

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali - Chlef

Faculté d'Architecture et de Génie civil

Département Hydraulique



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT

Filière : Hydraulique

Spécialité : Aménagement hydraulique

Par

Tahar Medjdoub HAMDAOUI

Thème :

L'EAU DANS LES OASIS DE BOUSSAADA

Soutenue le 12/07/2022 devant le jury composé de :

EZZIANE Karim	Professeur	UHB Chlef	Président
BOUZIANE Mohamed Toufik	Professeur	UMK Biskra	Examineur
ELMEDDAHI Yamina	MCA	UHB Chlef	Examinatrice
BOUDERBALA Abdelkader	MCA	UDB Khemis Miliana	Examineur
REMINI Boualem	Professeur	USD Blida 1	Rapporteur
SAAED Hamoudi Abdelamir	Professeur	UHB Chlef	Co- Rapporteur

REMERCIEMENTS

Avant tout, Louange à **Allah**, Maître des Mondes, pour son guide et sa protection.

Un travail qui a duré 6 ans (période : 2017-2022). Sans la population oasienne cette étude ne voit pas le jour. Je tiens les remercier vivement. Ils ont met tous les moyens nécessaires (transport, hébergement et archives) à la réussite de ce travail.

Je tiens à remercier très vivement mon directeur de thèse, Mr. REMINI Boualem, professeur à l'université Saad dahleb Blida pour ses qualités humaines et scientifiques. Il a dirigé mon travail depuis le début avec dévouement et une grande compétence malgré les nombreuses activités scientifiques dans lesquelles il est engagé.

Je tiens à remercier également à mon Co-encadreur Mr. HAMMOUDI Saaed Abdelamir professeur à L'université Hassiba ben Bouali de Chlef, je ne pourrai jamais oublier conseils, orientations soutiens scientifiques toujours renouvelées pendant la réalisation de ce travail.

Je remercie et rendre hommage à Mr. REMOUNE Mohamed 'RABI YERHMOU' professeur à L'université Hassiba ben Bouali de Chlef, Un grand merci de m'avoir donné la chance de faire une thèse.

Je remercie particulièrement Monsieur EZZIANE Karim, Professeur à l'université de Chlef d'avoir accepté de juger ce travail et me faire l'honneur de présider mon Jury de thèse.

Je remercie également Monsieur BOUZIANE Mohamed Toufik, Professeur à l'université de Biskra d'avoir accepté de se joindre à ce jury comme examinateur.

Je remercie également Mme ELMEDDAHI Yamina, Maître de conférences à l'université de Chlef d'avoir accepté de se joindre à ce jury comme examinatrice.

Je remercie également Monsieur BOUDERBALA Abdelkader, Maître de conférences à l'université de Khemis Miliana d'avoir accepté de se joindre à ce jury comme examinatrice.

Je tiens également à remercier toutes les personnes travaillant à l'ANBT d'El Bayadh, qui m'ont réservé un accueil amical et m'ont fourni les données nécessaires à ce travail.

Je remercie Monsieur DJELLOULI Fayçal, Maître de conférences à Centre Universitaire d'El-Bayadh, pour sa collaboration et ses conseils. Je remercie également Madame. DJELLOULI, Maître de conférences à Centre Universitaire d'El-Bayadh, pour la qualité de sa collaboration.

Je tiens à remercier mon père, ma mère, mes frères et sœurs, ma grand-mère, mon grand-père, Oncle ; vous tenez tous une place de choix dans la réalisation de cette thèse.

Tahar Medjdoub HAMDAOUI

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

*mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, **mon père.***

*la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ;
maman que j'adore.*

Merci, chers parents, de vous être préoccupés de mes études de la sixième, du BEM, du BAC, de Licence, du Master et enfin du doctorat. Vous avez mon éternelle gratitude.

pour mon unique frère et mes sœurs à qui je souhaite une meilleur vie,

*sans oublié mes grands-mères ; **Zana**, que Dieu ait pitié d'elle et **Fatma**, que Dieu la protège et prenne soin d'elle.*

*tout la famille **MOKEDDEM** et **SAIDATE***

tous mes collègue

tous mes amis



Tahar Medjdoub

المخلص

تتميز واحات بوسعادة , عين ماضي , ستيتن , المشرية الصغيرة وبرزينة الواقعة على سلاسل الأطلس الصحراوي بتعدد مصادر المياه. لعدة قرون, تم استغلال هاته المياه باستخدام تقنيات الأجداد لإستقطاب المياه وتخزينها وفقاً للظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية والطبوغرافية لكل منطقة. النمو السكاني والتنمية بمرور الوقت تتطلب موارد مائية اضافية ولتغطية العجز المائي تم اللجوء الى طرق حديثة وفعالة لاستخراج المياه مما تسبب الى اختفاء وبشكل تدريجي هذا التراث الهيدروليكي عن المناطق. في هذه الدراسة , أجرينا طلعات ميدانية على مستوى الواحات المذكورة سابقا خلال الفترة الممتدة بين 2017 و2019 قادتنا تحقيقاتنا مع السكان القصور لاطهار التنوع في طرق إستخراجهم للمياه على سبيل المثال فوجارة , والسدود التقليدية والآبار التقليدية (الجر الحيواني والبندول) والتي تم ممارستها في مجال دراسة, كما أننا نسلط الضوء على تأثير التكنولوجيا الحديثة والتي تسببت في اختفاء هذا التراث. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن تقنيات الأجداد قد ساهمت بشكل كبير في تنمية النخيل والتنمية المستدامة في هذه المناطق. بالإضافة إلى ذلك , تتكيف هذه العمليات التقليدية جيداً مع البيئات القاحلة مثل مناطق دراستنا. لكن مع بروز التقنيات الحديثة في بداية القرن الحادي والعشرين , نشأ صراع بينها وبين التقنيات القديمة والتي تم من خلالها التخلي عنها على حساب مساهمة التقنيات الحديثة. هذا الوضع الجديد اعطي كمية مهمة من المياه وغير متحكم فيها مما تسبب في تدهور البيئة , مثل ارتفاع منسوب المياه الجوفية وملوحة التربة.

كلمات مفتاحية : فجارة – واحة – بستان – بوسعادة - عين ماضي – برزينة – سد تقليدي.

Résumé

Les oasis de Boussaâda, Ain Madhi, Stitten, Méchria Essghira et Brézina situées sur les chaînons de l'Atlas saharien se caractérisent par la multitude de sources des eaux. Durant des siècles, ces sources ont été exploitées en utilisant des techniques traditionnelles de captage et de stockage des eaux. Ces dernières s'adaptent aux conditions géologiques, hydrogéologiques et topographiques de chaque région. Au fil du temps, la croissance démographique et le développement nécessitent des ressources en eau supplémentaires pour combler le déficit hydrique en recourant à des méthodes modernes d'extraction efficaces de l'eau, ce qui a entraîné la disparition de plus en plus importante du patrimoine hydraulique. Dans cette étude, nous avons effectués des missions au niveau des oasis citées précédemment n durant la période : 2017-2019. Des enquêtes ont été menées auprès de la population ksourienne sur la diversité des procédés de captage eaux établis par les oasiens, comme les foggaras, les barrages ancestraux et les puits traditionnels (à balancier et attraction animale). Les résultats obtenus ont montré que ces techniques ancestrales ont beaucoup contribué au développement du palmier dattier et au développement durable dans ces régions. En plus ces procédés traditionnels s'adaptent bien aux milieux arides comme le cas de notre région d'étude. Seulement avec l'apport des techniques modernes au début de 21eme siècle, un conflit a été créé entre les deux procédés et qui a fini par l'abandon de l'ancien au détriment du niveau. Une situation nouvelle qui a donné un volume d'eau important et non contrôlé qui a provoqué une dégradation de l'environnement, comme la remontée des eaux de la nappe et la salinisation de sols.

Mots clés : Foggara – Oasis- Palmeraie-Boussaâda – Brézina – Ain Madhi- Barrage traditionnel.

Abstract

The oases of Boussaada, Ain Madhi, Stitten, Mechria Essghira and Brezina located on the ranges of the Saharan Atlas are characterized by the multitude of water sources. For centuries, these water sources have been exploited using traditional techniques of collecting and storing water. These are adapted to the geological, hydrogeological and topographical conditions of each region. Over time, population growth and development require additional water resources to make up for the water deficit by using modern methods of efficient water extraction, which has led to the increasing disappearance of the hydraulic heritage. In this study, we conducted missions in levels of the oases mentioned above during the period: 2017-2019. Surveys were conducted among the Ksourian population on the diversity of water collection processes established by the oasis people, such as Foggaras, ancestral dams and traditional wells (swing and animal attraction). The results obtained have shown that these ancestral techniques have greatly contributed to the development of date palms and sustainable development in these regions. In addition, these traditional processes are well adapted to arid environments such as the case of our study area. Only with the contribution of modern techniques at the beginning of the 21st century, a conflict was appeared between the two processes and ended with the abandonment of the old to the detriment of the level. A new situation that has given an important and uncontrolled volume of water that has caused a degradation of the environment, as the rise of the water table and the salinization of the soil.

