



LES FOGGARAS D'AOULEF ARAB (ALGERIE) : LE DECILN D'UNE IRRIGATION OASIENNE

THE FOGGARAS OF AOULEF ARAB (ALGERIA): THE DECILN OF AN OASIAN IRRIGATION

REMINI B., BERRAMDANE C.

Département des Sciences de l'Eau et Environnement, Faculté de Technologie,
Université Blida 1 Blida 9000, Algérie.

reminib@yahoo.fr

RESUME

Le présent papier évoque le rôle de la foggara dans le développement des milliers de palmiers dans les oasis d'Aoulef Arab. C'est ainsi que des investigations et des enquêtes ont été menées dans la région auprès de la population locale durant les années 2013 et 2016. Il s'avère que l'originalité de ces foggaras réside dans la multiplication des ramifications des galeries formant ainsi un réseau de drainage qui a une répercussion sur l'accroissement du débit de la foggara. Cet ouvrage s'est dégradé depuis l'apparition des forages profonds dans la région (plus d'un demi-siècle). Cependant, Il doit être réhabilité, puisqu'il demeure le seul système hydraulique qui assure à la fois l'alimentation en eau et la protection de l'environnement d'un écosystème aussi fragile comme celui du Sahara.

Mots clés : Aoulef Arab, Foggara, Oasis, Eau, Galerie.

ABSTRACT

This paper evokes the role of foggara in the development of thousands of palms in the oases of Aoulef. Thus, investigations and surveys were conducted in the region with the local population during the years 2013 and 2016. It turns out that the originality of these foggaras lies in the proliferation of branching

galleries forming a drainage system that has an impact on increasing the flow of foggaras. The foggara has deteriorated since the onset of deep drilling in the region (more than half a century). However, it must be restored, as is the only hydraulic system that provides both water supply and environmental protection of a fragile ecosystem like the Sahara.

Keywords: Aoulef Arab, Foggara, Oasis, Water, Gallery.

INTRODUCTION

Dans les régions à climat sec, les eaux de surface se font rares. Cependant, les crues occasionnelles drainent des quantités appréciables en eau, mais elles s'évaporent rapidement. Les eaux souterraines restent donc la seule alternative pour alimenter la population et l'irrigation. Cependant, les difficultés résident dans les procédés d'acquisition du précieux liquide. Le faible rendement des puits traditionnels (puits à poulie, puits à balancier et puits avec attraction animale) provoqué par le faible débit et l'apport d'une énergie humaine ou animale a poussé les oasiens à inventer système hydraulique de captage des eaux basé sur un drain souterrain de faible pente. Appelée foggara, elle est considéré comme le système hydraulique le plus utilisé dans les zones arides. Réalisée dans l'ancienne Iran depuis plus de 3000 ans (Abdin, 2006 ; Goblot, 1979), la foggara est une galerie souterraine d'une faible pente équipée d'une multitude puits d'aération. Grace à son succès, la foggara a été exportée vers une cinquantaine de pays arides y compris l'Algérie (Remini et al 2014).

Le Sahara Algérien, réputé comme l'un des milieux les plus secs de la planète. Plus de 1800 foggaras ont été creusées dans le sud-ouest d'Algérie autour du plateau de Tademaït (Boutadara et Remini, 2018). Aujourd'hui il ne reste que 50% de ces foggaras en service dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt très connu par le pays des foggaras (Abidi et Remini, 2011 ; Remini et Achour, 2013). Dans ce modeste travail, nous traitons l'importance de la foggara dans le Sahara Algérien et plus particulièrement dans les oasis d'Aoulef (Adrar). Les problèmes de dégradation de ces techniques seront évoqués dans ce papier.

REGION D'ETUDE ET ENQUETES

Situation et caractéristiques de la région

Aoulef, une région hyper aride est située en plein désert à environ 1200 km au sud-ouest d'Alger (fig. 1). Aoulef est située à 250 km au Sud-Est du chef-lieu de la wilaya d'Adrar. Aoulef, une partie du Tidikelt occidental située à une altitude moyenne de 300 m totalise une superficie de 24 704 km². Les limites de cette région sont :

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

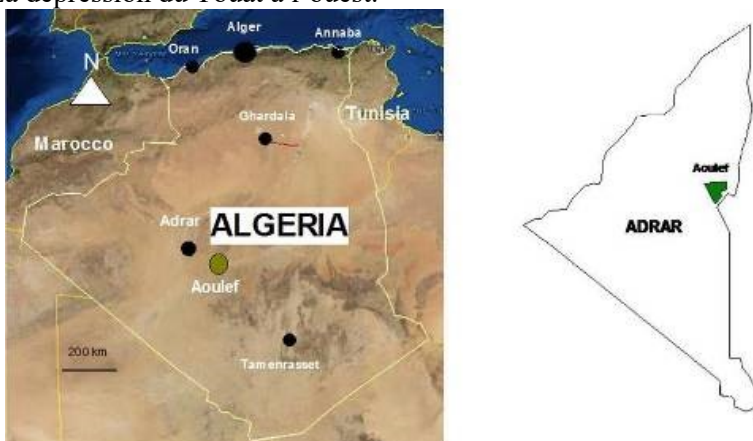
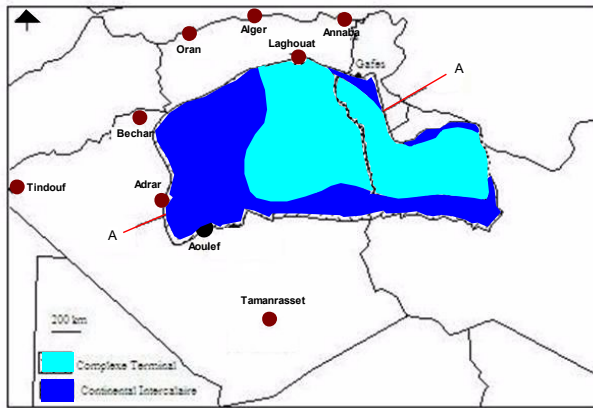
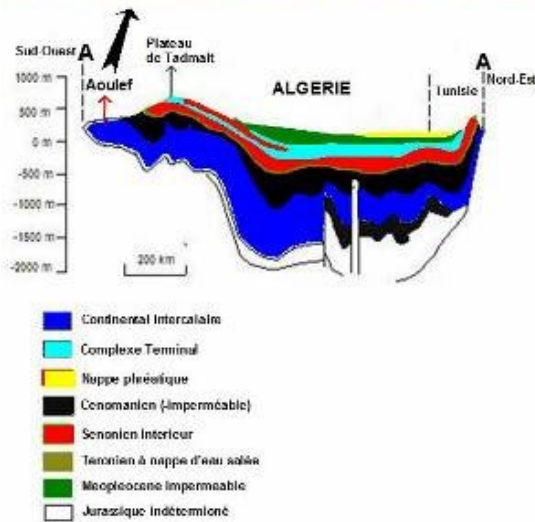


