



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Hydraulique
Hydraulique Urbaine

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
HABBADI Yaaqoub

Le : samedi 23 juin 2018

L'ETAT DE L'ART SUR LES TECHNIQUES TRADITIONNELLES HYDRAULIQUE (FOGGARA)

Jury :

Mr. LGHRICHI Yazid	MCA	Université de Biskra	Président
Mr. DBABCHE Boutheina	MCA	Université de Biskra	Examineur
Mr. BOUZIANE M.T	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

Dédicaces

*Au nom d'Allah, Le tout Miséricordieux, Le très Miséricordieux
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 :*

Amon très chère mère, qui n'a jamais cessé de prier pour moi

Amon très chère père, pour ses encouragements

Ames chers frères

Ames chers sœurs

Atout ma grand famille

Ames meilleurs amis : Z. Ilias, Mouhi (L.L.M.A)

Ames grand père H. Mohammed

Ames oncle H. Ahmed Hamdi

A mécieu Lhadj Hajji Hammadi Ahmed Lhadj

A tiut les amis à l'Université de Mohammed kheider-Biskra

Ames camarades de 2ème Master Hydraulique (H.U.O.H) Année

Promotion 2018

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon prof

Mr. Bouziane M.T et tous enseignants de l'Université de

Mohammed kheider -BISKRA-

Remerciement

*Tout d'abord, je tenou à remercier Allah, la clément et le
miséricordieux de j'avoir donné la force et la patience de mener
à bien ce modeste travail*

*Je voudrai exprimer nos vif remerciement a encadreur Mr.
BOUZIANE Mohammed Tewfik pour son expertise et son temps
malgré son programme sur charge*

*Je adressai également un grand merci à Mr. L'Hadj Hajji
Hammadi Ahmed L'Hadj qui je a beaucoup aidés à réaliser ce
travail dans les bonnes conditions*

*Aussi, Je remerciai toutes les personnes qui ont participé de près
ou de loin, de façon directe ou indirecte, a la réussite de ce
travail*

*Je tiendrai aussi à remercier les enseignants du département
production de hydraulique, qui ont contribué de près ou de loin
a notre formation durant tout le cursus universitaire*

Résumé :

Notre étude traite l'ingéniosité du procédé de la foggara par sa conception, son adaptation aux conditions de la vie et du climat sahariens, et par sa technique rationnelle de distribution de débit soigneusement mesuré avant qu'il ne repart pour être parcimonieusement redistribué entre les palmeries.

المخلص:

خلاصة القول:

تتعامل دراستنا مع عبقرية عملية foggara من خلال تصميمها وتكيفها مع ظروف المناخ والحياة الصحراوية، من خلال أسلوبها العقلاني في توزيع التدفق الذي يتم قياسه بعناية قبل توزيعه بشكل بارز ودقيق بين الحدائق.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etat de l'art sur les techniques de captage traditionnel	
Introduction.....	2
I.1.Aperçu générale sur la foggara :	2
I.1.1.Définition de Foggara :	2
I.1.2.Étymologie « Foggara »	2
I.1.3.Historique de la Foggara	3
I.1.4. La naissance de foggara	3
I.1.5. Le captage de l'eau :	3
I.2 La notion d'une foggara :	4
I.3 Pompage naturel :	4
I.4 Exemple des oasis des foggaras :	5
I.5 La collecte et l'utilisation des eaux souterraines :	6
I.5.1 La collecte de l'eau dans l'aquifère :	6
I.5.2 Le transport de l'eau de la zone de collecte vers la zone irriguée en plaine :	6
I.6. Les ouvrages hydrauliques de la foggara :	8
I.6.1 La kasria	9
I.6.1.1 La kasria principale:	9
I.6.1.2 La kasria principale triangulaire	10
I.6.1.3 la kasria secondaire.....	11
I.6.1.4 la kasria tertiaire	12
I.6.2 Le Madjen.....	12
I.6.3 Le Puits « Hassi »	14
I.6.4 La Galerie « N'fad »	15
I.6.5 L'Aghisrou :	16
I.6.6 Canal principal « Majra »	17
I.6.7 Approfondissement des galeries (AMAZER)	17
Conclusion :	18

Chapitre II : Mesure et partage des débits

Introduction :	19
II.1 Mesure et partage du débit de la foggara	19
II.2 La plaque de jauge (louh) :	23
II.2.1 La part juridique est calculée ainsi :	23
II.2.2 Unités de mesure :	24
II.3 Le partage de l'eau de la foggara comme exemple la foggara d'Aoulef :	26
II.3.1 Calcul des parts juridiques :	26
II.3.2 Conversion des Thmène en Kirat :	26
II.3.3 Comment trouver la valeur de la part juridique :	26
II.3.5 Part juridique :	27
II.4 Le calcul des parts de chaque canal (segua) :	27
II.5 ORIFICES :	29
II.6 Méthodes de mesure de la quantité d'eau	31
II.7 Condition de mesure	33
II.7.1 La Djemâa :	33
II.7.2 Le Chahed :	33
II.7.3 Kiel el ma:	33
II.7.4 El Hassab :	33
II.7.5 El Chegfa :	33
II.7.6 El Zemam :	33
Conclusion :	36
Conclusion générale :	37
Références bibliographiques :	38
Annexes :	39

Liste des Figures :

Chapitre I : Etat de l'art sur les techniques de captage traditionnel

Fig.I.1 Schéma en perspectif d'une foggara	2
Fig.I.2 Peigne (kasria) de répartition	8
Fig.I.3 la kasria principale	9
Fig.I.4 Émergence d'une foggara	10
Fig.I.5 la kasria principale triangulaire	11
Fig.I.6 La kasria secondaire	11
Fig.I.7 Kasria plus petite	12
Fig.I.8 Le Madjen	13
Fig.I.9 Le Schéma de Madjen	14
Fig.I.10 Le puit	15
Fig.I.11 N'fad	16
Fig.I.12 L'Aghisrou	16
Fig.I.13 Majra	17

Chapitre II : Mesure et partage des débits

Fig.II.14 El-Hadj Bouchena Nadjem Kial el-ma	20
Fig.II.15 une galerie avant de sortir de la foggara	22
Fig.II.16 la kasria principale	22
Fig.II.17 : plaque de jauge de la région de Timimoune	23
Fig.II.18 différentes parts de foggara d'Aoulef	26
Figure II.19. Schéma de l'emplacement de la Chegfa	32
Figure II.20. Les éléments essentiels d'une opération de mesurage	34
Fig II.21. El Chegfa	34
Fig II.22. La Djemâa	35
Fig II.23. Kiel el ma	35

Liste des Tableaux :

Chapitre II : Mesure et partage des débits

Tableau II.1. Tableau des sous multiples de Habba	24
Tableau II.2. Tableau des sous multiples de Kirat	25
Tableau II.3 Vérification du calcul juridique	28
Tableau II.4 : Les différentes valeurs de coefficients de débit et le nombre des orifices	31

Introduction générale

Les Foggaras, un système ancestral d'adduction d'eau potable et d'irrigation dans le sud algérien, très répandu notamment à Adrar, constituent une invention exceptionnelle témoignant du génie local pour la valorisation et l'exploitation rationnelle de l'eau.

Le jaillissement de l'eau et les systèmes d'adduction à travers les foggaras révèlent un système ingénieux créé par les anciens pour garantir une répartition de l'eau de manière rationnelle et équitable entre les palmeraies des ksour de la région objet de notre étude.

Notre présente étude est subdivisée en deux chapitres distincts, le premier chapitre traite l'état de l'art sur le patrimoine ancestral de la région d'Adrar permettant le captage et l'écoulement de l'eau souterraine par des canalisations, longues de plusieurs kilomètres, devant assurer, à travers des galeries, l'adduction de l'eau jusqu'à des seuils superficiels où sont dressés des petits puits connus localement sous l'appellation de «Aghisrou», avant de la canaliser en surface vers les palmeraies.