Keywords

Foggara - Oasis - Palmeraie-Boussaada - Brezina - Ain Madhi- Traditional dam.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	I
DEDICASE	II
RÉSUMÉ	III
SOMMAIRE	VI
LISTE DES FIGURES	XIII
LISTE DES TABLEAUX	XIV
GLOSSAIRE	XV
ACRONYME	XVI
INTRODUCTION GENERALE	2
Chapitre I : Généralités sur les systèmes traditionnels de captage et stockage des eaux	
I.1. Introduction	5
I.2. Généralités	5
I.2.1. L'eau souterraine.....	5
I.2.2. L'aquifère.....	5
I.2.2.1. Aquifère libre	6
I.2.2.2. L'aquifère semi-captif	6
I.2.2.3. Aquifère captif.....	6
I.3. Les Captage traditionnel d'eau	7
I.3.1. Puits traditionnels	7
I.3.1.1. Puits à balanciers	7
I.3.1.1.1 Le montant	8
I.3.1.1.2 Le balancier	8
I.3.1.1.3 L'axe de rotation	8
I.3.1.1.4 Le Delo	8
I.3.1.2. Puisage par traction animale	9
I.3.2. La Foggara	10
I.3.2.1 Le concept de la foggara	11
I.3.2.2. Les type des foggaras	12
I.3.2.2.1. La foggara de l'Albien	12
I.3.2.2.2. La Foggara de l'Erg	12
I.3.2.2.2.1. La foggara de l'Erg a ses caractéristiques propres, à savoir	13
I.3.2.2.3. La foggara de jardin	13
I.3.2.2.4 La foggara d'El Ain	13
I.3.2.2.5 La foggara de montagne	14
I.3.2.2.6 La foggara de l'oued	14
I.3.2.2.7 La foggara des crues	15
I.3.2.3. Le partage et la distribution de l'eau d'une foggara	16
I.3.2.3.1. La méthode volumique	16
I.3.2.3.2. La méthode horaire	16

I.3.3. Les Ghout	17
I.3.3.1. Les Ghout	17
I.3.3.2 Fonctionnement du Ghout	18
I.3.4. Les barrages des sources ou barrages en cascade	18
I.3.5. Le système de partage des eaux de crues	19
I.3.5.1. Le système de partage des eaux de crues dans la vallée de M'zab	19
I.3.5.2. Principe de l'aménagement du SRI de la rivière M'Zab	20
I.3.6. Le système de l'Ahbas Foussa	21
I.4. Les travaux antérieurs sur les techniques traditionnelles de captage d'eau.....	22
I.4.1. Travaux de Goblot, 1979	22
I.4.2. Travaux de Kobori, 1982	22
I.4.3. Travaux Dubost et Moguedet en 1998	22
I.4.4. Travaux de Lightfoot D.R., 1996	23
I.4.5. Travaux de Remini,2019	23
I.4.6. Travaux de Remini et Achour, 2017	23
I.4.7. Travaux de Remini et Rezoug,2017	24
I.4.8. Travaux de Remini, 2020	24
I.4.9. Travaux de Remini et Abidi saad,2019	24
I.5. Conclusion	25

Chapitre II : Les barrages en cascade dans les oasis de Boussaâda

II.1. Introduction	27
II.2. Historique de la ville de Boussaâda	27
II.3. Situation géographique de la Région d'étude	27
II.4. Relief	28
II.5. La Climat	29
II.6. Pluviométrie	29
II.7. Le vent	30
II.8. Cadre géologique	30
II.9. Stratigraphie	31
II.10. Missions dans la région de Boussaâda	32
II.11. Résultats et discussion	32
II.11.1. Barrage de sources	32
II.11.2. L'originalité de l'oasis de Boussaâda	33
II.11.3. Le Ksar de Boussaâda	35
II.11.4. Les moulins à eau	35
II.11.5. La palmeraie du Boussaâda	36
II.11.6. Les eaux de source	38
II.11.7. Les facteurs favorisant la disparition de ce système	39
II.11.7.1. La pollution urbaine	39
II.11.7.2. Influence des forages d'eau sur le système traditionnel	40
II.11.7.3. Ensablement et l'envasement des barrages.....	40
II.11.7.4. Dégradation des seguias	41
II.12. Conclusion	42

Chapitre III : La diversité des techniques de captage et de stockage de l'eau dans les oasis d'El Bayadh

III.1. Introduction	44
III.2. Situation géographique de la Région d'étude	44
III.3. Méthodologie de travail	45
III.4. Résultats et discussions	45
III.4.1. L'eau dans les jardins de Stitten et Petite Méchria	45
III.4.1.1. La foggara de Petite Méchria	45
III.4.1.2. Puits à poulie	48
III.4.1.3. La foggara de Stitten	48
III.4.1.4. Réseau de distribution des foggaras des Stitten et Petite Méchria	50
III.4.1.5. Méthode d'El Hadjra	52
III.4.1.6. Évolutions des puits individuels	52
III.4.1.7. Les barrages	53
III.4.3. Les oasis de Brézina	54
III.4.3.1. Historique du système ancestral	55
III.4.3.2. Les ressources d'alimentation en eau du système	55
III.4.3.3. Composition du système traditionnel d'irrigation	56
III.4.3.3.1. En temps ordinaire	56
III.4.3.3.1.1. Les puits	56
III.4.3.3.1.2. Mesabe	57
III.4.3.3.1.3. Le Madjen	58
III.4.3.3.1.4. La seguia	58
III.4.3.3.2. Le temps de crue	59
III.4.3.3.2.1. Dignes	59
III.4.3.3.2.2. Les seguias-ruelles	60
III.4.3.3.2.3. Les petits Barrages	60
III.4.3.4. Fonctionnement de l'aménagement hydraulique	61
III.4.3.5. Apport des techniques nouvelles d'irrigation	63
III.4.3.5.1. L'influence de la moto pompe sur le système traditionnel	63
III.4.3.5.2. L'effet de réalisation de Barrage réservoir sur le système traditionnel	63
III.5. Conclusion	64

Chapitre IV : Une étude sur le partage ancestral de l'eau la foggara d'Aïn Madhi

IV.1. Introduction	66
IV.2. Régions d'étude et méthodologie de travail	66
IV.2.1. La situation géographique de la région d'étude	66
IV.2.2. La méthodologie de travail	67
IV.3. Résultats et discussions	67
IV.3.1. Le captage	67
IV.3.1.1. La source d'eau	67
IV.3.1.2. La galerie	67
IV.3.2. La distribution	68
IV.3.2.1. La seguia	68

IV.3.2.2. El jare	69
IV.3.3. Le partage de l'eau entre les propriétaires	70
IV.3.3.1. En temps ordinaire	70
IV.3.3.2. Système El Salaf	74
IV.3.3.3. Système Jebid et système Tokhar	77
IV.3.4. Sahib Alramlia	78
IV.4. Vérification technique et calculs hydrauliques	78
IV.4.1. La nature d'écoulement	78
IV.4.2. La méthode traditionnelle	80
IV.4.2. La méthode ordinaire	81
IV.5. Conclusion	82
CONCLUSION GENERALE	84
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	87

Liste des figures

Fig.1	Les types d'aquifères (Singhal and Gupta 2010, modifiée par l'auteur)	6
Fig.2	Schéma simplifié d'une Khottara de la Saoura (Schéma Remini, 2017)	8
Fig.3	Delou, poche de cuir, à Djanet (Photo Gast, 1995)	9
Fig.4	Puisage par traction animale dans les oasis de Tafilalet (Photo Ben Brahim, 2003)	9
Fig.5	La Propagation des foggaras à travers le monde (Goblot H 1963)	10
Fig.6	Schéma synoptique d'une vue générale des dispositions des Ghouts dans la région du Souf (Schéma Remini, 2016)	11
Fig.7	Schéma simplifié d'une oasis du Grand Erg Occidental algérien (Schéma Remini, 2008)	12
Fig.8	Schéma d'une coupe de l'oasis de Moghrar (Remini et Achour, 2016)	13
Fig.9	Schéma synoptique de la foggara de la montagne (Remini 2008)	14
Fig.10	Schéma probable d'une coupe longitudinale de la foggara de Tindouf (Schéma Remini, 2017)	14
Fig.11	Schéma d'une coupe longitudinale d'une foggara de crue (Schéma Remini, 2018)	15
Fig.12	Schéma d'une foggara volumétrique (Schéma, Remini, 2019 a)	16
Fig.13	Schéma d'un réseau ramifié d'une foggara horaire (Schéma Remini, 2017)	16
Fig.14	Schéma synoptique d'une vue générale des dispositions des Ghouts dans la région du Souf (Schéma Remini, 2016)	17
Fig.15	Réseau d'irrigation des jardins dans le Ghout (Photo. REMINI B., SOUACI B.E,2016)	18
Fig.16	Schéma synoptique d'un barrage à sources avec une seguia latérale (Schéma Remini, 2019 b)	18
Fig.17	Schéma synoptique du réseau de foggaras pour l'irrigation de la palmeraie Est de Ghardaïa (Schéma Remini, 2018)	19
Fig.18	Schéma du fonctionnement du système hydraulique ancestral dans l'oasis de Berriane (KHELIFA A;Remini B, 2019)	20

Fig.19	Concept de développement de l'IRS (Schema, Remini, 2020)	21
Fig.20	Schéma synoptique des galeries souterraines destinées à l'irrigation de la partie supérieure (Bouchemdjane) de la palmeraie - Est de Ghardaïa (Schema Remini, 2018)	21
Fig.21	Schéma du profil en long de l'oued Zegrir a l'entrée de la retenue d'Ahbas Foussa (Schéma Remini, 2019 c)	22
Fig.22	Carte de Localisation la ville de Boussaâda (Remini, 2018 modifiée par l'auteur)	28
Fig.23	Extrait de la carte géologique du Boussaâda	30
Fig.24	Coupe géologique de la zone de Boussaâda (EMBERGER J., 1960)	32
Fig.25	Sous bassin versant d'oued Boussaâda réalisé à partir des données SRTM	33
Fig.26	Profil topographique transversal d'oued Boussaâda	33
Fig.27	Schéma des barrages situé sur l'oued de Boussaâda	34
Fig.28	Schéma simplifié de l'oasis de Tiout (Schéma Remini, 2019)	34
Fig.29	Une maison dans la médina	35
Fig.30	Moulin à eau du qanât de Zarch à Yazd, en Iran : (a) La descente vers le moulin ; (b) La partie centrale du moulin où se trouve le rotor en bois, les meules et le bac à recevoir la farine ; (c) L'eau du qanât descendant en chute libre pour pousser les pales du rotor (Megdiche-Kharrat, 2015)	36
Fig.31	Traces de témoins de la localisation d'un moulin à eau de Ferrero	36
Fig.32	Schéma de la superficie de la palmeraie de Boussaâda	37
Fig.33	Les palmiers dattier dans l'oasis de Boussaâda	37
Fig.34	Arbres fruitiers dans l'oasis de Boussaâda	37
Fig.35	El Hassab chargé de répartir les rôles d'irrigation à Boussaâda	38
Fig.36	Source d'eau située sur la rive gauche de la vallée	38
Fig.37	Une source d'eau située au pied de la montagne	38
Fig.38	Source d'eau située sur le lit de la vallée	39
Fig.39	La présence d'un réseau d'assainissement au-dessus la seguia	39