Figure 1 : Situation géographique de la région d'Aoulef (Google Earth)

En raison de la rareté de la pluviométrie dans la région d'Aoulef Arab, ce sont plutôt les réserves des eaux souterraines qui constituent principalement la source d'exploitation des foggaras. Il existe deux types de nappes : phréatique et le Continental Intercalaire. Sachant que le plateau de Tadmaït est considéré comme le château d'eau des foggaras des régions d'Aoulef Arab, puisque dans le sous-sol de Tadmaït se cache la plus grande nappe de la planète : le Continental Intercalaire (fig. 2 (a et b)) (Remini et Achour, 2013 ; Remini et al, 2011). Elle occupe une surface de 600000 km² et renfermant 60000 milliards de m³ d'eau. A titre comparatif, ce volume est l'équivalent de 12000 fois la capacité des barrages algériens (Remini B., 2007).



a) Etendue de la nappe du Continental Intercalaire



b) Coupe longitudinale de la nappe du Continental Intercalaire

Figure 2 : Les aquifères du Continental Intercalaire et le Complexe Terminal (Dessin Remini, Source Unesco 1972 in Castany, 1982)

Mission et enquêtes

Le bassin du Continental Intercalaire a été délimité entre 1940 et 1960 (Dubost, 2002). Il est constitué par les différentes formations perméables du sous-sol saharien, rempli d'eau pendant les périodes pluvieuses du quaternaire, renferme une quantité d'eau correspondant en théorie à un débit fictif continu de 1000 m³/s durant 20 siècles (Dob, 2003).

Durant les missions que nous avons effectuées dans les oasis d'Aoulef Arab durant les années 2013 et 2016, nous avons mené des enquêtes auprès des propriétaires des foggaras et la population locale. Des investigations ont été menées sur les foggaras de la commune d'Aoulef Arab. Des données sur les foggaras ont été récupérées au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques, la Direction d'Hydraulique d'In Salah ainsi que la Direction Agricole de la wilaya.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La foggara d'Aoulef Arab

La foggara est une galerie souterraine légèrement inclinée qui consiste à capter et à transporter les eaux de l'aquifère en contrebas pour alimenter le ksar et irriguer la palmeraie. L'eau s'écoule à surface libre par gravité avec une faible vitesse et sans interruption (fig. 3 et 4).

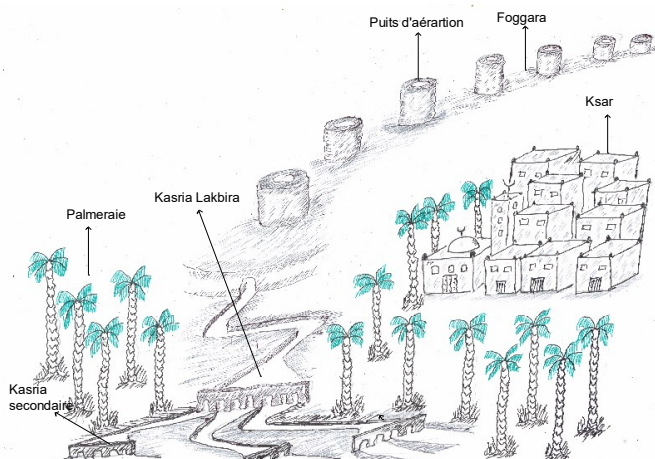


Figure 3 : Schéma synoptique d'une foggara (Schéma Remini 2019)

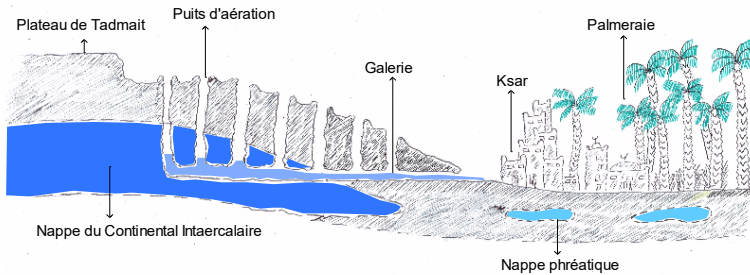


Figure 4 : Coupe longitudinale d'une foggara (Schéma Remini 2019)

Composition d'une foggara

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

Les parties d'une foggara

La foggara se divise en deux grandes parties :

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

Captage et transport

C'est la partie la plus importante de la foggara qui est représentée par la galerie souterraine. Elle est divisée en deux tronçons. Le premier qui se trouve à l'intérieur de l'aquifère qui est destiné à drainer l'eau de la nappe. Le deuxième tronçon qui se trouve au-dessus de la ligne piézométrique est destiné à véhiculer l'eau drainée par le premier tronçon (fig. 5).