Une fois mobilisée, l'eau est collectée à un endroit appelé «El- Kasria», entouré de départs de canaux constituant des unités de mesures et d'estimation adoptées par les propriétaires de Foggaras, sur la base d'une répartition équitable faite par les «Kiel» (mesureurs), experts en calculs de débits des eaux de foggaras vers les palmeraies objet de notre second chapitre.

Notre étude se termine par une conclusion générale se traduisant par la conjugaison des efforts tendant à préserver ce patrimoine séculaire.

Chapitre I :

Etat de l'art sur les techniques de captage traditionnel

Introduction

Dès l'antiquité, les circulations de l'eau sur la planète ont captivé l'attention de nombreux philosophes scientifiques.

En survolant le désert ou en traversant les pistes d'Adrar, une harmonie de buttes comme des taupinières géantes alignées avec une symétrie remarquable nous frappent aux yeux, ce sont les « **Foggaras** » d'Adrar, un système de captage traditionnel des eaux souterraines daté de plusieurs siècles.

I.1.Aperçu générale sur la foggara :

I.1.1.Définition de Foggara :

Foggara est une technique traditionnelle du captage des eaux souterraines très répandue dans les Oasis. 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 par seul biais de la différence de charge hydraulique (écoulement gravitaire).

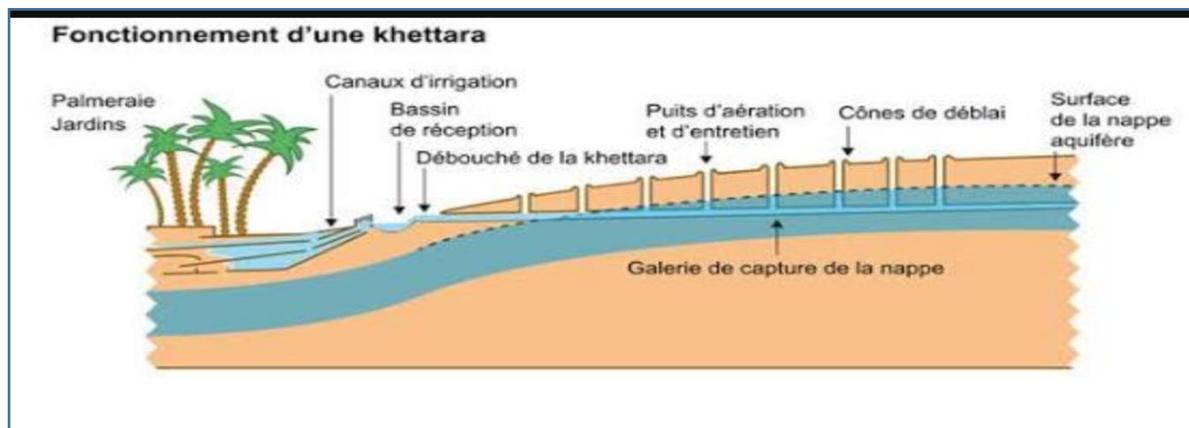


Fig.I.1 Schéma en perspective d'une foggara

I.1.2.Étymologie « Foggara »

L'étymologie du mot exact "**Foggara**" n'est pas connu, mais d'après plusieurs historiens le mot "**Foggara**" provient du mot arabe "**Fagra**" c'est-à-dire « **Éventrer** », dans le sens de creuser la terre pour sortir de l'eau ou du terme arabe "**Fakra**" c'est-à-dire « vertèbre les puits sont alignés comme une colonne vertébrale "**Fagaratte**" »,

et d'autres pensent que ce terme provient du mot arabe "**El Fokr**" la pauvreté, c'est-à-dire que celui qui creuse une **Foggara** se trouve dans l'obligation.

La désignation la plus correcte d'après la littérature arabe semble provenir du mot arabe "**Fadjara el ardh**" faire jaillir la terre, qui désignerait la sortie de l'eau de la roche, en modifiant la prononciation de la lettre arabe « dj » de **Fadjara** en « g » qui devient « **Foggara** » [6].

I.1.3. Historique de la Foggara

D'après plusieurs auteurs cette technique aurait pris naissance en Iran,

Dans le Sahara algérien, **les Foggaras** auraient été introduites au XI^{ème} et XII^{ème} siècle par El Malik El Mansour qui aurait creusé la première **Foggara** « Hannou » (avec un débit 3.2 l/s) à **Tamantit**, localité située à 15km au sud de la ville d'Adrar. Donc ce système est très répandu, il représente un patrimoine hydraulique mondial [6].

I.1.4. La naissance de foggara

Dans **la région d'Aoulef** toutes **les Foggaras** se situent dans la périphérie du plateau du Tademaït. L'utilisation de ce système de drainage est dû à la faveur de l'existence des conditions d'installation y sont en effet particulièrement bien adaptées :

- l'existence de l'eau : eaux de la nappe du CI.
- les conditions topographiques favorables (favorisent l'écoulement gravitaire de l'eau).
- l'existence des dépressions naturelles qui permettront l'installation des palmeraies (les terrasses d'apport éolien) [6].

I.1.5. Le captage de l'eau :

Il existe trois (3) sources possibles pour l'eau d'irrigation :

- La nappe phréatique : l'eau qui coule doucement sous l'erg, dans les anciens cours de rivières vient de l'Atlas saharien. L'eau est alors à quelques mètres seulement et on peut creuser des puits. C'est le cas pour les oasis du Taghouzi.
- La nappe des foggaras : plus profonde que la précédente, elle se rapproche de la surface dans le plateau du TADEMAÏT ce qui permet de la rejoindre en creusant des galeries horizontales, **les foggaras**.

- La nappe albienne : très profonde (plusieurs centaines de mètres), immense (elle recouvre tout le Sahara central jusqu'en Libye), elle semble être inépuisable. Elle est donc utilisée pour des projets impressionnants d'irrigation (comme près d'Adrar) [6].

I.2 La notion d'une foggara :

Les foggaras sont constituées principalement par :

Les tunnels qui ont de quatre à huit kilomètres de longueur sous le sol contactant l'atmosphère par des puits d'aération verticaux [1].

Le travail de creusement a évidemment été colossal et n'aurait pu se faire sans le travail de nombreux esclaves. Actuellement le problème est d'entretenir les foggaras qui peuvent s'effondrer ou s'ensabler. C'est l'enjeu de la période actuelle : saura-t-on redonner aux jardins l'eau dont ils besoin [1].

I.3 Pompage naturel :

Les foggaras fonctionnent par un cycle de pompage de douze heures à vingt-quatre heures, ce fonctionnement attractant la vapeur d'air, durant la nuit l'air frais pénètre dans le sous-sol et ensuite l'humidité dans **la foggara**.

Au lever du soleil, le processus complet est renversé, comme le sol est chauffé, l'air existant dans **la foggara** s'élève à travers l'air chaud qui expose le système, (se fait à travers les puits d'air), à une température élevée du désert, l'air circule dans les tunnels souterrains aspire l'humidité à partir d'abat-jour (la nuance) dans les régions des oasis. L'humidité par conséquent est aspirée et recondensée sur les parois des tunnels et la piste (sol), avant que l'air peut sortir à partir **des puits**. [1]

Les tunnels sont construit au-dessus de la nappe et n'ont pas retiré l'eau d'elle, le système réapprovisionne la nappe par peu d'eau qui pénètre en dessous à partir du tunnel.

Certaines **foggaras** sont approvisionnées par précipitations qui tombent le long des milliers de kilomètres et prennent cinq milles ans pour atteindre les oasis où elles moissonnent, autres sont approvisionnées par l'eau précipitée sur site ou près de ce dernier, régulièrement pas plus de dix millimètres chaque année, les régions qui ont récolté sont larges et ont peu de rendement mais suffisant pour l'oasis. [1]

I.4 Exemple des oasis des foggaras :

Les oasis du Touat et d'Adrar (Algérie) ($1^{\circ}3$ de longitude et $28^{\circ}14$ de latitude) se distinguent par une autre technique d'exploitation des eaux souterraines.

