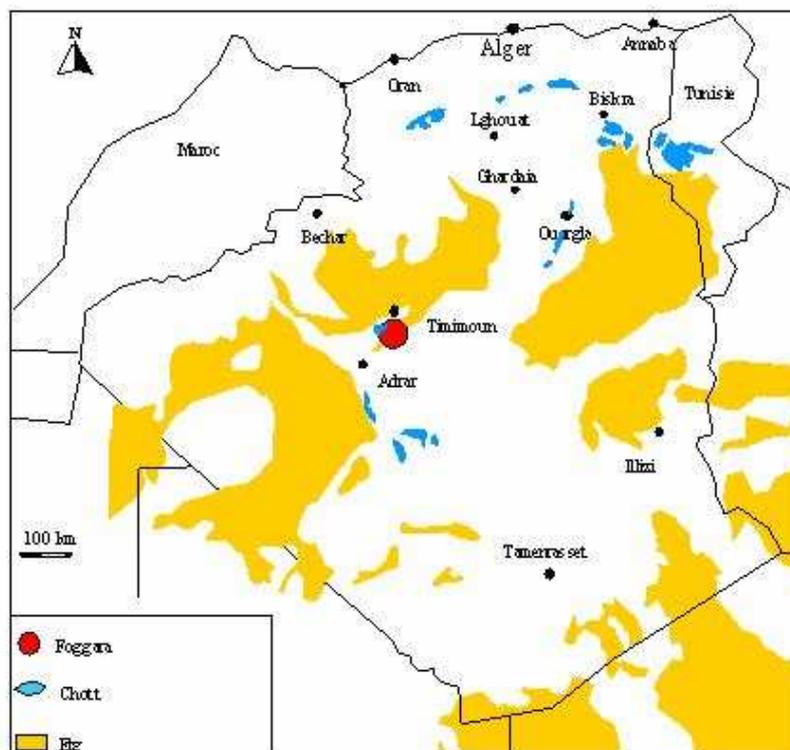


Fig. XIII. 4. Situation de la région d'étude

XIII .2. Résultats et discussions

En visitant les différentes oasis périphériques de la sebkha de Timimoun, nous avons constaté la présence de deux grandes familles de foggaras : celles qui captent les eaux de la nappe du Continental Intercalaire (nappe profonde) et qui sont localisées dans le Timimoun centre. Les foggaras qui captent les eaux de la nappe du Grand Erg Occidental ; une nappe sous les immenses dunes de sable .et qui alimentent les oasis de Ouled Said, Aghlad et Kali. Contrairement aux problèmes sociaux qui sont commun pour l'ensemble des foggaras, les problèmes techniques différent d'un type à l'autre. Les principaux facteurs de dégradation sont : l'effondrement des galeries et le tarissement pour les foggaras de l'Albien. L'ensablement et le colmatage par les racines de la plante « Tezra » affectent les foggaras de l'erg. L'héritage et la non transmission du métier restent les deux principaux problèmes sociaux qui affectent ce patrimoine hydraulique.

XIII .2.1. Problèmes techniques

a) Effondrement des foggaras

L'effondrement des puits et des galeries est un processus qui s'effectue souvent au niveau d'une foggara. Durant ces dernières années, plusieurs foggaras de la région de Timimoun ont été abandonnées ou elles ont vu leurs débits diminuent en raison du dépôts de terre provoqué par l'effondrement. Ce phénomène se produit selon deux processus :

- **Processus lent**

Un processus lent au cours duquel l'écoulement des eaux provoque une érosion continue du lit et les parois de la galerie creusée dans un sol sableux (Fig. XIII. 5). Ce processus provoque, au cours du temps, un agrandissement de la section de la galerie, puis l'effondrement de la foggara. Ce cas se répète souvent dans les foggaras qui traversent les agglomérations et les routes (Fig. XIII. 6). Les vibrations provoquées par la circulation des véhicules et les aménagements opérés par la population sont les causes principales d'effondrement des foggaras. Généralement, les glissements et les chutes des roches à l'intérieur de la galerie provoquent une diminution rapide du débit de la foggara.

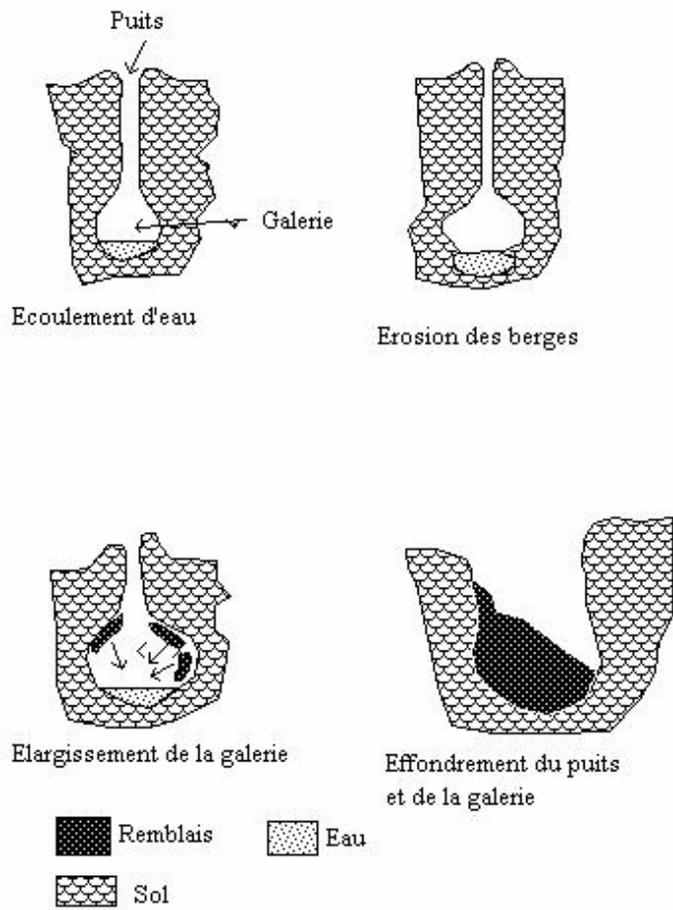


Fig. XIII. 5. Schéma simplifié d'effondrement d'une foggara (Processus lent) (Remini B., 2001)

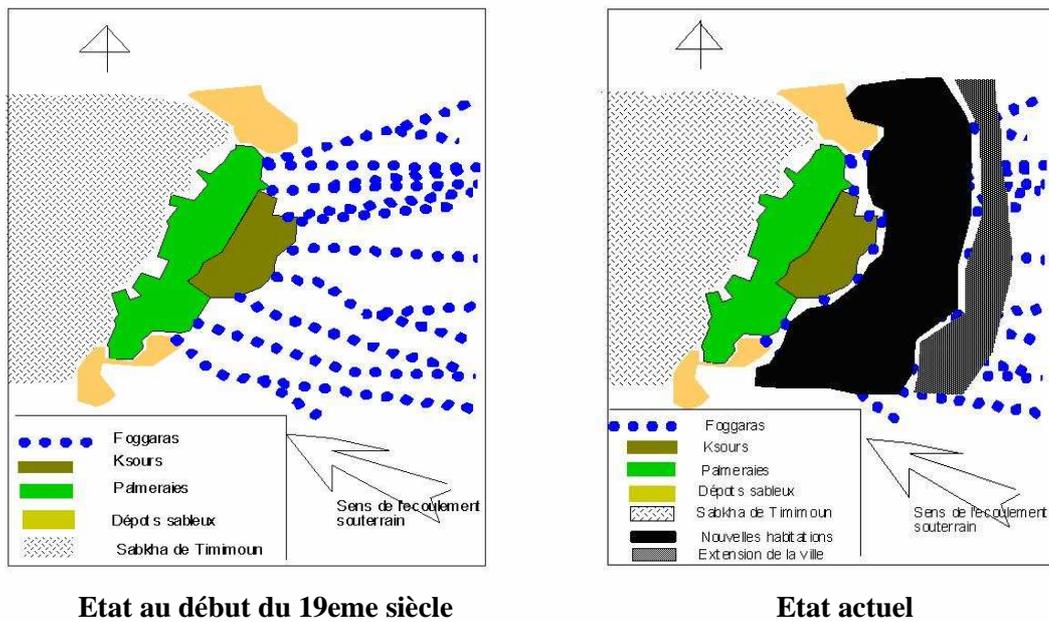


Fig. XIII. 6. Schéma simplifié de l'évolution de l'urbanisme dans la région de Timimoun

Selon les propriétaires de la foggara d'El Meghier (Timimoun), la diminution de son débit, (en plus de l'effet des forages), est dû à des dépôts de terre dans la galerie de certains tronçons provoqués par des glissements durant ces dix dernières années. Plusieurs tronçons de galerie de foggaras dans la région de Timimoun se sont effondrés durant le temps.

