



## **LES FOGGARAS DU SAHARA : LE PARTAGE DE L'EAU L'OEUVRE DU GENIE OASIEN**

### **THE FOGGARAS OF SAHARA: THE SHARING OF WATER THE WORK OF OASIAN GENIUS**

***REMINI B.***

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 pour la première fois l'un des secrets de la foggara. Il s'agit de la quantification des parts d'eau des ayants droit. En effet, au cours des missions de travail effectuées dans les oasis du Sahara Algérien depuis l'an 2000 jusqu'au 2019, nous nous sommes intéressé à l'art de mesures des débits d'eau d'une foggara par des méthodes ancestrales. De point de vue hydraulique et social, les résultats obtenus pour cette étude sont impressionnants. L'outil de mesure utilisé dans les oasis à foggara est basé sur le principe des écoulements par orifice. Deux débitmètres ont été inventés et utiliser dans des régions différentes du Sahara. Deux modes de réseaux de distribution des eaux de la foggara ont été mis en évidence : volumétrique et horaire, chacune avec son propre outils de mesures. Pour la distribution volumétrique, l'irrigation s'effectue en parallèle. Par contre, pour la distribution horaire, l'irrigation est en série.

**Mots clés :** Foggara volumétrique, foggara horaire, partage de l'eau, écoulement par orifice.

## **ABSTRACT**

This paper evokes for the first time one of the secrets of foggara. This is the quantification of the water shares of the rights holders. Indeed, during the work missions carried out in the oases of the Algerian Sahara from the year 2000 until the year 2019, we were interested in the art of measurements of the flow of water of a foggara by ancestral methods. From a hydraulic and social point of view, the results obtained for this study are impressive. The measuring tool used in foggara oases is based on the principle of orifice flow. Two flowmeters were invented and used in different regions of the Sahara. Two modes of foggara water distribution networks have been highlighted: volumetric and hourly, each with its own measurement tools. For volumetric distribution, irrigation is carried out in parallel. On the other hand, for the hourly distribution, the irrigation is in series.

**Key words:** Volumetric foggara, hourly foggara, water sharing, orifice flow.

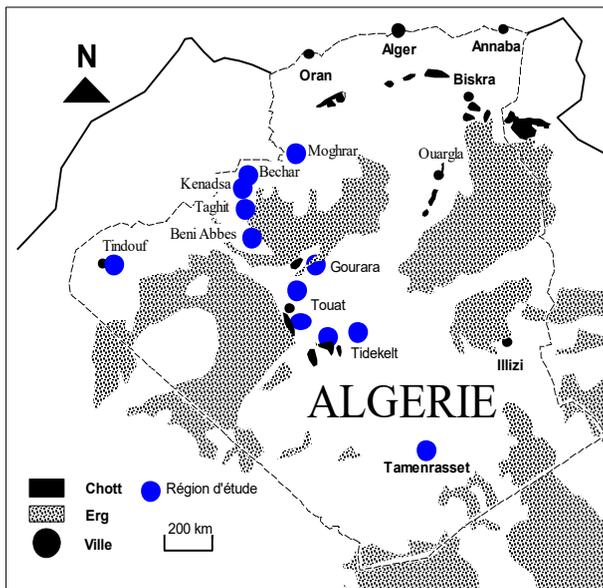
## **INTRODUCTION**

Evoquer le sujet des foggaras du Sahara Algérie, c'est toujours de découvrir une partie du génie oasisien. Durant 18 ans de travail et de déplacements dans les oasis du Sahara Algérien à la découverte des foggaras, nous avons été impressionnés par l'art de partage de l'eau des foggaras. Participer à une opération de jaugeage du débit d'une foggara ou à une séance de mesures des parts d'eau des ayants droit était toujours pour nous un événement inoubliable et vous permet de connaître la vraie valeur de l'eau dans ces régions arides. Partant du principe fondamental utilisé dans ces milieux arides qui est le Sahara, la part d'eau est fonction de la contribution à l'entretien ou à la réalisation de la foggara. Participer au creusement d'une foggara, un projet qui dure plusieurs années afin d'extraire l'eau cachée dans les profondeurs du sous-sol et de le drainer vers la surface du sol. La foggara ; un ouvrage hydraulique ancestral conçu par une galerie souterraine et une multitude de puits d'aération qui permet à l'eau de s'écouler du sous-sol vers la surface du sol par gravité et sans dépenser d'énergie (Remini, 2017). Grâce à sa simplicité, la foggara est considérée comme le système hydraulique le plus réussi dans les régions arides de la planète. Plus de 50 pays ont adopté ce système hydraulique de génie basé uniquement sur une galerie souterraine légèrement inclinée (Remini et al, 2014a). Ce méga-ouvrage ancestral ne peut être que l'œuvre d'un travail collectif. Une fois achevé, l'eau souterraine qui s'écoule sur la surface du sol

devienne la propriété d'un groupe de personne qui ont exécuté le projet. L'eau de la foggara est un bien collectif qui est soumise au partage équitable entre les copropriétaires. A cet effet, un procédé de mesure a été mis en évidence pour la quantification des parts d'eau (Remini et al, 2014b). C'est l'objectif de notre étude qui consiste à montrer l'efficacité de l'hydrométrie ancestrale dans le partage de l'eau entre les copropriétaires de la foggara.

## REGION D'ETUDE ET METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Depuis l'an 2000 jusqu'au 2019, nous avons sillonné presque toutes les oasis à foggara. En commençant par le berceau des foggaras à savoir les régions de Touat, Gourara et Tidikelt. Le plus grand nombre de foggaras se localise dans cette région qui prend la forme d'un croissant (fig. 1) et qui se trouve à environ 1500 km au sud-ouest d'Alger. D'autres foggaras nous les avons localisées dans la région de la Saoura. Quelques foggaras ont été localisées dans le sud et le sud-ouest d'Algérie comme Tamenrasset, Moghrar et Tindouf (fig. 1).