Les eaux de la nappe sont drainées jusqu'au point bas où l'eau émerge à la surface du sol. Combinaison **puits foggara**, un tunnel qui présente les mêmes caractéristiques qu'une **foggara**, est parfois creusé pour conduire les eaux d'un puits artésienne vers les terrains à irriguer. Ce parti est retenu lorsque la pression artésienne locale ne suffit pas à amener l'eau suffisamment près de la surface pour être évacuée par une simple tranchée ou par relevage, l'usage de cette technique est attesté à la région de Touat à Adrar, lors de tentatives tardives pour suppléer la baisse des débits **des foggaras**. [1]

Ces galeries sont marquées en surface par des regards (**puits**) pour l'entretien et un survol de la région montre l'ampleur du réseau ainsi créé : on estime à des milliers de kilomètres l'ensemble des foggaras du Gourara et du Touat.

La propriété de l'eau est acquise à celui qui, par son travail ou ses deniers, a contribué à la réalisation de **la foggara**. Chaque individu est propriétaire d'une part d'eau proportionnelle à sa contribution. Le détenteur d'un droit d'eau peut en faire usage, le vendre ou le louer pour une période déterminée ; il peut également en faire associer d'autres usagers. Comparé au mode d'exploitation par puits, **la foggara** offre l'avantage de fournir une eau en permanence par gravité, ce qui sous-entend en toute gratuité. Les contraintes techniques et économiques sont épargnées. Cependant le débit continu pouvant atteindre des fois 400 l/s, est un inconvénient majeur, car il entraîne beaucoup de pertes en période de non utilisation. [8]

Les graves déséquilibres causés aux écosystèmes oasiens réputés fragiles menacent la totale disparition des oasis. L'effort consenti par des générations pour créer la vie et la maintenir dans le désert est abandonné et, dans certains cas, c'est la désertification qui s'enclenche. [4]

I.5 La collecte et l'utilisation des eaux souterraines :

Pour collecter et conduire les eaux jusqu'aux parcelles à irriguer sont des combinaisons de plusieurs dispositifs choisis parmi un petit nombre de variantes techniques en fonction de la géomorphologie de l'environnement immédiat. Dans tous les systèmes, on rencontre successivement [10]

I.5.1 La collecte de l'eau dans l'aquifère :

Par percolation sur les parois d'un tunnel ou d'une fosse ou par captage des eaux d'un puits lequel permet aux eaux d'arriver près de la surface par pression artésienne.

Le puits sur source artésienne ; le creusement d'un puits à travers les couches argileuses permet d'ouvrir la voie à l'élévation naturelle de l'eau par pression artésienne. Cette technique, la plus simple, est souvent pratiquée à l'emplacement d'une ancienne sortie artésienne naturelle bouchée. L'eau est évacuée par une tranchée découverte ou par relevage en utilisant un dispositif du type chadouf (oultre et balancier). [10]

I.5.2 Le transport de l'eau de la zone de collecte vers la zone irriguée en plaine :

Par tunnel ou tranchée éventuellement équipée de tuyaux ou rigoles en argiles : les solutions retenues pour transporter l'eau des zones de captage aux terrains à irriguer varient selon les terrains traversés.

Dans les grès et les argiles compactes, la galerie drainante est prolongée au-delà de l'aquifère ; cette partie du tunnel ne diffère en rien du tronçon amont. Pour traverser des dépressions souvent fortement ensablées, on creuse une tranchée dans laquelle on pose un tuyau ou une rigole, faits éléments céramiques aboutés, sur les tronçons profonds qui traversent des terrains instables ou menacés d'ensablement, on bâtit un conduit en pierre et briques de terre crue équipé à intervalles réguliers de regards autorisant l'entretien puis on comble la tranchée reste ouverte le piémont, où le danger d'ensablement est moindre. [10]

Elle est alors équipée d'une rigole en céramique trapézoïdale et au profile en U. dans la plaine, le conduit est surélevé sur un socle en pierres liées au mortier de terre, lorsqu'il faut traverser des zones cultivées.

Nous allons voir les différents moyens de transport de cette eau :

- La plupart du temps, pour des questions de coût, de température de l'eau ainsi protégée de la chaleur qui la rend impropre à la consommation, la canalisation souterraine suit les courbes de niveau ;
- Le canal se trouve posé sur un mur-porteur, lorsque le profil du terrain impose le maintien du niveau du radier et donc de l'eau jusqu'à une certaine hauteur de construction ;
- Au-delà d'une certaine hauteur de mur, ce sont des arches qui prennent la suite ; construire d'abord les piliers, **puis** les relier par des arcs en plein cintre en bois.
- Les tunnels permettent d'éviter de longs détours zones rocheuses, passant à une certaine profondeur était normalement creusé en partant des deux côtés opposés ;
- Lorsque l'altitude de départ est trop élevée par rapport au point d'arrivée, on trouve parfois des aménagements de chutes ou des escaliers hydrauliques permettant d'abaisser ce niveau ;
- Enfin les siphons, si nombreux en un même lieu sur **les foggaras** de Tamentit; il s'agit du principe dit siphon inversé ; si une vallée abrupte et profonde se présente, les gens de cette région utilisèrent le siphon ; il s'agit d'acheminer l'eau dans une conduite forcée ; cette conduite peut être constituée de tuyaux de céramique où se trouvent plusieurs tuyaux côte à côte de façon à diminuer la pression, ou de blocs de pierres percés en leur centre; le principe est le suivant ; l'eau arrive dans un puits situé en amont, dit réservoir de chasse, de là elle sort par des tuyaux d'argile qui reposent sur une partie construite, le rampant, **puis** descendent jusqu'au fond de la vallée, ou un pont-siphon supportant les tuyaux, permet de diminuer la hauteur de chute et donc la pression ; l'eau remonte ensuite par d'autres tuyaux jusqu'au **puits** à l'aval, dit de fuite, puits situé plus bas que le puits amont (c'est que l'on appelle la perte de charge), et ensuite l'eau reprend son cheminement normal. **La foggara** de

Zaouiet Hainoun construit il y a quatre cent cinquante (450) ans, comporte un siphon avec deux points bas et donc un point haut, ce qui a du provoquer des problèmes avec l'air s'y accumulant et bloquant le débit; le dénivelé est de cent quatre-vingt-cinq mètres (185 m). [1]

De son point de départ , jusqu'à son point d'arrivée, l'eau devait s'écouler en suivant une pente (donc par gravité) ; Encore à ce sujet en parlant du niveau on le prend avec des balances dont on se sert ordinairement pour niveler les eaux ; ce qui rend l'opération plus certaine..., Pour la plus part **des foggaras**, cette pente est d'un millimètre au mètre sur le parcours normal et de 0,5 mm au mètre pour certaines d'autres ; elle est aussi de 7 cm au km en aval de celle **de foggara** d'Aoulef, un strict minimum. [10]

I.6. Les ouvrages hydrauliques de la foggara :

Pour se répartir l'eau issue de **la foggara**, les oasiens du Timimoune ont mis au point un système aussi efficace qu'esthétique : les peignes (**kesria**). Un spécialiste, **le Kiel el ma**, mesure le débit qui passe entre chaque dent et refait l'opération. Un spécialiste, **le Kiel el ma**, mesure le débit qui passe entre chaque dent et refait l'opération chaque fois que **la foggara** est recreusée ou entretenue ou quand un propriétaire terrien achète le droit à l'eau d'un autre [3].



Fig.I.2 Peigne (kasria) de répartition

I.6.1 La kasria

I.6.1.1 La kasria principale:

A la sortie de **la foggara**, l'eau est divisée par un peigne en pierre tendre et facile à gratter, c'est **la kasria principale**.

Cette dernière doit avoir un nombre suffisant d'ouvertures d'où l'eau s'échappe facilement sans faire de retour en arrière. Ces ouvertures permettent à l'eau de couler dans **des rigoles** ou canaux qui peuvent être à nouveau divisé par un autre peigne et ainsi de suite dans toutes les directions vers les palmeraies [5].



