

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE**



**Ministère de L'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique**



Université Kasdi Merbah Ouargla

C:.....

R:.....

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Génie Civil et Hydraulique

**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
Master, Filière : Hydraulique**

Spécialité : Traitement, Epuration et Gestion des eaux.

Thème

***ETUDE DE LA QUALITE BACTERIOLOGIQUE DES EAUX DE LA
FOGGARA DE AOULEF –WILAYA ADRAR***

Présenté par :

❖ **DAHADJ Omar**

Soumis au jury composé de :

BELMABDI Amel	MAA	UKMO	Présidente
GHERAIRI Yamina	MAA	UKMO	Examinatrice
BOUZIANE Lamya	MCB	UKMO	Encadreur

Année Universitaire: 2022 / 2023

Remerciements

Avant tout nous remercions le bon dieu tout puissant, pour tout ce qu'il nous a donné, surtout : la foi et la persévérance qui nous ont permis d'accomplir ce modeste travail et de nous avoir éclairé tout au long du chemin de la réussite.

Je tiens également à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail en leur témoignant ma gratitude :

Je tiens à remercier l'encadrante : Mme Bouziane Lamia pour avoir mené le projet de fin d'études et pour la confiance et le soutien que vous m'avez accordés pour mener à bien ce travail.

Je tiens également à remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation lors d'un cursus universitaire.

Je tiens également à exprimer ma gratitude aux membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de juger ce modeste ouvrage.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont encouragé et participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :

A la femme qui m'a donné la force et m'a poussé et encouragé et qui n'a jamais cessé de prier pour moi... à ma mère que dieu la conserve.

A mon père après tous les efforts qui a faits et qu'il fait encore et toujours pour le bien de notre famille, je lui souhaite une longue et joyeuse vie ;

A mon cher frère : Ahmed, Abdelghani, Youcef

A ma chère sœur : Mariem

A toute ma grande famille : DAHADJ

A mes chers amis d'Aoulef, In-salah, Adrar, Illizi, Tamanasset avec qui j'ai vécu les plus beaux jours, passés et présents, et à tous mes collègues avec qui j'ai étudié tout au long de ma vie, et mes amis de la résidence universitaire

A la fin je dédie cordialement ce message à mon enseignante, Mme Bouziane, et à tous les enseignants de la Faculté de Génie Civil et d'Irrigation de l'Université Kasdi Merbah Ouargla.

Sommaire

Liste des figures

Liste des Tableaux

Glossaire

Acronymes

Contents

Introduction Générale.....	XII
Introduction	3
I1 Historique de la foggara en Algérie.....	3
I2 Définition de la foggara	3
I3 Présentation des régions concernées	4
I4 Caractéristiques géologiques	4
I4.1 Le plateau de Tademaït	4
I4.2 Le continental intercalaire (CI).....	6
I5 Différentes parties d'une foggara.....	6
I5.1 Le captage.....	7
I5.2 La distribution	7
I6 Le partage et la distribution de l'eau d'une foggara en Algérie.....	7
I6.1 La distribution volumétrique.....	8
I6.2 La distribution Horaire	9
I7 Inventaires des foggaras dans la région d'étude	14
I7.1 Gourara	14
I7.2 Touat	14
I7.3 Tidikelt.....	15
I8 Evolution des débits des foggaras.....	16
I9 Techniques de mesure et partage des eaux de la foggara en Algérie.....	20
I9.1 L'unité de mesure de la quantité d'eau	20
I9.2 Kial el ma (Le responsable).....	21
I9.3 Outils de mesure	22
I9.4 Méthodes de mesure de la quantité d'eau	22
I10 La plus célèbre foggara en Algérie (La foggara de Mghier)	23
I10.1 Historique de la foggara de Mghier	23
I10.2 Présentation de la foggara de Mghier	23
I10.3 Partage et Distribution des eaux de la foggara de Mghier.....	25

I.10.5 Les raisons qui ont conduit à la dégradation de la foggara	27
Conclusion.....	27
Introduction	29
II.1 Les facteurs dégradation des foggara d’Aoulef.....	29
II.2.1 Le manque d’entretien de la galerie	29
II.1.3 L’effondrement des puits de la foggara.....	29
II.1.4 L’ensablement	30
II.1.5 La pollution urbaine	31
II.1.6 Le vandalism	31
II.1.7 Les problèmes liés à l’exploitation des forages.....	31
II.1.8 Le facteur économique.....	32
Conclusion.....	32
Introduction	34
III.1 Les analyses selectionnees	34
III.2 Echantillonnage	35
III.3 Prélèvement de l'eau à analyser	36
III.4 Transport des échantillons	36
III.5 Méthodes d'analyses bactériologiques	37
III.5.1 Recherche des Coliformes totaux et fécaux (en milieu liquide).....	37
III.5.1.1 Protocole de travail.....	37
III.5.2 Recherche de Streptocoques fécaux (en milieu liquide)	40
III.5.2.1 Protocole de travail.....	40
III.5.2.2 Test confirmative.....	40
III.6 Résultats d’analyses bactériologiques.....	43
III.6.1 Interprétation les résultats des analyses bactériologiques	44

Liste des figures

<i>Figures</i>	<i>Pages</i>
Figure 1 : Schéma d'une coupe longitudinale d'une foggara dans les 3	3
Figure 2 : Situation géographique Les 3 oasis (Gourara, Touat, Tidikelt)	4
Figure 3 : Plateau de Tademaït	4
Figure 4 : Le réservoir naturel des foggaras de Touat, Gourara et Tidikelt	5
Figure 5 : Traits géomorphologiques de Tademaït	5
Figure 6 : Schéma d'une coupe logitudunale de l'aquifère du Continental Intercalaire	6
Figure 7 : Différentes parties d'une foggara du plateau de Tademaït	7
Figure 8 : Schéma d'un réseau de distribution d'une foggara volumétrique	8
Figure 9 : Schéma du type d'irrigation en parallèle	8
Figure 10 : Schéma descriptif d'un réseau de distribution d'une foggara volumétrique	9
Figure 11 : Madjen collectif - Oasis de Beni Tamer Adrar	10
Figure 12 : Schéma d'une irrigation en sérié ou linéaire	10
Figure 13 : Schéma d'un réseau de distribution d'une foggara Horaire	11
Figure 14 : Schéma d'un Madjen collectif avec ses accessoires	11
Figure 15 : Madjen collectif en béton de foggara de moghrar bechar	11
Figure 16 : Situation des foggaras dans le Sahara Algérien	13
Figure 17 : Histogramme d'évolution des débits des foggaras par commune	18
Figure 18 : Mr.Kaba Aek - Kial el ma de la foggara de Elgara	21
Figure 19 : Louh ou Hallafa utilisé dans les régions de Gourara et Touat	22
Figure 20 : Chegfa utilisé dans les régions de tidikelt	22
Figure 21 : Zemam	22

Figure 22 : Schéma d'opération hydrométrie dans les oasis de Tidikelt	23
Figure 23 : Situation géographique de la foggara de Mghier	24
Figure 24 : Schéma longitudinale de la foggara de Meghier	25
Figure 25 : Schéma synoptique du réseau de distribution de la foggara de Meghier	25
Figure 26 : Courbe d'évolution du débit de la foggara de Meghier (1998-2009)	26
Figure 27 : La mort de palmeraies suite au tarissement de la foggara de	26
Figure 28 : Photo prise lors des travaux d'entretien de la galerie	29
Figure 29 : Effondrement foggara Bendraou dans Aoulef	30
Figure 30 : Certains des canaux (Saguias) de la foggara sont remplis de sable	30
Figure 31 : contamination des puits de la foggara par les habitants d'Aoulef	31
Figure 32 : Vandalisme des puits	31
Figure 33 : Une image de sensibilisation dans la ville pour inciter à la préservation du foggara	31
Figure 34 : Evolution du débit d'une foggara d'Aoulef	32
Figure 35 : les coliforms	34
Figure 36 : Les bactéries E. coli	34
Figure 37 : Les streptocoques fécaux ou entérocoques	35
Figure 38 : Échantillonnage	35
Figure 39 : points de prelevement	36
Figure 40 : La Glacière	36
Figure 41 : préparation en gam BCPL	37
Figure 42 : préparation en gam ROTHE	40

Liste des Tableaux

<i>Tableaux</i>	<i>Pages</i>
Tableau 1 : Caractéristiques des foggaras du Sahara	12
Tableau 2 : Inventaire des foggaras de Gourara	14
Tableau 3 : Inventaire des foggaras dans le Touat	15
Tableau 4 : Inventaire des foggaras en Tidikelt	15
Tableau 5 : Inventaire des foggaras dans La wilaya d'Adrar	16
Tableau 6 : Inventaire des foggaras dans La région étudiée	16
Tableau 7 : Évolution des débits totaux des foggaras	17
Tableau 8 : Débits des foggaras par commune – 1998,2011	17
Tableau 9 : Les foggaras existantes dans la commune d'Adrar 2011	18
Tableau 10 : Unités de mesure du débit de la foggara d'après	20
Tableau 11 : Tableau des sous multiples de Habba	21
Tableau 12 : Tableau des sous multiples de Kirat	21
Tableau 13 : Caractéristique générale de la foggara de Mghier	24
Tableau 14 : Résultats d'analyses bactériologiques eau de foggara	44

Glossaire

Aghisrou : Canal qui se trouve entre le peigne répartiteur et le premier puits de la foggara.

Chahed : Le témoin de la foggara.

Chegfa : Outil de mesure du débit de la foggara.

Djemaâ : Conseil de la tribu ou du Ksar.

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

Erg : Dune de sable.

Foggara : Galerie souterraine qui draine l'eau de la nappe vers la surface du sol.

Gourara : Région de Timimoun entre Aougrou et Zaouiet Debagh.

Guemoun : Petite parcelle de culture dans le jardin.

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

Halafa : Outil de mesure du débit de la foggara signifie « par laquelle on jure. »

Hamada : Plateau rocheux.

Hassi : Puits de foggara.

Kasria : Peigne partiteur de forme triangulaire ou rectangulaire.

Kébira : La Grande

Kial el ma : Le mesureur d'eau.

Kirat : Carat, unité de mesure de débit.

Kraa : Jambe, extension d'une foggara.

Ksar : Tour, Ensemble de bâtis d'une agglomération.

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

Majen : Bassin d'accumulation des eaux.

Oued : Cours d'eau.

Sebkha : Dépression salée ou gypseuse.

Seguia : Rigole, canal.

Tidikelt : Région d'In Salah entre Aoulef et In Salah.

Tmen : Le huitième.

Touat : Région d'Adrar entre Tsabit et Reggane.

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

Acronymes

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

CI : Continental Intercalaire.

NPP : Nombre le plus probable

DREW : Direction des Ressources en Eau de Wilaya.

UNESCO : United Nations Éducation Science and Culture Organisation.

C.T : Coliformes totaux

C.F : Coliformes fécaux

S.F : Streptocoques fécaux

Résumé

Foggara est considérée comme un patrimoine culturel et national ou plutôt un patrimoine mondial, qui a joué un rôle dans le développement agricole, social et économique de la région d'Aoulef pendant plus de 10 siècles. Cependant, ce système a été exposé à de nombreux obstacles et problèmes qui ont entraîné sa détérioration progressive et une diminution importante du débit de son eau.

Le but de ce travail est de déterminer la pertinence de l'eau de foggara pour la consommation dans la région de Aoulef-Adrar à travers des analyses bactériologiques de certains échantillons d'eau prélevés dans différentes parties de la ville.

Les résultats ont montré que la qualité de l'eau est affectée par la zone urbaine de la région ce qui la rend impropre à la consommation d'un point de vue bactériologique.

ملخص

تعتبر الفجارة تراثًا ثقافيًا ووطنياً أو بالأحرى تراثاً عالمياً ، وقد لعبت دوراً في التنمية الزراعية والاجتماعية والاقتصادية لمنطقة أولف لأكثر من 10 قرون. إلا أن هذا النظام تعرض للعديد من العقبات والمشاكل التي أدت إلى تدهوره التدرجي وانخفاض كبير في تدفق المياه.

الهدف من هذا العمل هو تحديد مدى صلاحية مياه الفجارة للشرب في منطقة أوليف - أدرار من خلال التحليلات البكتريولوجية لبعض عينات المياه التي تم جمعها من مناطق مختلفة من المدينة.

أظهرت النتائج تأثير جودة المياه بالمناطق الحضرية في المنطقة مما يجعلها غير صالحة للإستهلاك من الناحية البكتريولوجية.

Abstract

Foggara is considered a cultural and national heritage or rather a world heritage, and it has played a role in the agricultural, social and economic development of the Aulf region for more than 10 centuries. However, this system was exposed to many obstacles and problems that led to its gradual deterioration and a significant decrease in the water flow.

The aim of this work is to determine the suitability of Foggara water for drinking in Aoulef-Adrar region through bacteriological analyzes of some water samples collected from different parts of the city.

The results showed that the water quality is affected by urban areas in the region, making it unsuitable for consumption from a bacteriological point of view.

Introduction Générale

Introduction Générale

Le faible rendement des puits traditionnels (puits à poulie, puits à balancier et puits avec attraction animale) provoqué par le faible débit et l'apport d'une énergie humaine ou animale a poussé les oasisiens à inventer système hydraulique de captage des eaux basé sur un drain souterrain de faible pente. Appelée foggara, elle est considérée comme le système hydraulique le plus utilisé dans les zones arides. Réalisée dans l'ancienne Iran depuis plus de 3000 ans, la foggara est une galerie souterraine d'une faible pente équipée d'une multitude puits d'aération. Grâce à son succès, la foggara a été exportée vers une cinquantaine de pays arides compris l'Algérie.

Ce système traditionnel (foggara) est considéré comme la sortie ouest de la nappe du le Continentale Intercalaire qui entoure à son tour les trois secteurs : Touat, Gourara, Tidikelt, et ce système a été fortement influencé par les divisions sociales, culturelles et géographiques de ces régions, de sorte que chaque individu devient propriétaire d'une part de l'eau soit aux coûts financiers encourus par cette construction, soit par la participation à la construction de la foggara. Ce système hydraulique hérité a donné une forme particulière à la vie dans la région d'Aoulef, notre région d'étude.

Nous en avons donc profité pour mettre en lumière ce système traditionnel et l'urgente nécessité de protéger ce repère hydraulique, séculaire et culturel mais malheureusement pour une multitude de causes, notamment anthropiques, aujourd'hui, son niveau d'eau diminue et devient impropre à la consommation, à moins que le plan de sauvetage ne soit mis en œuvre très rapidement.