**Figure 1 : Situation des foggaras étudiées (Remini, 2019)**

Le long de ces déplacements sur les sites des foggaras, nous avons effectué des enquêtes auprès de la population ksourienne et les copropriétaires des foggaras. Nous avons rencontré et discuter avec une dizaine de Kial El Ma sur les opérations de partage des eaux. Nous avons eu la chance d'assister à quelques

opérations d'hydrométrie effectuées dans les oasis de Touat, Gourara et Tidékelt.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### Distribution et partage de l'eau d'une Foggara

La foggara est un puits horizontal (Remini, 2017). Equipée d'une multitude de puits verticaux qui sont destinés comme accès à la galerie et comme des ouvertures d'aération (fig. 2). La longueur de la galerie peut dépasser les 17 km et les puits d'aération peuvent atteindre le nombre de 900 (Remini, 2011). Le système foggara est divisé en deux parties :

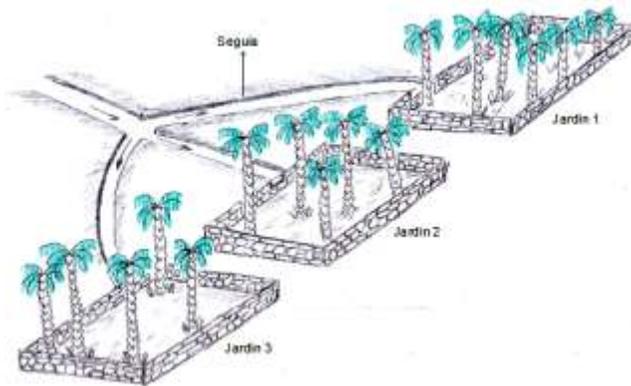
- Drainage et transport
- Distribution

Si la partie Drainage et transport est commune pour toutes les foggaras existantes dans le Sahara algérien, cependant la partie distribution constituée par son réseau de seguias présente deux modes. Il s'agit d'une distribution par unité de volume (foggara volumétrique) et une distribution par unité de temps (foggara horaire).

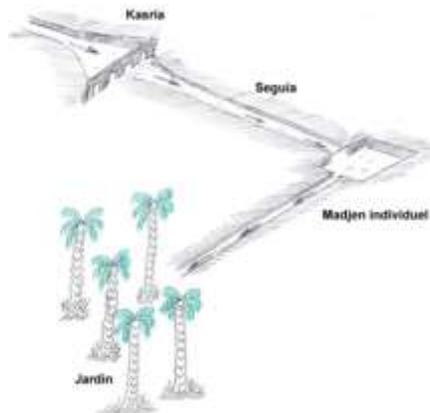


Figure 2 : Alignement des puits d'aération d'une foggara de l'oasis de Tinerkouk (Remini, 2019)

La différence entre la foggara Horaire et la foggara volumétrique réside donc à l'aval de la galerie, au niveau du réseau de distribution d'eau. Pour ces deux foggaras, la gestion de l'eau obéit à des lois coutumières de répartition de l'eau. La part d'eau de chaque copropriétaire est déterminée en fonction du volume des travaux fournis lors de la réalisation ou de l'entretien de la foggara. Par contre le mode de répartition des parts d'eau est différent pour les deux foggaras. Concernant la foggara volumétrique, les oasisiens pratiquent le mode de partage volumétrique ; chaque abonné reçoit sa part d'eau d'irrigation par unité de volume. Dans ce cas, l'irrigation des jardins peut s'effectuer en même temps ; on parle d'une irrigation parallèle (fig. 3). Dans ce cas, le jardin reçoit son eau directement de la kasria (fig. 4).



**Figure 3 : Schéma du type d'irrigation en parallèle (Schéma, Remini, 2019)**



**Figure 4 : Cheminement de l'eau de la kasria vers le madjen individuel (Schéma, Remini, 2019)**

Le réseau de distribution d'une foggara volumétrique est beaucoup plus compliqué mais beaucoup plus sociale que celui de la foggara horaire. Le réseau dans ce cas est équipé de peignes partiteurs (kasrias), de petits madjens et de plusieurs kilomètres de seguias (fig. 5 et 6). Pour ce type de réseau, le madjen est plutôt individuel, c'est-à-dire chaque propriétaire possède son propre madjen. Il est situé sur le point le plus élevé du jardin pour obtenir un dénivelé afin de permettre à l'eau de s'écouler par gravité jusqu'à la plante.

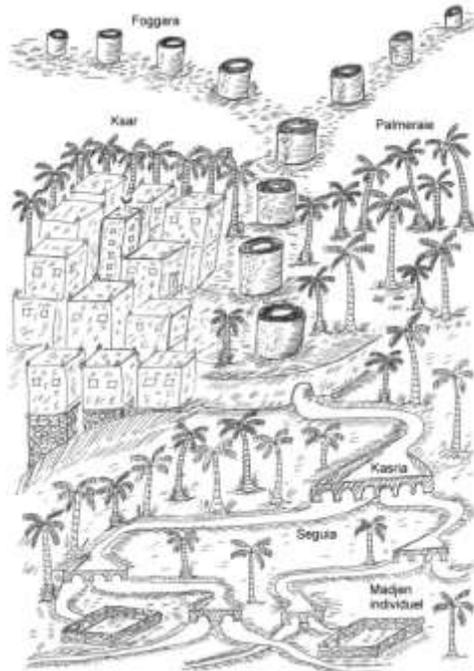


Figure 5 : Schéma d'un réseau de distribution d'une foggara volumétrique (Schéma Remini, 2015)

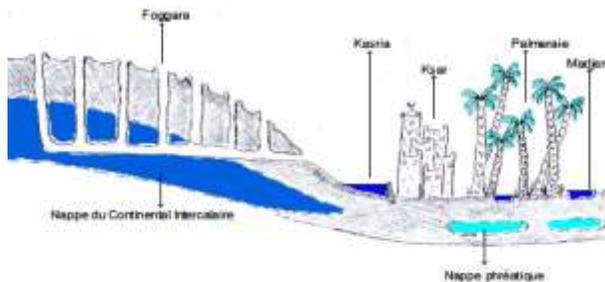
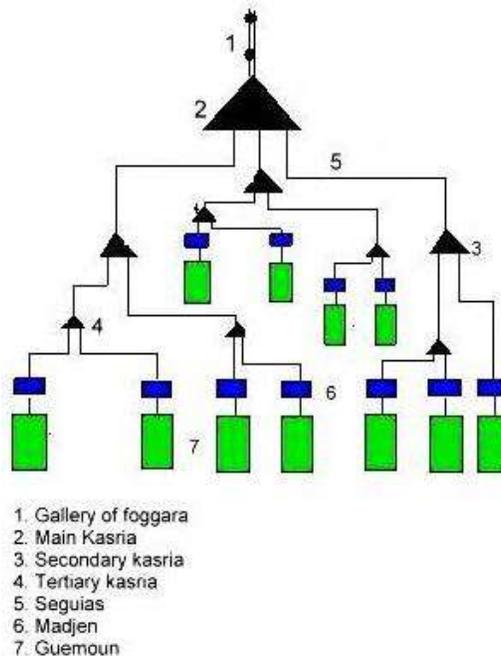