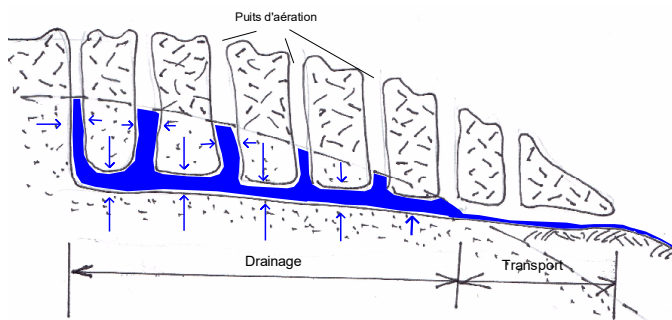


Figure 5 : Parties de la galerie d'une foggara

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

La galerie souterraine

Cet ouvrage permet de drainer les eaux de la nappe aquifère vers la surface du sol, La pente moyenne du drain est de 1/1000. La longueur de la galerie des foggaras de Touat, Gourara et Tidikelt ne dépasse pas les 15 km. L'existence d'une série de puits le long d'une ligne rectiligne est synonyme de l'existence d'une galerie sous le sol (fig. 6).



Figure 6 : Série de puits : synonyme de l'existence d'une galerie sous le sol (photo. Auteurs 2013)

Les puits d'aération

La foggara se compose d'une galerie et d'une série de puits avec des profondeurs variables. Lors de la réalisation de la galerie, les puits verticaux servent pour l'évacuation des déblais de terre excavés dans la galerie, et aussi ils laissent passer la lumière au fond de la galerie (fig. 7). Lors de l'exploitation de la foggara, ces puits servent pour l'entretien de la galerie et l'aération. En fonction de la grandeur de l'ouvrage, le nombre de puits dans une foggara peut varier de 10 à 700. Dans les foggaras d'Aoulef Arab, les puits de la partie drainage peuvent atteindre 45 m de profondeur (fig. 8). Par contre ceux de la partie Transport, varient de 3 à 25 m de profondeur (fig. 9). L'écartement entre deux puits successifs varie de 5 à 20 m. Cette distance est liée aux difficultés de travail (manque de lumière et difficultés de respiration). Le diamètre des puits varie de 0,5 à 1 m selon les difficultés de creusement. Cette ouverture facilite l'accès au fond du puits. Dans les zones urbaines, ces ouvrages sont munis d'une margelle de 0,90 m de hauteur construite en pierres ou en argile. Dans les zones d'ensablement, les ouvertures de puits sont couverts par des roches plates et d'argile afin d'éviter l'ensablement de la galerie. Actuellement, nous assistons à des opérations de réhabilitations des puits qui ne tiennent pas compte de la réalité et l'esthétique de l'oasis. C'est ainsi qu'au lieu de réhabiliter ces puits avec de la pierre et l'argile, ils ont été refaites avec la brique et le ciment (fig. 10).



Figure 7 : Un des puits de la foggara de Tifena (Aouilef) (Photo. Auteurs 2013)



Figure 8 : Puits dans la partie drainage de la foggara de Tenfaa (Aoulef Arab) (Photo. Auteurs 2013)



Figure 9 : Un puits situé dans la partie transport (faible profondeur) de la foggara de Tifena (Aoulef Arab) (Photo. Auteurs 2013)



Figure 10 : Puits réhabilité en terre d'une foggara de l'oasis d'Aoulef Arab (photo. Auteurs 2013)

Distribution et irrigation

Cette partie est représentée par le réseau de distribution (fig. 11). Il est composé de plusieurs kilomètres de seguias, d'une dizaine de kasrias et de Madjens.

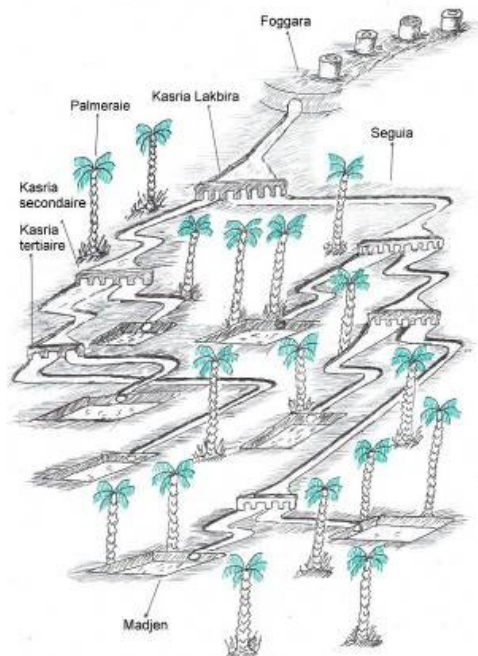


Figure 11: Réseau de distribution des eaux de la foggara (Schéma Remini, 2019)

Kasriates

Dans un réseau de distribution d'une foggara, on peut trouver suivant la grandeur de la foggara et le nombre des participants jusqu'à une trentaine de kasriates de dimensions différentes. Dans une foggara, Il existe une seule kasria principale (fig. 12), 4 à 5 kasriates secondaire (fig. 13) et une dizaine de kasriates tertiaire pour chaque foggara (fig. 14). Les kasriates répartissent l'eau entre les participants. A chaque fois que l'eau passe dans une kasria le débit se répartit en plusieurs parts jusqu'à la satisfaction de tous les participants.