Fig.40	Les forages sont répartis autour des oasis	40
Fig.41	Une vue sur coupe transversale d'un Barrage Ferrero	41
Fig.42	L'envasement occupe la majeure partie de la retenue du barrage Tahtani	41
Fig.43	Une partie de la seguia Nakhara en bon état	42
Fig.44	Une partie de la seguia Khachbat colmatée par la boue	42
Fig.45	Carte de Localisation des trois oasis (Brézina , Petite Méchria et Stitten)((Remini, 2018 modifiée par l'auteur))	44
Fig.46	Vue général de région de petite méchria	46
Fig.47	Un puits d'aération de la foggara de Petite Méchria	46
Fig.48	Schéma synoptique représente les Foggaras dans Petite Méchria	47
Fig.49	Madjen collectif de foggara de Petite Méchria	47
Fig.50	Séguia principale dans le jardin de petite Méchria	48
Fig.51	Un des puits qui alimente le ksar de Petite Méchria	48
Fig.52	Une vue général du Ksar de Stitten	49
Fig.53	Schéma synoptique représente les Foggaras dans Stitten	49
Fig.54	Ouverture au fond du madjen	50
Fig.55	Exemple des tours d'irrigation entre les propriétaires dans petite Méchria	51
Fig.56	El Hadjra de Petite Méchria	52
Fig.57	Schéma des balanciers des khottaras dans la région de Stitten	52
Fig.58	La situation actuellement du Barrage de Stitten ensablé à 100%	53
Fig.59	La situation de l'effondrement du barrage de petite Méchria après la crue	53
Fig.60	Région d'El Gor à Brézina	54
Fig.61	Vue générale de l'oasis de Brézina	54
Fig.62	Localisation de la palmeraie de Brézina par rapport à l'oued seggueur	55
Fig.63	Rouleau de bois appelé « Meroide »	56
Fig.64	Schéma simplifié d'un puits à traction animale	57
Fig.65	Messabe dans l'oasis de Brézina	57
Fig.66	Madjen individuel	58
Fig.67	La seguia dans le jardin	58
Fig.68	Une vue de la digue	59

Fig.69	Une vue d'une seguia –ruelle de la palmeraie de Brézina	60
Fig.70	Jardins sur lequel a été bâti le petit barrage	60
Fig.71	L'arrive de l'eau	61
Fig.72	Le débordement latéral de l'eau vers les chemins	61
Fig.73	L'arrive de l'eau dans Les chemins	62
Fig.74	La crue se déverser vers le retenue	62
Fig.75	Retenue les eaux de crue dans le jardin	62
Fig.76	La pompe dans le puits traditionnel	63
Fig.77	Barrage Brézina	63
Fig.78	Carte de situation géographique de la région d'étude (Remini, 2018 modifiée par l'auteur)	66
Fig.79	Puits d'aération de Foggara d'Ain Madhi	67
Fig.80	Galerie et puits d'aération de Foggara d'Ain Madhi	68
Fig.81	Seguia en ciment à l'extérieur d'un jardin	68
Fig.82	la fermeture manuelle des seguias	68
Fig.83	Schéma synoptique de la Foggara d'Ain Madhi (Google Earth, Préparé par l'auteur)	69
Fig.84	La zone à laquelle appartient cette tour	72
Fig.85	Les propriétaires se consultent sur le partage de l'eau	74
Fig.86	L'emplacement choisi pour calculer les paramètres hydrauliques	79
Fig.87	Section transversale de la seguia	80

Liste des Tableaux

Tableau 1	Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH)	29
Tableau 2	Données climatiques à Niveau De La Station De Boussaâda	30
Tableau 3	Le temps mis par l'eau pour atteindre l'emplacement spécifié	70
Tableau 4	Tours d'irrigation en Ain Madhi	71
Tableau 5	Les unités reconnues par les propriétaires	71
Tableau 6	Répartition de l'eau entre les propriétaires en fonction du temps	73
Tableau 7	Exemple de fonction de ce système	74
Tableau 8	Exemple sur le système El Salaf dans tous les Tours	75
Tableau 9	Vitesses d'écoulement et débits calculés	80
Tableau 10	Les différentes valeurs de γ, en fonction de la nature des parois (CARLIER, 1980)	81
Tableau 11	Durée de la traction de l'eau après vérification	82

Glossaire

Ahbas : Barrage

El jare : Traction d'eau

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

Erg : Massif de forme et d'extension variables, constitué de divers types de dunes

Essed : Barrage traditionnel

Ksar (pluriel ksour) : Tour, Ensemble de bâtis d'une agglomération.

IRS : Irrigation de la palmeraie, Recharge de la nappe et sécurité de l'oasis

Khottara : un système de puisage à balancier

Mesabe : petit bassin

Madjen : bassin d'accumulation et de stockage des eaux dans les jardins, généralement d'une forme rectangulaire

Meroide : Rouleau de bois

Qanat : Canal d'eau souterraine

Salaf : Emprunt

Sebkha : Marécage salé, parfois asséché, qui occupe le fond d'une dépression topographique et les lis des anciens oueds dans les régions désertiques et se déposent des évaporites.

Seguia : canal de distribution principal, permet de conduire et distribuer l'eau de la sortie de la foggara dans les jardins

Shedade : corde

Tutia : digue

ACRONYME

AEP : Alimentation en Eau Potable

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

APC : Assemblée populaire communale

APPPE : Association pour la Protection et la Préservation du Patrimoine et de l'Environnement d'Ain madhi

CT : Complexe Terminale

CI : Continent Intercalaire

DHW : Direction de l'Hydraulique de Wilaya

DSA : Direction des Services Agricoles

DPSB : Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires

Ha : hectare

GPS: Global Positioning System

mm : millimètre

Mm³ : Millions de mètres cubes

O.N.M : Office national de météorologie

P : Précipitations

PIB : Produit intérieur brut

PDAU : Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

STEP : Station du Traitement des Eaux Polluées

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

T : Température

***INTRODUCTION
GÉNÉRALE***

Introduction générale

Le Sahara algérien est caractérisé par un climat hyper aride. Les précipitations sont très faibles voir négligeable, L'évaporation dépasse la quantité de précipitations, avec un taux d'humidité très faible. Cependant les crues occasionnelles drainent des quantités appréciables en eau. Seulement, une faible quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol. L'énorme quantité d'eau qui sont cachées dans le sous-sol à Sahara algérien poussé la population locale à inventer diverses techniques ancestrales de captage des eaux souterraines, ce qui a permis à l'homme de vivre dans ces régions hostiles. Ces techniques différentes d'une région à l'autre selon le savoir-faire de la population locale ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques et topographiques de chaque région. Cependant, les besoins en eau ont augmenté, le recours à l'utilisation des nouvelles techniques de captage et d'exploitation des eaux profondes pour subvenir à la demande croissante sur l'eau. L'apport des techniques modernes a beaucoup facilité l'irrigation avec l'augmentation du débit de pompage. Le manque d'entretien ceci a dégradé le système traditionnel. Sans oublier le problème l'héritage, qui contribue à la détérioration du système. Les régions de Boussaâda, Ain Madhi, stitten, Méchria Essghira et Brézina située sur les chaînons de l'atlas saharien se caractérisent par multitude leurs sources des eaux, ces régions arides situées au sud d'Alger. Très connue par ces ksours, les palmeraies et la bonne qualité de leurs fruits et légumes, spécialement les dattes et ses variétés. Ces régions connues aussi par les fortes crues drainées occasionnellement. Depuis plusieurs siècles la consommation domestique et l'irrigation s'effectuent par l'utilisation des techniques traditionnelles de captage des eaux telles que : foggara de source, Barrage ancestral en (crues et sources) et le puits à (traction animal et balancier).

Dans cette étude, on s'intéresse aux différentes techniques de captage et de stockage des eaux souterraines durant plus des 9 siècles d'exploitation dans les jardins de région d'étude. Par faire des enquêtes sur terrain. On recense les cas d'utilisation des techniques ancestrales de captage et de stockage des eaux, mettre une vision actuelle sur la dispersion d'utilisation des techniques modernes d'irrigation dans ces jardins. Pour étudier avec précision la problématique du système traditionnel, la démarche adoptée dans ce travail se compose de quatre chapitres :

Le 1^{er} Chapitre intitulé « généralités sur les systèmes traditionnels de captage et stockage des eaux souterraines ».