Figure 6 : Schéma d'une coupe longitudinale d'une foggara Volumétrique (Schéma, Remini, 2019)

Contrairement au madjen collectif de la foggara horaire qui se situe à l'entrée de la palmeraie, les petits madjen de la foggara volumétrique se situent à l'intérieur des jardins. Le dimensionnement des madjens individuels est réalisé de telle façon que son remplissage s'effectue en 24 h. Le réseau de seguias pour le cas d'une foggara Horaire, présente les mêmes sections. Par contre, le dimensionnement des seguias du réseau de la foggara volumétrique dépend du dimensionnement des madjens. C'est pour cette raison que les seguias du réseau d'une foggara volumétrique présente différentes sections. Le réseau de distribution d'une foggara volumétrique est triangulaire (fig. 7). Les madjens reçoivent leurs parts d'eau au même moment. Une fois l'eau s'écoule de la galerie et arrive au niveau de la kasria principale, l'eau est repartit entre le nombre de familles propriétaires (fig. 8). Chaque quantité d'eau s'écoule dans une seguia, une fois elle atteint la kasria secondaire (fig. 9 à 14), elle sera repartit entre le nombre de propriétaires et ainsi de suite jusqu'à la satisfaction totale des propriétaires. Chaque jardin reçoit sa part d'eau qui sera stockée dans son propre madjen avant qu'elle soit destinée à l'irrigation (fig. 15). Ce type de foggara se trouve dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt (fig. 23)



**Figure 7 : Schéma d'un réseau de distribution d'une foggara volumétrique (schéma, Remini, 2015)**



**Figure 8 : Kasria principale de la foggara Meghier de l'oasis de Timimoun (Photo. Remini, 2008)**



**Figure 9 : Kasria secondaire de la foggara de Meghier de l'oasis de Timimoun (Photo. Remini, 2007)**



**Figure 10 : Kasria principale de la foggara de l'oasis de Guentour (Timimoun) (Photo. Remini, 2019)**



**Figure 11 : Kasia secondaire de la Faggora de l'oasis de Guentour (Timimoun)  
(Photo. Remini, 2019)**



**Figure 12 : Foggaras principale et secondaire de la foggara de l'oasis de Guentour  
(Remini, 2019)**



**Figure 13 : Kasria Multiple d'une foggara de l'oasis de Timimoun (Remini, 2019)**

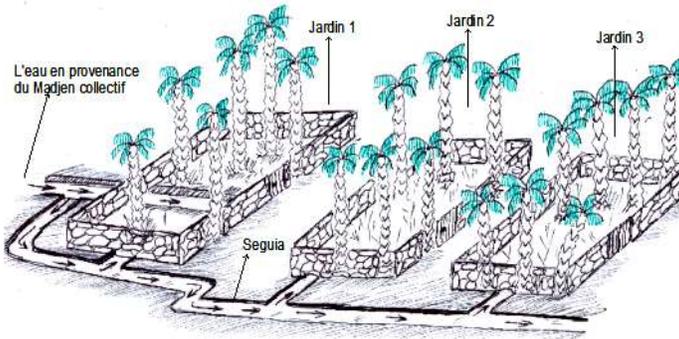


**Figure 14 : Kasrias de la triple foggara de l'oasis d'Ouled Said (Photo. Remini, 2019)**

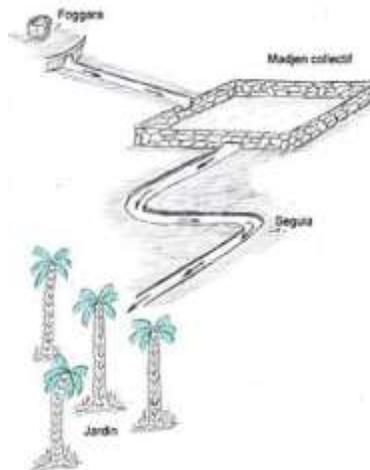


**Figure 15 : Madjen individuel de forme rectangulaire de la Foggara de l'oasis de Feraoun (Photo. Remini, 2019)**

Pour la foggara Horaire, chaque abonné reçoit sa part d'eau par unité de temps. Dans ce cas la distribution d'eau est échelonnée, elle s'effectue tour à tour (nouba), l'irrigation s'effectue jardin après jardin, Dans ce cas, on parle de l'irrigation en série ou linéaire (fig. 16). Chaque ayant droit aura son temps d'irrigation à une certaine fréquence. Chaque jardin reçoit sa part d'eau directement du Madjen collectif (fig. 17).



**Figure 16 : Schéma d'une irrigation en sérié ou linéaire (Schéma, Remini, 2019)**



**Figure 17 : Schéma de l'acheminement de l'eau d'un Madjen Collectif vers la palmeraie (Schéma, Remini, 2019)**

Le réseau de distribution d'une foggara horaire est un réseau ramifié et simplifié (fig. 18, 19 et 20). Il est équipé d'un grand madjen central collectif rattaché à plusieurs kilomètres de canaux d'irrigation (Seguias) (fig. 21). La capacité de ce dernier est dimensionnée de telle façon à ce que son remplissage s'effectue en 24 heures.