Cette eau est utilisée pour de nombreux usages essentiels: la boisson, la préparation des repas, l'hygiène, l'entretien de l'habitation, les loisirs, la fabrication dans l'industrie, l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail.

L'eau peut être aussi une source de maladie, la consommation d'une eau potable est un facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, elle doit bénéficier d'une attention particulière.

En effet, une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques ou biologiques susceptibles, à court ou long terme, de nuire à la santé des individus.

Le but de cette étude est de donner un aperçu sur la technique des foggaras en Algérie, de leur histoire, de leur principe de fonctionnement et des méthodes utilisées dans la gestion et la distribution de leurs eaux, dans les régions (Touat, Gourara, Tidikelt), et déterminer la potabilité des eaux de foggara dans la région de Aoulef-Adrar à travers les analyses bactériologiques de quelques échantillons d'eau collectés de points différents de la ville.

Pour cela, notre mémoire est composé de trois chapitres. Le premier chapitre traite quelques notions sur la technique des foggaras utilisée et son principe de fonctionnement et ses composants dans la région du Touat, Gourara et de Tidikelt.

Dans le deuxième chapitre, on a essayé de découvrir l'état actuel et les facteurs affectant la qualité des eaux de foggaras à Aoulef, notre région d'étude.

Et dans le troisième, on a montré le démarche expérimental suivi pour déterminer la qualité bactériologique des eaux de foggara ainsi que les résultats obtenus.

Et enfin, on a terminé notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I
La foggara

Introduction

Dans les régions à climat sec, les eaux de surface se font rares. Cependant, les crues occasionnelles drainent des quantités appréciables en eau, mais elles s'évaporent rapidement. Les eaux souterraines restent donc la seule alternative pour alimenter la population et l'irrigation. Cependant, les difficultés résident dans les procédés d'acquisition du précieux liquide.

Dans ce chapitre nous traitons quelques notions sur la technique des foggaras utilisée Et son principe de fonctionnement et ses composants dans la région du Touat, Gourara et de Tidikelt, Où nous avons évoqué quelques points pour les explosions les plus célèbres d'Algérie (la foggara de Mghier).

I.1 Historique de la foggara en Algérie

Dans le Sahara algérien, les Foggaras auraient été introduites au XIème et XIIème siècle par El Malik El Mansour qui aurait creusé la première Foggara à Tamantit, localité située à 15km d'Adrar. Les Foggaras ont été ensuite développées dans le Touat et Gourara par des tribus arabo-berbères du sud marocain (Mrabine, Chorfa), en ayant recours à la main d'œuvre locale ou provenant des régions voisines tels que le Mali, le Niger et le Soudan.

I.2 Définition de la foggara

Foggara est une technique traditionnelle du captage des eaux souterraines très répandue dans les Oasises. Elle consiste à capter l'eau souterraine à l'aide d'une galerie drainante souterraine qui sert à mener l'eau des profondeurs jusqu'à l'air libre pour alimenter le ksar et irriguer la palmeraie. L'eau s'écoule à surface libre par gravité avec une faible vitesse et sans interruption (Figure 6).

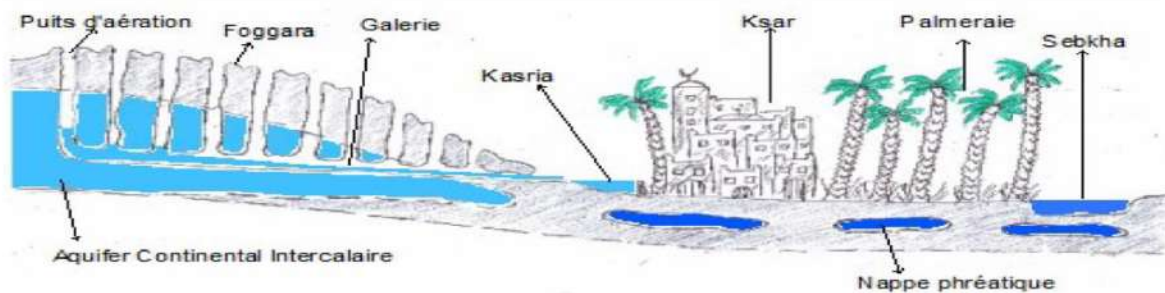


Figure 1: Schéma d'une coupe longitudinale d'une foggara dans les 3 régions (Remini 2018)

I.3 Présentation des régions concernées

Les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt sont localisés à environ 1200 km au sud-ouest d'Alger. Classées comme des régions les plus chaudes du Sahara qui enregistrent des températures dépassant le seuil de 45°C en périodes d'été. Malgré une pluviométrie moyenne annuelle ne dépassant pas les 100 mm, des crues occasionnelles surgissent dans ces régions en drainant des quantités d'eau non négligeables qui peuvent recharger la nappe phréatique.

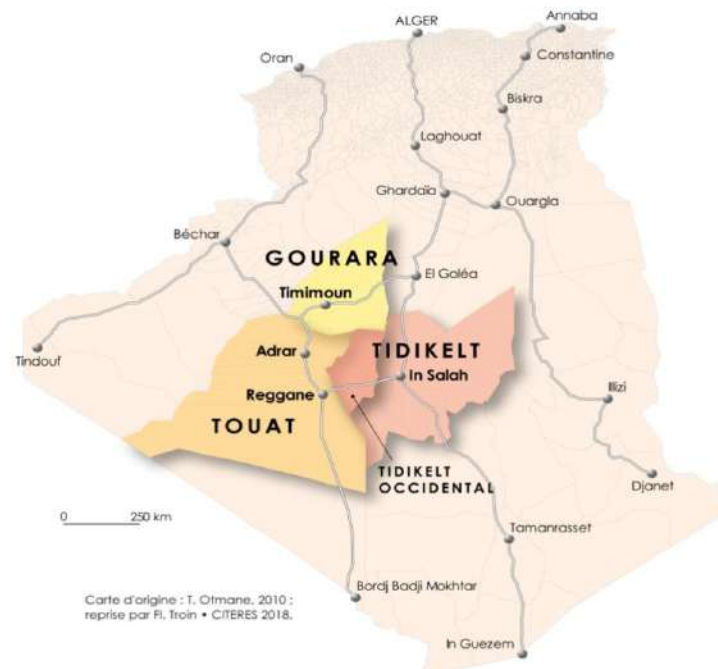


Figure 2: Situation géographique Les 3 oasis (Gourara, Touat, Tidikelt)- (T.Otmane 2010)

I.4 Caractéristiques géologiques

I.4.1 Le plateau de Tademaït

Le plateau de Tademaït ; une immense région plate et pierreuse entouré par le Grand Erg Oriental à l'Est, le Grand Erg Occidental au nord, l'Erg Chèche à l'ouest et le massif du Hoggar au sud (Figure 2). Fort d'une superficie égale à 500 km² environ, le plateau de Tademaït est situé à une altitude moyenne égale à 600m. Cependant à l'époque du creusement des foggaras, personne ne savait que les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt entourent l'une des plus grande nappe de la planète.

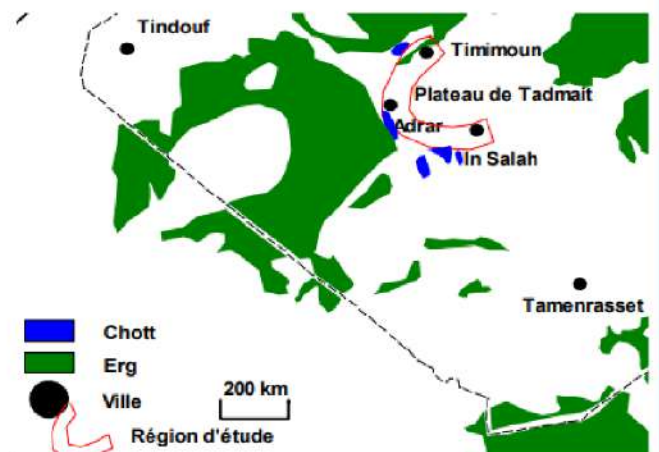


Figure 3: Plateau de Tademaït (Remini, 2017)

Le sous-sol du plateau de Tadamaït renferme une immense nappe aquifère appelé le Continental Intercalaire d'une capacité de 50000 milliards de m^3 Sur la périphérie du plateau de Tademaïtaffleure le niveau de la nappe. L'apparition des foggaras dans la région est due à la présence des conditions favorables à la réalisation d'un tel ouvrage hydraulique. Les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt sont situées autour du plateau de Tademaït mais à une côte inférieure à celle du niveau de la nappe d'eau de la périphérie du Tademaït.

Ceci a encouragé les oasisiens à creuser de milliers de kilomètres de galeries pour drainer et transporter les eaux de la nappe du Continental Intercalaire sur une distance d'une dizaine de kilomètres.

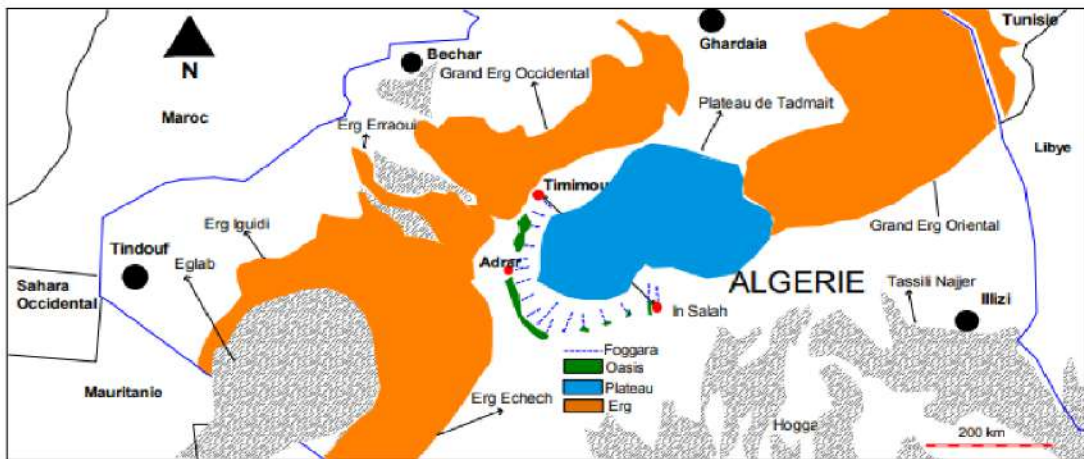


Figure 4: Le réservoir naturel des foggaras de Touat, Gourara et Tidikelt (Remini, 2017)

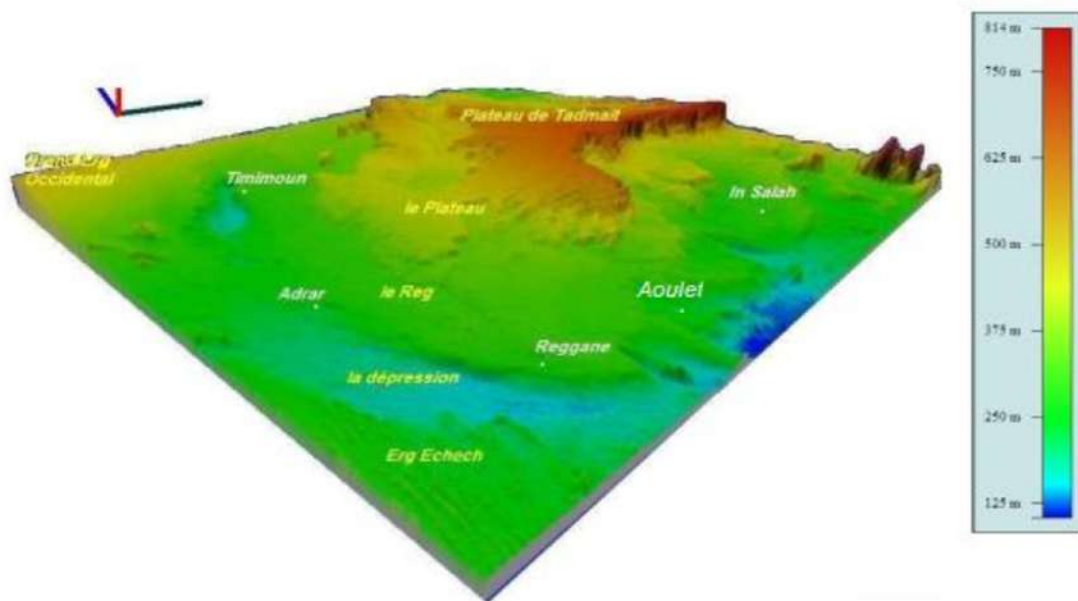


Figure 5: Traits géomorphologiques de Tademaït (Benhamza ,2013)

I.4.2 Le continental intercalaire (CI)

L'eau de la foggara provient globalement de la nappe du Continental Intercalaire (CI) appelée communément "Albien" (figure 5). Cette nappe qui est captée au nord d'Oued Rhir à plus de 2000 m de profondeur, avec un débit de plus de 150 l/s (artésien) et une température dépassant les 55°C, et d'une superficie de 600 000 km². Elle n'est que de quelques mètres du niveau du sol dans la région du Touat-Gourara et Tidikelt, mais avec un débit par pompage de 40 à 50 l/s et une température de l'eau qui avoisine les 21°C, et le sens d'écoulement va du plateau de Tademaït (NE-SO) vers la région de Touat (d'Adrar à Reggane). Le gradient hydraulique varie de 0,0004% à 0,4%. Les potentialités en eau calculées par modèle mathématique sont de l'ordre de 5 à 6 milliards de m³/an et ce jusqu'à l'horizon 2050. Avec des potentialités en eau relativement considérables, notamment dans la région du Touat-Gourara et Tidikelt, le problème de la disponibilité en eau ne va pas se poser à moyen et même à long terme et ce, à condition que cette ressource très faiblement renouvelable doit être impérativement gérée de façon rationnelle.