Fig.I.3 la kasria principale

NB : La *kasria* principale : à la sortie de la galerie de **la foggara** l'eau es amenée vers un bassin triangulaire appelé *kasria* principale



Fig.I.4 Émergence d'une foggara

I.6.1.2 La kasria principale triangulaire

C'est un bassin en forme triangulaire barré par un grand peigne ou partiteur principal, jouant le rôle de stabilisateur d'eau. Cette technique consiste à calmer l'eau avant sa répartition, c'est une sorte d'ouvrage tranquillisant.

La *kasria* principale reçoit la totalité du débit de **la foggara** appelé aussi **la kasria-lak'bir**.

Cette dernière répartit le débit de **la foggara** généralement en trois, quatre ou cinq grandes rigoles qui sont des (**mjara**) au singulier (**majra**). A partir de ce bassin, les canaux vont en éventail dans tous les sens vers les parcelles à irriguer. Au bout de ces **mjara** d'autres **kasria secondaires** répartissent les eaux [3].



Fig.I.5 la kasria principale triangulaire

I.6.1.3 la kasria secondaire

C'est un nouveau bassin aussi important, on le retrouve après le premier, ce bassin est caractérisé par un partage familial de chaque tribu ou groupe participant à la réalisation de la **foggara** [3].



Fig.I.6 La kasria secondaire

I.6.1.4 la kasria tertiaire

D'autres **kasria** minimes se trouvent tout le long des différents parcours suivant la nécessité.

Ces **kasria** viennent après la répartition secondaire, ils conduisent l'eau vers les **madjens**.



Fig.I.7 Kasria plus petite

L'eau circule ensuite dans des canaux, les *seguias*, qui l'emmenent jusqu'au bassin, le **madjen**, où elle s'accumule jusqu'à ce que le cultivateur irrigue ses cultures.

I.6.2 Le Madjen

C'est un bassin de récupération et de régularisation peu profond et rectangulaire qui se trouve à l'endroit le plus haut du jardin et où l'eau s'accumule pendant vingt-quatre heures. L'irrigation se fait en général le matin de bonne heure en été et dans la grande matinée en hiver. Chaque jardin possède un **madjen** construit en argile ou en béton afin d'éviter une déperdition inutile dans des irrigations en surplus. [10]

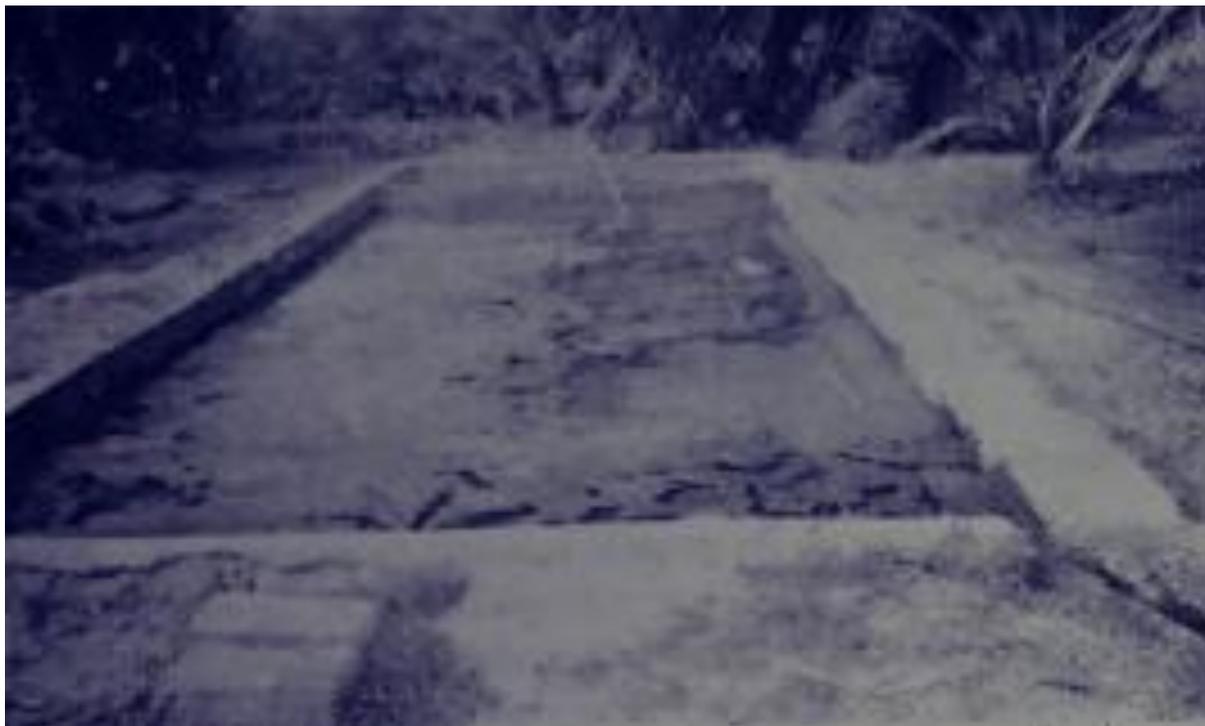


Fig.I.8 Le Madjen

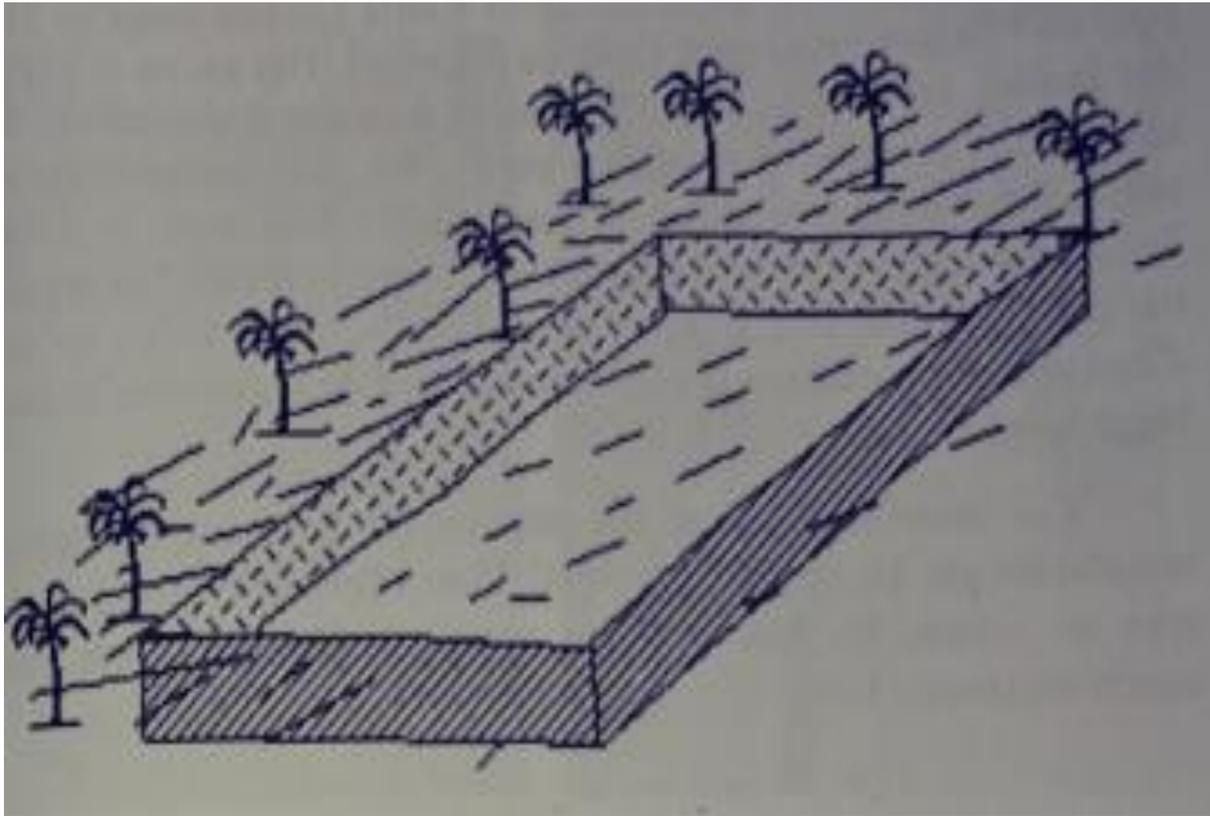


Fig.I.9 Le Schéma de Madjen

I.6.3 Le Puits « Hassi »

les puits « Fouaha » sont la partie visible de **la foggara**, à l'intérieur des villes font un objet esthétique, ils servent à l'accès et au curage de **la foggara** (évacuation des déblais et remblais) et à l'aération de **la foggara**, ils ne jouent aucun rôle hydraulique dans le fonctionnement de **la foggara**, la distance qui sépare **les puits** entre eux n'est pas constante, elle varie d'une région à l'autre (**Gourrara, Touat et Tidikelt**) et selon le type de terrain traversé, elle varie entre 07 et 40 m de longueur. La profondeur des puits varie selon le niveau statique de la nappe et la topographie de la région [3].