Figure 18 : Schéma d'un réseau ramifié d'une foggara horaire (Schéma Remini, 2017)

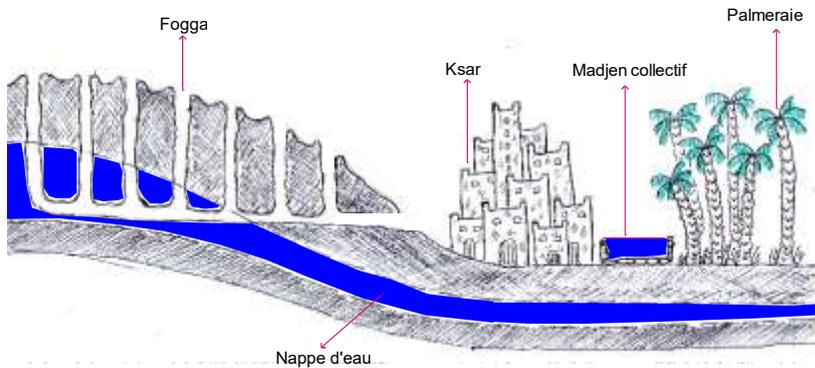
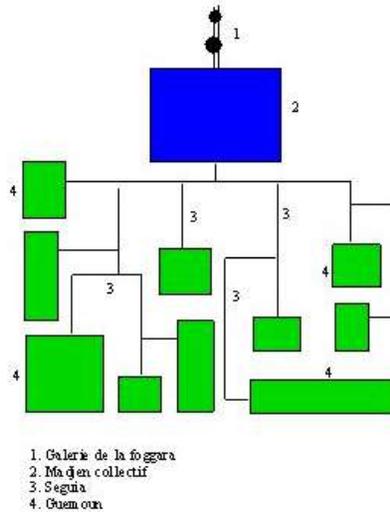


Figure 19 : Schéma d'une coupe longitudinale d'une foggara Horaire (Schéma Remini, 2019)



**Figure 20 : Schéma d'un réseau de distribution d'une foggara Horaire (Schéma, Remini, 2016)**



**Figure 21 : Madjen collectif de la foggara de Moghrar (Remini et Achour, 2017)**

Les seguias du réseau de distribution de la foggara Horaire se trouvent à l'extérieur des jardins; elles se trouvent au milieu de la ruelle ou à côté de la ruelle (fig. 22). Le but est de faciliter les tours d'irrigation entre les propriétaires des jardins. Lorsque le tour d'un propriétaire (A) arrive à sa fin, le prochain propriétaire (B) ferme la 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.



Figure 22 : Réseau de seguias de la foggara de Boukais (Photo. Remini, 2013)

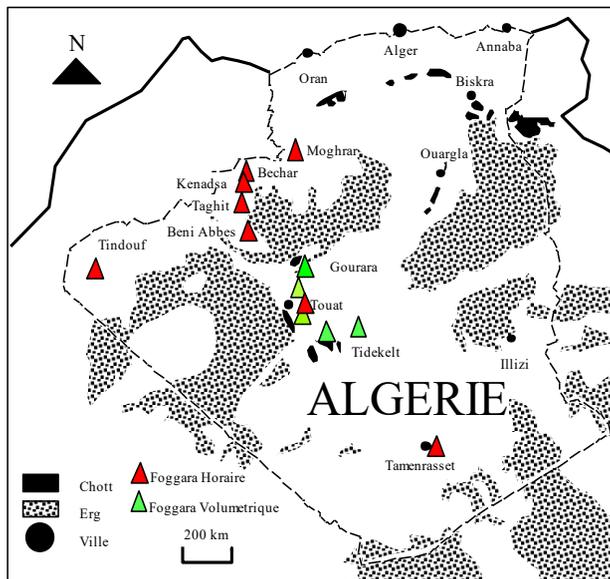


Figure 23 : Situation des foggaras dans le Sahara Algérien (Remini, 2019)

Ce type de foggara (horaire) on la retrouve dans les oasis de la Saoura, Mogharrar, Taghit, Beni Abbas, Kenadsa, Tindouf, Tamanrasset. Une seule foggara horaire se trouve dans les oasis de Touat, il s'agit de la foggara d'Annou (fig. 23).

## **Quantification de la part d'eau**

Deux procédés de mesures des parts d'eau des ayants droits ont été mis en évidence par les oasiens. Que ce soit pour la foggara volumétrique ou pour la foggara horaire, le procédé est basé sur la théorie des écoulements par orifices. Pour la foggara volumétrique, le partage de l'eau entre les copropriétaires s'effectue par unité de volume. Chaque copropriétaire reçoit sa part d'eau en unité de volume. L'unité de mesure utilisée est la Habba qui correspond à la section de l'anneau d'un noyau de dattes. Appelé Louh dans les oasis de Gourara et Hallafa dans les oasis de Touat et Tidikelt, l'outil de mesures est une plaque en cuivre perforée par des ouvertures de différents diamètres. Il est à noter que chaque région a son propre outil de jaugeage avec ces propres caractéristiques. C'est ainsi que le Louh de la région de Gourara qui est une petite plaque en cuivre mais contient deux rangées de trous (fig. 24). La Hallaffa de la région de Touat qui est une longue plaque de cuivre contient une seule rangée de trous (fig. 25). La Hallalfa de la région de Tidikelt est plaque cylindrique et possède deux rangées de trous de différents diamètres (fig. 26).

A titre d'exemple, dans l'oasis de Timimoun, on utilise une plaque rectangulaire en cuivre de dimensions 57 cm×18 cm. La plaque est percée de trous de plusieurs ouvertures de différents diamètres dont l'unité de mesure varie d'une oasis à l'autre. Dans les oasis de Timimoun centre, on utilise le Tmen au lieu de Habba égal environ à 0,0416 l/s. Dans les oasis d'Ouled Said (Timimoun), l'unité de mesure utilisée est la Habba qui est égal à 2,5 l/min.



**Figure 24 : Louh, utilisé dans les oasis de Gourara (Remini, 2008)**



**Figure 25 : Hallafa (3 plaques) utilisées dans l'oasis Igzmir dans la région de Touat (Photo. Fev 2016)**



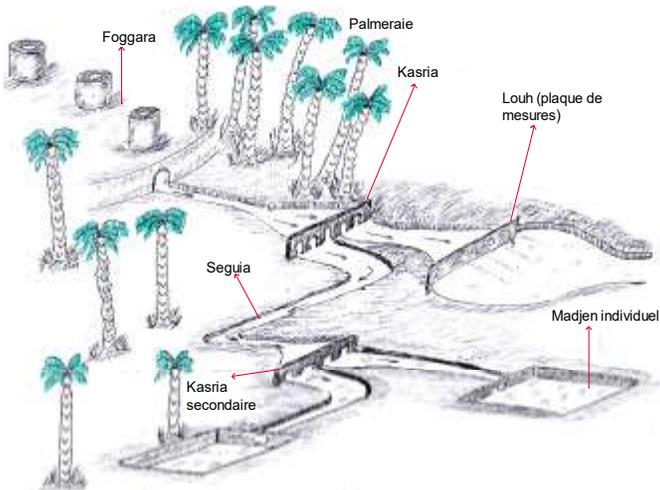
**Figure 26 : Hallafa utilisée dans les oasis d'Igostene depuis 1825 (Photo. Abidi Saad, 2016)**