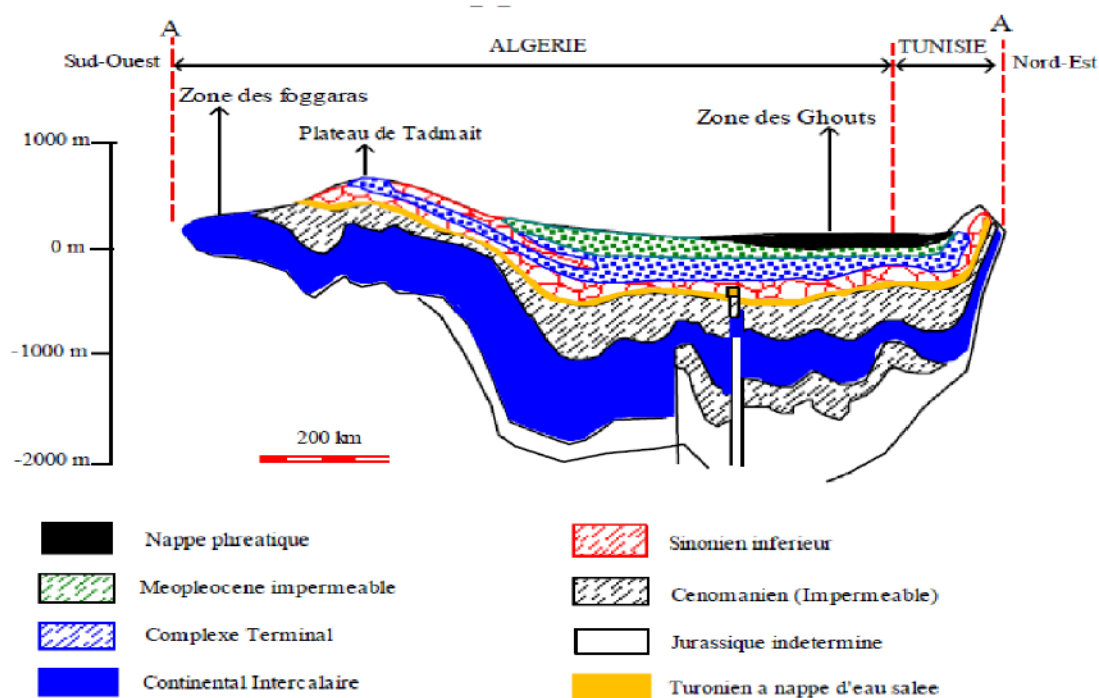


Figure 6: Schéma d'une coupe logitudinale de l'aquifère du Continental Intercalaire (Dessin Remini, Source Unesco 1972 in Castany, 1982)

I.5 Différentes parties d'une foggara

La foggara c'est un système hydraulique de captage et de distribution de l'eau (figure 5)

La foggara ne se limite pas seulement à une galerie souterraine, mais c'est tout un système hydraulique d'adduction et de distribution de l'eau que ce soit pour l'alimentation du ksar ou pour l'irrigation des jardins. La foggara englobe le côté technique (l'ouvrage) et le social qui sont inséparables. Le système foggara se compose de deux grandes parties :

Le captage et le transport de l'eau

La distribution et le partage de l'eau

la partie amont : est captage et transport qui se résume par la galerie souterraine et les puits d'aération reste la même pour toutes les qanâts des 52 pays de la planète.

La partie aval : est la distribution et partage de l'eau est différente.

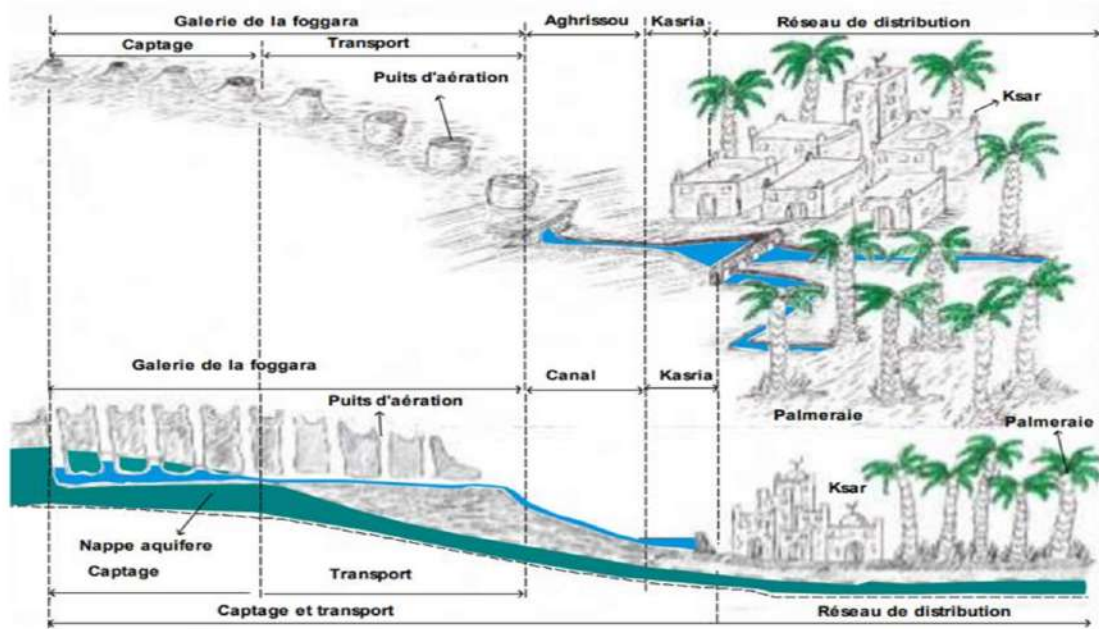


Figure 7: Différentes parties d'une foggara du plateau de Tademaït (Remini, 2017)

I.5.1 Le captage

Le captage de l'eau souterraine est assuré par une galerie de plusieurs kilomètres, de faible pente, qui draine l'eau de la nappe vers la surface libre.

Cette galerie est équipée de plusieurs puits verticaux qui servent à l'entretien et à l'aération de la Foggara, et cette partie composé de quelques éléments : la galerie, les puits, l'aghisrou, canal principal.

I.5.2 La distribution

La distribution de l'eau s'effectue juste à la sortie de la galerie et repose sur quatre éléments majeurs qui sont : Kasria (répartiteur); Seguia (canal), Madjen (bassin de récupération) et Guemoun (Jardin). Une fois l'eau arrivée à la sortie de la galerie, elle est répartie entre les propriétaires par la Kasria. Le cheminement de l'eau jusqu'au Madjen s'effectue par l'intermédiaire des Seguias.

I.6 Le partage et la distribution de l'eau d'une foggara en Algérie

Nous mettons ici en évidence deux modes différents de distribution de l'eau de foggara : volumétrique et horaire

I.6.1 La distribution volumétrique

Ce type de partage est le plus répandu en Algérie. Dans toutes les oasis à foggaras albiennes, le partage de l'eau s'effectue par la méthode volumétrique. 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) (figure 8).

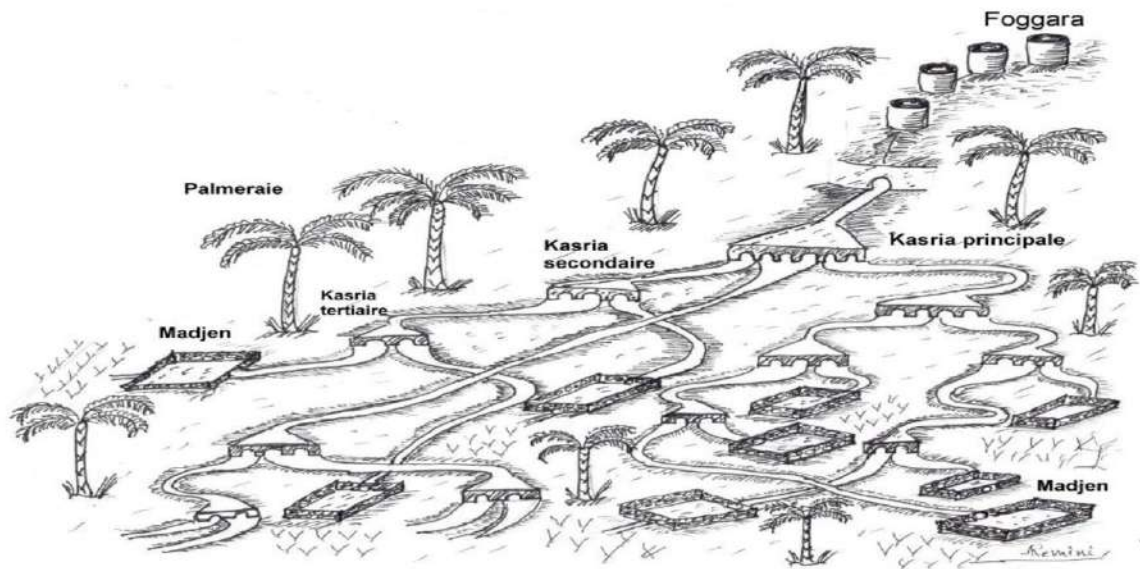


Figure 8: Schéma d'un réseau de distribution d'une foggara volumétrique (Remini, 2015)

Dans ce cas, l'irrigation des jardins peut s'effectuer en même temps ; on parle d'une irrigation parallèle (figure 9).

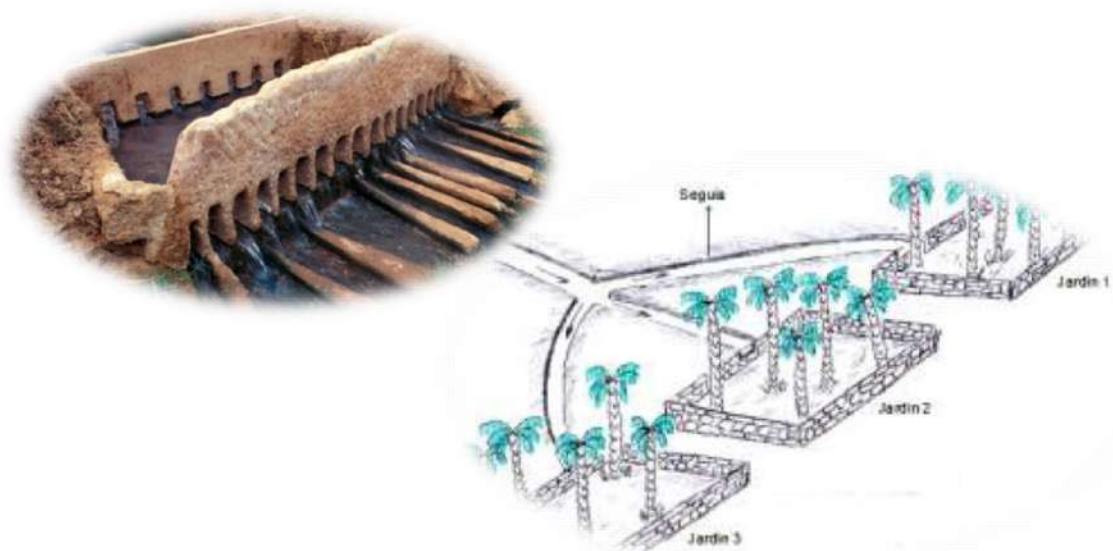


Figure 9: Schéma du type d'irrigation en parallèle (Remini, 2019)

Les kasriates sont disposées en forme de pyramide. À partir de la kasria lakbira (principale, une sorte de bassin triangulaire muni d'un partiteur (peigne) reçoit la totalité de l'eau de la foggara et répartit le débit en trois, quatre et même cinq rigoles (seguias). À partir de la kasria principale, les seguias vont en éventail dans tous les sens. Au bout de ses seguias, d'autres kasriates secondaires répartissent l'eau puis d'autres prennent naissance et ainsi de suite jusqu'aux guemouns (les jardins) (Figure 10).

- 1- Gallery De Foggara
- 2- Kasria Principal
- 3- Kasria Secondaire
- 4- Kasria Tertiaire
- 5- Seguias
- 6- Madjen
- 7- Guemoun

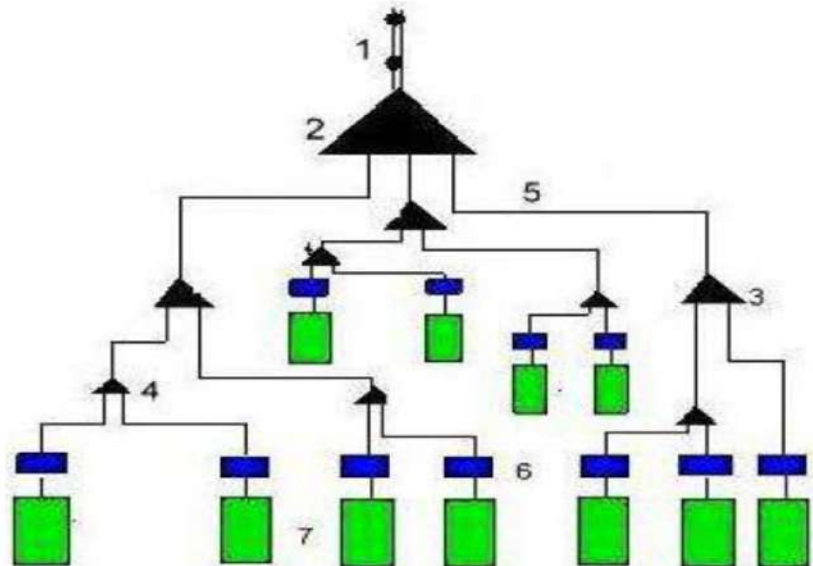


Figure 10: Schéma descriptif d'un réseau de distribution d'une foggara volumétrique (Remini, 2015)

I.6.2 La distribution Horaire

Cette méthode de partage de l'eau est basée sur l'unité de temps, le partage de l'eau s'effectue par le procédé horaire appelé nouba, c'est-à-dire tour à tour, où chaque abonné reçoit sa part d'eau par unité de temps et l'irrigation s'effectue jardin après jardin. À partir de madjen collectif. Dans ce cas, on parle de l'irrigation en série ou linéaire (figure 11)



Figure 11: Madjen collectif - Oasis de Beni Tamer Adrar (B.kerroumi, 2006)

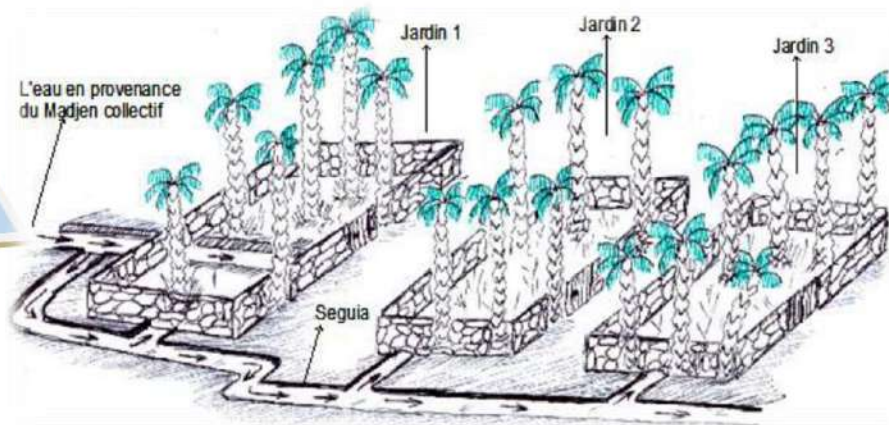


Figure 12: Schéma d'une irrigation en sérié ou linéaire (Remini, 2019)

Le réseau de distribution d'une foggara horaire est un réseau ramifié et simplifié. Il est équipé d'un grand madjen central collectif rattaché à plusieurs kilomètres de canaux d'irrigation (Seguias). La capacité de ce dernier est dimensionnée de telle façon à ce que son remplissage s'effectue en 24 heures (figure 13).