- **Processus rapide**

Un processus rapide qui se traduit par l'effondrement quasi instantané de la galerie, provoqué par le passage des crues qui sont généralement brusques et de forte intensité (Fig. XIII. 7). En drainant une importante quantité de matériaux solides, le ruissellement des eaux atteint la galerie à travers les puits d'aération provoquant ainsi l'effondrement de la foggara. A titre d'exemple, dans la ville de Timimoun, 3 foggaras ont été effondrées suite aux inondations de 2003. La foggara Amokrane a été délaissée suite à l'effondrement d'une partie de sa galerie. Plusieurs tronçons de la galerie ont été effondrés provoquant ainsi l'obturation de l'écoulement (Fig. XIII. 8).

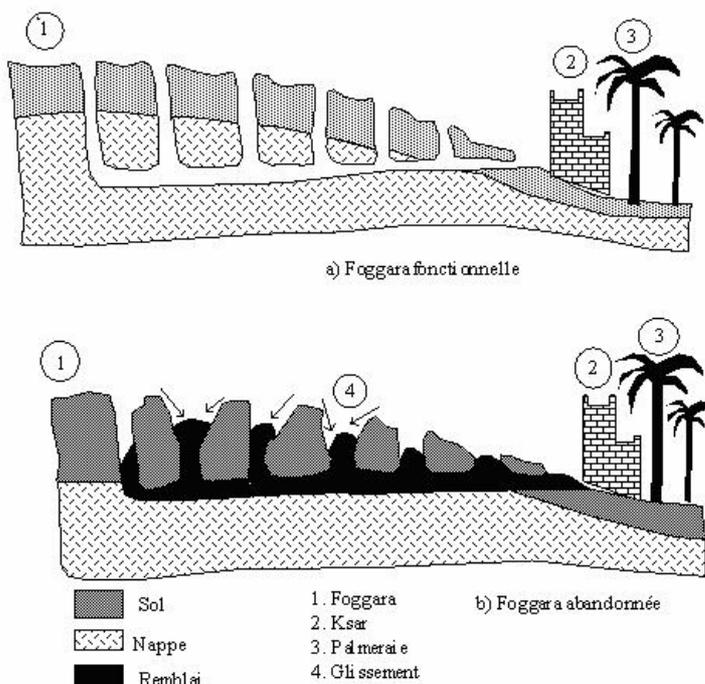


Fig. XIII. 7. Schéma simplifié d'effondrement d'une foggara (Processus rapide)

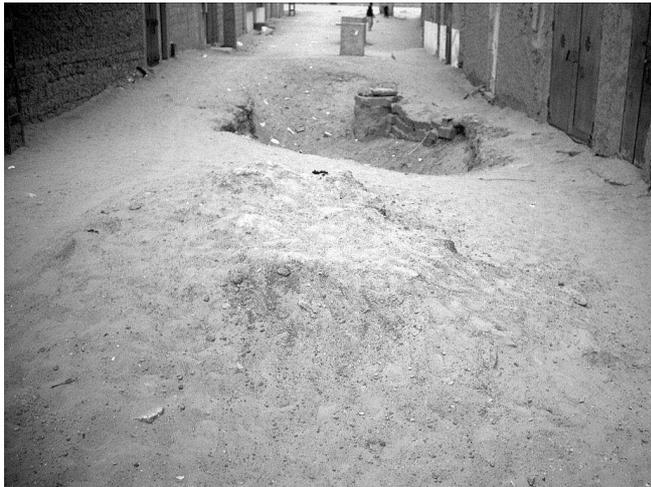


Fig. XIII. 8. Effondrement d'un tronçon de la galerie de la foggara Amokrane (Timimoun) lors des crues de 2003. (Remini B., 2007)

Le tableau XIII.1 résume les différents types d'effondrements provoqués dans quelques foggaras.

TableauXIII. 1. Types d'effondrement

Nom de la foggara	Types de d'effondrement	Observations	Débit
Amokrane	Rapide	Les crues de 2003 ont provoqué l'effondrement de plusieurs tronçons de la galerie ;	Débit nul
Meghier	Lent	Dépôt dans la galerie suit à l'érosion dans certains tronçons	Foggara fonctionnelle mais avec un débit très faible

b) Tariessement des foggaras

Tout le monde semble d'accord pour affirmer que les forages implantés aux alentours des foggaras sont la cause principale de leurs tariessements. La multiplication des forages dans la région depuis les années 80 à cause de la forte demande en eau (essors économique de la région) a engendré un rabattement de la nappe ; le niveau piézométrique de la nappe baisse pour se maintenir au dessous de la galerie. La partie drainante de la foggara (qui est l'ossature de la foggara) s'assèche et devient inactive, ce qui provoque le tariessement de la foggara (Fig. XIII. 9).

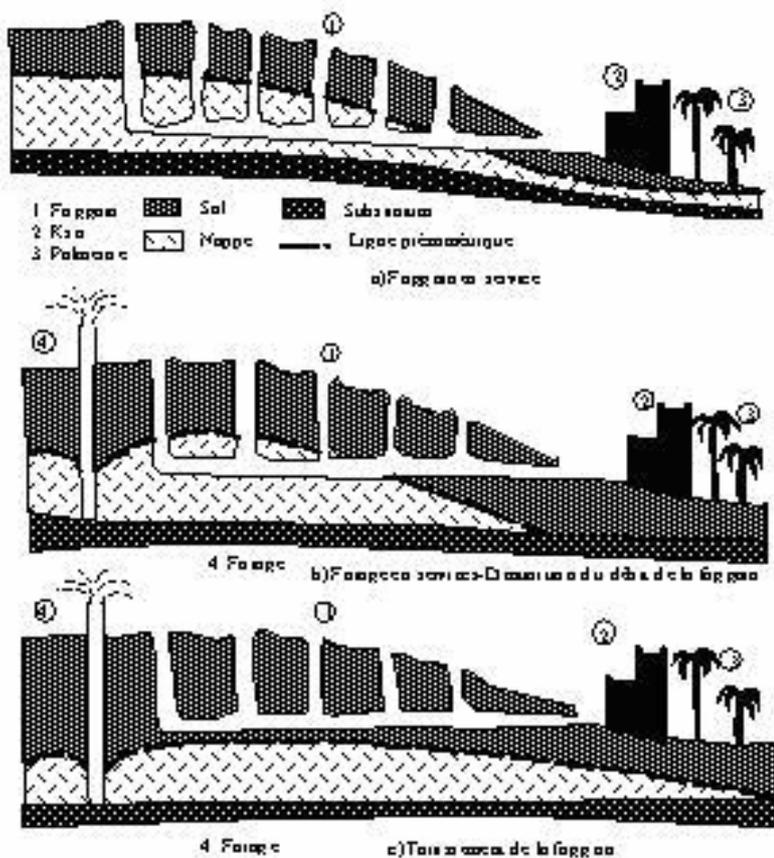


Fig. XIII. 9. Schéma simplifié du tarissement d'une foggara

L'exploitation d'une nappe souterraine par la foggara et par pompage a entraîné de forts rabattements depuis les années soixante, période d'installation du premier forage profond dans la région. La région de Timimoun n'a pas échappée à ce phénomène. Actuellement, le débit des forages dans toute la région de Timimoun dépasse largement les 800 l/s. Cependant, celui des foggaras de Timimoun avoisine les 350 l/s. Sachant que le rayon d'influence des forages sur les foggaras a été évalué à 1.7 km par la direction d'hydraulique de Timimoun, c'est la valeur jugée susceptible de provoquer un rabattement de la nappe (Fig. XIII. 10). Si on prend uniquement les forages qui sont placés dans un rayon de 1 km on dénombré environ 120 forages dans toute la wilaya d'Adrar. Il s'avère que 13% des forages sont situés dans un rayon de 50 m, dans ce cas, la foggara est certainement influencée par le pompage de ce forage (tableau XIII. 2).