Pour la mesure d'un débit d'eau, on place la plaque perpendiculaire à la direction de l'écoulement dans la seguia. L'eau s'écoule à travers les ouvertures de la kasria. Le chenal de cet écoulement est dirigé vers la plaque de cuivre et a été façonné par l'argile. L'eau s'écoule à travers les orifices. En bouchant un par un les orifices par l'argile jusqu'à l'obtention d'un niveau constant (Chaque plaque est mentionnée par un repère). Ceci implique que l'écoulement est permanent; le débit entrant est égal au débit sortant (fig. 27 et 28). Il reste seulement à compter le nombre de trous ouverts. Le nombre obtenu est la part d'eau du propriétaire. Chaque trou ouvert est égal à une Habba (unité du débit). C'est cette quantité d'eau qui sera destinée à l'irrigation du jardin. C'est avec ce volume que la seguia et le madjen seront dimensionnés. La même opération de jaugeage a été menée dans une oasis de Tidikelt. Le principe et les étapes du

déroulement de cette opération sont les mêmes, sauf que la forme de la plaque de jaugeage est différente (fig. 29 et 30).



**Figure 27 : Opération de jaugeage de la foggara d'une oasis de Timimoun (photo. Remini, 2007)**



**Figure 28 : Schéma d'une opération de jaugeage pour une foggara volumétrique (Schéma, Remini, 2019)**



Figure 29 : Opération de jaugeage d'une foggara dans une oasis de Tidikelt

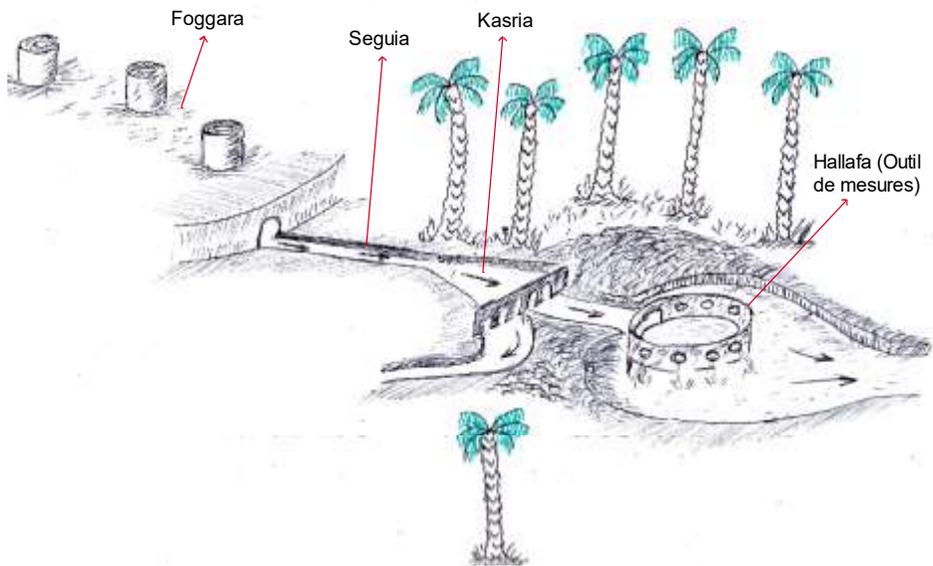


Figure 30 : Schéma d'une opération d'hydrometrie dans une oasis de Touat (Schéma, Remini 2019)

En utilisant les lois des écoulements à travers un orifice pour un écoulement permanent :

$$Q=C_d \times S_o \sqrt{2gh}$$

Equation déduite du théorème de Bernoulli.

$Q$  : débit ( $m^3/s$ )

$S_0$  : Section de l'orifice ( $m^2$ )

$C_d$  : Coefficient du débit

$g$  : accélération de pesanteur ( $m/s^2$ )

Pour les oasiens, ( $h$ ) est fixe. Chaque plaque de jaugeage a son propre ( $h$ )

On pose  $A = C_d \sqrt{2gh}$  : Coefficient caractéristique de la plaque de jaugeage

Dans cas, le débit est égal à :  $Q = AxS_0$ , donc c'est  $S_0$  qui définit le débit de chaque part d'eau.

Le débit à travers un nombre d'orifices ( $n$ ) est  $n = Q/A$

Chaque section d'orifice correspond à 1 Habba

Le diamètre de l'orifice et la hauteur ( $h$ ) de la Hallafa (plaque de jaugeage) varient d'une oasis à l'autre. C'est pour cette raison que l'unité de volume Habba dépend du choix du diamètre et de la hauteur.

Pour quantifier les parts d'eau des ayants droits d'une foggara horaire, on utilise différentes techniques de quantification des parts d'eau, mais la plus utilisée est la Tassa ou le Mordjen. Cette montre à eau est basée sur le principe des écoulements par orifice, mais dans ce cas, il s'agit d'un écoulement non permanent contrairement à la foggara volumétrique où l'écoulement est supposé permanent. Le système de mesures est composé de deux seaux en cuivre (Fig. 31 et 32). Le plus grand est posé à terre et rempli d'eau. Le deuxième plus petit gradué et troué au fond. On pose ce dernier sur la surface libre de l'eau du grand seaux (Fig. 33). L'eau s'écoule à travers l'orifice et une fois la tasse se remplit d'eau elle descend sur le fond du grand récipient. Dans ce cas, il s'agit de déterminer le temps du remplissage de la capsule (récipient demi sphérique), c'est-à-dire lorsqu'elle est émergée par l'eau, on compte une part d'eau d'irrigation.



**Figure 31 : Tassa ; la montre à eau utilisée dans l'oasis de Moghrar pour la mesure des parts d'eau des agriculteurs (photo. Remini, 2014)**



**Figure 32 : Principe de mesure par la montre à eau (Photo. Remini, 2014)**



**Figure 33 : Schéma des étapes de mesures des parts d'eau d'une foggara Horaire par la montre à eau (Schéma Remini, 2019)**

Ce système de mesures est très utilisé dans les oasis de la Saoura, Tamanrasset, Tindouf et Moghrar (fig. 27). Le principe de cet outil de mesures est basé sur la détermination du temps de remplissage du récipient de forme demi-sphérique à travers un orifice situé dans le fond de la capsule.