A la sortie de la foggara, l'eau est divisée par la kasria principale appelée aussi la kasria Lakbira qui possède un nombre suffisant d'ouvertures qui sont dimensionnés en fonction du débit de la foggara. L'eau s'écoule facilement à travers ces orifices pour atteindre les seguias qui peuvent être à nouveau divisés par une autre kasria secondaire, puis par une autre kasria tertiaire et ainsi de suite jusqu'à l'eau arrive dans tous les madjens des copropriétaires de la foggara. Pour les foggaras à débit important, l'eau à la sortie d'Aghrissou présente un écoulement turbulent. Dans ce cas, la kasria principale est équipée d'une plaque rocheuse trouée par des ouvertures de section égales. Située au milieu du bassin, elle joue le rôle d'un tranquilisateur et permet à l'eau d'atteindre le peigne répartiteur avec une hauteur constante. Cette situation facilitera la tâche au Kial El Ma pour mesurer les débits avec peu d'erreurs.



Figure 12 : Kasria principale de la foggara Djenet Esghar (Aoulef Arab) (photo. Auteurs 2013)



Figure 13 : Kasria secondaire de la foggara de Tifena (Aoulef Arab) (photo. Auteurs 2013)



Figure 14 : Kasria tertiaire du réseau de distribution de la foggara Djenet Esghar (Aoulef Arab) (photo. Auteurs 2013)

Seguias

Par gravité l'eau s'écoule dans les canaux à ciel ouvert appelées seguias pour atteindre les bassins de stockage. Les seguias sont réalisées de telle façon qu'il n'y aura ni un déficit ni un surplus ou un débordement sur les berges. La section économique du canal a été bien dimensionnée (fig. 15).

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

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



Figure 15 : Seguias de différentes sections dans le réseau de distribution de la foggara Fguiguira d'Aoulef Arab (photo. Auteurs 2013)

Madjens

Le Madjen est un bassin de stockage des eaux en forme géométrique quelconque. Réalisé en terre sur le point le plus élevé du jardin (Guemoun) pour permettre une irrigation gravitaire (fig. 16). Chaque madjen est dimensionné de telle façon à ce qu'il se remplit en 24h. L'irrigation se fait en général le matin de bonne heure en été et dans la grande matinée en hiver. Actuellement, on assiste à la multiplication des madjens en ciment (fig. 17). Cette situation ressemble bien à celle des seguias. Le madjen en ciment empêche les infiltrations dans le sous-sol en privant les palmiers périphériques au madjen de consommer les eaux du sous-sol.



Figure 16 : Madjen en terre dans l'oasis d'Aoulef Arab (Photo. Auteurs 2013)



Figure 17 : Un des madjens en ciment de la foggara de Bendraou (Aoulef Arab) (Photo. Auteurs 2013)

La limite qui sépare les deux parties amont et aval : La kaseia principale

Le seuil entre les deux parties amont et aval est représenté par kasria principale. Elle a la forme d'un bassin triangulaire. Le sommet correspond à l'entrée d'Aghrissou (entrée de la foggara) et la base correspond au peigne répartiteur composé de plusieurs ouvertures (fig. 18). L'eau cachée dans le sous-sol une fois arrivée à la lumière s'écoule dans Aghrissou pour atteindre la kasria. Cet ouvrage répartit l'eau entre les copropriétaires.

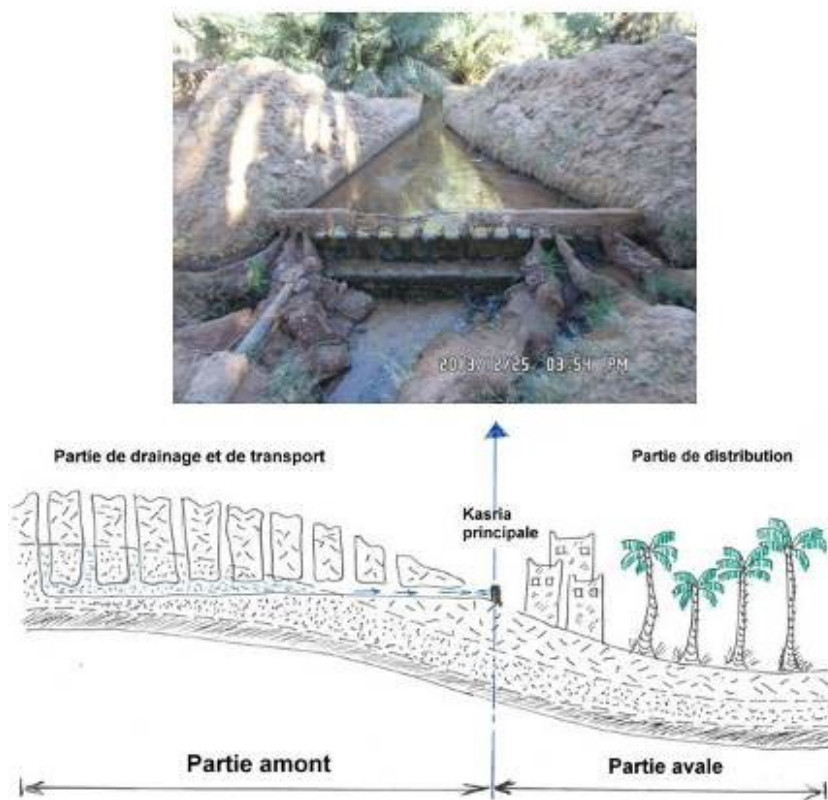


Figure 18 : Kasria principale : la limite entre l'amont et l'aval de la foggara

Hydrométrie de la foggara d'Aoulef Arab

Un mégaprojet ancestral comme celui d'une foggara se réalise par un groupe de personnes. A la sortie de l'eau à la surface libre, elle devient un bien collectif et doit être partagée entre les participants d'une façon équitable. Pour réussir une