Tableau XIII. 2. Pourcentage des forages implantés près des foggaras

Distance entre un forage et une foggara	Pourcentage des forages implantés
$R \leq 50$ m	13%
$50\text{m} < R \leq 100$ m	13%
$100 < R \leq 500$ m	66%
$500 < R \leq 1000$ m	8%

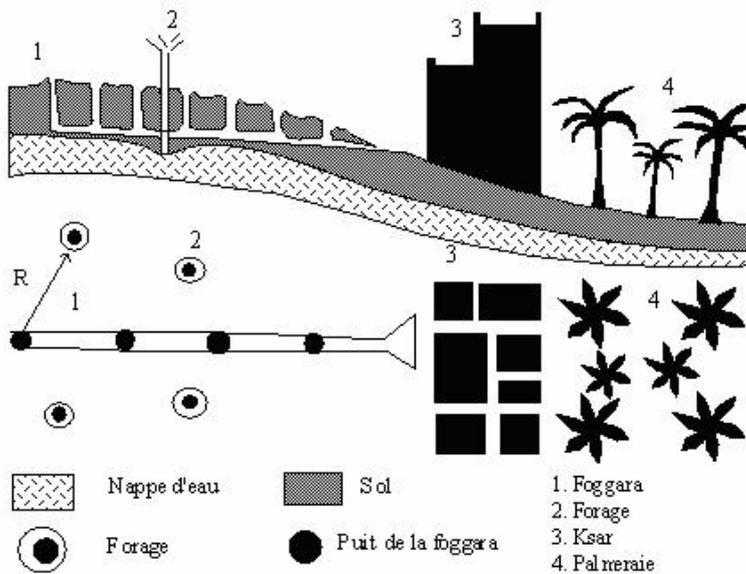


Fig. XIII. 10. Schéma synoptique de la situation des forages près des foggaras

c) Diminution du niveau de la nappe

Depuis les années 60, date de l'apparition des forages profonds, le niveau de la nappe du continental intercalaire diminue, ceci a provoqué d'abord la disparition des puits artésiens, et l'abaissement du niveau de la nappe albienne et la diminution du débit des foggaras.

Cette nappe appartient au système aquifère du Sahara septentrional (SASS) qui désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes : la nappe du Continental Intercalaire (qui est la plus étendue et la plus profonde) et celle du Complexe Terminal. Le SASS couvre une superficie de plus de 1 million de km², dont 700000 km² se trouvent en Algérie, 80000 km² en Tunisie et 250000 km² en Libye (Larbes A., 2003, Abdous B. et al, 2005).

Aujourd'hui, le SASS est exploité par près de 8800 points d'eau; forages, foggaras et sources répartis entre les 03 pays (l'Algérie : 6600, la Tunisie : 1200 et la Libye : 11000). Soit un débit total exploité égal à 2,2 milliards de m³/an : 1,33 milliards de m³/an en Algérie, 0,55 milliards de m³/an en Tunisie et 0,33 milliards de m³/an en Libye (Abdous B., 2005 et Remini B., 2007). Cette forte consommation d'eau par les 3 pays a provoqué une baisse sensible du niveau de la nappe et par conséquent la diminution des débits des foggaras dans le temps.

d) Ensablement des foggaras

Contrairement au problème de l'effondrement qui touche les foggaras de l'Albien, l'ensablement pose des problèmes plus particulièrement aux foggaras de l'erg. Ces dernières se trouvent souvent envahies par le sable du Grand Erg Occidental. Le phénomène de l'ensablement est un paramètre essentiel de l'abandon des foggaras et de la dégradation des oasis. Généralement, c'est par les puits que le sable pénètre et se dépose dans la galerie, sachant que la foggara est composée d'une multitude de puits à ciel ouvert destinés à l'entretien et au curage (Fig. XIII. 11).

De nombreuses foggaras des oasis d'Aghlad et de Badou sont perdues au milieu de l'erg. Plusieurs tronçons se trouvent complètement ensablés. A titre d'exemple, dans le village d'Aghlad, les 14 ksours qui étaient alimentés par 09 foggaras, se trouvait en 2008 avec un seul ksar habité par 03 familles de 80 personnes alimentées par une seule foggara à cause de l'ensablement qui a envahi les foggaras.

Pour Faire face à l'ensablement qui est un des problèmes de la désertification, les oasiens d'Aghlad et de Kali couvrent les kasriates, les seguias et même les puits par des dalles rocheuses plates, comme le cas de la foggara de Badou.

Le curage des seguias est quasiment quotidien surtout durant les périodes d'automne et de printemps ; saisons réputées par la multiplication des tempêtes de sable.

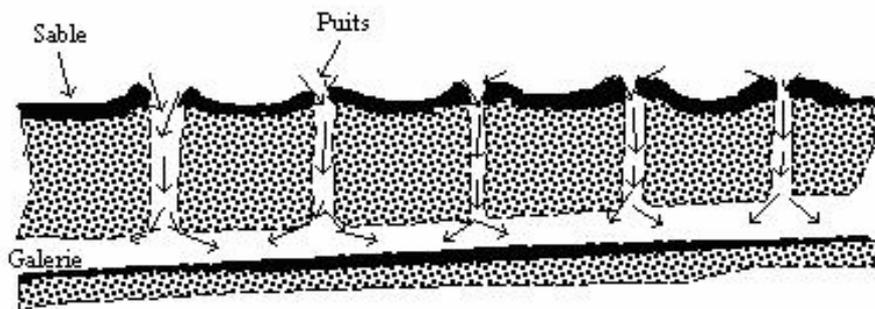


Fig. XIII. 11. Schéma de l'ensablement d'une foggara

e) La plante qui obture la foggara

Ce problème touche particulièrement les foggaras de l'erg. Une plante qui pousse dans le sable du Grand Erg dont les racines peuvent atteindre des dizaines de mètres, appelée localement : « Tazra » (Fig. XIII. 12). Sa présence indique l'existence de l'eau dans un rayon de quelques dizaines de mètres. Les racines arrivent facilement dans la galerie et se multiplient rapidement jusqu'à ce qu'elles obturent la section de la galerie.



Fig. XIII. 12. Envahissement de la plante « Tazra » sur toute la longueur de la seguia (Remini B., 2007)

XIII .2.2. Problèmes sociaux

L'héritage reste un des problèmes de l'abandon des foggaras. Des palmeraies et des jardins abandonnés depuis plusieurs années sans entretien à cause de l'abandon des foggaras. Les cas que nous avons rencontrés sont :

- La foggara est un bien familiale. Il se trouve que des membres au sein de cette même famille s'opposent à l'entretien et aux travaux des foggaras.
- Dans une famille propriétaire d'une foggara, le décès du chef de famille provoque l'arrêt du fonctionnement de la foggara à cause le désaccord de l'octroi des parts d'eau entre les membres de la famille.
- Dans une famille nombreuse possédante une foggara d'un débit moyen, chaque membre reçoit une faible part d'eau qui restera insuffisante pour l'irrigation de son jardin.

Le problème de la non transmission des métiers clés qui interviennent dans la répartition de l'eau d'une foggara. Comme la foggara est un bien collectif, le partage de l'eau est assurée par une commission de sages « Djemaa ». La mesure des parts d'eau de la foggara à chaque variation du débit (provoqué par l'entretien ou des effondrement de la foggara), nécessite l'intervention du Kial El Maa (celui qui mesure le débit) et le Hassab ; le véritable calculateur qui fait toutes les opérations du calcul des parts juridiques et réelles qui seront enregistrés dans le Zemmam (Registre). Actuellement, ces deux personnages sont en voie de disparition dans toute la région de Timimoun. Nous avons rencontré difficilement, le Kial El Maa dans l'oasis de Kali, il est parmi les 15 Kialines El Maa de toute la région de Timimoun, ils assurent les mesures des débits de plus de 200 foggaras en service.