- 1- Gallery De Foggara
- 2- Madjen collectif
- 3- Seguias
- 4- Guemoun

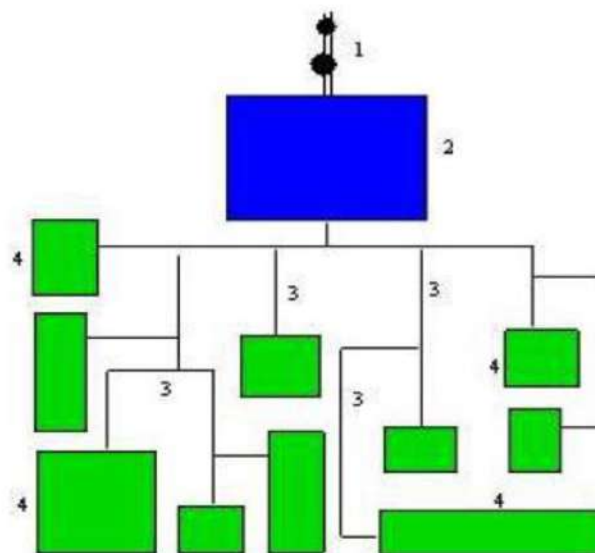


Figure 13: Schéma d'un réseau de distribution d'une foggara Horaire (Remini, 2016)

Cette distribution se fait de la manière suivante :

Lorsque le tour d'un propriétaire (A) arrive à sa fin, le prochain propriétaire (B) ferme la seguia de (A) et ouvre sa seguia sans demandé de permission. La fermeture d'une seguia s'effectue manuellement par un bouchon, formé par un morceau de bois entouré par un tissu rempli d'argile. Il est pressé en place pour éviter les fuites d'eau par un bâton gradué. (figure 14 , figure 15).

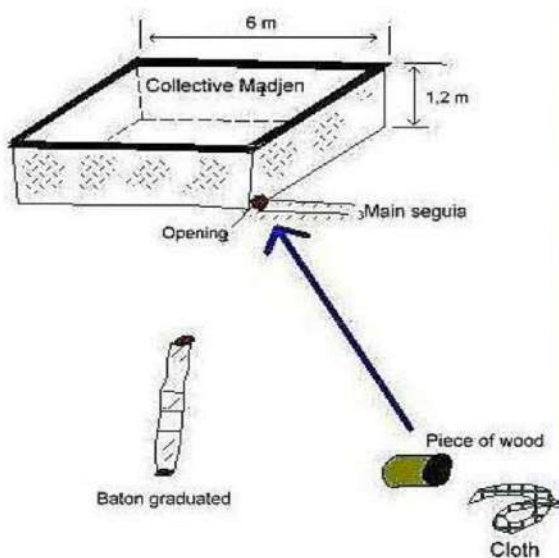


Figure 14: Schéma d'un Madjen collectif avec ses accessoires (Remini, 2013)



Figure 15: Madjen collectif en béton de foggara de moghrar bechar (Remini, 2013)

Discussions des deux méthodes

Il nous est apparu clairement que le système des deux foggaras est similaire à un niveau de l'amont de galerie, et différent à un niveau de l'aval de sorte que la distribution de la foggara volumétrique reposait sur une méthode indirecte qui inclut la distribution en utilisant des kasriats jusqu'aux madjen individuels en même temps. Quant à la distribution de la foggara horaire, il s'est appuyé sur le remplissage du madjen collectif directement à travers de seguia principale.

Le type de foggara volumétrique se trouve dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt, et le type de foggara horaire on la retrouve dans les oasis de la Saoura, Moghrar, Taghit, Beni Abbes, Kenadsa, Tindouf, Tamanrasset. Une seule foggara horaire se trouve dans les oasis de Touat, il s'agit de la foggara d'Hnnou (Tableau 1).

Types de foggaras	Nombre de foggaras	Origine du captage	Mode de partage	Nom de la foggaras ou de l'oasis	Etat de la foggara
Foggara de Albien	1300	Nappe du Continental Intercalaire	Volumique	Oasis d'Adrar, de Timimoune et Ain salah	820 fonctionnelles sur un total de 1300 foggaras
Foggara de l'erg	100	Nappe du Grand Erg Occidental		Oasis de Kali et Ouled Said (Timimoun)	80 fonctionnelles
Foggara de jardin	5		Les eaux de drainage et d'infiltration	Foggara personnelle	Oasis de Tabalbala
	6	Oasis de Timimoun			2 fonctionnelles
	2	Oasis de Moghrar (Naama)			fonctionnelles
	1	Foggara de Hanou (Adrar)			fonctionnelles
Foggara de source	2	Eau de source	Horaire	Oasis de Beni Ounif (Bechar)	fonctionnelles
	9			Oasis de Boussemghone (El Bayadh)	fonctionnelles
	60			Oasis de Beni Abbes (Bechar)	10 fonctionnelles
Foggara des oueds	2	Eau de la nappe	Oasis Lahmar (Bechar)	2 foggaras abandonnées	

Foggara des montagnes	10	indeferflux et les eaux de surface	Horaire	Oasis Beni Abbes (Bechar)	6 fonctionnelles
	12			Oasis Ouakda (Bechar)	
	10	Eau de la nappe phréatique	Horaire	Oasis Taghit (Bechar)	Foggaras abandonnées
2			Oasis Lahmar (Bechar)		
Foggara des crues	1	Eau des crues	Volumique	Oasis de Ghardaia	1 foggara fonctionnelle

Tableau 1 : Caractéristiques des foggaras du Sahara (Remini et Achour, 2007)

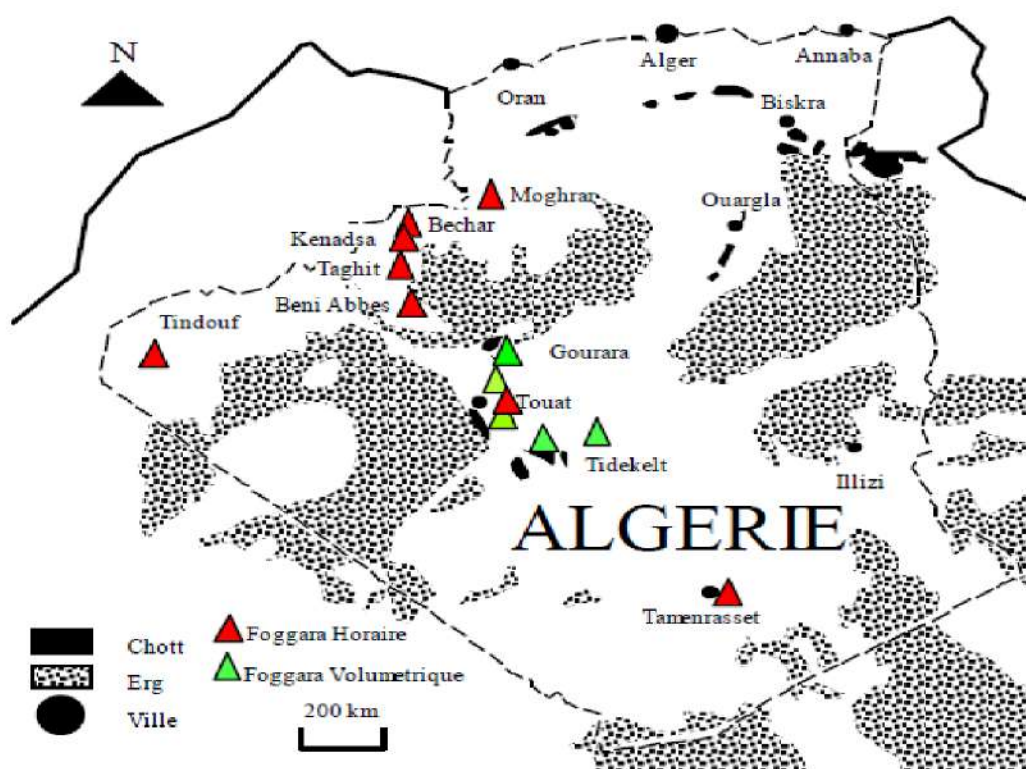





Figure 16: Situation des foggaras dans le Sahara Algérien (Remini, 2019)

I.7 Inventaires des foggaras dans la région d'étude

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

-  Gourara
-  Touat
-  Tidikelt

Plusieurs campagnes d'inventaires et de jaugeages de débits des foggaras ont été effectuées durant les années 1998, 2001, 2011. L'absence des données actuelle nous a acculé à utiliser les données de 1998, 2001, 2011.

Les trois régions réunissent 1408 foggaras réparties comme suit :

- ❖ 493 foggaras tarées.
- ❖ 915 foggaras pérennes dont 560 ont été restaurées.

I.7.1 Gourara

Gourara est composée de 10 communes et 04 daïra avec une population de 119.419 habitants d'une superficie 65.203 km. Le nombre de foggaras pérennes est de 398 dont 183 ont tarées (Tableau 2)

	Daira	Commune	Nombre des foggaras pérennes		%	Nombre des foggaras tarées		%
01	Timimoune	Timimoune	134	219	55.03	62	33.88	
02		Ouled said	85			21		
03		Charouoïne	50			80		20.10
04	Charouïne	Talmin	6			2	1.10	
05		Ouled Aïssa	24			11		6.01
06	Tinerkouk	Tinerkouk	2	17	4.27	/	/	
07		Ksar Kaddour	15			7		3.83
08	Aougrouit	Aougrouit	21	82	20.60	12	6.56	
09		Deldoul	25			14		7.65
10		Metarfa	36			22		12.02
		Total		398		183		

Tableau 2: Inventaire des foggaras de Gourara (A.N.R.H D'Adrar-2001) DREW Timimoune

I.7.2 Touat

Touat est composée de 12 communes et 05 daïra avec une population de 186.577 habitants d'une superficie 205.623 km. Le nombre de foggaras pérennes est de 473 (Tableau 3)

	Daïra	Commune	Nombre des foggaras pérennes		%	Nombre des foggaras taries		%
01		Adrar	10			8	2.79	
02	Adrar	Bouda	22	75	15.86	9	3.14	
03		Timmi	43			31	10.80	
04		Fennoghil	41			23	8.01	
05	Fennoghil	Tamset	49	129	27.27	25	8.71	
06		Tamadanin	39			26	9.06	
07	Zaouiet	Zaouiet kounta	107	149	31.50	59	20.56	
08	kounta	Inzeguemir	42			26	9.06	
09	Reggane	Reggan	38	71	15.01	28	9.76	
10		Sali	33			18	6.27	
11		Tsabit	49	49	10.36	34	11.85	
12	Tsabit	Sbaa	/	/	/	/	/	

Tableau 3: Inventaire des foggaras dans le Touat (A.N.R.H D'Adrar-1998) DREW

I.7.3 Tidikelt

Tidikelt est composé de 05 communes et une daïra qui est la daïra d'Aoulef avec une population de 56668 habitants d'une superficie 24536 km², Le nombre de foggaras pérennes est de 44 (Tableau 4)

	Daira	Commune	Nombre des foggaras pérennes		Nombre des foggaras taries		%
01	Aoulef	Aoulef	8	44	3	13.04	
02		Akabli	13		7	30.44	
03		Inner	20		12	52.17	
04		Tit	3		1	4.35	
05		Temokten	/		/	/	
			44		23		

Tableau 4: Inventaire des foggaras en Tidikelt (A.N.R.H D'Adrar, 2001) DREW Timimoune

Lors de ma visite à (A.N.R.H), j'ai pu obtenir des données pour l'état de l'Adrar pour l'année 2011 (région de Tawat) (Tableau 5).

Communes	Année 2011	
	Foggara pérenne	Foggara Tarie
Adrar	5	18
Bouda	18	5
Timmi	29	31
Tamnetit	37	41
Fenoughil	36	12
Tamest	17	1
Zaouiet Konta	20	31
In Zeghmir	23	42
Sali	29	23
Reggane	57	66
Totaux	271	286

Tableau 5 : Inventaire des foggaras dans La wilaya d'Adrar (A.N.R.H d'Adrar)

En 2011 L'A.N.R.H positionné 1690 peignes (Ksrias) des foggaras pérennes et tariés par GPS avec jaugeage des débits foggaras pérennes et échantillonnage 680 échantillons d'eau pour connaître la qualité d'eau des foggaras.

Après l'inventaire de 2011 par l'Agence nationale des ressources en eau dans tout l'État d'Adrar, cet inventaire a été mis à jour au cours de la période inachevée 2013-2014.

Au cours de la période 2013-2014, 1942 foggaras ont été inventoriés et 195034 puits des foggaras ont été positionnés par GPS, ces puits inventoriés représentent uniquement les puits des foggaras des daïras de Tsabit, Adrar, Fenoughil, Zaouit kounta, Aoulef et Reggan ce qui représente 1327 foggaras. (Tableau 6).

Nombre des puits positionnés par GPS	Nombre des foggaras pérennes	Nombre des foggaras tariés	Nombre des foggaras pérennes a eau stagnante	Nombre de foggaras tariés et remblayés
195034	683	780	38	441

Tableau 6: Inventaire des foggaras dans La région étudiée (A.N.R.H d'Adrar, 2013-2014)

I.8 Evolution des débits des foggaras

Les foggaras du Gourara, de Touat et du Tidikelt constituent l'exutoire naturel de la nappe du Continental Intercalaire, d'après les résultats des deux dernières campagnes de jaugeages de débits des foggaras effectuées durant les années 1998 et 2011, le débit global des foggaras a subi une réduction significative, il diminue de 2.846 m³/s en 1998 à 1.827 m³/s en 2011 soit une réduction du débit de 1.019 m³/s qui représente 35.8 % du débit de 1998 (Tableau 7).