telle opération et éviter des éventuels conflits entre les participants, une organisation sociale a été installée durant des siècles. Le principe de partage de l'eau foggara retenue est le suivant : la part d'eau est fonction de la contribution de chaque individu dans la réalisation ou l'entretien de la foggara. Le partage de l'eau d'une foggara des oasis d'Aoulef Arab s'effectue par la méthode volumétrique. Le partage s'effectue au même moment, c'est-à-dire l'irrigation s'effectue en parallèle (Remini, 2011). Dans ce cas, la mesure du débit devient indispensable. Pour les foggaras d'Aoulef Arab, la mesure du débit s'effectue par un débitmètre ancestral appelé Chegfa. C'est une plaque en cuivre de forme circulaire trouée par des ouvertures de dimensions différentes. L'unité de mesure s'appelle Habba (fig. 19). Le spécialiste qui s'occupe des opérations de mesure des parts d'eau s'appelle le Kial El Ma. C'est une personnalité très respectueuse par la population locale. C'est l'élément principal de la distribution d'eau. C'est lui qui mesure les parts d'eau de chaque participant. C'est lui qui mesure le débit de la foggara à chaque événement : rabattement de la nappe, éboulement dans la galerie et nettoyage de la foggara. Kial El Ma possède plusieurs types de chegfas ; les grandes servent à mesurer le débit des foggaras et les débits au niveau des kasria Lakbira. Les petites chegfas mesurent les débits des kasraïtes secondaires et tertiaires. Le Kial El Ma détient un registre confidentiel pour chaque foggara appelé Zemmam. Toutes les données sur les parts d'eau de chaque propriétaire sont enregistrées dans le Zemmam. L'opération de mesure de débits se déroule en présence d'un témoin (Chahed) choisi par la Djamaa du ksar suivant des critères bien définis (l'honnêteté et la sagesse).



Figure 19 :Chegfa utilisée dans les oasis d'Aoulef Arab (photo. Auteurs 2013)

Evolution du nombre des foggaras

Initialement, le nombre des foggaras creusées dans les oasis d'Aoulef Arab s'élève à 17. Ce chiffre a été confirmé par l'enquête que nous avons effectuée sur les lieux des foggaras. Les copropriétaires des foggaras insistent sur les 17 foggaras qui alimentés les oasis d'Aoulef Arab. En 1909, Voinot, a inventorié 15 foggaras vivantes dans les oasis d'Aoulef Arab drainant un débit total de 123 l/s (fig. 20) (Bisson, 1999 ; Cornet, 1952). En se basant sur l'inventaire effectué par l'Agence Nationale de Ressources Hydriques en 1998, huit foggaras sont restées en service mais avec un débit de 78 l/s (fig. 21). En 2011, date du deuxième inventaire effectué par l'Agence Nationale de Ressources Hydriques, quatre foggaras ont été abandonnées. Seulement les foggaras de Bendraou, Ighedjer, Hadj Ahmed et Djenet Esghar sont restées en exploitation drainant un débit de 30 l/s (fig. 22).

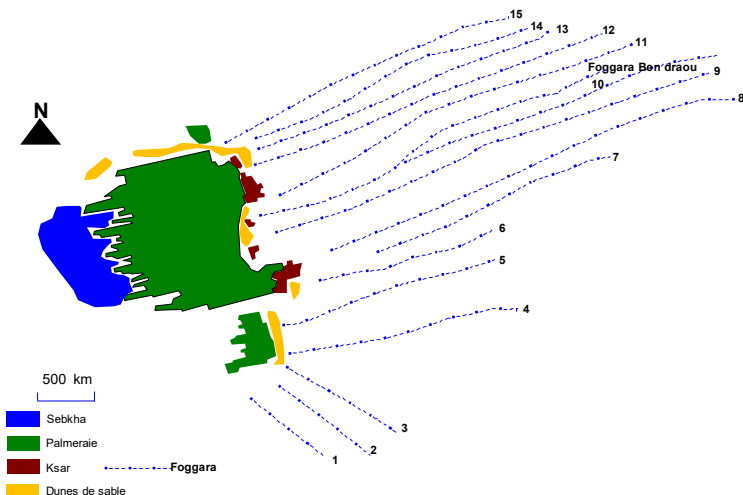


Figure 20 : Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab en 1909 (Voinot, 1909 in Bisson 1999)

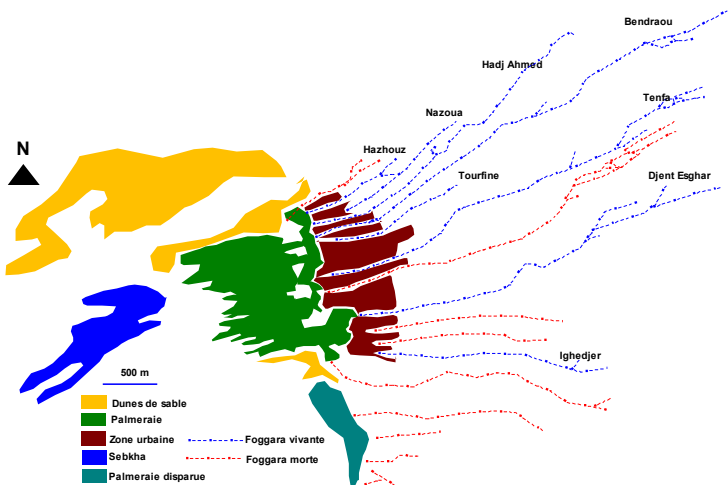


Figure 21 : Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab en 1998 (Données ANRH, Schéma Remini)