Fig.I.10 Le puit

I.6.4 La Galerie « N'fad »

La galerie ou « Nfad » est la pièce cardinale de **la foggara**, c'est une conduite souterraine de plusieurs kilomètres de longueur composée hydro géologiquement de deux parties : une partie drainante, qui représente la partie la plus intéressante de **la foggara**, puisque c'est la partie qui pénètre dans l'aquifère et qui draine l'eau vers la deuxième partie ; non drainante, cette dernière sert à transporter l'eau vers le canal principal. La longueur totale du réseau ramifié de la galerie varie entre 0,07 et 15 km de galerie souterraine. il est de 0,5 à 1,5 m de largeur, et de 1 à 6 m de hauteur [3].



Fig.I.11 N'fad

I.6.5 L'Aghisrou :

C'est la partie où **la galerie** sort en surface, il est situé entre le premier **puits** et le canal principal « **Majra** », généralement recouvert par des plaquettes de ciment ou de roche avec de l'argile. La longueur de **l'Aghisrou** dépend de la profondeur du premier puits et du niveau de sol, sa longueur est de quelques mètres à des centaines de mètres [3].

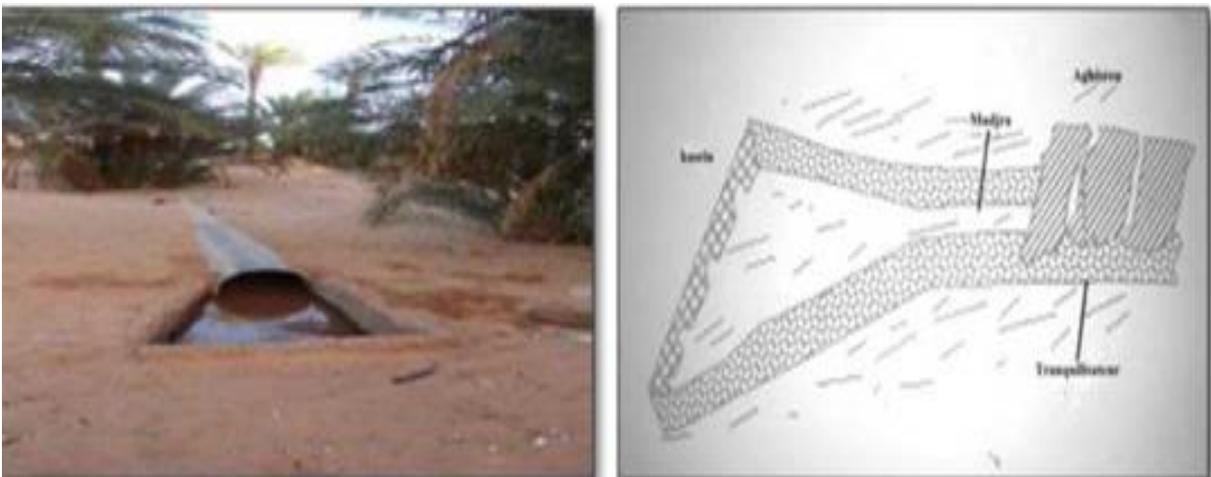


Fig.I.12 L'Aghisrou

I.6.6 Canal principal « Majra »

Le canal principal « **Majra** » est un canal de forme rectangulaire qui sert à conduire l'eau vers le peigne répartiteur « **Ksaria** », sa longueur est de quelques mètres à quelques kilomètres, il est construit par des argiles, actuellement ces canaux sont en ciment et même en PVC, pour minimiser les pertes par infiltration [3].



Fig.I.13 Majra

I.6.7 Approfondissement des galeries (AMAZER)

L'approfondissement en tranché (**AMAZER**) dans les galeries **de foggara** permet, d'atteindre un niveau favorable par rapport à la ligne piézométrique de la nappe, d'avoir une pente légère pour l'acheminement d'eau sans risque d'érosion. C'et approfondissement, dans le meilleur de cas doit engendre (**N'FAD**) à supérieure ou égale à 2⁰⁰/0 (minisme l'infiltration), et doit être réalisé seulement dans les endroits (**N'FAD**) à terre stable et dure et non pas de nature argilo - gréseuse ou gypseux et prendra la dimension initial du **N'FAD** en largeur [3].

Conclusion :

Plusieurs méthodes permettent de collecter le maximum d'eau disponible pour l'irrigation. Une technique traditionnelle fait converger, vers l'oasis, de faibles quantités d'eau drainées, par des galeries, dans des couches géologiques aquifères (grès). Le produit de ce réseau de drainage est acheminé, par gravité, au bord d'une dépression dont le versant accueille l'oasis. L'importance des aménagements hydrauliques et des travaux d'entretien suppose une organisation collective efficace.

Chapitre II :

Mesure et partage des débits

Introduction :

La gestion agricole de l'eau apparaît comme une réponse trouvée par l'homme pour palier les risques naturels et les conditions physiques du milieu qu'il colonisé pour l'agriculture. Dans ce but, la mise en œuvre de la gestion agricole de l'eau, qu'il s'agisse de mobilisation, irrigation, de drainage, requiert l'installation préalable d'infrastructure spécialisées, encore appelées aménagements hydro agricoles, dont l'envergure et la nature varient selon les milieux et les sociétés. La mobilisation de l'eau implique la présence d'aménagements qui vont du simple puits individuel approvisionnant un potager, aux galeries drainantes souterraines, « **foggaras** » des systèmes oasiens, qui permettent l'agriculture en plein désert.

II.1 Mesure et partage du débit de la foggara

Sur le terrain le sage **des foggaras** de l'arrondissement **d'Aoulef (Kial el-ma EL HADJ BOUCHENA NADJEM LASFAR)** mon voisin, ce dernier m'a expliqué les mesures et leur élément utilisées dans le titrage des quotas en eau **du Foggara** aux propriétaires fonciers, notamment **al-habba** et nombres fractionnaires et **al-kirot** et nombres fonctionnaires. Le bilan de l'interrogation était comme suit :

Matériellement, l'eau d'une **foggara** est divisée à partir d'un premier petit bassin dans lequel elle débouche. Un partiteur, placé à la sortie du réservoir formé d'espaces proportionnels aux parts d'eau des ayants droit situés en aval, déverse chaque part dans un canal desservant un jardin ou un ensemble de jardins au travers d'un second partiteur. Le jardin, quelques centaines de mètres carrés, est aménagé en terrasses où sont installées les cultures. [10]



Fig.II.14 El-Hadj Bouchena Nadjem Kial el-ma

La plus petite quantité de l'eau qui peut être mesurée est aussi grosse que le pourboire de l'auriculaire, et appelé **habba** - un terme de la semence d'orge et relaté à la mesure d'or. [10]

Ceci introduit une première inégalité entre les quantités d'eau mesurées à la sortie de la **foggara** et celles réellement utilisables dans le jardin. Les pertes obtenues à la source sont d'autant plus dévaluées que la longueur d'acheminement est importante.

Ces déperditions prélevées sur la part du propriétaire de l'eau, contribuent au microclimat de l'oasis et non de la production de son jardin. Ceci explique le gradient de l'efficacité de l'unité de l'eau.