XIII .2.3. L'entretien des foggaras

Pour maintenir le débit stationnaire, la foggara nécessite un entretien périodique et continu. Les premiers propriétaires encouragent les investissements et font appel à d'autres actionnaires. Les nouveaux propriétaires, tout comme les anciens, ont tout le droit de vendre ou de louer le nombre de parts possédées. Au fur et à mesure que le nombre de propriétaires augmente par l'achat ou par l'investissement, la foggara finit par devenir une entreprise soumise à des règles strictes et rigoureuses.

a) Lutte Contre l'ensablement des foggaras

Pour maintenir leurs foggaras en bon état, les ksouriens mènent une lutte périodique contre l'ensablement. Le curage s'effectue au niveau des Kasriates (pluriel du Kasria) et des seguias (Fig. XIII. 13). Ils procèdent aussi à la couverture des seguias et des Kasriates par des dalles rocheuses plates (fig. XIII. 14). Comme le cas de la foggara de Badou (Timimoun) ou tout est couvert par des dalles plates ; Kasriates, seguias et même les puits.



Fig. XIII. 13. Curage périodique d'une Kasria de la foggara de Badou (Remini B., 2007).



Fig. XIII. 14. Couverture de la seguia par des dalles plates rocheuses Un moyen de lutte contre l'ensablement (Remini B., 2007)

b) Le curage des galeries

L'enlèvement de la boue et du dépôt dans le tunnel est une opération de grande importance et très complexe; elle est appelée en arabe « El Faridha », c'est à dire une obligation et se déroule chaque été et l'ensemble des oasiens s'engage dans cette opération. La maintenance d'une foggara est beaucoup plus compliquée que sa réalisation et demande une main d'oeuvre spécialisée. Actuellement, il est difficile de procéder à la réalisation de nouvelles foggaras par manque de main d'oeuvre spécialisée et par le prix onéreux de l'opération.

Lorsque le débit diminue et devient insuffisant pour l'irrigation, les actionnaires de la foggara organise une « Touiza » (Volontariat) pour laquelle, toute la population du Ksar participe à cet événement. La diminution brusque du débit est provoquée, soit par un dépôt du sable dans la galerie, soit le colmatage de la boue dû à l'effondrement des puits ou un tronçon de la galerie. La multiplication de l'opération du curage provoque l'approfondissement de la galerie (Fig. XIII. 15). Actuellement, les opérations d'entretien se font rares dans la région de Timimoun. La population du ksar Kali (Timimoun) est un exemple à prendre pour les autres ksars. Ils ont pu réhabiliter la foggara IfanBara en 2002 (Fig. XIII. 16). Ils ont même réhabilité une foggara du Ksar Aghlad en 2004 (tableau XIII. 3).

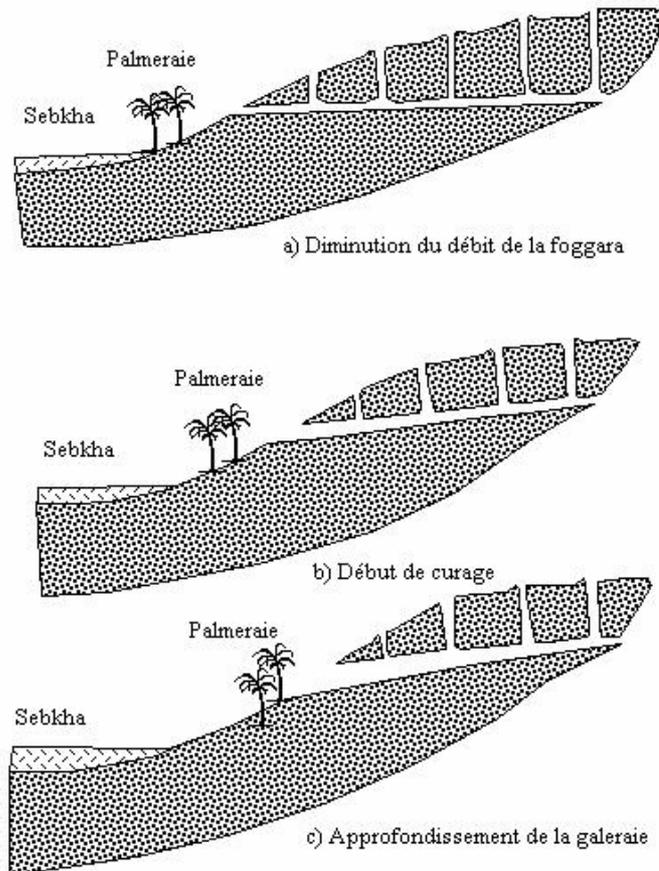


Fig. XIII. 15. Schéma simplifié du processus du curage

Tableau XIII.3. Quelques foggaras réhabilitées

Foggara	Année
Foggara de ksar Kali	Foggara abandonnée en 1966 et réhabilitée par la population durant les années 90
Une foggara de Ksar Aghlad	Foggara réhabilitée par la population en 2004
Iflanbara	Foggara réhabilitée par la population en 2002

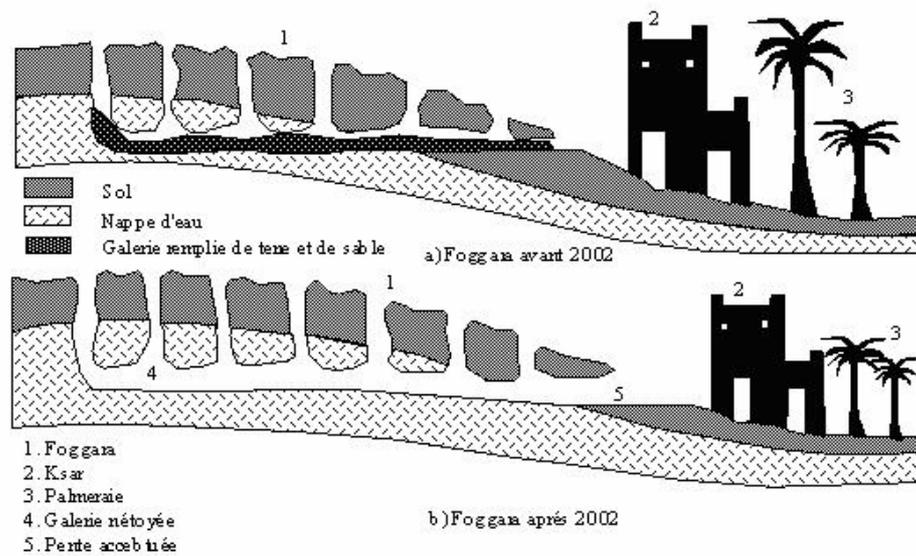


Fig. XIII. 16. Schéma simplifié de la foggara Iflan bara avant et après 2002

XIII.2.4. La foggara d'El Meghier : vers la disparition de la plus grande foggara d'Algérie

La foggara d'El Meghier est l'une des plus grandes foggaras d'Algérie. La date de sa réalisation n'a pas été précisée par les historiens. On pense qu'elle aurait été développée par le Marabout Sid Othmane et son fils qui vivaient au 15ème siècle. Elle a été entretenue et aménagée durant l'époque coloniale. La foggara d'El Meghier est située dans la ville de Timimoun à 1200 km au sud ouest d'Alger (Fig. XIII. 17). Elle capte l'eau de la nappe du Continental Intercalaire sur la périphérie du plateau de Tadmaït, véritable château d'eau des foggaras des régions de Touat, Gourara et Tidikelt.