Introduction générale

Le 2^{ème} Chapitre intitulé « les barrages en cascade dans les oasis de Boussaâda »

Le 3^{ème} Chapitre intitulé « La diversité des techniques de captage et stockage de l'eau dans les oasis d'El Bayadh»

Le 4^{ème} Chapitre intitulé « Une étude sur le partage ancestral de l'eau à foggara d'Aïn Madhi»

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES SYSTÈMES TRADITIONNELS DE CAPTAGE ET STOCKAGE DES EAUX

Chapitre I Généralités sur les systèmes traditionnels de captage et stockage des eaux

I.1. Introduction

L'eau est une ressource indispensable à la vie. L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible elle reste le seul espoir de vivre dans un milieu aussi hostile et d'extraire cette denrée rare pour alimenter la population en eau et irriguer les palmeraies. Diverses techniques de captage des eaux souterraines ont été inventées par les agriculteurs durant des siècles.

Dans la première partie de ce chapitre, nous mettons en évidence les différents types de techniques traditionnelles de captage qui ont participé à donner la vie aux oasis du Sahara algérien.

Dans la deuxième partie, nous examinons les principaux travaux antérieurs et les techniques traditionnelles de captage.

I.2. Généralités

I.2.1. L'eau souterraine

Les eaux souterraines sont la principale source d'eau dans une grande partie du monde, en particulier dans les zones rurales des régions arides et semi-arides, les aquifères sont généralement reconstitués par des précipitations efficaces, des rivières et des lacs. Cette eau peut atteindre l'aquifère rapidement par des fissures, ou atteindre l'aquifère plus lentement en pénétrant le sol et les roches perméables recouvrant l'aquifère. Cependant, une évaporation plus élevée peut signifier que les déficits de sol persistent plus longtemps et commencent plus tard, compensant une augmentation de la pluviométrie totale effective. Différents types d'aquifères seront rechargés différemment (Kumar et Science , 2012).

I.2.2. L'aquifère

Les aquifères (du latin aqua fero : porter l'eau) sont des structures géologiques perméables contenant de l'eau, par exemple les alluvions de rivière, le granit fissuré, un plateau calcaire, etc. L'eau contenue dans un aquifère, provenant de précipitations infiltrées, circule sous terre et alimente une ou plusieurs sources où s'écoule sans être vue dans un corps récepteur, tel qu'une mer, un lac, une rivière ou un autre aquifère. L'aquifère est défini par sa géométrie, sa taille, sa profondeur, et les caractéristiques propres de la roche qui le constitue : lithologie, porosité, perméabilité, fracture, homogénéité, ..etc (Gilli et al., 2012).

Les types d'aquifères suivants sont classés comme suit :

I.2.2.1. Aquifère libre

Appelés aquifères de surface ou aquifères phréatiques sont délimités par une surface libre à la limite supérieure. Par conséquent, la surface libre d'un aquifère non confiné est limitée par une surface libre à la limite supérieure (Batu, 1998) .

I.2.2.2. L'aquifère semi-captif

Les aquifères véritablement fermés sont rares dans la nature, car les couches de confinement ne sont pas totalement imperméables. Les aquitards forment les couches semi-conductrices dans les aquifères qui fuient, dans lesquels des fuites verticales se produisent en raison des variations de hauteur de chute qui les traversent (Singhal et Gupta, 2010).

I.2.2.3. Aquifère captif

Dans les aquifères plus profonds, les eaux souterraines sont emprisonnées dans la formation hydrogéologique perméable entre deux formations imperméables fixes : le substratum à la base et le toit au sommet. Étant donné la situation en profondeur, l'aquifère subit une pression, dirigée de haut en bas, égale au poids de la colonne de terrains de densité moyenne 2,5, qui surmonte jusqu'à la surface du sol. La pression atmosphérique étant négligeable, cette pression, dite géostatique, est équilibrée par la pression de couche ou de pore qui règne à l'intérieur de l'aquifère (Castany, 1982).

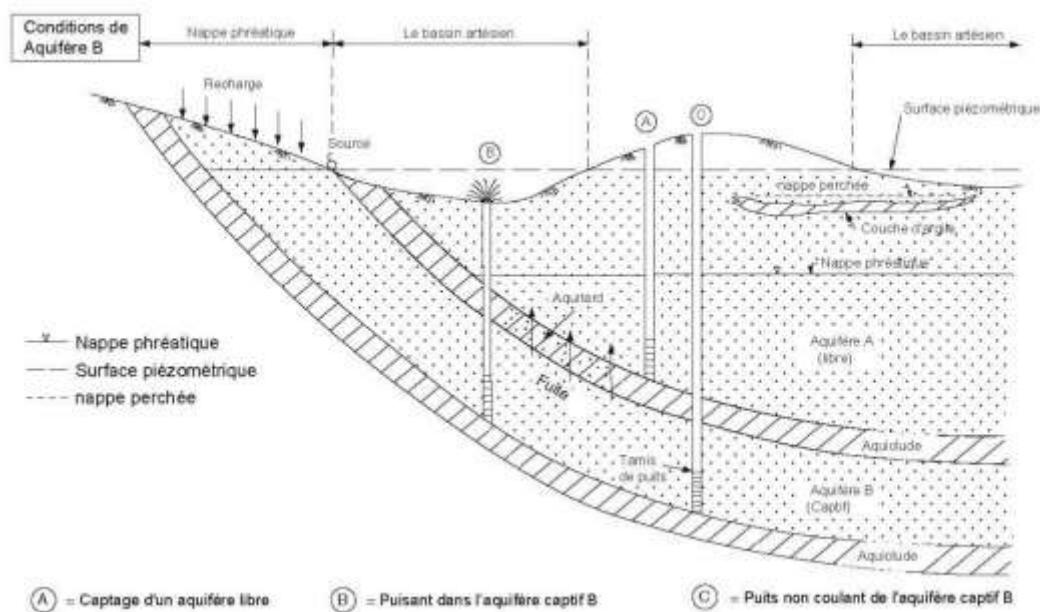


Fig.1 Les types d'aquifères (Singhal et Gupta, 2010) modifiée par l'auteur

I.3. Les Captages traditionnels d'eau

Selon Remini (2012), diverses techniques de captage des eaux ont été utilisées à travers l'histoire oasis. Le choix de la technologie dépend des conditions hydrogéologiques et de la maîtrise de la technologie hydraulique. Pour capter et stocker des eaux douces dans des régions hyper arides, la population du Sahara a inventé des systèmes hydrauliques traditionnels qui s'adaptent à leur milieu. Parmi ces systèmes, nous citons :

I.3.1. Puits traditionnels

Un puits d'eau est une structure de captage verticale creusée à la main, permettant l'exploitation de l'eau d'une nappe phréatique contenue dans les interstices ou les fissures d'une roche du sous-sol. Le plus ancien ouvrage connu en Égypte a été creusé il y a quatre mille ans. Le puits de Prophète Joseph (Youssef) 'Alayhi Salem, près du Caire, qui a environ 100 m de profondeur (Castany, 1980). Pour extraire les eaux de puits, ils utilisent les méthodes suivantes :

I.3.1.1. Puits à balanciers

Connus sous le nom de «Khottara» en Saoura (Remini et Rezoug, 2017), Sànya dans l'oued Souf et au Fezzan, Tirst au Mzab, Delu en Tunisie, Tanut en pays touareg (Gast, 1995), Chadouf en Égypte. Le balancier est un système de levage destiné à tirer l'eau d'un puits par l'effort humain, il est constitué d'un levier soutenu en son milieu sur un pivot et porte un récipient pour recueillir l'eau à une de ses extrémités et un contrepoids à l'autre (pierre, métal ou rondin) (Christian, 1987). Le système de puisage à balancier, tel qu'on le rencontre en Algérie, se compose de quatre éléments :

I.3.1.1.1 Le montant

Un élément vertical immobile qui consiste généralement en un tronc d'arbre de section et de hauteur variables, enfoncé et calé dans la terre, est également appelé "pied", "piédroit", ou "poteau". Cet élément joue le rôle d'un pivot. Parfois, le tronc d'arbre est substitué par deux poteaux jumelés en bois (Christian, 1987).

Chapitre I Généralités sur les systèmes traditionnels de captage et stockage des eaux

I.3.1.1.2 Le balancier

L'élément horizontal mobile (le « balancier » ou « fléau ») représenté par une longue tige de bois et une perche prenant le piédroit pour point d'appui; à l'extrémité mince et longue (la « flèche »), du côté de l'eau, est fixé le système de suspension du récipient, un contre poids du côté opposé est fixé à l'extrémité courte et épaisse (la "queue") (Christian, 2008).

I.3.1.1.3 L'axe de rotation

L'axe de rotation du balancier est une tige de bois, et le mouvement de rotation se poursuit avec moins de frottement (Remini et Rezoug, 2017). Cette tige doit être droite et bien coupée. L'axe de rotation et la tige sont placés sur le haut du poteau afin de garantir l'inclinaison du fléau. Quel que soit le sens du mouvement, vers le haut ou vers le bas, l'inclinaison de la tige nécessite une faible force appliquée à la corde.

I.3.1.1.4 Le Delou

Le Delou, qui signifie poche de cuir, est fabriqué en peau de chèvre ou de chameau de sorte qu'il prend la forme d'une sphère ou d'un parabololoïde coupé lorsqu'il est rempli d'eau. Le cercle en bois, d'un diamètre de 30 cm, est fixé à l'ouverture souple de la poche (Remini et Rezoug, 2017), tandis qu'au-dessus de ce cercle, trois liens en corde assurent une prise équilibrant le poids du Delou rempli d'environ 3 à 6 litres d'eau. Au sommet de cette suspension, est fixée la corde de traction dont la longueur varie en fonction de la profondeur de l'eau à tirer (Gast, 1995).