Malgré sa présence, dans la partie basse, des drains collectant et acheminant le sel vers le centre de la dépression (sebkha).

A la sortie de **la foggara** l'eau est divisée par un peigne en pierres tendre et facile à gratter, c'est la **kasria** principale. Cette dernière doit avoir un nombre suffisant d'ouvertures par les quelles l'eau s'échappe facilement sans faire retour en arrière. Ces ouvertures permettent à l'eau de couler dans **des rigoles** ou canaux qui peuvent être à nouveau divisé par un autre peigne et ainsi de suite dans toutes les directions vers les

Palmeraies. Pour se répartir l'eau issue de la foggara, les oasiens du Gourara ont mis au point un système aussi efficace qu'esthétique : **les peignes (kesria)**. [1]

Un spécialiste, **le Kiel el ma**, mesure le débit qui passe entre chaque dent et refait l'opération.

Un spécialiste, **le Kiel el ma**, mesure le débit qui passe entre chaque dent et refait l'opération chaque fois que **la foggara** est recreusée ou entretenue ou quand un propriétaire terrien achète le droit à l'eau d'un autre.

Le projet cherche à décrire ces connexions à approfondir compréhensif des parcours de golf entre les gestions techniques d'eaux traditionnelles et les deux environnemental et sociales sorties

L'eau circule ensuite dans des canaux, **les seguias**, qui l'emmènent jusqu'au bassin, **le madjen**, où elle s'accumule jusqu'à ce que le cultivateur irrigue ses cultures.

Chaque **foggara** a un registre propre à elle ou est notée les parts juridiques de chaque propriétaire, il est tenu régulièrement à jour ou aucune modification ne peut s'y faire sans la présentation d'un acte d'achat signé par le vendeur et deux témoins connus au moins. [8]

Chaque **foggara** est caractérisée juridiquement par un débit fictif invariable qui correspond au débit qu'elle avait lors de sa création, ce débit fictif invariable peut être à moment donné supérieur, inférieur ou égal au débit d'eau réel.

La part juridique de chacun est notée dans ce registre en eau fictive.



Fig.II.15 une galerie avant de sortir de la foggara



Fig.II.16 la kasria principale

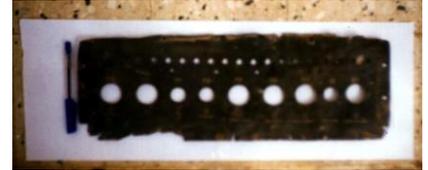
Bien sur, seul le débit réel peut être mesuré par la plaque de jauge (**Fig.II.17**) (3 photos: louh1, louh2, louh3).



louh1



louh2



louh3

Fig.II.17 : plaque de jauge de la région de Timimoune

II.2 La plaque de jauge (louh) :

C'est une planchette de cuivre comportant des trous calibrés (orifices).

La plaque de jauge est un instrument de mesure au service d'une arithmétique particulière, les calculs sont effectués en numération de base 24 [9].

II.2.1 La part juridique est calculée ainsi :

C'est le rapport entre **débit** réel de **la foggara** et le débit juridique de **la foggara**

NB : Il ne faut pas confondre la mesure et le calcul.

Un débit juridique s'écrit comme suit :

$$Q_j = X \text{ Hb} \pm Y \text{ k} \pm Z \text{ k k} \quad \text{où} \quad \left\{ \begin{array}{l} X, Y \text{ sont des variables et} \\ \end{array} \right.$$

Hb : Habba

k : kirat

k k : kirat du kirat

II.2.2 Unités de mesure :

L'unité de mesure du **Chegfa** est la **Habba** ou **Habba zrige**, « **Habba maaboud** » appelée aussi **Nouba** qui correspond en moyenne au débit fourni par une ouverture de 1 à 1.5 cm de diamètre, égale à peu près à 2.6 l/min.

La **Habba** vaut **24 Kirat** « Carat » tableau 10 et le Kirat vaut **24 Kirat de Kirat**, tellement l'eau est précieux, ils ont utilisé l'unité de mesure de l'or « le carat » pour le partager, la codification suivante utilisée pour la mesure du débit.

Tableau II.1. Tableau des sous multiples de Habba :

Valeur	Quantité	Equivalent	Symbole
Habba	1	24 Kirat	•
Habba Zerig	1	24 Kirat	•
Habba Maaboud	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	

Source : [7]

Tableau II.2. Tableau des sous multiples de Kirat :

Valeur	Quantité	Equivalent	Symbole
Kirat	1	24 Kirat de 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	---- ----

Source : [7]

II.3 Le partage de l'eau de la foggara comme exemple la foggara d'Aoulef (Djnan-seghar) :

Le débit réel mesuré en juin 98 ($Q = 23 \text{ l/s}$). Le débit juridique de tous les propriétaires qui à été calculé lors de la création de la foggara $Q_j = 5205 \text{ k}$ réparti en quatre canaux ou souagui :

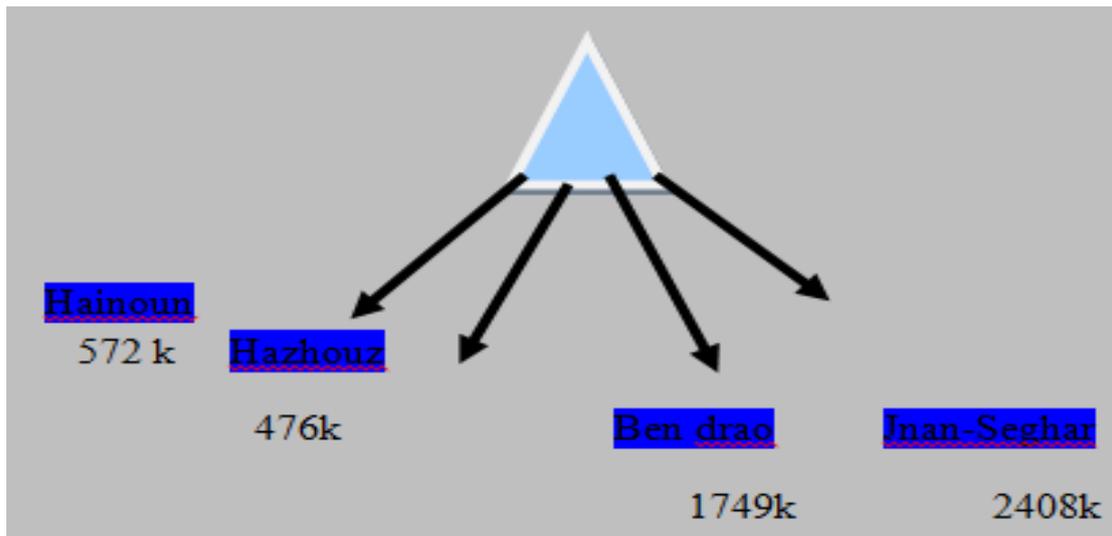


Fig.II.18 différentes parts de foggara d'Aoulef

II.3.1 Calcul des parts juridiques :

$$Q_{\text{total réel}} = 23 \text{ l/s} = 1380 \text{ l/mn}, \text{ soit } 1 \text{ Tm} = 1.57 \text{ l/mn}$$

D'où le débit réel est 879 Tm

II.3.2 Conversion des Thmène en Kirat :

$$879 \times 24 = 21096 \text{ k}$$

II.3.3 Comment trouver la valeur de la part juridique :

$$21096 / 5205 = 4 \text{ k et il reste } 276 \text{ k}$$

II.3.4 Conversion du kirat en kirat du kirat :

$$276 \text{ k} \times 24 = 6624 \text{ k}$$

II.3.5 Part juridique :

Chaque part juridique reçoit :

$$6624 / 5205 = 1.273 \text{ est arrondi à } 1 \text{ kk et } 6 \text{ kkk}$$

D'où la valeur de la part juridique est égale à 4 k ,1 kk et 6kkk

De plus on la valeur de la part sera égale à $(4 + \frac{1}{24} + \frac{6}{576}) \text{ Tm}$

II.4 Le calcul des parts de chaque canal (segua) :