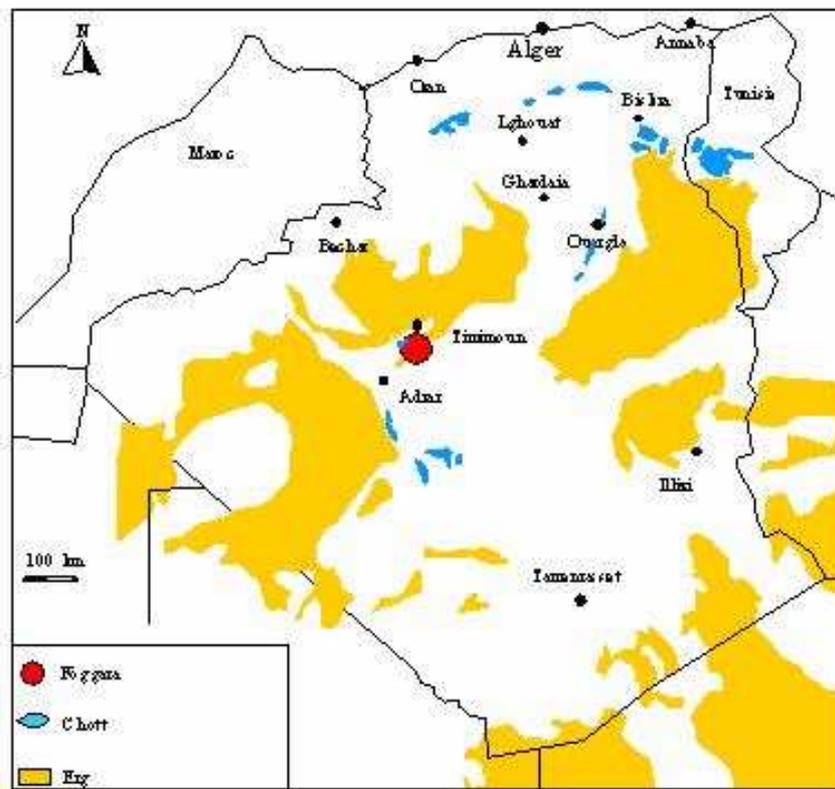


Fig. XIII. 17. Situation géographique de la foggara d'El Meghier

D'une longueur totale de 11 km, équipée de 600 puits d'aération, la foggara d'El Meghier a atteint un débit de 50 l/s durant les années 70 (Fig. XIII. 18, 19 et 20). Plus de 200 familles vivaient de cette foggara. Une palmeraie d'une superficie de plusieurs hectares est irriguée quotidiennement. Le quart de son débit alimentait la piscine communale de Timimoun. Connue pour son grand peigne appelé Kasria Lakbira (Grand Peigne), la foggara d'El Meghier possède 4 kasrias secondaires (Fig. XIII. 21), lesquelles par l'intermédiaire des Madjras (canal de section plus grande que la seguia) desservent 22 kasria tertiaires. Ces dernières alimentent 286 Madjens (bassins de stockage d'eau) par l'intermédiaire des souaguis (pluriel de seguia qui veut dire canal).

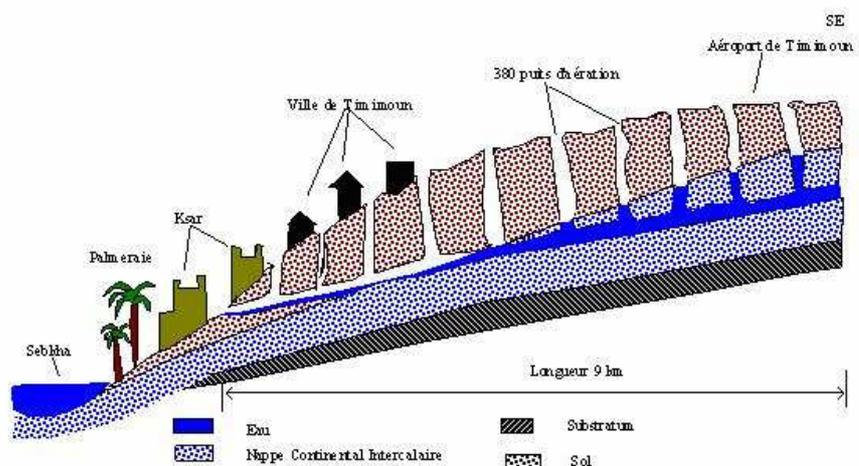


Fig. XIII. 18. Schéma synoptique de la foggara d'El Meghier



Fig. XIII. 19. Le peigne de la Kasria secondaire « Yahia » (Remini B., 2000)

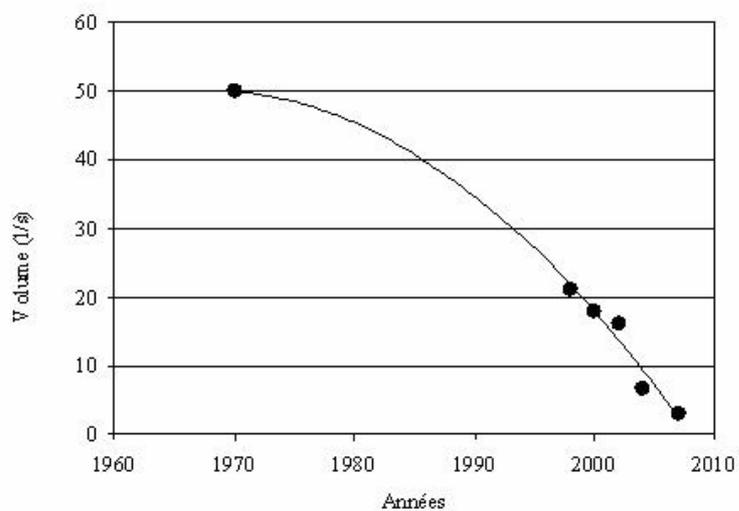


Fig. XIII. 20. Foggara d'El Meghier- Évolution du débit dans le temps (Remini B. et Achour B., 2008)

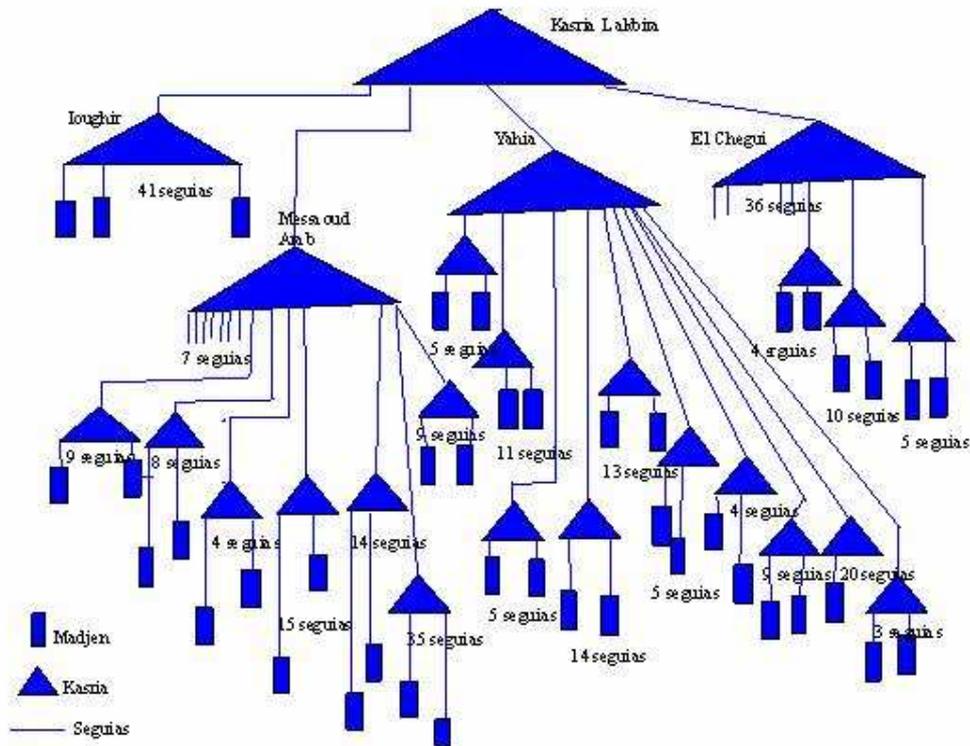


Fig. XIII. 21. Schéma synoptique du réseau de distribution de la foggara d'El Meghier

En 2007, la foggara d'El Meghier se trouve dans un état lamentable : son débit est descendu à moins de 3 l/s, plusieurs kasrias tertiaires sont détruites, plus de 50% du réseau des seguias est complètement détérioré (Fig. XIII. 22 et XIII. 23).

Plus de 90% des jardins ne peuvent plus être irrigués, ce qui a engendré des conséquences socio-économique et environnemental néfastes pour la région de Timimoun. Des jardins complètement abandonnées, des centaines de palmiers dattiers connus par leurs fruits sont morts (Fig. XIII. 24). Ces arbres qui jouaient dans le passé un rôle d'obstacle pour les vents, ne peut plus, aujourd'hui, arrêter l'érosion qu'elle soit, éolienne ou hydrique, qui est en train de vider l'oasis de ses terres fertiles. Des familles qui vivaient uniquement de ces jardins sont menacées de pauvreté.