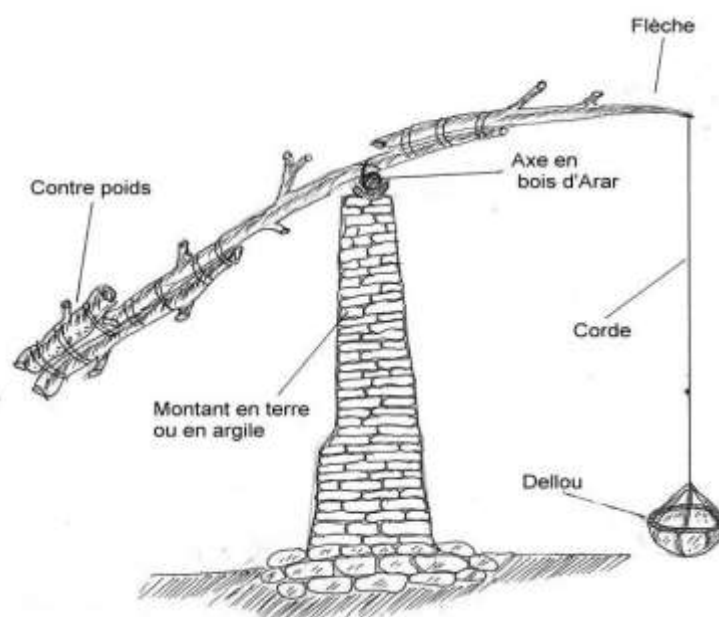


Fig.2 Schéma simplifié d'une Khottara de la Saoura (Remini, 2017)



Fig.3 Photo d'un Delou, poche de cuir, à Djanet (Gast,1995).

I.3.1.2. Puisage par traction animale

Connus sous le nom de « Khottara », dans la vallée du Mزاب à Ghardaïa (Remini, 2018), Aghrourau Maroc (Ben Brahim, 2003) (**Fig.4**), ce mode de traction est basé sur l'utilisation d'un animal (un âne ou un chameau) pour extraire l'eau souterraine par retrait du Delou par l'intermédiaire d'une corde et grâce au mouvement répété de l'animal.

Selon Ben Brahim (2003), le rendement obtenu est dérisoire, bien que les procédures de puisage demandent des efforts physiques considérables (homme ou animal). Le travail de toute la journée (8 à 10 heures) ne dépasse guère un débit continu de 20 à 30 l/minute.



Fig.4 Photo d'un puisage par traction animal dans les oasis de Tafilalet (Ben Brahim, 2003)

I.3.2. La Foggara

La foggara est un système hydraulique ancestral spécifique aux régions arides pour capter les eaux souterraines. Il s'agit d'un puits horizontal légèrement incliné qui permet de capter les eaux et de les transporter jusqu'à la surface du sol (Fig.5). Cette technique est connue sous le nom de Qanat en Iran (Goblot, 1963 ;1979), Khettara au Maroc (Lighthfoot, 1996; Ben Brahim, 2003), (Ngoula) ou (Kriga) en Tunisie, (Karezes) en Afghanistan et Pakistan, Falaj en Oman, Ain en Arabie saoudite Kahriz en Irak et en Syrie, (Sahridj) au Yémen , Mambo au Japon et Kanerjing en Chine (Saeidian, 2013). Ce système hydraulique a été découvert en Iran depuis plus de 3000 ans, il s'est ensuite étendu à 35 pays de la monde (Fig.6) (Hofman, 2007; Adin, 2006).

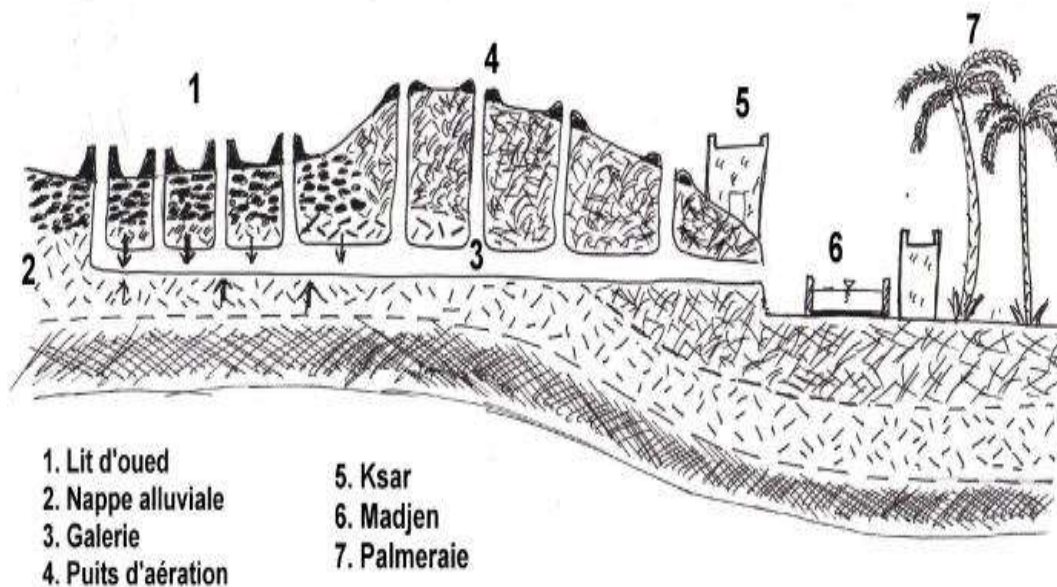


Fig.5 Coupe schématique d'une foggara (Remini, 2013)



Fig.6 La Propagation des foggaras à travers le monde (Goblot, 1963)

I.3.2.1 Le concept de la foggara

La foggara son nom vient du mot arabe (Fakara) qui signifie (creuser). Certains pensent que ce mot est inspiré du mot (pauvreté) c'est-à-dire que celui qui creuse une foggara est obligé de beaucoup dépenser avant d'en bénéficier ainsi il finit par tomber dans le besoin. Mais certains pensent que le nom foggara est relatif à « Fakra » (vertèbre en arabe)(Kobori, 1982).

I.3.2.2 Les type des foggaras

De nombreux auteurs pensent que la foggara est une galerie souterraine captant les eaux de la nappe du Continental Intercalaire, en ignorant leurs différents types. Cependant, grâce aux auteurs (Remini et al., 2009), sept types ont été identifiés.

I.3.2.2.1 La foggara de l'Albien

La foggara de l'Albien ou comme elle est appelée foggara classique est connue par de nombreux auteurs. Ce type de foggara se trouve dans les régions du Touat, du Gourara et de Tidikelt au sud-ouest du Grand Erg Occidental. La nappe albiennne plus profonde se rapproche de la surface dans la périphérie du plateau en creusant des galeries souterraines de cette foggara dans les couches du Grés du Continental Intercalaire qui pénètrent dans la partie supérieure de la nappe à la périphérie du plateau de Tadmaït. (Remini, 2011).

I.3.2.2.2. La Foggara de l'Erg

C'est une foggara creusée près de l'Erg pour que cette foggara capte ses eaux qui se trouvent au-dessous du Grand Erg occidental, grâce à l'eau qui s'écoule lentement sous l'Erg (**Fig.5**). Le débit du Foggara de l'Erg reste stationnaire tout au long de l'année, contrairement au Foggara de l'Albien ; son eau est moins salée et de bonne qualité. Dans les oasis d'Ouled Said, ce type de foggara est situé à Timimoun (Remini, 2011).

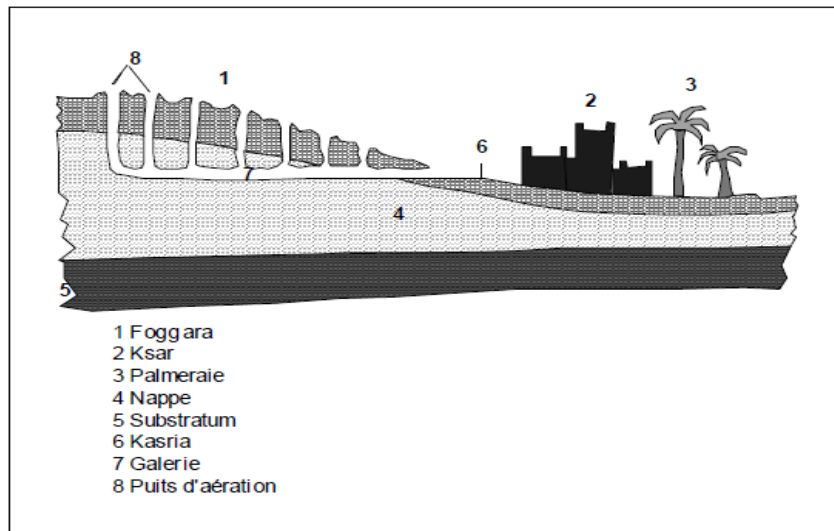


Fig.7 Schéma simplifié d'une oasis du Grand Erg Occidental Algérien (Remini, 2008)

I.3.2.2.2.1. La foggara de l'Erg :

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

- Le nombre et la longueur de leurs puits sont difficiles à déterminer.
- Difficulté à trouver le puits mère de la foggara.
- Son eau est de bonne qualité.
- Son débit est constant dans le temps.
- Grâce aux couverts par des dalles rocheuses, Les kasriates, les seguias et les puits sont protégés contre l'ensablement.
- La galerie est en zigzag dans l'Erg afin de diminuer les pertes de vitesse de l'écoulement à l'arrivée de la kasria principale (Remini, et al 2009).

I.3.2.2.3 La foggara de jardin

C'est une foggara localisée dans la palmeraie, elle est de petite longueur et qui capte les eaux d'infiltration et de drainage des autres foggaras situées en amont. Sept foggaras de ce type ont été recensées dans la région de Timimoun, dont la longueur ne dépasse pas 1 km et les puits n'excèdent pas le nombre de 20 (Remini et al., 2009).