Le premier canal à partir de la droite reçoit :

$$476(4 + \frac{1}{24} + \frac{6}{576}) = 80.37 \text{ Tm.} = 80\text{Tm.}, 8\text{k}, 15\text{kk}, 8\text{kkk}$$

Le deuxième canal reçoit

$$1749(4 + \frac{1}{24} + \frac{6}{576}) = 295.30\text{Tm} = 295\text{Tm}, 7\text{k}, 4\text{kk}, 19\text{kkk}$$

Le troisième canal reçoit :

$$2408(4 + \frac{1}{24} + \frac{6}{576}) = 406.55\text{Tm.} = 406\text{Tm.}, 13\text{k}, 4\text{kk}, 19\text{kkk}$$

Le quatrième canal reçoit :

$$572\left(4 + \frac{1}{24} + \frac{6}{576}\right) = 96.57Tm = 96Tm,13k,16kk,7kkk$$

Le tableau suivant donne l'exactitude des mesures :

Tableau II.3 Vérification du calcul juridique :

Numéro du canal	Tm	k	Kk	Kkk
1°canal	80	8	15	8
2°canal	295	7	4	19
3°canal	406	13	4	19
4°canal	96	13	16	16
Total conversion	877	41	40	62

En faisant un dernier calcul de conversion :

$$KKK \quad \rightarrow \quad kk ; \frac{62}{24} = 2.58 \text{ -c.à.d. - } 2 \text{ kk et il reste } 13 \text{ kkk}$$

$$KK \quad \rightarrow \quad k ; \frac{42}{24} = 1.75 \text{ -c.à.d. - } 1 \text{ k et il reste } 18 \text{ kk}$$

$$K \quad \rightarrow \quad Tm ; \frac{42}{24} = 1.75 \text{ -c.à.d. - } 1 \text{ Tm et il reste } 18 \text{ k.}$$

Et en fin on aura :

$$877 + 1 = 878Tm$$

Donc la somme totale de la conversion est :

$$878 Tm, 18 k, 18kk \text{ et } 13kkk = 22.99 \text{ l/s}$$

Si on fait une comparaison avec la valeur du débit entré on trouve une différence d'ordre : $q = 6k, 6kk \text{ et } 11kkk$. Cette différence due aux pertes par percolation ; par conversion on trouve une différence en l/s : $Q - q = 0.001 \text{ l/s}$

N.B : On peut faire une similitude de ce calcul traditionnel au calcul des orifices :

II.5 ORIFICES :

Un orifice, en hydraulique, est une ouverture de forme régulière pratique dans une paroi ou dans le fonctionnement d'un récipient à travers laquelle s'écoulé le liquide contenu dans le fond d'un récipient, le contour de l'orifice restant toujours complètement submergé, c'est à dire au dessous de la surface libre.

L'orifice est dit en mince parois ou à arête vive quand la veine liquide n'est en contact qu'avec le bord intérieur de l'orifice.

- Le jet est le courant liquide qui sort de l'orifice
- La charge et la hauteur d'eau qui provoque la sortie du liquide
- Un ajutage est un orifice dont les parois sont prolongées sur une longueur de 2 ou 3 diamètres ou bien une ouverture ménagée dans un récipient à parois relativement épaisse.
 - La vitesse d'amenée est la vitesse du liquide à son arrivée au récipient.
 - Les orifices sont des dispositifs très précis pour la mesure des débits. [2]

L'équation de débit, Q, dans un orifice est la suite : [2]

$$Q = \mu S \sqrt{2gh}.$$

Avec :

- Les orifices ont une forme circulaire ; sachant que le diamètre de chaque orifice est prédéterminé
- μ : coefficient de débit ; on peut le déterminer aussi par la formule suivante ;

$$\mu = \left(0.350 + 0.002 \frac{d}{h} \right) \left[1 + \left(\frac{S}{s} \right)^2 \right].$$

- h en mètre ; représente la charge sur le centre de l'orifice. Elle varie dans les différentes plaques de jauge (louh) ; (a une valeur prédéterminée pour chaque louh à savoir l'importance du débit juridique.
- S la section en m²

Après avoir chaque part et si en appliquant l'équation de débits dans un orifice on peut déterminer le nombre des orifices dans chaque plaque.

Il vient :
$$S = \frac{Q}{\mu \sqrt{2 g h}} \quad (V.1a)$$

Le tableau suivant résume les différentes valeurs de coefficients de débit et le nombre des orifices

Tableau II.4 : Les différentes valeurs de coefficients de débit et le nombre des orifices :

$Q_i * 10^{-3}$ (m^3/s)	S (m^2)	h (m)	d (cm)	M	n
2.5	0.00536	0.0225	2	0.702	17
7.73	0.01654	0.0225	2	0.703	6
10.6	0.0108	0.1	4	0.702	9
2.53	0.00542	0.0225	2	0.702	17

Avec:

- Q_i : est le débit de chaque part.
- S: surface de la plaque.
- h : charge sur le centre de l'orifice
- μ : coefficient de débit.
- n: nombre des orifices.

Remarque : on note qu'à travers les différentes plaques, on a trouvé toujours des valeurs proches du coefficient du débit calculé.

II.6 Méthodes de mesure de la quantité d'eau

D'abord faire une plateforme bien nivelée entre **la Kasria** et **les Majras** après avoir supprimé une partie suffisante des lits de toutes **les Seguias** partant de cette **Kasria**. La **Chegfa** doit être placée et maintenue à l'aide de l'argile dans l'axe de

Kasria et à 80cm pour permettre de tranquilliser l'écoulement. Pendant la mesure, on ne laisse personne prendre l'eau de **la Foggara**, tout au moins sur 100m. Et ce afin de ne pas gêner l'écoulement constant de l'eau.

Le Kial (mesureur) commence la mesure par l'ouverture la plus à droite de **la Kasria**. Pendant la mesure de celle-ci, l'eau des autres ouvertures coule librement en désordres dans **les Seguias**. **Le Kial** construit avec de l'argile, un petit chenal bien étanche, de façon que la totalité de l'eau déversée par l'ouverture qui se mesure, coule directement dans **la Chegfa** par le portillon. Il laisse un nombre de trous ouverts sur la paroi. Tous les autres trous sont bouchés par l'argile. Si au contraire, elle n'arrive pas à ce niveau, il en bouche un ou plusieurs trous. Quand le niveau de l'eau dans **la Chegfa** se maintient exactement au niveau supérieur de cylindre, la mesure est considérée juste.

Il marque alors sur une tablette en argile préalablement préparée (en vois l'annexe), le nombre de **Habba Zérig** obtenues. Il procède ainsi, successivement à toutes les autres ouvertures de partiteur (**la Kasria**). Une fois la mesure est faite correctement sous l'œil vigilant des propriétaires présents, **El-hassab** (le comptable) fait l'addition suivant les nombres gravés dans la tablette pour obtenir le débit total en **Habba Zérig**. **Le chahed** annonce le nombre de **Habba Mâaboud** de tous les propriétaires (L'ENQUETE) [7].