Fig. XIII. 22. Traces d'une Kasria tertiaire (Remini B., 2007)



Fig. XIII. 23. Le peigne d'une Kasria tertiaire détruit (Remini B., 2007)



Fig. XIII. 24. Palmeraie dégradée (Remini B., 2007)

Les fellahs qui travaillent les jardins, sont quotidiennement dans les rues de la ville pour chercher du travail. Le Ksar est en train de se vider de sa population qui va habiter dans la ville. Les raisons qui ont provoqué la dégradation de la foggara sont :

- L'effondrement de plusieurs tronçons de la galerie suite aux inondations de 2004 et 2005. La foggara d'El Meghier traverse plusieurs quartiers centraux de la ville de Timimoun, la circulation des poids lourds provoquant souvent des effondrements.
- L'exploitation croissante de la nappe albiene a provoqué le tarissement de plusieurs foggaras dans toute la région. L'état de la foggara d'El Meghier une conséquence de ce problème. D'autres foggaras seront certainement asséchées par la multiplication des forages profonds dans la région.

Conclusion

La foggara a été durant des siècles, la partie principale des oasis des régions périphériques du sud -ouest du Grand Erg Occidental. Aujourd'hui, elle rencontre des difficultés de gestion et d'entretien en raison des problèmes technique (rabattement de la nappe provoqué par le pompage excessif, l'effondrement des galeries et l'ensablement) et social (absence de la main d'œuvre spécialisée). C'est ainsi que huit foggaras de l'oasis d'Aghlad se trouvent perdues au dessous des dunes. L'effondrement de certains tronçons de la galerie et le rabattement de la nappe ont provoqué la chute du débit de la foggara d'El Meghier ; la plus grande foggara de Timimoun. Les crues de 2003 ont causé l'effondrement de tronçons de la galerie des la foggara d'Amokane.

Malgré la réussite de la foggara dans le passé et bien qu'elle continue aujourd'hui de faire l'admiration des spécialistes, cette technique ancestrale n'a pas encore suscité tout l'intérêt nécessaire à sa préservation et à sa sauvegarde. Les foggaras sont condamnées à disparaître du fait de leur manque d'entretien, et leur abandon ainsi que de leur baisse de productivité. Il est fort regrettable qu'un tel ouvrage hydraulique puisse disparaître. Il est temps de faire revivre ces techniques traditionnelles puisqu'elles constituent un patrimoine historique et culturel mondial, ne serait ce que par le maintien et la réhabilitation des foggaras existantes.

CONCLUSION GENERALE

Comme nous l'avons mentionné au début de cette étude, la technique des galeries drainates sous différentes appellations a été pratiquée dans plus d'une trentaine de pays arides et semi arides. D'origine Iranienne et vieille de plus de 3000 ans, elle joint le social et le technique et a été considérée comme le procédé le plus efficace de captage des eaux jusqu'à l'apparition des motopompes et les forages. Si aujourd'hui, les galeries drainantes concurrencent encore les techniques modernes de captage dans une dizaine de pays, par contre, elles sont totalement abandonnées dans une vingtaine de pays. Le nombre de galeries opérationnelles dans le monde est estimé à 30000, dont 22000 sont en exploitation en Iran.

Il ressort de cette étude que les foggaras ont été développées dans 16 pays arabes : l'Algérie, l'Oman, les Emirats Arabes Unis, le Bahreïn, la Palestine, le Liban, la Jordanie, la Syrie, le Yémen, le Maroc, la Tunisie, la Libye, l'Egypte, la Mauritanie, l'Arabie Saoudite et l'Irak. Soit environ 11500 foggaras creusées depuis 2500 ans en plein désert du Sahara et de l'Arabie. Aujourd'hui, au vu de la sécheresse persistante dans le monde arabe, l'apport des techniques modernes (motopompes et forages) et l'évolution des problèmes sociaux (migration, l'héritage), les foggaras ont été progressivement délaissés. C'est ainsi que le nombre des foggaras en exploitation a chuté durant ces 50 dernières années pour atteindre un effectif de 4200. Aujourd'hui il devient impossible de creuser d'autres foggaras, mais il est possible d'entretenir ce qui reste. C'est un patrimoine culturel mondial qu'il faut sauver.

Notre étude révèle l'existence de 7 types de foggaras dans le Sahara Algérien. Si la foggara d'El Ain, de montagne et de l'oued ressemblent bien aux aflajs de la Sultanat Oman, Khettara du Maroc et les Qanats iraniennes, les foggaras de l'Albien, de jardin, de l'Erg et des crues sont cependant des techniques propres aux oasis du Sahara algérien. Si la foggara de l'Albien est le procédé le plus répandu, avec un effectif de 820 foggaras fonctionnelles sur les 1400 inventoriées, la foggara des crues est unique au monde avec toutes ses particularités ; notamment les modes de fonctionnement et la distribution de l'eau. La Foggara de jardin est un modèle de la gestion rationnelle de l'eau dans une région aride. Au nombre de six, les foggaras de jardin creusées à l'aval des grandes foggaras de l'Albien dans les oasis de Timimoun, captent uniquement les eaux d'infiltration et de drainage des eaux d'irrigation en provenance des jardins amont. Seuls quelques vieux oasisiens de la région de Timimoun connaissent le secret de la naissance de la foggara de l'Erg, au milieu des immenses dunes de sables du Grand Erg Occidental. Si aujourd'hui l'eau coule dans ces foggaras, c'est grâce à l'ingéniosité des oasisiens ; malgré leurs moyens rudimentaires, ils ont su capter les eaux cachées au-dessous du Grand Erg Occidental issues d'une nappe qui n'a toujours pas été quantifiée.

Notre étude révèle que la foggara de l'Albien présente des caractéristiques propres à elle. La nappe du Continental Intercalaire est la source principale de la foggara de l'Albien, dont le plateau de Tadmaït constitue son véritable château d'eau. L'irrigation par ce type de foggara est une irrigation en parallèle. La kasria représente la pièce maîtresse de la distribution de l'eau. Elle répartit l'eau en fonction de la contribution de chaque propriétaire. Le dépouillement des données du dernier inventaire effectué entre 1998 et 2001 par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, il y a environ 820 foggaras de l'Albien en exploitation. En 2010, ce chiffre sera revu à la baisse.

De nos jours, la foggara de l'Albien connaît des difficultés de gestion et d'entretien en raison de l'effondrement des galeries et l'abaissement de la nappe. Même si les pouvoirs publics prennent actuellement en charge la réhabilitation de certaines foggaras, cette solution demeure temporaire puisque les véritables problèmes sont d'ordre socio-économiques. Malgré ces tentatives de réhabilitation qui sont à encourager et à les généraliser sur l'ensemble des foggaras, ce patrimoine hydraulique n'a pas encore suscité tout l'intérêt nécessaire à sa préservation et à sa sauvegarde.

La foggara de l'Erg reste encore méconnue par les spécialistes. Peu d'études ont été faites sur cet ouvrage hydraulique. Elle continue toujours à fournir de l'eau aux oasis malgré que leurs galeries soient perdues au dessous des immenses dunes du Grand Erg Occidental. Par conséquent, nous n'avons aucune information sur la localisation des galeries et les puits mères de ces foggaras. Faute d'accès dans l'Erg, ce type de foggara demeure toujours sans entretien. La population est constamment confrontée aux difficultés de la nature de la région. L'envahissement du sable et les plantes sauvages sur les galeries et les seguias des foggaras de l'Erg constituent les défis quotidiens des ksouriens. L'enlèvement du sable et le curage de des foggaras par des moyens rudimentaires est une opération périodique. Quant aux plantes : Terza et Taghanimt qui obturent la foggara par leurs longues racines, les ksouriens n'ont trouvé que le feu comme l'unique solution pour arrêter la multiplication de ces herbes.

Puisqu'elle est située dans les jardins, nous l'avons appelé « foggara de jardin ». C'est une technique originale qui n'a jamais été signalée en Algérie. Elle traduit le génie oasien qui montre l'intérêt des ksouriens des oasis de Timimoun envers cette denrée rare dans un milieu sec hostile à la vie. Il n'y a ni déficit, ni un surplus d'eau, aucune goutte d'eau ne se perd, tout est utilisé dans l'irrigation d'une façon optimale. La foggara de jardin récupère les infiltrations de la foggara classique à l'amont pour la réutiliser dans l'irrigation des jardins situés loin à l'aval. Nous avons recensé cinq sur sept foggaras de ce type en exploitation. Les foggaras de jardin sont généralement réalisées dans les oasis de Gourara ; on compte 7 foggaras ; Agalou (20 puits), Zahzaa (15 puits), Akraf, Ksar el kedim1 et ksar el kedim2. Les foggaras : Oukala et Bouchouk sont abandonnées.