Année	1998	2011
Débit de foggara en m ³ /s	2.846	1.827

Tableau 7: Évolution des débits totaux des foggaras (Benhamza, 2013)

Les débite pour la région de Touat :

Commune	Débit en l/s [1998]	Débit en l/s [2011]
Adrar	75.78	36.9
Bouda	83.65	70.4
Fenoughil	159.3	102.9
In Zeghmir	199.61	178.34
Reggane	158.38	88.05
Sali	123.45	88.64
Tamentit	106.6	27.8
Tamest	88.21	86
Timmi	178.63	75.4
Zaouiet Kounta	249.67	164.54
TOTAUX	1456.28	918.26

Tableau 8: Débits des foggaras par commune – 1998,2011- (A.N.R.H d'Adrar)

Interprétation :

- Pour 1998: Le plus fort débit exploité par foggara est enregistré à la commune de Zaouit kounta avec une valeur de 249,67 l/s. Quant au plus faible, il est enregistré à la commune d'ADRAR, avec une valeur de 75,78 l/s.
- Pour 2011: Diminution du débit pour la plupart des communes, ce qui a entraîné l'assèchement de leurs foggaras.

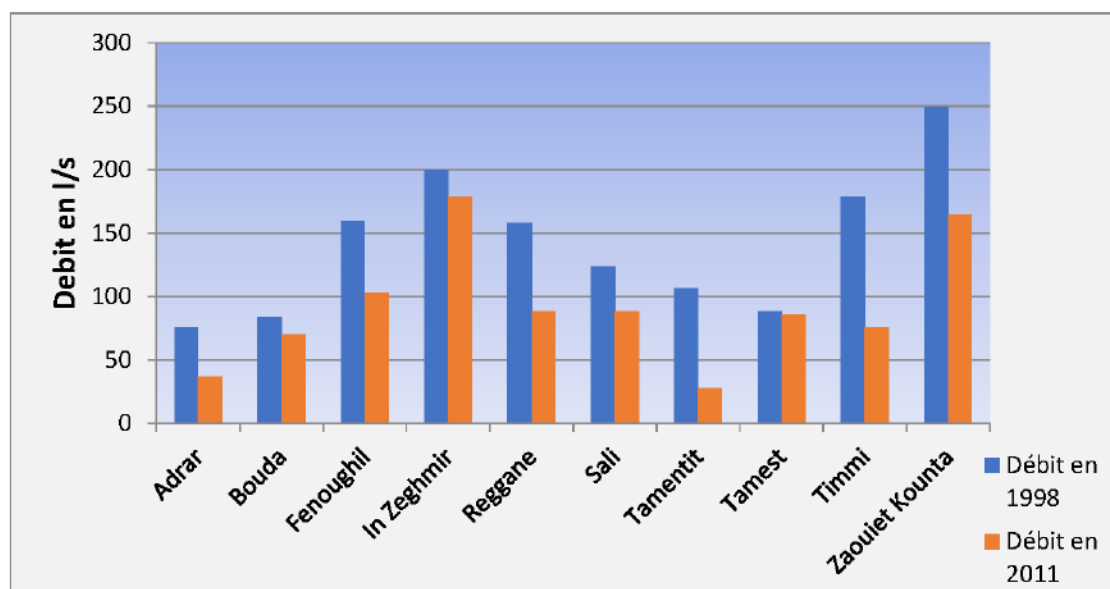


Figure 17: Histogramme d'évolution des débits des foggaras par commune

Cette situation a engendré le tarissement des foggaras, d'où le nombre des foggaras taries a augmenté de 168 foggaras taries en 1998 à 286 foggaras taries en 2011. Le débit des foggaras varie de 0.02 l/s à 24 l/s, avec des longueurs de 70 m à 15 km.

Des données sur l'état des foggaras existantes de la commune d'Adrar sont regroupées dans le (Tableau 9).

	Nom de foggara	Lieu	Nombre des puits	Débit (l/s) en 2011	Longueur principale (km)	Etat des foggaras en 2018
ADRAR	Tarakmoun	Tililane	103	0	2.09	Tarie
	Obordade (baghdad)	Tililane	49	0	1.29	Tarie
	Tamazour (El Mabrouk)	Meraguene	140	0	2.17	Perenne (eau stagnant)
	Zaouia El Kebira	Meraguene	314	0	3.23	Tarie
	Toukki	Meraguene	359	0	5.20	Tarie
	Bouzidi	Meraguene	118	0	1.52	Tarie
	Tit	Meraguene	59	0	0.93	Perenne (eau stagnant)
	Ain Almalha	Meraguene	23	0	0.22	Tarie remblayée

Ba Ahmed	Meraguene	198	0	2.98	Tarie remblayée
Bou Slah	Meraguene	277	0	2.85	Tarie remblayée
Adjedelaouen	Ouled Ouchen	1200	0	14.65	Tarie
Iguernij Seghir	Ouled Oungal	1486	0	15.94	Tarie
Zaouia	Tililane	1127	0	12.44	Tarie
Sebkha	Tililane	415	0	5.63	Tarie
Otman (Ouled Othmane)	Adgha	16	0	1.63	Tarie
Massini	Adgha	431	15,9	5.83	perenne
Meknas	Adgha	259	1,9	3.28	perenne
Dahar	Adgha	279	2,1	3.77	perenne
Yekhlef	Adgha	58	0	1.67	Perenne (eau stagnant)
Mekoul (amghel)	Barbaa	97	8,2	2.06	perenne
Moulay Driss	Barbaa	28	0	1.61	Tarie
Alleya	Barbaa	55	0	0.83	Tarie
Hadj Mekid	Barbaa	0	0	0	Tarie
Ouled Sidi Laabib	Barbaa	21	0	0.67	Tarie
Aadouï	Barbaa	902	8,8	10.33	perenne
Bou Youcef	Barbaa	82	0	1.47	Tarie
Ouled Mahmoud	Adrar	28	0	0.63	Tarie
Bekkou	Adrar	0	0	0	Tarie
Adgha	Adgha	0	0	0	Tarie
Taghejemt	Adgha	25	0	0.52	Tarie

	Chaab	Tililane	218	0	1.15	Tarie
	Bour Barbaa	Barbaa	44	0	1.81	Tarie remblayée
	Bouzaid	Tililane	165	0	1.39	Tarie remblayée
	Rahmoun	Tililane	89	0	1.08	Tarie remblayée
	Ouled Hadj Mekki	Barbaa	24	0	0.44	Tarie remblayée
	Bouha	Barbaa	0	0	0	Tarie remblayée

Tableau 9: Les foggaras existantes dans la commune d'Adrar 2011 (A.N.R.H d'Adrar)

I.9 Techniques de mesure et partage des eaux de la foggara en Algérie

I.9.1 L'unité de mesure de la quantité d'eau

L'unité de mesure du débit dans le Tidikelt est 'Habba' 'Habba zrig' est égale a peu près 0.133 l/s, et change de nom dans chaque région et des fois chaque foggara à l'autre dans le même ksar, par exemple elle s'appelle (Tmen, Majel, Aud) est égale à un huitième (1/8) dans la Gourara, Elle correspond en moyenne au débit fourni par une ouverture de 1 à 1,5 cm, et "Habba maaboud" dans le Touat elle est de l'ordre de 0.058 l/s.

L'unité de mesure est différente d'une région à l'autre suivant les tableaux ci-dessous

Région	Commune	Nom d'unité	Débit l/s
Gourara	Timimoune	Thmène	0.0261
	Tinarkouk	El Oud	0.0633
Touat	Touat	Sbaa	0.0580
	Fonoughil	Habba maaboud	0.0433
Tidikelt	Aoulef	Habba zrig	0.1330

Tableau 10: Unités de mesure du débit de la foggara d'après (Remini.B, 2008)

La Habba ou Habba Zrig vaut 24 Kirat (Carat) et tellement l'eau est précieux, ils ont utilisé l'unité de mesure de l'or pour le partager, la codification suivante utilisée pour la mesure du débit

Valeur Unités	Quantité	Equivalent	Symbole
Habba	1	24 Kirat	•
Un Kirat de Habba	1/24	1/24 de Habba	•
Deux Kirat de Habba	1/12	2/24 de Habba	:
Tois Kirat de Habba	1/8	3/24 de Habba	...
Quatre Kirat de Habba	1/6	4/24 de Habba	
Six Kirat de Habba	1/4	6/24 de Habba	⋮
Huit Kirat de Habba	1/3	8/24 de Habba	
Douze Kirat de Habba	1/2	12/24 de Habba	
Vingt quatre Kirat de Habba	1	24/24 de Habba	

Tableau 11 : Tableau des sous multiples de Habba

Valeur	Quantité	Equivalent	Symbole
Kirat	1	24 Kirat	•
Un Kirat de kirat	1/24	1/24 de Kirat	•
Deux Kirat de kirat	1/12	2/24 de Kirat	••
Tois Kirat de kirat	1/8	3/24 de Kirat	•••
Quatre Kirat de kirat	1/6	4/24 de Kirat	—
Six Kirat de kirat	1/4	6/24 de Kirat	—••
Huit Kirat de kirat	1/3	8/24 de Kirat	=
Douze Kirat de kirat	1/2	12/24 de Kirat	≡
Vingt quatre Kirat de kirat	1	24/24 de Kirat	≡≡

Tableau 12 : Tableau des sous multiples de Kirat

I.9.2 Kial el ma (Le responsable)

Le spécialiste qui s'occupe des opérations de mesure des parts d'eau s'appelle (Kial el ma), c'est une personnalité très respectueuse par la population locale (figure 18).

La fonction principale de kial el ma :

Mesurer le débit d'eau dans la foggara.

Diviser les rations d'eau sur chaque propriétaire.

la perforation des peignes distribués qui permettent à la quantité d'eau spécifiée pour chaque personne de se dérouler en douceur.

Renouveler ces opérations plusieurs fois si nécessaire au cours de l'année, en fonction des différentes transactions liées à l'eau : achat, vente, échange et partage entre les titulaires de droits au moment de l'héritage.



Figure 18: Mr.Kaba Aek - Kial el ma de la foggara de Elgara (Bellil, 2016)

1.9.3 Outils de mesure

La mesure du débit de la foggara se fait par un outil de fabrication traditionnel appelé Louh dans la région de Gourara, Kiel Asfar ou Halafa dans le Touat (figure 19) et Chegfa dans la région de Tidikelt (figure 20).



Figure 19: Louh ou Hallafa utilisé dans les régions de Gourara et Touat (Bensaada, 2018)



Figure 20: Chegfa utilisé dans les régions de Tidikelt (Aoulef, 2023)

Zemam c'est la mémoire des lois relatives à la rivière et à la division de tous les biens des paysans joints, ainsi qu'à l'enregistrement des transactions et à la tenue des alliances, des dons ou des legs.



Figure 21 : Zemam

1.9.4 Méthodes de mesure de la quantité d'eau

Dans les oasis de Tidikelt la mesure du débit est effectuée par le responsable (Kial el ma) avec l'aide d'un comptable (El hassab), d'un travailleur ou deux travailleurs.

D'abord une plate-forme plate est placée par kial el ma avec toutes seguies fermées, puis met Chegfa à 80 cm du centre de kasria , puis kial el ma procède au processus de calcul de l'extrême droite du kasria afin qu'il construise un petit canal avec de l'argile scellée de sorte que toute l'eau qui fuit du trou qui est mesurée coule directement à chegfa à travers sa porte.

Kial el ma laisse ensuite quelques trous ouverts et l'autre les ferme par de l'argile et lorsque l'eau pénètre dans chegfa et monte de plus de 10 à 15 cm, il ouvre d'autres trous jusqu'à ce que le niveau d'eau soit égal à la hauteur de chegfa, à travers laquelle le processus de mesure est correct et se poursuit de la même manière pour les ouvertures restantes de la Kasria (figure 19)

Après chaque mesure, kial el ma enregistre le nombre de Habbat Zrig vous obtenez sur une tablette d'argile. Une fois l'opération terminée complètement et correctement, le Comptable (El hassab) vient et recueille les marques qui déjà placées par kial el ma sur la plaque d'argile pour obtenir le débit total en Habba Zrig, après quoi le témoin (El Chahed)

annonce le nombre de (Habbat Maabod) pour ses propriétaires. Toutes les données sur les parts d'eau de chaque propriétaire sont enregistrées dans le Zemmam.

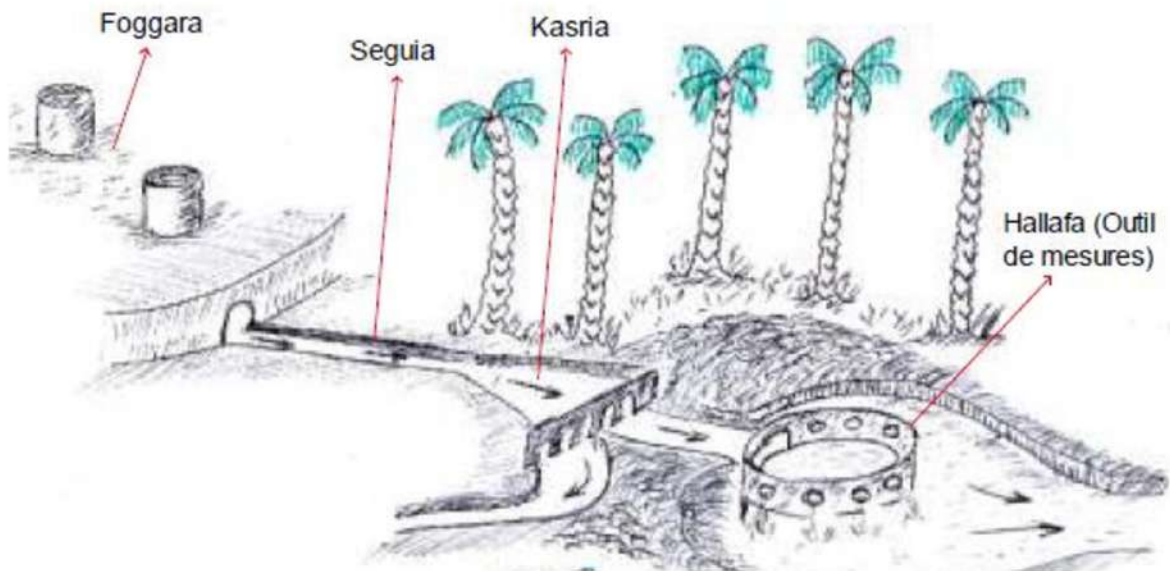


Figure 22: Schéma d'opération hydrométrie dans les oasis de Tidikelt (Remini, 2019)

I.10 La plus célèbre foggara en Algérie (La foggara de Mghier)

I.10.1 Historique de la foggara de Mghier

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

Avec la venue de Sidi Moussa Ould Messaoud, la foggara a connu une extension de 8 km de longueur et environ 300 puits reliés entre eux par la galerie souterraine.