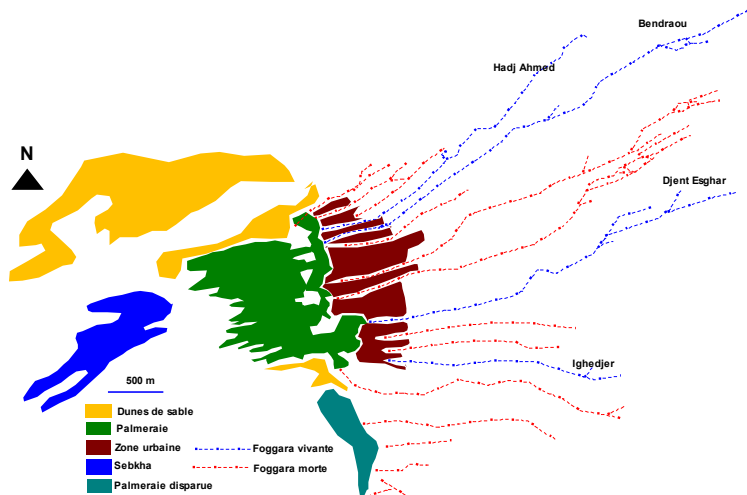


Figure 22 : Foggaras de l'oasis d'Aoulef Arab en 2011 (Données ANRH, schéma Remini)

Evolution du débit des foggaras d'Aoulef Arab

Sur la base de quatre inventaires effectués durant les années : 1904, 1954, 1998 et 2011, nous avons représenté sur la figure 23 l'évolution du débit totale des foggaras dans le temps. Il est intéressant de constater que le débit des foggaras a augmenté durant la période : 1909 -1954 de 83 l/s jusqu'à 123 l/s suite à

l'accroissement de la longueur des galeries dans la zone de drainage. Durant la période : 1954-1998, le débit a diminué de 123 l/s jusqu'à 78l/s malgré l'augmentation et le creusement de 20 km de galerie supplémentaires dans la zone de drainage (fig. 24).

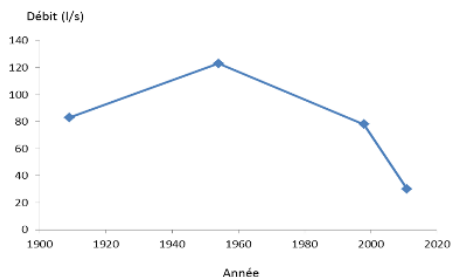


Figure 23 : Evolution du débit des foggars en fonction dans le temps (Données ANRH)

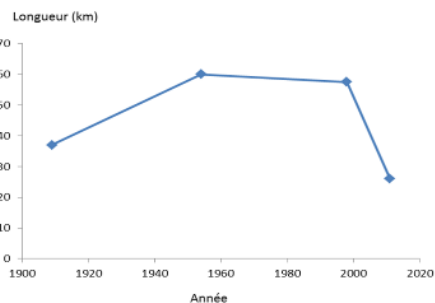


Figure 24 : Evolution de la longueur totale des galeries des foggaras dans le temps (Donnes ANRH)

La particularité des foggaras d'Aoulef Arab

Les oasis d'Aoulef Arab font partie du pays des foggaras (Touat, Gourara et Tidikelt). L'agrandissement des ksours ou l'accroissement de la superficie des palmeraies demande un débit d'eau supplémentaire. Les ksouriens ont inventé diverses techniques d'augmentation du débit. Dans le pays des foggaras, deux méthodes ont été utilisées à savoir, les méthodes de « kraa » et la « tarha » (Remini et al, 2012). La tarha consiste à prolonger le tronçon de la partie drainante à l'amont du puits mer. Le kraa consiste à ajouter des ramifications à la galerie principale dans la partie drainante. Dans les oasis d'Aoulef Arab, les Aoulafis se sont spécialisés dans les deux techniques. Durant plus d'un siècle, aucune foggara n'a été creusée dans les oasis d'Aoulef Arab. Par contre, ils augmenté la capacité de captage des anciennes foggaras par la multiplication des ramifications et le prolongement des galeries. Ils ont créé un véritable réseau de drainage et de captage des eaux (fig. 25).

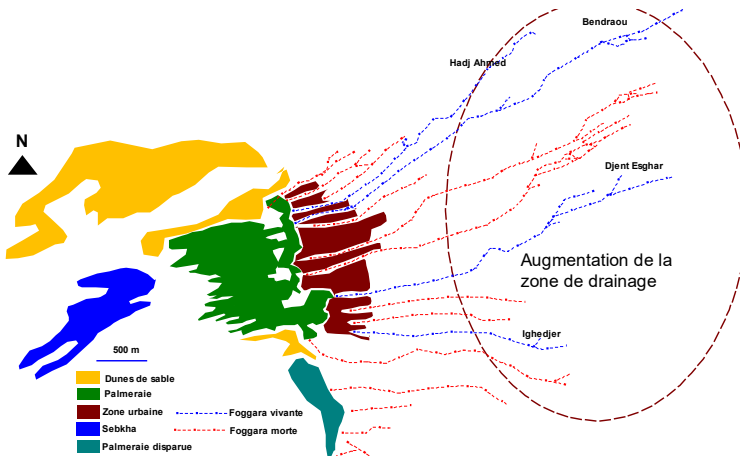


Figure 25 : Augmentation de la zone de drainage pour les foggaras d’Aoulef Arab (Données ANRH, schéma Remini)

Corrélation débit – géométrie de la foggara

Plus la galerie est longue plus le débit est important. Plus exactement ; le débit est une fonction de la longueur de drainage. La figure 26 représente le débit des foggaras en fonction de la longueur de la galerie pour les anciennes foggaras. Nous constatons une corrélation entre les deux paramètres. Ceci prouve qu’il ya un entretien periodique da la galerie. La figure 27 représentant le débit des foggaras en fonction du nombre de puits d’aération confirme bien la relation débit- longueur de la galerie. Par contre, la figure 28 qui représente le débit en fonction de la galerie pour les données de l’inventaire de 1998. Nous constatons l’absence d’une corrélation entre les deux paramètres. Ceci s’explique par la diminution de la section mouillée due au manque d’entretien de la galerie.