Uniques dans le Sahara algérien, trois foggaras s'unissent sur le site d'Ouled Haroun au milieu des jardins des oasis d'Ouled Said dans la région de Timimoun ; on l'a surnommée la triple foggara d'Ouled Said. Il s'agit des foggaras d'Antrite, Amokrane et Badgha. Un véritable enchevêtrement de seguias en provenance des trois kasriates alimente d'autres seguias et les jardins des propriétaires. Chacun des propriétaires reçoit sa part d'eau exacte attribué au départ par le Kial el ma en fonction de sa contribution. Les mesures de débit effectuées auprès des trois kasriates ont donné un débit de 3,5l/s. Il est beaucoup plus faible que celui de 1970, puisqu'il était égal à 26 l/s. Ce débit ne satisfait pas les besoins d'irrigation de 150 propriétaires. Ce sont des problèmes techniques, socio-économiques et environnementaux qui ont contribué à la dégradation de cet ouvrage. On risque à court terme de perdre ce patrimoine socio culturel, objet de fierté de toute la population d'Ouled Said. Sa réhabilitation, même si elle s'avère être une solution temporaire, devient aujourd'hui indispensable pour la sauvegarde des oasis de la région.

Contrairement à la foggara à écoulement permanent de Touat et de Gourara qui capte les eaux de la nappe, la foggara de Mzab exploite les eaux de crues et par conséquent son écoulement est temporaire. Réalisée pour irriguer la partie ouest de la palmeraie de Ghardaïa, la foggara de Mzab dispose d'une galerie de 170 m de longueur aérée par 10 puits verticaux de 1 m de diamètre et une seguia de 900 m de longueur et de 1.6 m de largeur. C'est un ouvrage unique dans la Sahara algérien.

Composée de deux parties : captage et distribution, la foggara est un système hydraulique dynamique. Il est évolutif dans le temps et en fonction de la demande. La partie amont composée essentiellement d'une galerie drainante dont le prolongement ne s'arrête jamais dans le temps. La partie aval composée d'un réseau de seguias qui se multiplient dans le temps. Cette dynamique est créée par les transactions des actionnaires de la foggara. Dans un milieu hyper aride comme celui de Touat et de Gourara, la valeur de l'eau est plus importante que celle de la terre ; l'eau s'achète, se vend et se loue. La foggara est considérée comme une bourse hydraulique ; il existe des propriétaires qui ont des actions dans plusieurs foggaras à la fois. Alors pour drainer ces parts d'eau dans son jardin, les foggaras dont il est actionnaires seront raccordées par des seguias. Neufs modèles ont été mis en évidence regroupant deux types de raccordement : à l'amont et à l'aval de la kasria.

Il ressort de cette étude que les oasisiens de Touat et Gourara ont pu obtenir de l'eau grâce aux systèmes de foggaras qu'ils l'ont développés depuis plus de 10 siècles. Ils ont appris à gérer la ressource eau et son partage équitable entre la population en périodes de crises. C'est ainsi que lors de la baisse progressive du niveau piézométrique de la nappe qui se traduit par une diminution du débit de la foggara, les oasisiens ont adopté deux méthodes pour accroître le débit ; le prolongement et l'ajout de nouvelles galeries au drain initial. A Gourara, on applique plutôt la « tarha » et la technique de « kraa » s'applique pour les foggaras des oasis de Touat.

La foggara a été utilisée pendant des siècles, la partie principale des oasis des régions périphériques du sud-ouest du Grand Erg Occidental. Aujourd'hui, elle rencontre des difficultés de gestion et d'entretien en raison des problèmes techniques (rabattement de la nappe provoqué par le pompage excessif, l'effondrement des galeries et l'ensablement) et sociaux (absence de la main d'œuvre spécialisée). C'est ainsi que huit foggaras de l'oasis d'Agglad se trouvent perdues au dessous des dunes. L'effondrement de certains tronçons de la galerie et le rabattement de la nappe ont provoqué le tarissement de la foggara d'El Meghier ; la plus grande foggara de Timimoun. Les crues de 2003 ont causé l'effondrement des tronçons de la galerie de la foggara d'Amokane.

Malgré la réussite de la foggara dans le passé et bien qu'elle continue aujourd'hui de faire l'admiration des spécialistes, cette technique ancestrale n'a pas encore suscité tout l'intérêt nécessaire à sa préservation et à sa sauvegarde. Il est temps de faire revivre ces techniques traditionnelles puisqu'elles constituent un patrimoine historique et culturel mondial, ne serait-ce que par le maintien et la réhabilitation des foggaras existantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdous B., Besbes M., Fezzani C., Latrech D. et Mamou A., 2005. Système aquifère du Sahara septentrional « SASS » Gestion commune d'un bassin transfrontière. Proceeding du colloque international sur les ressources en eau souterraines dans le Sahara – CIRESS Ouargla, 12 et 13 décembre, pp. 6-14.
- Al Marshudi AS., 2007. The Falaj Irrigation System and water allocation markets in northern Oman. *Agricultural water management*, n° 91, pp. 71-77.
- Arrus R., 1985. L'eau en Algérie de l'impérialisme au développement (1830 -1962). Office des publications Universitaires Alger, Presses Universitaires de Grenoble, 388 p.
- Al Gharfi A., Norman WR., Inan T. et Nagsawa T., 2000. Traditional, Irrigation scheduling in Aflaj Irrigation systems of case study of Falaj Al Hageer, Northern. Proceeding of the first International symposium Qanat vol. VI, Yazd (Iran), 08-11, Mai, pp. 37-42.
- Al Gharfi A., Inoue T. Et Tetuaki N., 2003. Irrigation Scheduling of Aflaj of Oman. *Desrtification*, serie n° 5, edited by Zafar Adeel, Sustainable Management of Marginal dry Lands, pp. 147-166.
- Adin S., 2006. Qanat a unique groundwater management tool in arid regions : the case of Bam region in Iran. International symposium groundwater sustainability.
- Al Sulaimani ZB.? Helmi T. et Nash H., 2007. The social importance and continuity of falj use in northern Oman. International History Seminar on Irrigation and drainage. Teheran –Iran, May, 2-5.
- Abouei R., 2006. Conservation of badgires and qanats in Yazd central, Iran. The 23th conference en passive and low Energy Architecture, Geneve switzer land, 6-8 september.
- Baali E., Azougghagh M., et Ahl Rchid O., 2002. Water pumpung for irrigation in southern Moroccan oasis. International Research on food security natural resource Management and rural development, Kassal-Witzenhausen, 9-11 octobre.
- Ben Brahim M., 2003. Les khetaras du Tafilat : passé, présent et futur. Communication internationale Frontnus-symposium 02-05 octobre, Walferdange, Luxembourg.
- Ben Brahim M., 2004. Irrigation traditionnelle et construits socioculturel dans les oasis du Tafilalt. II congrès international « oasis et tourisme durable ».
- Beaumont P., 1989. "The qanat: a means of water provision from groundwater sources" In Beaumont, P., Bonine, M. & K. McLachlan (Eds), *Qanat, Kariz and Khettara*, , Wisbech, *Menas Press*, pp. 13–31.
- Balland D., 1992. Les eaux cachées, publications du département de Géographie de l'université de Paris sud
- Banks D. et Soldal., 2002. Towards a policy for sustainable use of groundwater by non governmental organisations in Afghanistan. *Hydogeology journal*, n°10, pp. 377-392.

Bezza M., 2006. Overview of the history of water resources and irrigation management in the near east region. 1er IWA international symposium on inter and wastewater technologies in ancient civilization. Iraklio, Greece, 28-30, October.

Bison J., 1990. Permanence d'une paysannerie au Sahara algerien : l'exemple des confins du Grand Erg Occidental. Options Mediterranéennes, Serie A/n°11. Les systemes agricoles oasiens, pp. 289-298.

Boustani F., 2008. Sustainable water utilization in arid region of Iran by qanats. Proceeding of world academy of science engineering and technology. Vol. 33, September, ISSN 2070 -3740, pp. 213-216.

Briant P., 2001. Irrigation et drainage dans l'antiquité, qanats et canalisations souterraines en Iran, en Egypte et en Grèce. Editions Thotm, Paris (Persika2), 190pages.