I.10.2 Présentation de la foggara de Mghier

La foggara de Meghier est située dans la ville de Timimoune à 1 200 km au sud-ouest d'Alger, entre la longitude 00°13'09" E et la latitude 29°15'34" (figure 23).

La galerie a une longueur de 11 km, elle se compose de 380 puits espacés de 3 à 09 m, et la largeur est de 70 à 100 cm, la profondeur des puits est de 1,5 m en aval jusqu'à atteindre 43 m en amont de la foggara. Elle comptait 4566 Habba, 750 madjen, et irriguait 250 ha. Elle était partagée entre 259 propriétaires et faisait vivre 1295 habitants.

La foggara traversant le milieu urbain de Timimoune, d'une direction orientée Sud Est-Nord-Ouest, l'amont de la foggara est à proximité de l'aéroport, son aval (sortie de la foggara) est à côté de la Zaouia de Sidi-Othmane. Elle capte l'eau de la nappe du Continental Intercalaire sur la périphérie du plateau de Tademaït.

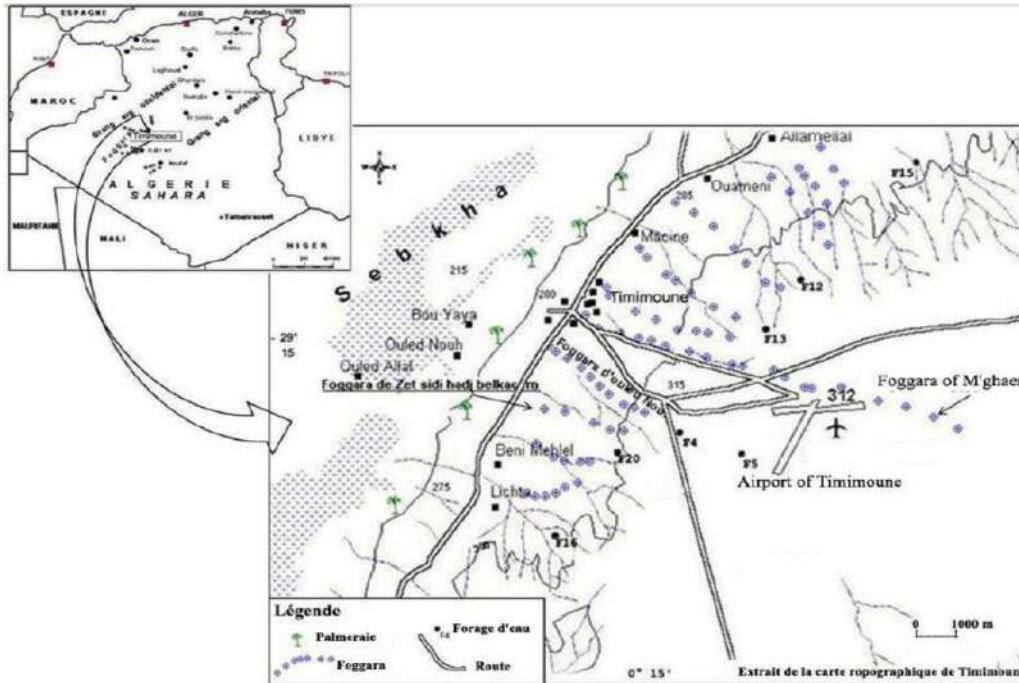


Figure 23: Situation géographique de la foggara de Mghier (Bensaada, Remini)

Les caractéristiques principales de la foggara de Mghier sont représentées le tableau ci-dessous :

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

Tableau 13: Caractéristique générale de la foggara de Mghier

L'établissement de la coupe hydrogéologique à partir de la carte géologique de Timimoun montre que la foggara est creusé dans le Continental intercalaire (figure 24).

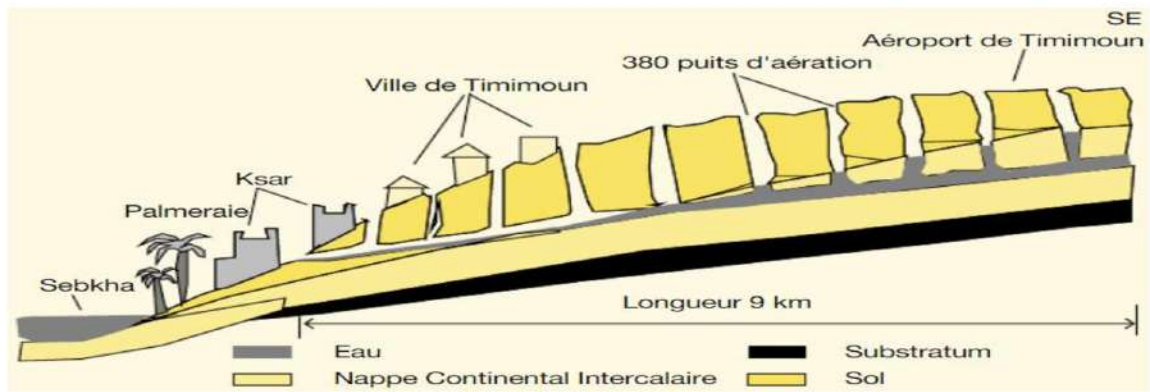


Figure 24 : Schéma longitudinal de la foggara de Meghier (Achour, Remini 2008)

I.10.3 Partage et Distribution des eaux de la foggara de Mghier

Après que l'eau ait été distribuée et partagée selon les règles de l'art, le propriétaire de l'eau fait circuler ou achemine l'eau vers sa palmeraie ou son terrain en construisant des canaux, irrigués selon le réseau hiérarchisé au schéma ci-dessous (figure 25).

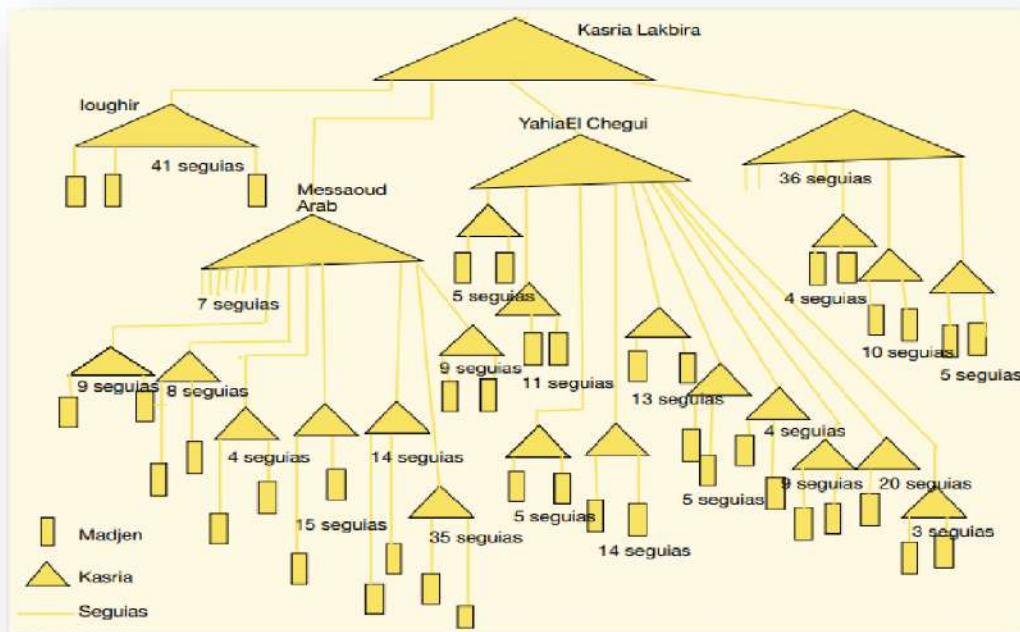


Figure 25 : Schéma synoptique du réseau de distribution de la foggara de Meghier (Achour, Remini 2008)

Ce principe fondamental dans la région semble être à l'origine du concept de propriété de l'eau. Les résidents de la région considèrent l'eau comme une propriété privée. Quel que soit le propriétaire une part, il peut les utiliser ou non selon ses propres besoins, et peut également les vendre selon ses propres souhaits. Dans la plupart des cas, elle est louée, donc la terre ne constitue pas un véritable capital, elle n'a de valeur que par les droits d'irrigation qui l'accompagnent.

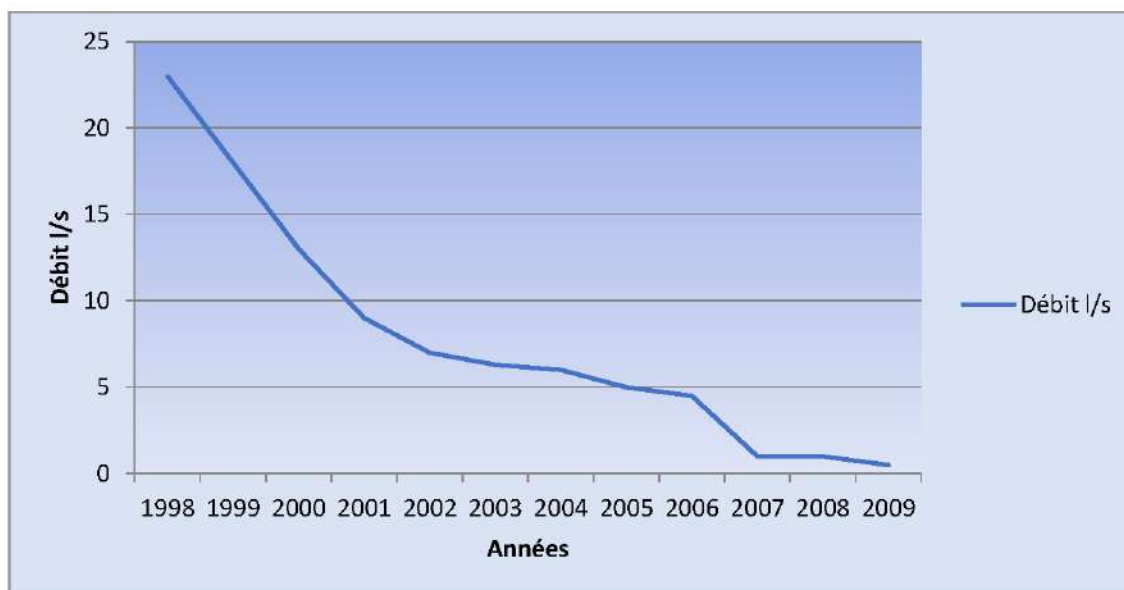


Figure 26 : Courbe d'évolution du débit de la foggara de Meghier (1998-2009)

Interprétation de la (figure 26) :

La figure ci-dessus montre la courbe d'évolution du débit de la foggara de Mghier au cours de la période (1998-2009), où il a diminué d'un pourcentage important au cours de la période (1998-2009). Au point qu'elle a atteint un débit très faible en 2009, estimé à 0.5l/s.

Cela a conduit à la dégradation de l'état de la foggara et à la mort de ses palmeraies (figure 27).



Figure 27 : La mort de palmeraies suite au tarissement de la foggara de Mghier (Bensaada, 2007)

I.10.5 Les raisons qui ont conduit à la dégradation de la foggara

Plus de 90% des palmeraies ne sont plus irriguées, avec des conséquences sociales, économiques et environnementales négatives pour la région de Timimoune.

Ces raisons étaient :

- ✚ Après les inondations de 2004 et 2005, plusieurs parties de la galerie se sont effondrées.
- ✚ La foggara de Mghier s'étend sur plusieurs quartiers centraux de la ville de Timimoune, où la circulation des véhicules lourds conduit souvent à l'effondrement.
- ✚ L'exploitation croissante de la nappe Albiennne a provoqué le tarissement de plusieurs foggaras dans toute la région.

L'état de la foggara de Meghier est une conséquence de ce problème. D'autres foggaras seront certainement asséchées par la multiplication des forages profonds dans la région.

Conclusion

Dans ce chapitre, l'état des foggaras en Algérie a été étudié, en particulier les zones les plus célèbres, le Touat, La Gourara et le Tidikelt. On a constaté que ce patrimoine culturel s'amenuise peu à peu au fil du temps, et il se présente sous des formes différentes selon les régions de présence et son fonctionnement varie d'un endroit à l'autre. Les quantités d'eau qui s'écoulent sont calculées à l'aide d'outils et de méthodes développés par les premiers propriétaires de la région et experts dans ce domaine, et ils ont établi des lois et des fondations pour les préserver et au profit de chaque individu associé à ce système hydraulique, et de considère la préservation de cette richesse hydrique comme un trésor précieux.

Chapitre II

Facteurs de dégradation des foggaras d'Aoulef

Introduction

En milieu saharien, l'eau est disponible, mais dans sa grande majorité elle est très faiblement renouvelable mais également vulnérable à la pollution.

Le système traditionnel de collecte et d'acheminement de l'eau dans les oasis d'Algérie existe depuis de nombreux siècles, mais malheureusement pour de nombreuses raisons, y compris les activités humaines, sa survie aujourd'hui diminue et inévitablement proche du déclin.

Dans ce chapitre, essayons de découvrir l'état et les facteurs affectant la qualité des eaux de foggaras à Aoulef .

II.1 Les facteurs dégradation des foggara d'Aoulef

II.2.1 Le manque d'entretien de la galerie

La foggara nécessite un entretien périodique et continu, pour qu'elle puisse garder sa pérennité, l'évolution sociale et ou la main d'œuvre esclavagiste n'existe plus, ainsi que les prix onéreux de l'entretien malgré les différents programmes de l'état pour la réhabilitation et la sauvegarde des foggaras.



Figure 28: Photo prise lors des travaux d'entretien de la galerie

II.1.3 L'effondrement des puits de la foggara

L'écoulement des eaux dans la galerie provoque une érosion des bordures du canal puis l'effondrement des parties supérieures et avec le temps, la section transversale de la galerie augmente jusqu'à l'effondrement total de la foggara.



Figure 29: Effondrement foggara Bendraou dans Aoulef

II.1.4 L'ensablement

Le Tidikelt est un des régions les plus ventilées où le vent entraîne une formation importante des Ergs et des dunes de sable et transporte et jette des quantités énormes de sable dans les puits. Les populations de la région se dressent contre ce facteur en utilisant des moyens locaux comme la fixation des dunes par la palme sèche (Afrag). Cette technique est très efficace, mais elle demande la mobilisation de beaucoup de main-d'œuvre.