En partant de l'équation :  $Q=C_d \times S_0 \sqrt{2gh}$

Après un temps de remplissage (dt), il y a un débit de remplissage :

$$Q=dw/dt \text{ HO}$$

L'égalité des deux équations, nous donne :  $T= \frac{1}{cd.so \sqrt{2g}} \int_0^H S(h) \frac{dh}{\sqrt{h}}$

Pour la foggara, on détermine l'unité de temps de remplissage :

$$T= K \int_0^H S(h) \frac{dh}{\sqrt{h}}$$

Pour la foggara volumétrique, on détermine le débit d'irrigation :

$$Q=Cd \times S0 \sqrt{2gh}$$

Pour la foggara Horaire, on détermine le temps d'irrigation :

$$T= K \int_0^H S(h) \frac{dh}{\sqrt{h}}$$

Il est intéressant de remarquer que  $T=f(C_d, S_0)$ , ce qui veut dire que chaque oasis possède sa propre Tassa (montre à eau). Le temps de remplissage de la Tassa qui correspond à la part d'eau d'une irrigation varie d'une oasis à l'autre.

Lors de nos missions sur le terrain, nous avons constaté que cette méthode a été utilisée dans les oasis qui possèdent des foggaras horaires comme la Saoura, Moghrar, Tamanrasset et Tindouf, qui utilisent (fig. 23).

#### **Le Madjen et le nombre 24**

Pour la foggara horaire, le stockage de l'eau s'effectue dans un madjen collectif qui est situé à l'extérieur des jardins, généralement à la rentrée de la palmeraie sur le point le plus élevée afin d'assurer un écoulement gravitaire (fig. 34). Pour la foggara volumétrique, le stockage des eaux s'effectue dans des petits madjens (individuels) de dimensions différents situés à l'intérieur des jardins.

Cependant, il existe une relation entre le nombre 24 et le dimensionnement des deux réseaux. Le madjen collectif est dimensionné de telle façon à ce qu'il se remplisse pendant 24 h. Les madjens individuels d'une foggara volumétrique sont dimensionnés pour que le temps de remplissage total doive être égal à 24h. La différence entre les deux réseaux (volumétrique et horaire) réside dans le principe de stockage des eaux. Pour la foggara horaire, les quantités d'eau des bénéficiaires sont regroupées dans le madjen collectif et que leur utilisation s'effectue tour à tour. Cette quantité d'eau est traduite par une durée d'irrigation. Ce temps est mesuré par la montre à eau (Tassa) ou la montre à soleil (El Hadjra) qui sont gradués sur le nombre 24. Chaque ayant droit possède une durée d'irrigation qui dépend de la contribution de l'individu dans la gestion de la foggara (entretien et construction). La somme des durées d'irrigation de l'ensemble des bénéficiaires doit être égale à 24 heures. Pour ce type de réseau, les seguias sont de sections constantes et sont réalisés en dehors des jardins dans les ruelles pour faciliter la bonne gestion des périodes d'irrigation des bénéficiaires (fig. 35).



**Figure 34 : Madjen collectif de la foggara de l'oasis de Boukais (Saoura) (Photo. Remini, 2014)**



**Figure 35 : Seguias de mêmes dimensions dans le réseau de la foggara de Boukais (Remini, 2014)**

En contrepartie, pour une foggara volumétrique, les quantités d'eau des bénéficiaires sont stockées dans des madjens individuels situés sur le point le plus élevé des jardins. Ces madjens sont dimensionnés en fonction du volume d'eau en provenance de la foggara pendant 24 heures. Ce volume est déterminé en fonction de la contribution de chaque individu dans la gestion de la foggara. Dans ce cas, les madjens individuels sont de dimensions différentes (fig. 36 à 39).



**Figure 36 : Madjen individuel d'une foggara d'Ouled Said (Photo. Remini, 2008)**



**Figure 37 : Madjen individuel de la foggara de Feraoun (Photo. Remini, 2019)**



**Figure 38 : Madjen individuel de la foggara de Geuntour (Photo. Remini, 2019)**



**Figure 39 : Madjen individuel de la foggara de Guentour (Photo. Remini, 2019)**

A ce titre, les seguias sont dimensionnées pour véhiculer ces quantités d'eau. Dans ce cas, les seguias du réseau de distribution d'une foggara volumétriques présentent des sections différentes (fig. 40).



**Figure 40 : Dimensions différentes des seguias pour le réseau d'une foggara volumétrique (Cas de l'oasis de Timimoun) (Photo. Remini, 2019)**

Pour ce type de foggara, le procédé de mesures des débits utilisé est la Hallafa (ou le Louh). L'unité de débit est la Habba dont la valeur diffère d'une région à l'autre. Les sous multiples de cette unité ont été obtenus sur la base du nombre 24 (tableau 1).

**Tableau 1 : Les sous multiples de Habba Z'rig de la foggara In Ghar (Tidikelt) (Remini and Ghachi, 2018)**

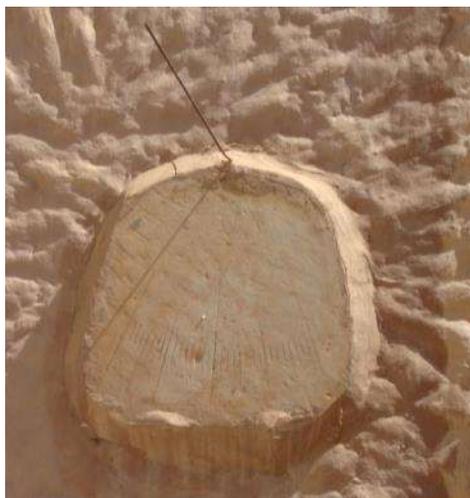
Fraction d'el habba	Sous multiples		
	Nombre de Kirat	Nombre de Kirat-El-Kirat	Nombre de kirat –El- kirat-El-kirat
1/24	1	24	576
1/12	2	48	1152
1/8	3	72	1728
1/6	4	96	2304
¼	6	144	3456
1/3	8	192	4608
½	12	288	6912
2/3	16	384	9216
1	24	576	13824