I.3.2.2.4 La foggara d'El Ain

C'est une foggara qui capte les eaux d'une source naturelle. Contrairement à la foggara classique, la foggara d'El Ain capte les eaux d'une source. 15 foggaras, appelées les Aayounes, réparties entre les oasis de Moghrar (Naama), Beni Abbes (Bechar), Adrar, Beni Ounif (Bechar) et Boussemgoune (El Bayadh), ont été recensées (Remini et al., 2009).

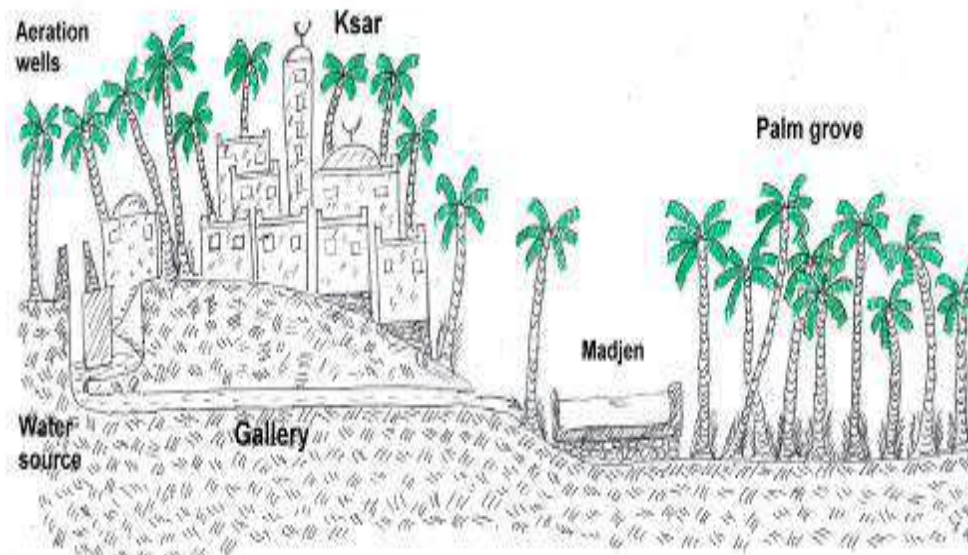


Fig.8 Schéma d'une coupe de l'oasis de Moghrar (Remini et Achour, 2016)

I.3.2.2.5 La foggara de montagne

Dans le Sahara algérien, ce type de foggara n'est plus utilisé. Les quelques foggaras qui ont été recensées sont situées dans la région de Bechar. La foggara du Djebel est une foggara qui reçoit son eau d'une nappe phréatique qui se recharge à partir des eaux de ruissellement des montagnes périphériques (Remini et al., 2009). Il existe plusieurs similitudes entre cette forme de foggara et le Kheffara marocain, le Kanat iranien et le Kariz d'Afghanistan.

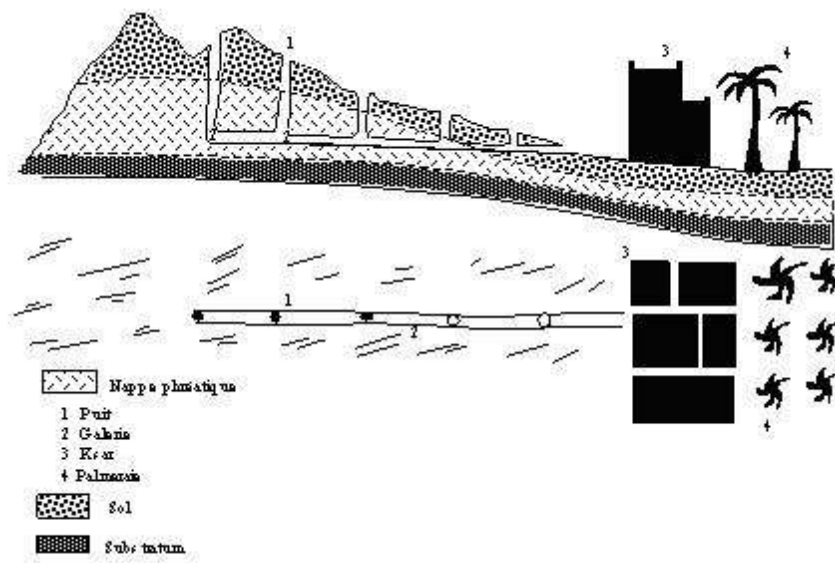


Fig.9 Schéma synoptique de la foggara de la montagne (Remini, 2008)

I.3.2.2.6 La foggara de l'oued

Comme le falj du Sultanat d'Oman, ce type de foggara capte les eaux des oueds. Cette foggara creusée dans les sables grossiers des dépôts alluviaux de l'oued peut atteindre 1 500 m de longueur. C'est une foggara temporelle qui fonctionne en période humide en captant les eaux de la nappe inféroflux. Aucune foggara de ce type ne fonctionne actuellement, elles sont abandonnées suite à l'effondrement et à l'assèchement des oueds. Ce type de foggara se localise dans les régions de Bechar, Tamanrasset et Tindouf (Remini et al.,2009) (**Fig.10**).

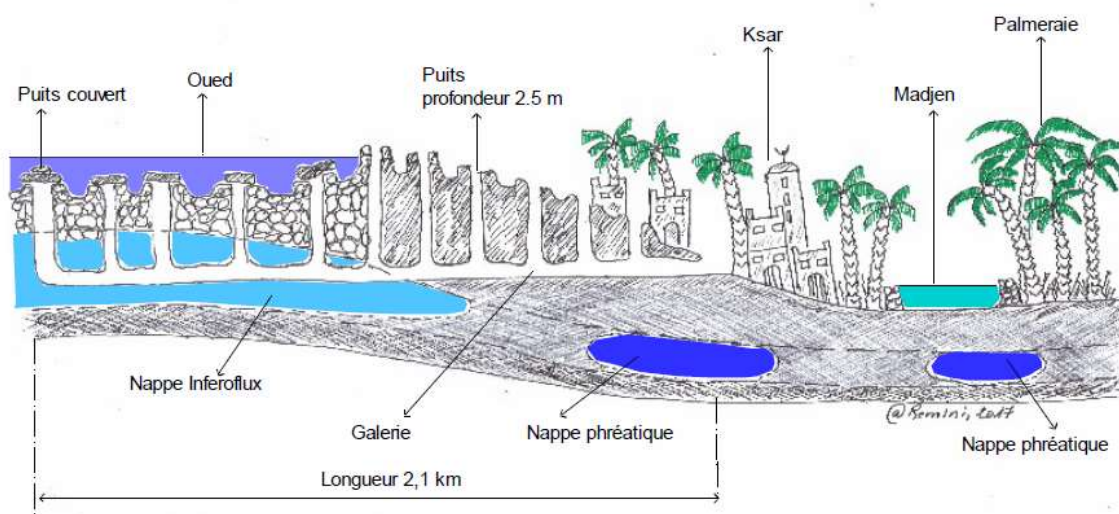


Fig.10 Schéma probable d'une coupe longitudinale de la foggara de Tindouf (Remini, 2017).

I.3.2.2.7 La foggara des crues

Il s'agit d'une foggara spéciale, unique en Algérie (Remini et al., 2009). Elle est située dans la vallée du Mzab, dans l'oasis de Ghradaia. Cette technique est destinée à récupérer les eaux de crue, qui une fois recueilli au niveau de la retenue nommée : Bouchen (**Fig.11**), l'eau est acheminée par des galeries d'environ 200m de long équipées d'une douzaine de puits d'aération.

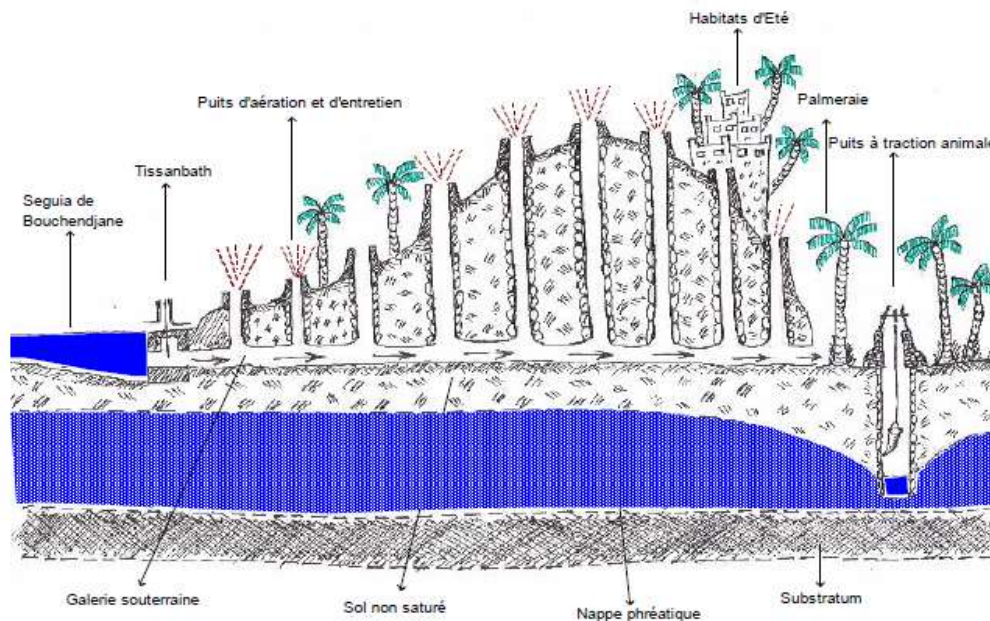


Fig.11 Schéma d'une coupe longitudinale d'une foggara de crue (Remini, 2018)

I.3.2.3. Le partage et la distribution de l'eau d'une foggara

Deux méthodes sont utilisées pour partager l'eau de foggara lorsqu'elle atteint les jardins. On le mentionne comme suit :

I.3.2.3.1. La méthode volumique

Ce type de partage est le plus répandu en Algérie (Remini et al., 2009). 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. Le réseau de distribution est équipé d'un nombre de kasriates qui est proportionnel au nombre d'abonnés (Remini, 2019 a).