Figure 30: Certains des canaux (Saguias) de la foggara sont remplis de sable

II.1.5 La pollution urbaine

Les foggaras traversant un milieu urbain sont pollués par les infiltrations des eaux usées et les dépôts à ordure contribuent à polluer la nappe d'eau souterraine (figure 31). Les eaux usées de ces réseaux s'infiltrent un peu partout par le biais de fuites.



Figure 31: contamination des puits du foggara par les habitants d'Aoulef

II.1.6 Le vandalisme

Foggara a été détruite et vandalisée par des habitants qui ignorent son rôle important dans le développement social et économique (Figure 32). Il faut activer des campagnes de sensibilisation pour préserver ce patrimoine culturel et y prêter attention (Figure 33).



Figure 32: Vandalisme des puits



Figure 33: Une image de sensibilisation dans la ville pour inciter à la préservation du foggara

II.1.7 Les problèmes liés à l'exploitation des forages

L'apport des forages au début des années quarante a engendré l'abaissement du niveau de la nappe et par conséquent le débit des foggaras a enregistré une régression dans le temps jusqu'à l'assèchement total des foggaras (Figure 34).

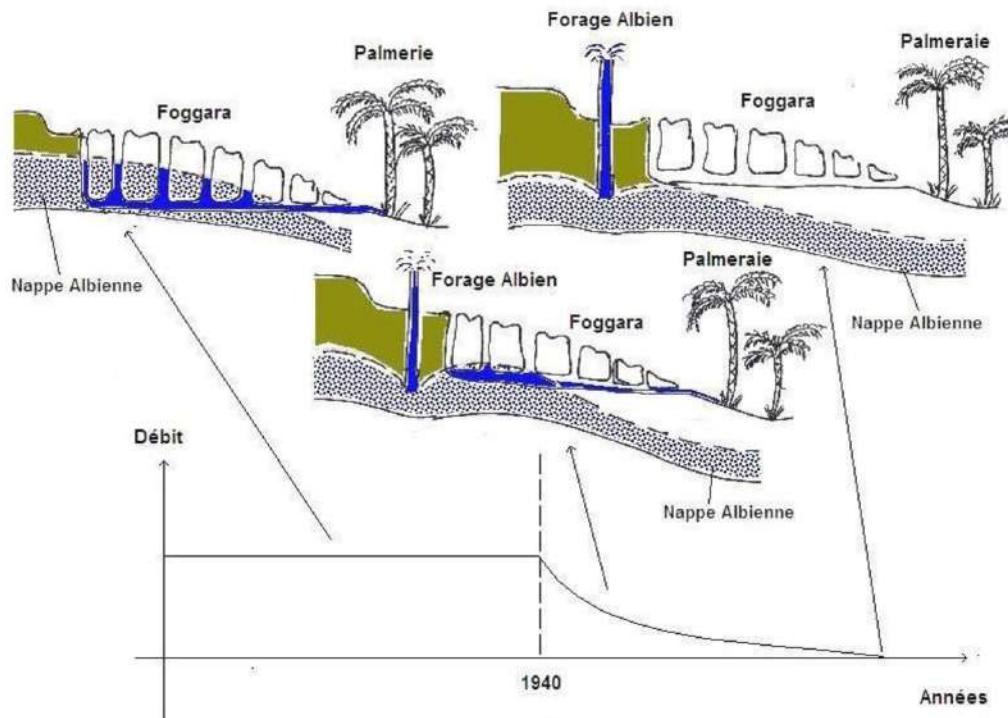


Figure 34: Evolution du débit d'une foggara d'Aoulef (REMINI.B 2014)

II.1.8 Le facteur économique

L'économie de Touat et Gourara et Tidikelt est principalement basée sur l'agriculture et cela est bien sûr conditionné par l'eau. La croissance démographique a conduit à une urbanisation rapide, qui se manifeste par la dégradation de ces eaux.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les différents facteurs qui ont conduit à la détérioration de l'état des foggaras dans la région en raison de la négligence de ces bénéficiaires, qui ont entraîné leur pollution, leur destruction et la diminution de leur niveau, ce qui rend la sensibilisation des habitants indispensables pour préserver ce patrimoine culturel.

Chapitre III
Analyses
bactériologiques

Introduction

L'eau est l'élément le plus demandé et le plus essentiel dans la vie. On l'utilise quotidiennement pour différentes applications, par exemple l'alimentation et le lavage des aliments ou d'arrosage... Et pour ces buts ou d'autres l'eau doit représenter des qualités microbiologiques satisfaisantes.

Pour analyser la qualité microbiologique de l'eau on utilise des « micro-organismes indicateurs » de la contamination fécale, généralement non pathogènes, mais indiquant la présence de pathogènes issus des matières fécales

Comme il est techniquement impossible de faire l'analyse de tous les pathogènes, dans cette partie de notre travail expérimental, on s'intéresse à la détermination de la qualité bactériologique des eaux de foggaras de Aoulef en utilisant plutôt des indicateurs microbiologiques qui sont en soi sans danger : les bactéries *E. coli*, les bactéries entérocoques et les bactéries coliformes totales.

III.1 Les analyses sélectionnées

Les coliformes sont un groupe hétérogène de bactéries d'origine fécale et environnementale. La plupart des espèces peuvent se trouver naturellement dans le sol et la végétation, mais leur présence dans l'eau n'indique pas une contamination fécale ni un risque sanitaire, mais une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau. L'analyse des coliformes totaux permet notamment d'obtenir de l'information sur la vulnérabilité possible d'un puit à la pollution de surface.



Figure 35: les coliforms

Les bactéries *E. coli* sont très abondantes dans la flore intestinale humaine et animale, et c'est aussi la seule espèce qui soit strictement d'origine fécale. Les bactéries *E. coli* sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale. Leur présence dans l'eau signifie que cette dernière est contaminée par une pollution d'origine fécale et qu'elle peut donc contenir des microorganismes pathogènes.



Figure 36: Les bactéries *E. coli*

La gastro-entérite est la maladie la plus fréquente associée à l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales, qui peut parfois avoir des conséquences graves sur la santé. D'autres maladies plus rares, comme les hépatites ou les méningites, peuvent également être provoquées par l'ingestion d'eau contaminée. Ce risque concerne non seulement les membres d'une famille qui consomment l'eau d'un puits, mais aussi tous leurs visiteurs.

Les streptocoques fécaux ou entérocoques sont essentiellement des bactéries intestinales, mais, comme il a été indiqué précédemment, ils sont moins nombreux dans les matières fécales que les colibacilles.

En fait, l'entérocoque est un témoin peu sensible et sa recherche ne peut en aucun remplacer celle d'E. Coli. Par contre, la caractérisation de l'entérocoque constitue une excellente confirmation d'une souillure fécale.

On admet qu'une eau potable ne doit contenir aucun entérocoque dans 100 millilitres.

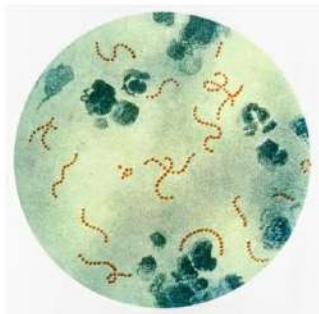


Figure 37: Les streptocoques fécaux

III.2 Echantillonnage

Un prélèvement correct est indispensable à l'obtention de résultats significatifs et doit être considéré comme une phase préliminaire de l'analyse. On devra prélever l'eau avec toutes précautions, et pour cela, plusieurs conditions s'imposent dont :

- La sélection convenable du point d'échantillonnage
- Le strict respect des procédures d'échantillonnage
- La conservation adéquate de l'échantillon



Figure 38: Échantillonnage

III.3 Prélèvement de l'eau à analyser

Au cours de notre étude, deux blastomères ont été sélectionnés. Les prélèvements sont effectués en deux points différents dans chaque foggara, le premier devant l'entrée des quartiers résidentiels, et l'autre depuis la palmeraie à la sortie. Les principaux renseignements sur étiquette de chaque échantillon prélevé sont :

- Identité des préleveurs ;
- Date et heure de prélèvement ;
- Motif de la demande d'analyse ;
- point de prélèvement d'eau ;
- Origine de l'eau (foggara de Al-Hazhoz et foggara de Turfin).

Les eaux sont prélevées dans des flacons stériles (pour les analyses bactériologiques).



Figure 39: points de prelevement

III.4 Transport des échantillons

Les analyses bactériologiques sont effectuées moins de 6 heures après le prélèvement. Si le transport dépasse 6 heures, ainsi si la température extérieure est supérieure à 10°C, le transport a été fait en glacière à une température inférieure à 4°C. Enfin, les prélèvements sont placés aux froids dès leurs arrivés au laboratoire avant de commencer les analyses.



Figure 40: La Glacière

III.5 Méthodes d'analyses bactériologiques

Présentation de la méthode de NPP :

Principe : La technique du NPP fait appel à la méthode de fermentation en tubes multiples, au cours de laquelle au moins trois dilutions décimales de l'échantillon sont ensemencées dans des éprouvettes de bouillon et incubées à une température précise, pendant une période donnée, ensuite les résultats sont expliqués selon le tableau de NPP sachant qu'un tube considéré comme positive prenant la valeur (1) et le tube négative a une valeur de (0).

La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- Le test de présomption : Réservé à la recherche des coliformes
- Le test de confirmation : Encore appelé test de Mac Kenzie et réservé à la recherche des coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

Dans notre expérience, nous avons adopté la méthode des cinq tubes.

III.5.1 Recherche des Coliformes totaux et fécaux (en milieu liquide)

III.5.1.1 Protocole de travail

A partir de l'eau à analyser, apporte :

- 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham .
- 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.
- 50 ml dans tube contenant 50 ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- Chasser le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.



Figure 41: préparation en gam BCPL

Incubation : Se fait à 37 °C pendant 24 heures.

Déposer quelques gouttes de l'échantillon positif dans un tube de milieu Schebert muni d'une cloche Durham

Lecture (+) : Un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche). Un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui constitue le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu).

Ces deux caractères étant témoins de la fermentation du lactose dans les conditions opératoires décrites. La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du nombre le plus probable (NPP).

III.5.1.2 Test confirmative

Le test de confirmation est basé sur la recherche de coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli*.

Ajouter quelques gouttes de l'échantillon positif dans un tube de milieu Schebert muni d'une cloche Durham.

Chasser le gaz présent éventuellement dans les cloches de Durham et bien mélanger le milieu et l'inoculum.

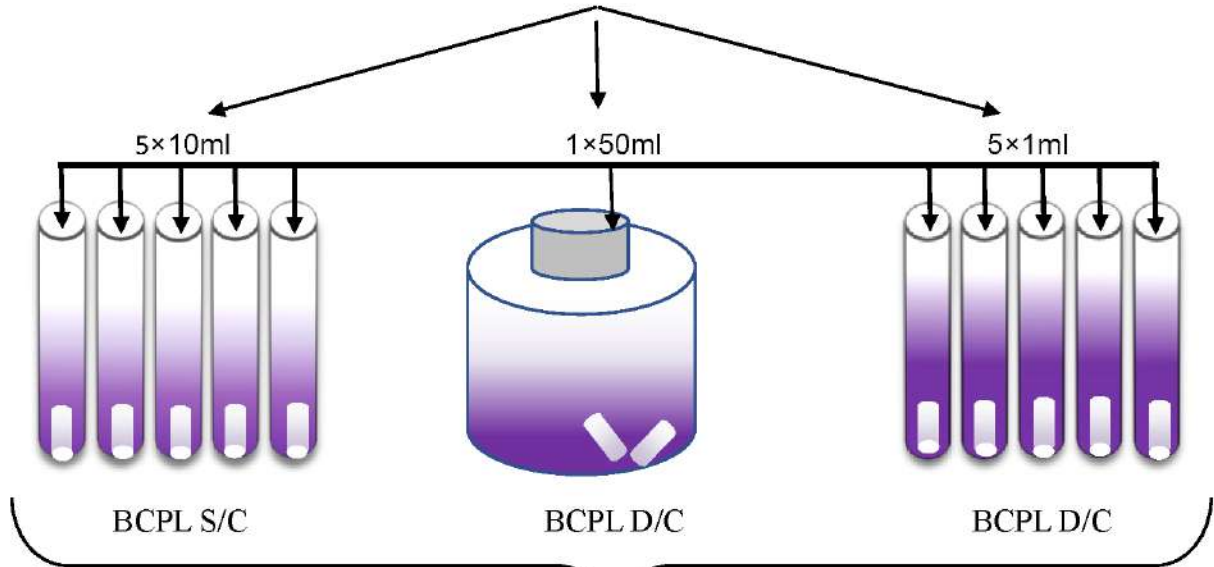
Incubation : Se fait à 44 °C pendant 24 heures.

Lecture (+) : Un dégagement gazeux

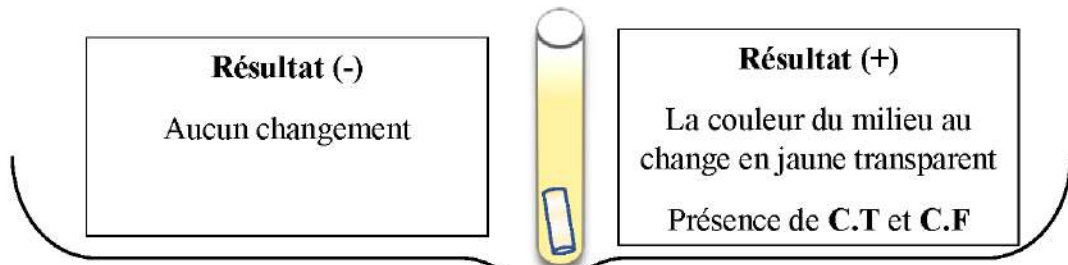
Un anneau rouge en surface, témoin de la production d'indole par *Escherichia coli* après adjonction de 3 gouttes du réactif de Kovacs.