### **Autres outils de quantification des parts d'eau**

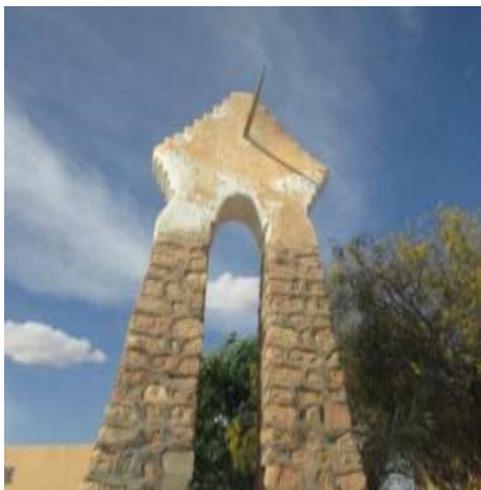
En plus de la méthode de Mordjen (ou Tassa), d'autres techniques ancestrales de quantification des parts d'eau ont été utilisées dans les oasis que nous avons visitées, nous citerons les plus répondues :

#### ***Montre à Soleil***

Utilisée en plein jour, El Hadjra (la pierre) ou Saat Echems (la montre à soleil) réalisée par une pierre plate gravée est basée sur le principe d'une montre. La montre contient de 32 graduations suivant un demi-cercle avec un clou (ou un bâton de bois) placée au centre du cercle. Le temps que met l'ombre du clou entre deux segments (qui représente 5mn) représente une part d'eau d'irrigation (fig. 41, 42 et 43)). Le nombre de graduation dépend des efforts fourni par l'oasien. Une graduation correspond à une part d'eau qui représente exactement le temps de remplissage de la Tassa. Le fonctionnement de la montre à soleil (El Hadjra) est basé sur le déplacement de l'ombre du bâton. Un tel procédé n'est pas utilisable pendant la nuit et même en période d'hiver.



**Figure 41 : El Hadjra utilisée dans l'oasis de Moghrar Tahtani (Photo. Remini, 2013)**



**Figure 42 : Une statue de Saat Essemch au centre-ville de la commune de Moughel (Photo. Remini, 2013)**



**Figure 43 : Saat Essemch, utilisée depuis des siècles dans le ksar de Moughel pour Moughel Mars 2013**

- ***Méthode du bâton gradué***

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

### **Lieux de mesures des parts d'eau**

La quantification des parts d'eau de chaque propriétaire s'effectue dans des endroits bien précis. Pour la foggara volumétrique, la mesure des débits se déroule au niveau de la kasria. Pour la foggara Horaire, le lieu privilégié de partage des eaux s'effectue dans une placette de ksar.

A titre d'exemple, dans l'oasis de Timimoun, au niveau de la foggara d'El Meghier, la quantification des parts d'eau s'effectue au niveau des kasrias. La kasria secondaire « Yahia » de la foggara d'El Meghier est un endroit de jaugeage. La kasria Yahia possède 17 ouvertures et alimente 79 Guemouns (jardins) est le lieu de mesures des débits d'eau de chaque ayants droit (Remini and Achour, 2008) (fig. 44).



**Figure 44 : Kasria (Yahia) de la foggara d'El Meghier ; un lieu jaugeage du débit d'eau (Photo. Remini, 2008)**

Pour la foggara horaire, la quantification de chaque part d'eau s'effectue au niveau du madjen collectif. Pour la foggara El Foukania de Moghrrar, le madjen de forme d'un bassin rectangulaire de dimensions de 6 m de cote et de 1,2 m de hauteur. Il est équipé d'une ouverture au fond qui permet à l'eau de s'écouler vers les seguias (fig. 45).

La fermeture de l'ouverture s'effectue à l'aide de Mohguen (un bouchon en bois entouré d'une portion de tissu) attaché à un bâton d'environ 1,5 m pour faciliter la tâche à l'oasien (fig. 46).



Figure 45 : Madjen collectif de la foggara El Foukania de Moghrar Un lieu de quantification des parts d'eau en utilisant la methode du bâton gradué (Photo. Remini, 2011)

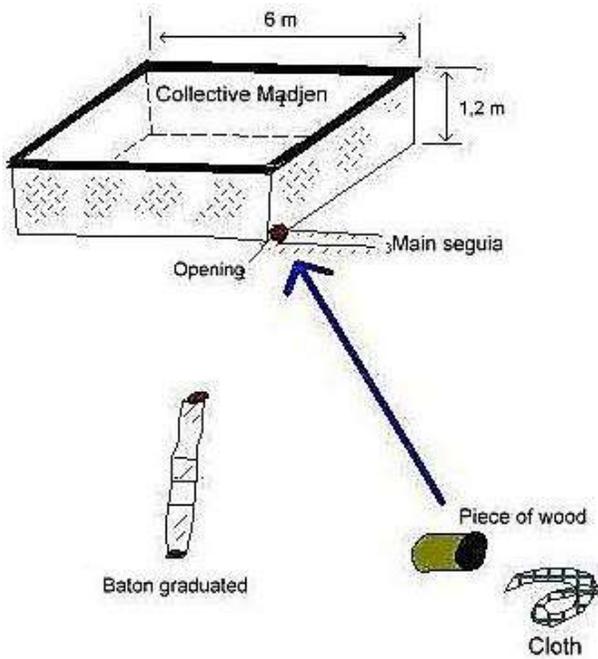


Figure 46 : Schéma d'un Madjen collectif avec ses accessoires

## **DISCUSSION**

C'est dans les milieux arides que l'eau retrouve sa vraie valeur. Des efforts colossaux sont déployés pour puiser l'eau dans les profondeurs du sous-sol. C'est dans ce milieu sec avec climat hostile à la vie que la vie sociale se maintient et se développe. Le travail collectif devient indispensable pour surmonter les difficultés quotidiennes. Creuser une foggara, d'une galerie de plusieurs kilomètres et d'une centaine de puits d'aération demande du temps et des moyens humains. L'eau drainée vers la surface du sol est le fruit d'un travail acharné entamé depuis des années. Cette denrée rare est partagée d'une façon équitable entre les ayants droits. Une organisation sociale rigoureuse a été bâtie au cours des siècles qui a permis d'établir des opérations de jaugeage des foggaras et la mesure des parts d'eau de chaque abonné. Que ce soit après la mise en eau d'une nouvelle foggara ou après une opération d'entretien d'une ancienne foggara, le jaugeage devient indispensable. Même lors des transactions vente ou achat des parts d'eau doivent être quantifiés. A cet effet, des moyens techniques et humains ont été mis en évidence pour assurer les opérations de jaugeage. Des mesureurs (Kial El Ma) se sont distingués de la population ksourienne. Dans chaque oasis, on trouve une à deux personnes qui prennent en charge ce problème de partage des eaux.