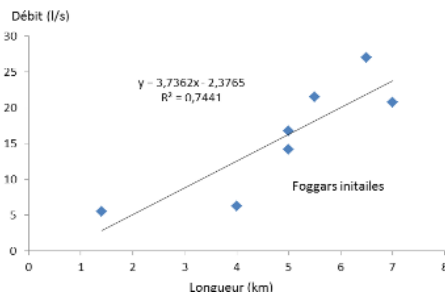


Figure 26 : Corrélation débit – galerie d’une foggara d’Aoulef Arab (Données ANRH)

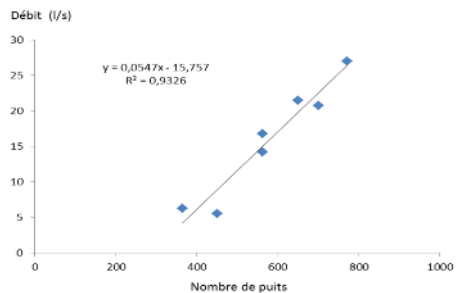


Figure 27 : Corrélation débit – Nombre de puits d’une foggara d’Aoulef Arab (Données ANRH)

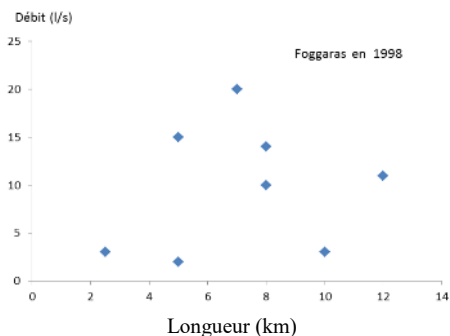


Figure 28 : Corrélation : débit – galerie d'une foggara d'Aoulef Arab (Données ANRH, schéma Remini)

Peut-on abandonner la foggara ?

La foggara peut être considérée comme le plus grand ouvrage hydraulique ancestral. La foggara a prouvé son efficacité, puisqu'il est le seul ouvrage qui a fonctionné plus de 10 siècles dans le Sahara Algérien et plus de 30 siècles en Iran. Il est le seul système hydraulique qui assure à la fois l'alimentation en eau et la protection de l'environnement dans un écosystème aussi fragile comme celui du Sahara. Aucune goutte ne se perd, la foggara assure une irrigation économique. A titre d'exemple, la figure 29 montre une relation entre le débit d'une foggara est fonction de la superficie à irriguer. Ceci prouve qu'il n'y a ni déficit ni perte d'eau.

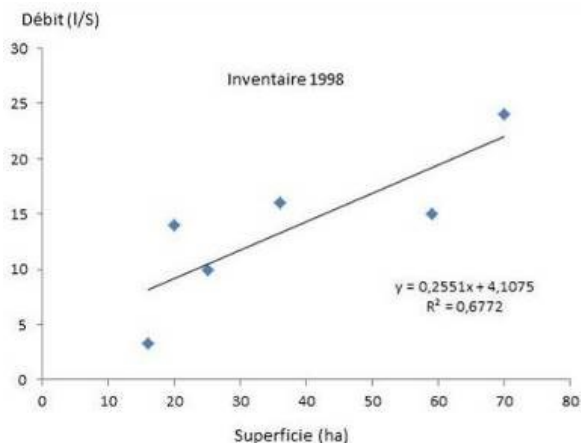


Figure 29 : Corrélation : débit de la foggara – superficie irriguée (Données ANRH, schéma Remini)

Dégradation des foggaras d'Aoulef Arab

Des problèmes socioéconomiques et environnementaux sont à l'origine du déclin des foggaras d'Aoulef Arab. Parmi ces problèmes, on peut citer : l'effondrement des puits et des galeries suite au développement urbain. Des habitations, des routes ont été réalisés au-dessus des galeries. De point de vue social, l'héritage est le problème qui a contribué à la dégradation des foggaras. L'apport des forages captant la nappe du Continental Intercalaire dans la région d'Aoulef Arab au début des années quarante a beaucoup contribué au rabattement de la nappe, ce qui a provoqué l'assèchement de plusieurs foggaras. La dernière foggara asséchée n'est autre que la foggara de Taurfine (fig. 30, 31 et 32). Les conséquences qui découlent de l'abandon d'un tel ouvrage d'art sont néfastes sur les côtés sociale et environnemental : des agriculteurs en chômage, pauvreté de plusieurs familles et l'abandon de plusieurs hectares de terres arables (fig. 33).