Un échantillon d'eau à analyser



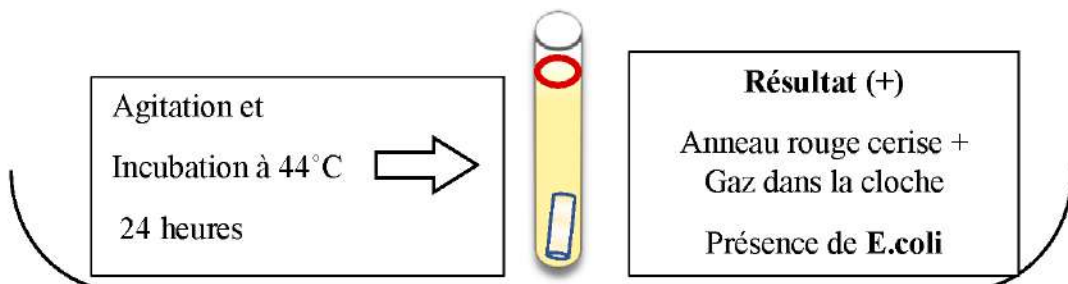
Agitation et Incubation à 37°C. 24-48 heures



Test confirmatif

Réactif positif utilisant le milieu de Schebert

Mettez quelques gouttes de l'échantillon positif



III.5.2 Recherche de Streptocoques fécaux (en milieu liquide)

Tout comme la méthode de recherche des coliformes en milieu liquide, celle de la recherche des Streptocoques fécaux fait appel à deux tests consécutifs à savoir :

- Le test de présomption.
- Le test de confirmation : Réservé à la confirmation réelle des Streptocoques fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

III.5.2.1 Protocole de travail

A partir de l'eau à analyser, apporte :

- 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE D/C.
- 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C.
- 50 ml dans tube contenant 50 ml de milieu ROTHE D/C.
- Bien mélanger le milieu et l'inoculum.



Figure 42: préparation en gam ROTHE

Incubation : Se fait à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Lecture : sont considérés comme positifs les tubes présentant un trouble microbien, seulement ces derniers :

- Ne doivent en aucun cas faire l'objet de dénombrement.
- Doivent par contre, absolument faire l'objet d'un repiquage sur milieu LITSKY EVA dans le but d'être confirmés.

III.5.2.2 Test confirmative

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoques fécaux éventuellement présents dans le test de présomption.

Nous prélevons 2 à 3 gouttes de chaque tube positif présentant un trouble bactérien, que nous repiquons dans des tubes contenant 9 ml de milieu Eva Litsky.

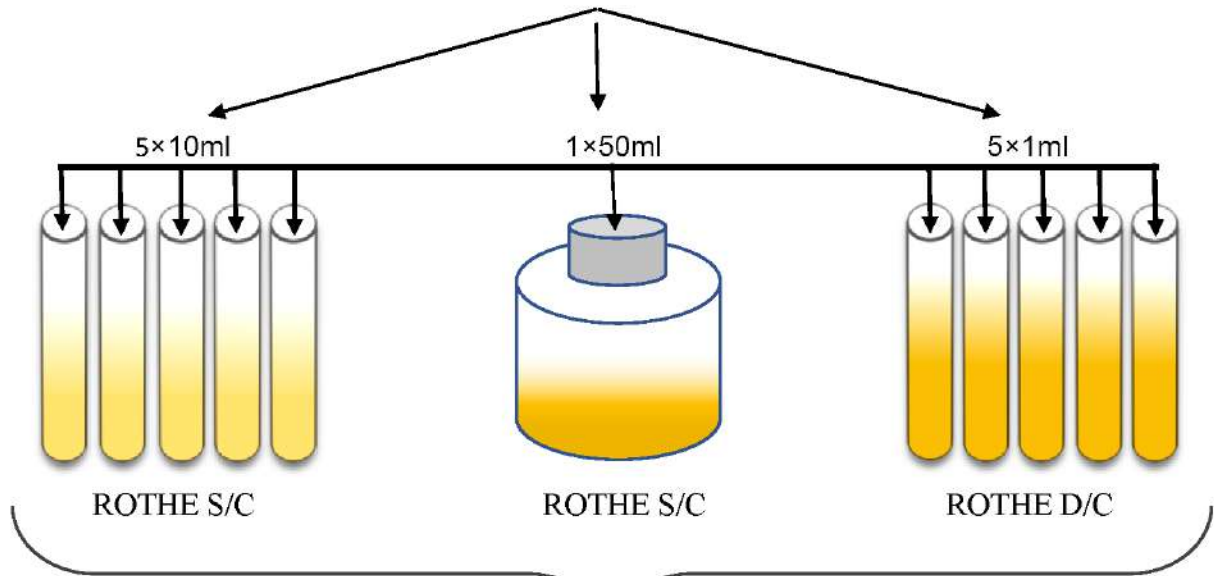
Bien mélanger le milieu et l'inoculum.

Incubation : Se fait à 37 °C pendant 24 heures.

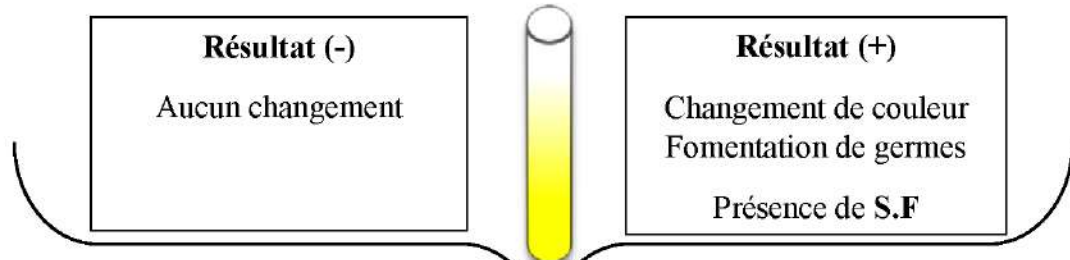
Lecture : Tubes positifs montrant une trouble bactérienne et une décoloration



Un échantillon d'eau à analyser



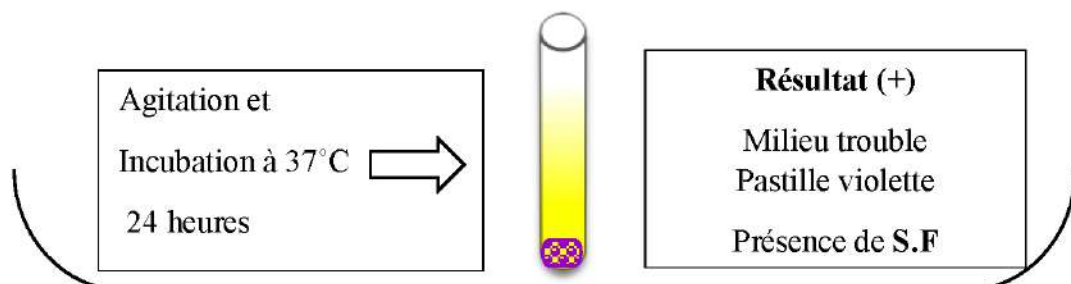
Agitation et Incubation à 37°C _ Pendant 24-48 heures



Test confirmatif

Réactif positif utilisant le milieu de EVA LISKY

Mettez quelques gouttes de l'échantillon positif



III.6 Résultats d'analyses bactériologiques

Pour apprécier de la qualité bactériologique de l'eau de foggara de Aoulef (Tableau 14), Nous avons prélevé quatre échantillons sur deux foggara différents (foggara de Al-Hazhoz et foggara de Turfin). Ces prélèvements d'eau ont été suivis par les analyses bactériologiques qui ont été effectuées au niveau du laboratoire et consiste en la recherche des coliformes, des streptocoques fécaux et des Escherichia coli.





	Lieu où l'échantillon	Type de bactérie	Résultat
1	Foggara de al-hazhoz le puits avant l'entrée des quartiers résidentiels	Coliformes 18/100 ml E. coli 00/100ml S.F 07/100ml	Eau consommable avec désinfection et surveillance
2	Foggara de al-hazhoz a la sortie	Coliformes 240/100 ml E. coli 00/100ml S.F 24/100ml	Eau impropre à la consommation
3	Foggara de Turfin le puits avant l'entrée des quartiers résidentiels	Coliformes 13/100 ml E. coli 00% ml S.F 05% ml	Eau consommable
4	Foggara de Turfin a la sortie	Coliformes \geq 240/100 ml E. coli 00/100 ml S.F 24/100 ml	Eau non consommable

Tableau 14: Résultats d'analyses bactériologiques eau de foggara

III.6.1 Interprétation les résultats des analyses bactériologiques

Foggara de Al-Hazhouz : les analyses ont montré que l'échantillon prélevé avant l'entrée du quartier résidentiel avait un pourcentage de coliformes de 18/100ml, ainsi qu'un pourcentage de streptocoques fécaux 07/100ml. Ces valeurs sont considérées comme acceptables, et cette eau est considéré comme propre à la consommation d'un point de vue bactériologique, avec désinfection, surveillance et prise de toutes les précautions nécessaires. Quant à l'échantillon prélevé à la sortie, on constate une augmentation significative des coliformes jusqu'à une valeur max de 240/100ml, ainsi qu'une augmentation des streptocoques fécaux 24/100ml, ce qui les rend contaminés et impropres à la consommation.

Foggara de Turfin : Il a donné des résultats presque identiques à foggara de Al-Hazhuz, Consommable avec désinfectant. L'eau à l'entrée contenait 13/100ml de coliformes et 5/ml de streptocoques fécaux, et à la sortie le pourcentage de coliformes 240/100ml et streptocoques fécaux 24/100ml.

Conclusion générale

Dans ce travail, on a présenté une note relative à l'étude de la foggara, notamment dans la région du Touat Gourara et Tidikelt qui est de contribuer, aussi peu que cela à la mise en évidence foggara en général dès sa création, et sa diffusion sur une longue période de temps, ce qui indique son rendement effectif et l'efficacité de son simple fonctionnement d'une manière presque similaire dans la plupart des endroits, où les foggaras ont une place particulière dans les oasis désertiques algériennes, c'est pourquoi il devrait sauvegarder ce monument hydraulique, séculaire et culturel.

En Algérie, ce système traditionnel de captage et de canalisation des eaux dans les Oasis a survécu depuis des siècles, mais malheureusement pour une multitude de causes, notamment anthropiques, aujourd'hui sa survie s'amenuise et son déclin s'approche inéluctablement, sauf dans le cas où un plan de sauvetage est mis en œuvre très rapidement.

Dans notre partie expérimentale, nous avons exposé l'état de deux foggaras dans la région de Aoulef et nous avons signalé les différents facteurs qui ont conduit à leur détérioration qui sont principalement à cause de la négligence de ces bénéficiaires, qui ont entraîné leur pollution, leur destruction et la diminution de leur niveau, ce qui rend la sensibilisation des habitats indispensables pour préserver ce patrimoine culturel.

Dans la deuxième partie expérimentale, nous avons examiné dans la qualité bactériologique des eaux foggara, dans la région de Aoulef – Adrar : le prélèvement a été fait dans deux points différents de deux foggaras, le premier avant l'entrée des quartiers résidentiels , et l'autre à la sortie.

Les analyses ont montré que les échantillons prélevés à l'entrée des quartiers résidentiels sont meilleurs sur le plan bactériologique à ceux prélevés à la sortie.

Donc l'analyse de cette eau à la sortie révèle qu'elle est polluée à cause de la présence de ces micro-organismes qui témoignent d'une contamination d'origine fécale ou environnementale, alors l'eau de foggara nécessite un traitement bactériologique rigoureux pour la rendre propre à la consommation.

A l'issue de nos recherches, nous voudrions nous excuser en cas de manquements ou de carences.

Références bibliographique

Références bibliographique :

1. **Remini, B., Achour, B., & Kechad, R. (2010).** La foggara en Algérie: un patrimoine hydraulique mondial. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 23(2), 105-117.
2. **SURFACE, W. T. S. (2017).** La foggara de Tadmaït: sans énergie de l'eau du sous-sol à la surface du sol. *Larhyss Journal*, (32), 301-325.
3. **Remini, B., & Achour, B. (2008).** Vers la disparition de l'une des plus grandes foggaras d'Algérie: la foggara d'El Meghier. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 19(3), 217-221.
4. **Boutadara, Y., Remini, B., & Benmamar, S. (2020).** Quand les foggaras d'Adrar se réveillent!. *Larhyss Journal*, (41), 149-180.
5. **Remini, B., & Achour, B. (2008).** Les foggaras du grand erg occidental algérien. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (7).
6. **Ghodbani, T., Dari, O., Bellal, S. & Hadeid, M. (2017).** Entre perte de savoirs locaux et changement social : les défis et les enjeux de la réhabilitation des foggaras dans le Touat, Sahara algérien. *Autrepart*, 81, 91-114.
7. **Khadraoui, A. (2007).** La foggara dans les oasis du Touat - Gourara et de Tidikelt. *Définition-propositions de réhabilitation et de sauvegarde*.
8. **Senoussi, A., Bensania, M., Moulay, S., & Telli, N. (2011).** La foggara: un système hydraulique multiséculaire en déclin. *Revue des Bio Ressources*, 1(1), 47-54.
9. **Remini, B. (2019).** LES FOGGARAS DU SAHARA: LE PARTAGE DE L'EAU, L'OEUVRE DU GENIE OASIEN. *Larhyss Journal*, 16(3), 71-103.
10. **Remini, B., Achour, B., & Kechad, R. (2014).** The sharing of water in the oases of Timimoun heritage cultural declining. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (18).
11. **BENSAADA, M. (2018).** Etude hydraulique des foggaras dans la région d'Adrar (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Agronomique).
12. **Benhamza, M. (2009).** Aperçu hydrogéologique et hydro chimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines «foggara» dans la région d'Adrar. Mémoire de Master. Univ. badji mokhtar-Annaba.
13. **Hidaoui, A., & Louannas, A. (2015).** Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar (Touat). Mémoire de master, Univ. Tlemcen.
14. **SURFACE, W. T. S. (2017).** La foggara de Tadmaït: sans énergie de l'eau du sous-sol à la surface du sol. *Larhyss Journal*, (32), 301-325.
15. **P.N.U.D. (1986).** « L'eau et le Maghreb : un aperçu sur le présent de l'héritage et l'avenir », Rapport.
16. **Remini, B., Achour, B., & Kechad, R. (2014).** The sharing of water in the oases of Timimoun heritage cultural declining.

17. **Rodier J et Coll., 2005.** L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physicochimie, microbiologie, interprétation des résultats. 8^{ème} Ed., Dunod Paris. 1383p.
18. **Haslay C. et Leclerc H., 1993.** Microbiologique des eaux d'alimentation. Ed. technique et documentation, Paris.
19. **Rodier J. 1984.** L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 7^{ème} Ed., Dunod. Paris.

Les sites de web :

1. https://mag.nacerrecords.com/2019/01/blog-post_73.html
2. https://belo1967.blogspot.com/2015/11/blog-post_20.html
<https://babzman.com/systeme-dirrigation-des-foggaras-demarches-pour-les-classer-au-patrimoine-universel/>