La foggara est une technique d'acquisition d'eau, qui a la même place que la mosquée au sein de la population ksourienne. C'est grâce à la foggara que la population se rassemble et se discute sur un sujet aussi compliqué que l'eau. A chaque variation du débit de la foggara que ce soit augmentation ou diminution des parts d'eau suite à des éboulements ou à des curages périodiques dans la galerie, un événement se crée dans le ksar.

Sur ordre de la djamaa (groupe de sages), le Kial El Ma en présence des Chouhous (témoins) et des propriétaires de la foggara, procède à l'actualisation des volumes attribués aux bénéficiaires. L'opération de jaugeage se déroule au niveau de la kasria en présence de la population du ksar. Un événement qui n'existe pas au niveau de la foggara horaire, même si la djamaa existe, ces attributions se limitent au respect de la durée de chaque part d'eau. La simplicité de la distribution horaire ne nécessite pas la présence d'un Kial El Ma, mais exige le respect tout simplement du timing d'irrigation de chaque jardin.

Si la foggara elle-même est une invention originale qui a bouleversé l'hydraulique ancestrale depuis plus de 3000 ans, les outils jaugeage qui ont accompagné la foggara sont aussi l'œuvre du génie oasien. Beaucoup plus de

rigueur ont été données aux modes de partages des eaux de la foggara entre les ayants droit. Les procédés de jaugeages utilisés dans les oasis du Sahara Algérien dont le principe découle des lois des écoulements par les orifices et ajutages. Malgré le non maitrise des lois de la mécanique des fluides, les oasiens grâce à leur génie, ont pu établir deux débitmètres depuis plus de 10 siècles, chacun s'adapte avec son réseau de distribution.

Les premières lois de la mécanique des fluides sur les écoulements par orifices sont celles de Torrecelli découvertes en 1643 qui ont permis de déterminer la vitesse et par conséquent le débit de l'écoulement par orifice. Seulement après la vérification, les valeurs obtenues par la formule de Torrecelli étaient éloignées de celles mesurées. Il fallait attendre l'année 1713 pour que Newton corrige la relation de Torrecelli après la découverte de l'influence de la section contractée sur le débit de l'écoulement par orifice. Alors sans se rendre compte, les oasiens depuis plus de 10 siècles ont utilisés ces lois de la mécanique des fluides pour établir des appareils de jaugeage simples. Sans oublier aussi que ces appareils sont liés à ces propres unités de mesures de débits. Deux régions utilisant deux débitmètres différents ont été identifiées. L'une est équipée de réseaux de distribution par unité de volume et l'autre de réseaux de distribution par unité de temps. Le Louh (ou la Hallafa) qui s'adapte à la foggara volumique est basé sur les écoulements permanents par les orifices. La Tassa (ou le Mordjen) qui s'adapte à la foggara horaire est basé sur les écoulements non permanent par les orifices.

## **REMERCIEMENTS**

Ce modeste papier est le fruit d'un travail de cœur et un aboutissement d'un long chemin à la recherche des foggaras. C'est grâce à ce travail que j'ai découvert la beauté de mon pays. Je tiens à remercier et à rendre un grand hommage à la population ksourienne de m'avoir aidé à découvrir le génie oasien. Merci.

## **CONCLUSION**

Comme nous l'avons mentionné au début de ce papier que la foggara n'a pas dévoilé tous ces secrets. En s'intéressant à la partie aval de la foggara et plus exactement au partage de l'eau entre les agriculteurs. Malgré que les lois hydrauliques actuelles méconnues à l'époque, les oasiens ont pu inventer un outil de mesures qui permet de quantifier la part d'eau de chaque propriétaire.

Basé sur la théorie des écoulements par orifices, deux procédés de mesures de débit ont été mis en évidence selon le type d'écoulement (permanent et non permanent). C'est ainsi que deux modes de foggaras ont été mis évidence : la foggara volumétrique et la foggara horaire, chacune avec son propre réseaux de distribution et son outil de mesures des parts d'eau. Le premier consiste à quantifier le débit d'irrigation, quant au deuxième cas, il s'agit quantifier le temps d'irrigation. Deux types d'irrigation se dégagent : Irrigation parallèle pour la foggara volumétrique et irrigation linéaire pour la foggara horaire.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- CARLIER M. (1980). Hydraulique générale. Editions Eyrolles, Paris, France, 565 p.
- REMINI B., ACHOUR B. (2008). Vers la disparition de la plus grande foggara d'Algérie : la foggara d'El Meghier. *Revue Sécheresse (France)*. Vol. 19, N°3, pp. 217-221.
- REMINI B. (2011). Les foggaras de la ceinture oasienne du Sahara : passé, présent et futur. Doctorat en sciences. Université Mohamed Khider-Biskra, 217 p.
- REMINI B., ACHOUR B., KECHAD R. (2014a). The collecting of groundwater by the qanats: a millennium technique decaying. *Larhyss Journal*, N°20, Décembre, pp. 259-277.
- REMINI B., ACHOUR B., KECHAD R. (2014b). The sharing of water in the oases of Timimoun heritage cultural declining. *Larhyss Journal*, N°18, Juin, pp. 7-17.
- REMINI B. (2017). La foggara de Tademaït : sans énergie de l'eau du sous-sol à la surface du sol. *Larhyss Journal*, N°32, Dec, pp. 301-325.
- REMINI B. (2018). The foggaras of the oasis of Ghardaia (Algeria): the sharing of flood waters. *Larhyss Journal*, N° 36, pp. 157-178.
- REMINI B., GHACHI M. (2019). Sharing the waters of the Irsan foggara of In Ghar oasis (In Salah-Algeria). *Larhyss Journal*, N°37, Mars, pp. 93-114
- REMINI B., ACHOUR B. (2017). The Foggara of Moghrar (Algeria): An irrigation system millennium. *Journal of Water Sciences & Environment Technologies*. Vol.2, N°1, pp. 111-116.