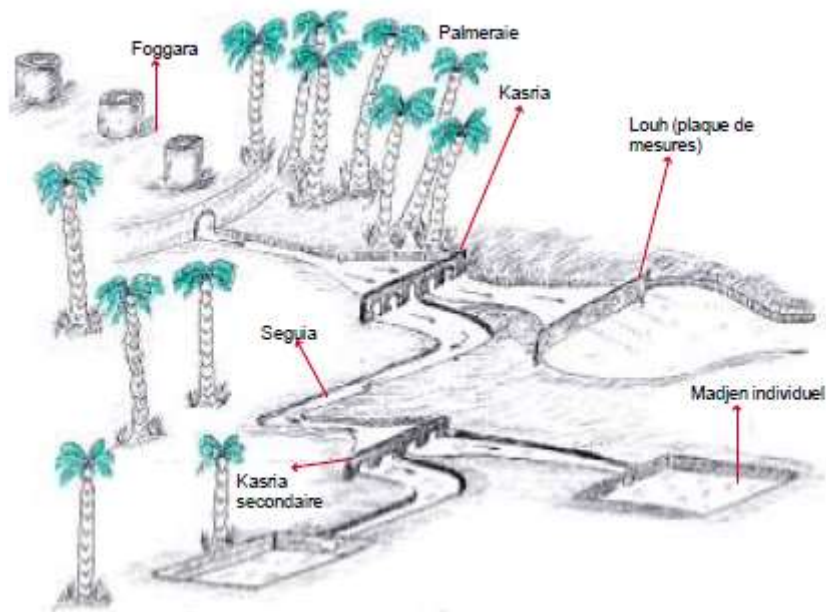


Fig.12 Schéma d'une foggara volumétrique (Remini, 2019)

I.3.2.3.2. La méthode horaire

Cette méthode de partage de l'eau se base sur l'unité de temps (Remini, 2019 a). Pour les foggaras des sources, des montagnes et des oueds, le partage de l'eau s'effectue par le procédé horaire appelé « Nouba », c'est-à-dire tour à tour (Remini et al., 2009).

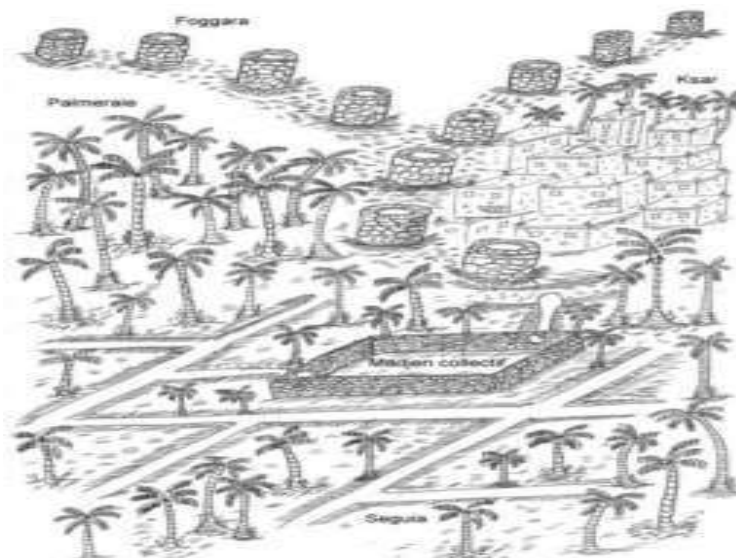


Fig.13 Schéma d'un réseau ramifié d'une foggara horaire (Remini, 2017)

I.3.3.1. Les Ghout

Un Ghout est une technique qui caractérise la région d'El Oued depuis des siècles pour la culture du palmier (Remini et Souaci, 2019). Par groupes de 20 à 100, les palmiers sont implantés au milieu d'un bassin artificiel d'une profondeur de 10 m et d'un diamètre de 80 à 200m, dont le fond se trouve à moins de 1m au-dessus de la nappe phréatique (Remini, 2006) (**Fig.14**).

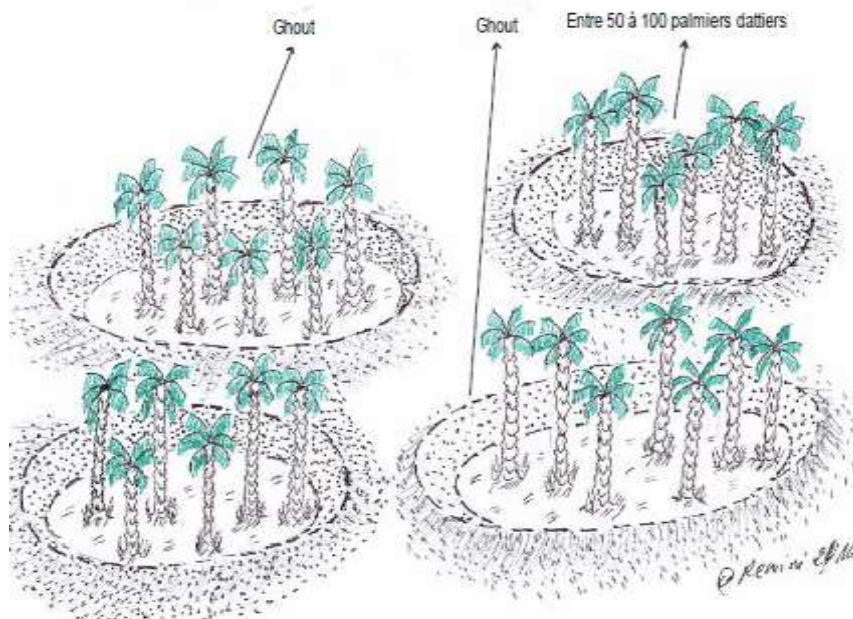


Fig.14 Schéma synoptique d'une vue générale des dispositions des Ghouts dans la région du Souf (Remini, 2016)

I.3.3.2 Fonctionnement du Ghout

Ghout consiste en deux techniques d'irrigation :

- Une irrigation sans écoulement destinée aux palmiers qui consiste aux racines de rester dans les eaux stagnantes de la nappe phréatique.
- Une irrigation avec écoulement destinée aux jeunes palmiers (1 an) et à la culture maraichère. Grâce à un puits à Khottara réalisé dans le Ghout, un réseau de seguias permet à l'eau de s'écouler du puits jusqu'aux plantes. Les eaux d'irrigation retournent à la nappe phréatique (**Fig.15**). L'agriculteur Soufi s'occupe uniquement de l'irrigation du jardin et l'entretien du Ghout du sable (Remini et Souaci, 2019).



Fig.15 Photo d'un réseau d'irrigation des jardins dans le Ghout (Remini et Souaci, 2016)

I.3.4. Les barrages des sources ou barrages en cascade

Ce sont de petits barrages (Essed) réalisés sur le réseau hydrographique du Sahara Algérien (Remini, 2020). Selon Remini, il était préférable de l'appeler un barrage source où tout simplement un barrage qui s'alimente par les eaux de source. Contrairement aux barrages classiques qui sont alimentés par l'eau de ruissellement pendant les périodes humides, l'eau atteint en permanence le barrage de source. Ils sont équipés par deux seguias (Rives droite et gauche) qui jouent le rôle d'un trop-plein (évacuateur de crues)(Fig.16). Ces barrages ont été construits grâce aux populations locales pour stocker et canaliser les eaux de l'oued vers les palmeraies. Aujourd'hui, malheureusement plus de 90 % de ces ouvrages ont disparu (Remini, 2019 b).

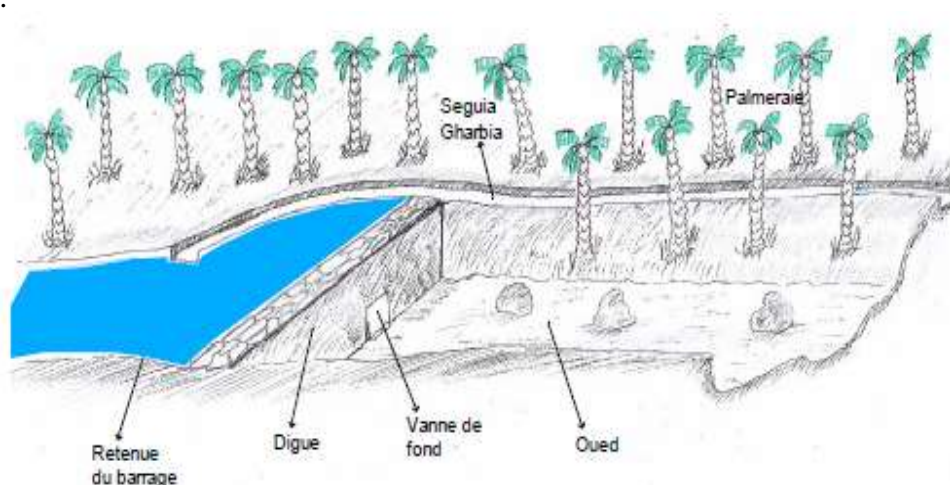


Fig.16 Schéma synoptique d'un barrage à sources avec une seguia latérale (Remini, 2019 b)

I.3.5.1. Le système de partage des eaux de crues dans la vallée de M'zab

Depuis quelques années, le système de partage et de captage de l'eau de la ville de Ghardaïa est classé au patrimoine mondial. La vallée du Mzab, une région rocheuse au climat aride où la seule source d'eau de l'oasis de Ghardaïa était la nappe phréatique. Les sages mozabites ont établi depuis sept (07) siècles environ un système de défense contre les inondations, ceci par la conception d'un système de captage et de distribution des eaux dans les oasis de Ghardaïa pour bénéficier des eaux de crues et de minimiser les inondations (Khelifa, 2008) (**Fig.17**).