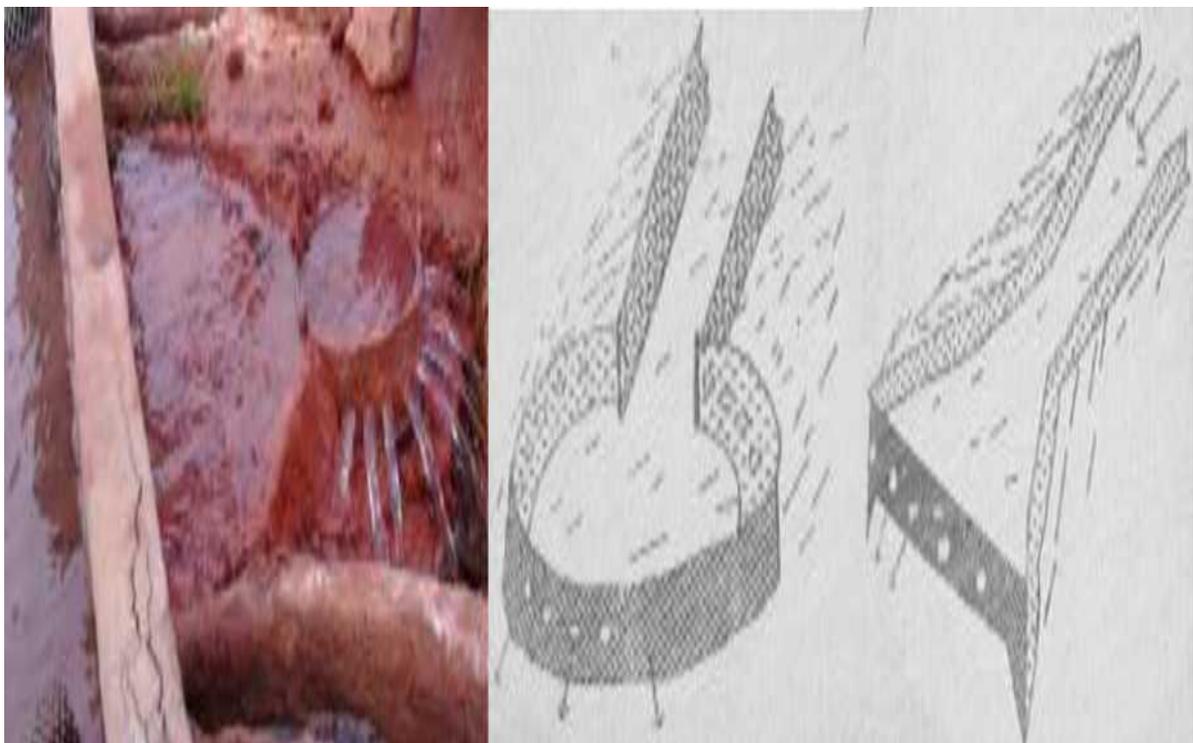


Figure II.19. Schéma de l'emplacement de la Chegfa

II.7 Condition de mesure

II.7.1 La Djemâa : assemblée générale des copropriétaires, elle décide des travaux de réparation ou d'entretien à entreprendre, arbitre et règle les conflits ou approuve les changements, ventes, locations ou partages des parts d'eau par leurs propriétaires [7].

II.7.2 Le Chahed : qui est choisi pour sa sagesse et son honorabilité, c'est en général l'imam de la mosquée, il joue le rôle de secrétaire général de **la Djemâa**, et à ce titre tient le registre de **la foggara** dans lequel sont notées toutes les informations concernant la foggara: liste des copropriétaires avec leur quote-part, les transactions d'eau. En contrepartie il reçoit une part d'eau gratuite [7].

II.7.3 Kiel el ma: il détient tout le savoir faire en matière de mesure de l'eau sur le terrain. Il utilise pour cette opération un instrument de calibrage nommée **la Chegfa** qui est une base de calcul bi-duo-décimale dont l'unité de base est **El Habba Z'rig** (au Moyen Orient l'unité est le carat). La mesure brute est inscrite immédiatement sur des tablettes d'argiles qui sont conservées après séchage [7].

II.7.4 El Hassab : est le spécialiste en matière de calcul des quottes parts de partages et d'héritages. Bien que l'eau soit considérée comme bien des copropriétaires de **la foggara**, toute la population du ksar y a librement accès pour une utilisation domestique. Cet accès est garanti au niveau du canal principal qui traverse le village. En retour toute la population participe aux travaux d'entretien et de réfection de l'ouvrage [7].

II.7.5 El Chegfa : elle présente en un même temps un outil de répartition des eaux **de foggara** [7].

II.7.6 El Zemam : les tribus de Zenâta ont le droit de l'eau à partir un calcul d'astronomie sauf que les ouvrages Tamazirtes restent rares voir introuvables ce qui rend la recherche peu difficile, de plus il appartient à une famille qu'elle le préserve seule sans que les autres familles puissent le voir ou l'utiliser [7].

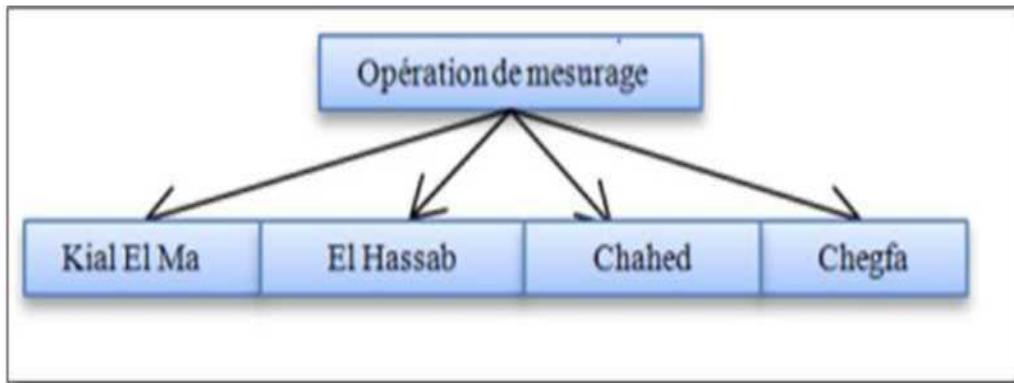


Figure II.20. Les éléments essentiels d'une opération de mesurage



Fig II.21. El Chegfa



Fig II.22. La Djemâa



Fig II.23. Kiel el ma

Conclusion :

De ce chapitre on peut conclure que le calcul traditionnel élaboré est bien précis, ce qui nous donne une idée globale de l'importance de leur adapter aux calculs modernes, afin de préserver le système **de foggara** et ne le perdre pas à cause de la modernisation des systèmes d'irrigations.

CONCLUSION GENERALE

La technique traditionnelle de foggaras constitue un patrimoine historique et culturel national, il est très adapté aux conditions climatiques et sociales de la région. Elle permet une exploitation rationnelle des eaux de la nappe du CI. Elle est la source de vie des générations passée et elle doit l'être pour les générations futures.

La construction de la foggara a nécessité beaucoup de temps, des milliers d'individus anonymes les ont creusés afin que les habitants de ces zones arides ou hyper arides puissent disposer d'eau. Il est rare qu'on sache à quel point les *foggaras* ont été indispensables à l'épanouissement de certaines civilisations.

Le premier avantage des foggaras réside dans le fait qu'elles n'exploitent les réserves d'eau souterraines qu'à un certain point et jamais au-delà du seuil de réapprovisionnement naturel.

Ce dispositif rare fait également partie des ultimes tentatives pour collecter l'eau devenue rare :

- soit on détourne une galerie drainante vers un puits pour additionner les ressources en eau des deux systèmes.
- Soit on creuse une nouvelle galerie drainante en amont d'un puits, à la recherche d'aquifère non exploités.

Pour augmenter le débit à l'exutoire ou quand la foggara est morte, il est nécessaire d'allonger la galerie à l'amont ou de multiplier le nombre de bras des galeries drainantes.

L'ingéniosité du procédé réside dans sa conception et son adaptation aux conditions de la vie et de climat sahariens : il supprimait les corvées d'eau épuisantes, qui prenaient l'essentiel du temps des habitants, et assurait un approvisionnement à débit constant, sans risque de tarir la nappe d'eau et en limitant l'évaporation au minimum.

La réussite de cette technique continue aujourd'hui encore à faire l'admiration des observateurs. Il ne pleut pour ainsi dire jamais au pays des fgagir (autre nomenclature de la foggara). Il cependant , depuis plus de dix siècles, à chaque heure, la moindre foggara soutire plusieurs mètres cubes d'eau souterraine dont le remplacement pluviométrique est manifestement impossible.

Le système des foggaras est un système qui ne consomme pas d'énergie, il est intéressant de réfléchir à des moyens appropriés pour le moderniser, dont l'utilisation de tubes à la place des galeries, et autres matériaux récents.

L'importance de ce système a capté l'intérêt de plusieurs chercheurs mondiaux qui tentent de l'approprié chaque'un à son pays.

Annexe 1 : Le puit





Annexe 2 : N'Fad







Annexe 3 : Majra