Figure 30 : Kasria de la foggara de Taurfine abandonnée (Photo. Auteurs, 2013)



Figure 31 : Madjen de la foggara de Taurfine abandonnée (Photo. Auteurs, 2013)



Figure 32 : Seguias de la foggara de Taurfine abandonnées (Photo. Auteurs, 2013)



Figure 33 : Jardins irrigués par la foggara de Taurfine abandonnés (Photo. Auteurs, 2013)

Le débit des foggaras d'Aoulef Arab a évolué suivant deux étapes : Dans la première phase le débit des foggaras reste constant dans le temps si on suppose qu'il n'y avait ni éboulement ni entretien. Le faible débit capté par les foggaras ne perturbe pas le niveau piézométrique de la nappe albienne. L'apport des forages au début des années quarante a engendré l'abaissement du niveau de la nappe et par conséquent le débit des foggaras a enregistré une régression dans le temps jusqu'à l'assèchement total des foggaras (fig. 34).

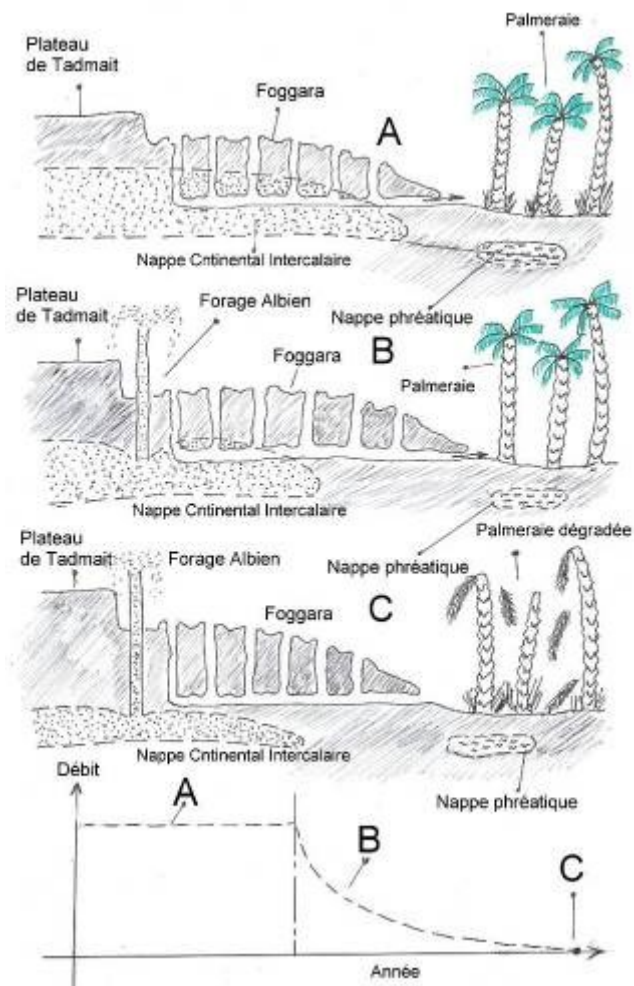


Figure 34 : Evolution du débit de la foggara d'Aoulef Arab

CONCLUSION

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

La foggara demeure toujours une technique d'irrigation efficace dans les régions aride. Elle doit être réhabilitée, puisqu'elle est le seul système hydraulique qui assure à la fois l'alimentation en eau et la protection de l'environnement dans un écosystème aussi fragile comme celui du Sahara.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDIN S. (2006). Qanats a unique groundwater management tool un arid région: the case of Bam region in Iran. International symposium sustainability, Alicante (Spain), January, pp. 24-27.
- ABIDI N. ET REMINI B. (2011). Les foggaras de Touat : la fierté de la population locale. Annales des Sciences et Technologie Vol. 3, N° 2, Décembre, pp. 107-113.
- BISSON J. (1999). Gourara, in Gabriel Camps (dir.), 21 | Gland – Hadjarien, Aix-en-Provence, Edisud (« Volumes », no 21), [En ligne], mis en ligne le 01 juin 2011, consulté le 01 mai 2019. URL: <http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/1770>.

- BOUTADRA Y., REMINI B. (2018). The foggaras of Bouda (Algeria): from drought to food. Applied Water Science. Vol.8, N°162. doi.org/10.1007/s13201-018-0822-7
- CASTANY, G. (1982). Principles and practices of hydrogeology. Editions of Dunod University, 238 p.
- CORNET A. (1952). Essai sur l'hydrogéologie du Grand Erg Occidental et des régions limitrophes : les foggaras“, Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes, tome VIII, pp. 72-122.
- DOB M. E. (2003). Utilisation de l'Albien : avantages et inconvénients. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. Vol. 1, El Oued (Algérie), les 20 et 21 mai, 79 p.
- DUBOST D. (2002). Ecologie, Aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Editions CRSTRA (Algérie), 423 p.
- GOBLOT H. (1979). Les Qanats : une technique d'acquisition de l'eau. Edition de l'EHESS, 236 p.
- REMINI B. et ACHOUR B. (2013). The foggaras of In Salah (Algeria): the forgotten heritage, Larhyss Journal, N°15, September, pp. 85-95
- REMINI B. (2007). La problématique de l'eau en Algérie, Edition Office des Publications Universitaires (Algérie), 140 p.
- REMINI B., ACHOUR B. ET ALBERGEL J. (2011). Timimoun's foggara (Algeria): An heritage in danger DOI: 10.1007/s12517-010-0139-9 Arabian Journal of Geosciences (Springer), Vol. 4, N° 3, pp. 495- 506
- REMINI B., ACHOUR B. ET KECHAD R. (2012). Traditional techniques for increasing the discharge from qanats in Algeria. DOI: 10.1007/S10795-012-9125-6, Journal of irrigation and drainage systems (Springer). Vol. 25, N° 4, pp. 293-306
- REMINI B., ACHOUR B., KECHAD R., 2014. The collecting of groundwater by the qanats: a millennium technique decaying, Larhyss Journal, N°20, Décembre, pp. 259-277