Cristini A. et Langlais S., 2004. La qanat : un dispositif de captage ancestral, H2O, n° 46, mars, pp.10-11.

Clouet Y. et Dollé V., 1998. Aridité, Oasis et petite production, exigence, ces hydrauliques et fragilité sociale : une approche par analyse spatiale et socio-économique, Revue Sécheresse, n°2, vol. 9, pp. 83-94.

Centre for sustainable development (CENESTA), 2003. Qanat Irrigation systems: an ancient water distribution system allowing specialised and diverse cropping in desert regions of Iran. Rapport proposal for a candidate site of globally important ingenious agricultural system (GIAHS), 15 mars, 21 pages.

Digard JP. Et Briant P., 2001. Irrigation et drainage dans l'antiquité, qanats et canalisations souterraines en Iran, en Egypte et en Grèce. Editions Thotm (Paris), 190 pages.

Dollé V., 1998. Agriculture d'oasis, une longue histoire, quel avenir ? Revue Secheresse, n°2, vol. 9, pp. 81-82.

Ghorbani B., 2007. A glance at historical Qanats in Iran with an emphasis on Vazvan Qanat in Isfahan. International History seminar on irrigation and drainage. Teheran, Iran, May 2-5.

Goldsmith E. and Hildyard N., 1984. The Qanat of Iran. The social and environmental-Effects of large dams, chapter 21, vol.1, overview, wedebribe ecological centre worthyvale Manor camelford, Cornwall PL32 9TT,UK.

Gonzalez Andricani C. et Bazarco M., 2004. Local knowledge and water management systems in Audean communities. Galeries filtrantes in souther potosi, Bolivia, La Paz, December, pp. 1-7.

Goblot H., 1963. Dans l'ancien Iran, les techniques de l'eau et la grande histoire. Annales, vol. 18, n° 3, pp. 499-520.

Goblot H., 1979. Les qanats : une technique d'acquisition de l'eau. Paris , Mouton, 231 pages.

- Guillermou Y., 1993. Survie et ordre social au Sahara. Les oasis du Touat-Gourara-Tidikelt en Algérie. Cah. Sci. Hum. 29(1), pp. 121-138.
- Hassani I., 1988. Les méthodes traditionnelles de captage des eaux souterraines dans le Sahara Algérien. Revue Techniques et Sciences n°6, pp. 20- 24.
- Hofman ., 2007. La gestion traditionnelle de l'eau par qanat en Iran est elle compatible avec le concept de la Gire. Synthèse technique , Engref centre de Montpellier, Février, 17pages.
- Hussain I., Siraj Abu Rizaiza O., Habib Mohamed AA. Et Ashfaq M., 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, September, pp. 333-349.
- Karimi S., 2003. Qanat as the symbol of the native Iranians in water harvesting from groundwater resources. 3eme IWHA conference, 11-14 december, Alexandria (Egypt).
- Kobori, I., 1980. Qanawat Romani of Taibe Oasis, Tokyo, University of Tokyo, Department of Geography. 98 pages.
- Kobori I., 1982. Case studies of foggara oases in the Algerian Sahara and Syria, Tokyo, Tokyo University, Department of Geography, report n° 2, 45 pages.
- Kobori, I., 1990. Les qanat en Syrie, In Geyer, B. (Ed.), Techniques et Pratiques Hydro-Agricoles Traditionnelles en Domaine Irrigé, Tome 2, Paris, Librairie Orientaliste Paul Geuthner, pp. 321–328.
- Kobori, I., Takahasi, Y. & S. Kawano, 1980. The water system of Taibe Oasis”, In Kobori, I. (Ed), *Qanawat Romani of Taibe Oasis*, Tokyo: University of Tokyo, Department of Geography, pp. 53–82.
- Larson R.C. et Mclaughlin D., 2006. Water : East Meets west. Singapore Research Initiative, March 19.
- Larbes A., 2003. Le système aquifère su Sahara septentrional. Colloque international, El Oued, les 19 et 20 mai , pp. 25-34.
- L'Hote Y., 1990. Historique du concept de cycle de l'eau et des premières mesures hydrologiques en Europe. Hydrologie Continentale, Vol. 5, n°1, pp. 13-27.
- Lighthfoot D.R., 1996. Moroccan Khettara : traditional Irrigation and progressive Desiccation. Geoforum (27 :2), pp. 261-273.
- Lighthfoot DR., 1997. Jordanian Qanat Romani : qanats in the Levant : hydraulic Technology at the periphery of early empires. Technology and culture (38:2), pp. 432-451.
- Lighthfoot DR., 2001. Traditional Wells as phreatic barometers : a view from qanats and tabe wells in developing arid lands, Water security in the 21 th century.
- Lynn Teo S. et Azzi R., 1992. Oman's unforiling springs. Revue Saudi Aramieg world, nov/dec, vol. 43, n°6, pp. 26-31.

- Menjo M., Hofta T. et Kato T., 2007. Formulation process of community development plan in semi arid area. The 4th Asian regional conference et 10th international seminar on participatory irrigation Management.
- Ouhassain M., 2004. Système d'irrigation traditionnelle par khattaras dans le sud-est Marocain- Fonctionnement et Rôle dans la sauvegarde de la vie dans les oasis. Revue HTE, n° 129, juin, pp. 8-10.
- Oliel J., 1994. Les foggaras : un système d'irrigation original. Les juifs au Sahara ; le Touat au moyen age, CNRS Histoire, 188 pages.
- P.N.U.D., 1986. L'eau et le Maghreb: un aperçu sur le présent de l'héritage et l'avenir. Rapport, pp. 131-143.
- Pierre J.L., 2001. La montagne et les hommes en milieu semi aride : l'exemple de l'économie de la palmeraie de Tineghir. Bulletin de liaison des professeurs d'histoire –Géographie de l'académie de Reims, n°25, 3p.
- Remini B. et Achour B., 2008. Vers la disparition de la plus grande foggaras d'Algérie : la foggara d'El Meghier. Article accepté pour publication dans la revue Sécheresse (France) en 2008.
- Remini Boualem, 2004. Processus d'effondrement d'une foggara. Revue Internationale des zones arides (Algérie) n° 12. Mai
- Remini B. 2006 *La problématique de l'eau en Algérie*. Edition Office des publications universitaires (OPU), 2006.
- Rizk ZS. Et Al Sharhan SA., 2003. Water resources in the United Arab Emirates. Water Resources perspectives: evaluations. Mangement and policy, vol. 50, pp. 245-264.
- Salih A., 2006. Qanats a unique Groundwater management too in arid regions: the case of Bam region in Iran International symposium on Groundwater sustainability (ISGWAS), Proceeding, pp. 79-87.
- Simarski LT., 1992. Oman's unforiling springs. Revue Saudi Arameo world Nvv/Dec. Vol. 43, n° 06, pp. 26-31.
- Stiros SC. 2006. Accurate measurements with primitive instruments: the "paradox" in the qanat design. Journal of archaeological science, n° 33, pp. 1058-1064.
- Viqueira J.P., Pimentel Equihua J.L., Rodriguez M.S., 2001. Tecnicas hidraulicas in Mexico paralelismos con el Viejo Mundo : II Galerias Filtrantes (Qanati). XIII Economic History congress, Huesca (España) , 24, 25 et 26 Octobre.
- Wessels J. et Hooggeveen R.J.A., 2002. Renovatuion of Qanats in Syria. Proceeding of a joust UNV-UNESCO- ICARDA. International workshop, Alexanua, Egypt, 21-25 sept. ISBN 92-808-8011-X.

Wessels J., 2005. Reviving ancient water tunnels in the desert. Digging for gold. Journal of Mountain science, vol. 2, n°4, pp. 294-305.

Wulf H.E., 1968. The Qanat of Iran. Scientific American, April, pp. 94-105.

Larbes A., 2003 Le système aquifère du Sahara septentrional. Colloque international, El Oued, les 19 et 20 mai 2003 : 25-34.

Wattmann M., Gonon T. et Thiers C., 2000. The qanats of Ayn Manan in Kharga oasis, Egypte. Journal of Archaeology and researches, n°1, 8 pages.

Walther C., 2009. Qanat of Irak. Reviving traditional knowledge for sustainable management of natural resources. Unesco –unep- Introduction training world heritage – Nomination process of the Iraqi Marshlands, 29 juin.