Ce système hydraulique réalisé au niveau des oasis de Ghardaïa et de Berriane est composé de plusieurs ouvrages : barrages, canaux, galeries et déversoirs. Construits il y a 7 siècles avec des règles ancestrales et des moyens techniques rudimentaires, ces ouvrages suscitent aujourd'hui l'admiration des ingénieurs et des techniciens (Khelifa et Remini, 2019).

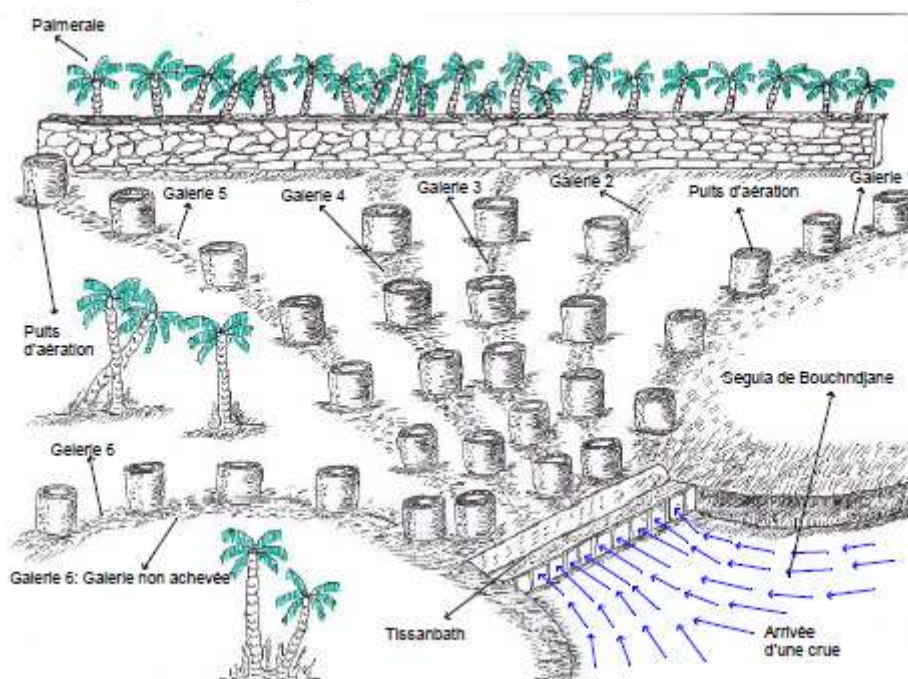


Fig.17 Schéma synoptique du réseau de foggaras pour l'irrigation de la palmeraie Est de Ghardaïa (Remini, 2018)



Fig.18 Schéma du fonctionnement du système hydraulique ancestral dans l'oasis de Berriane (Khelifa et Remini, 2019)

I.3.5.2.Principe de l'aménagement du IRS de la rivière M'Zab

Le développement de l'I.R.S consiste à réduire le risque des crues de la rivière de M'Zab et à tirer le meilleur parti de ces eaux. Dans ce cas, l'inondation est divisée en 3 parties selon la priorité : l'irrigation, la recharge de la nappe phréatique et l'évacuation de l'excès d'eau vers l'oued (sécurité) (**Fig.19**). L'IRS développement de Ghardaïa donne la priorité à l'irrigation de la palmeraie en eau brute. Une fois tous les jardins bien irrigués, l'excédent de la crue est dirigé vers le réservoir de Bouchen afin de réalimenter la nappe phréatique. Si la crue persiste, l'excès d'eau sera évacué par le drain aval de l'oued M'Zab grâce à des centaines de puits à traction animale (Khottara), situés dans la palmeraie orientale de Ghardaïa, l'eau infiltrée pendant les crues sera utilisée pour l'irrigation permanente pendant la période sèche (Remini, 2019 c) (**Fig.20**).

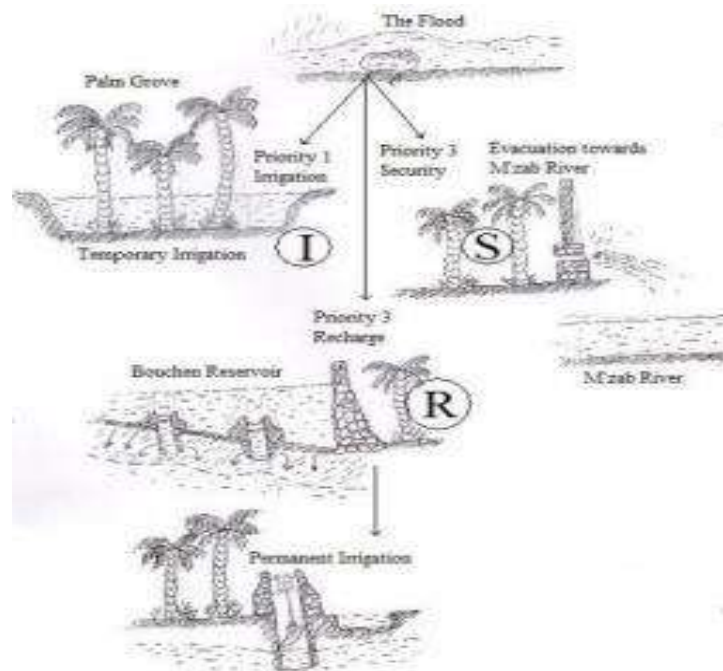


Fig.19 Concept de développement de l'IRS (Remini, 2020).

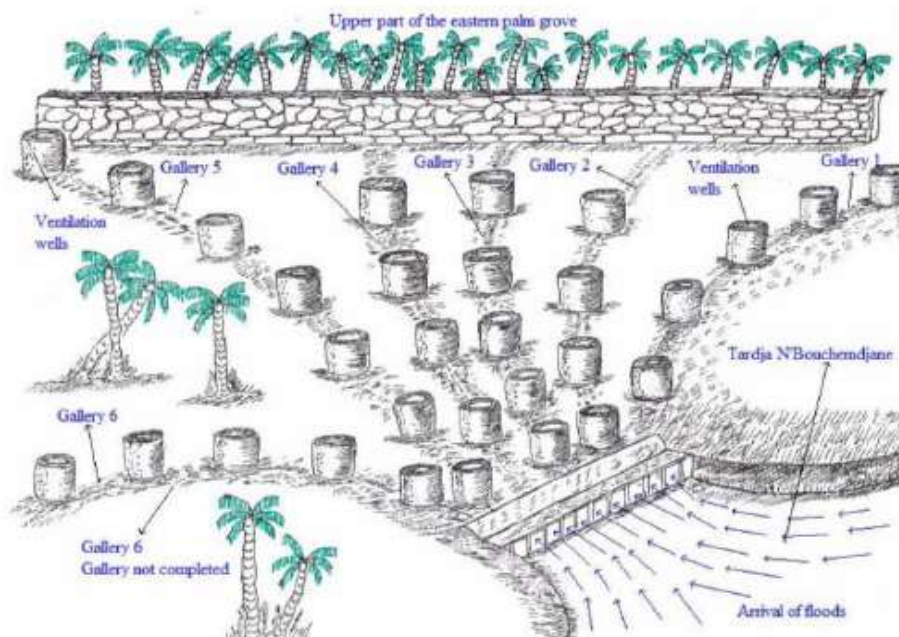


Fig.20 Schéma synoptique des galeries souterraines destinées à l'irrigation de la partie supérieure de la palmeraie - Est de Ghardaïa (Remini, 2018).

I.3.6. Le système de l'Aghas Foussa

Le grand barrage d'El Guerrara appelé Aghas Foussa a été réalisé perpendiculairement sur l'écoulement d'oued Zegrir pour bien le diriger vers la palmeraie. Il est constitué d'une digue de longueur de 1,8 km et de 2 m de hauteur pour stocker une capacité de 2 millions de m³. d'un

Chapitre I Généralités sur les systèmes traditionnels de captage et stockage des eaux

système d'évacuation des eaux et d'un système de partage des eaux. L'originalité du barrage réside dans sa digue de 1,8 km de long. La topographie particulière du lit de la retenue a donné le temps à la nappe de se recharger (Remini, 2019 c).

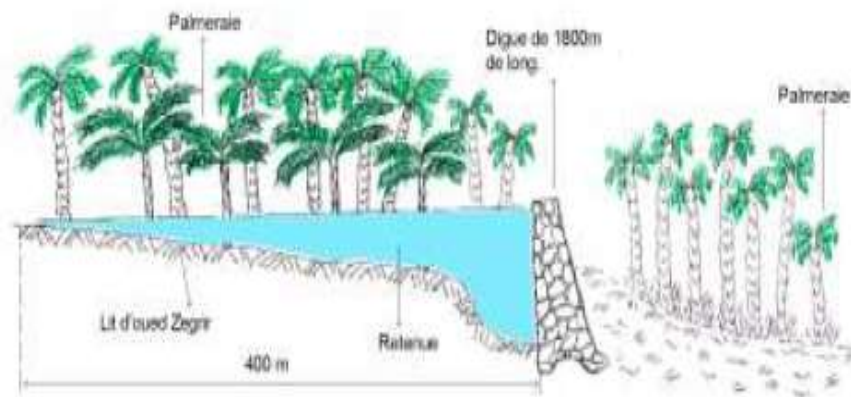


Fig.21 Schéma du profil en long de l'oued Zegrir à l'entrée de la retenue d'Ahbas Foussa (Remini, 2019 c)

I.4. Les travaux antérieurs sur les techniques traditionnelles de captage d'eau

I.4.1. Travaux de Goblot (1979)

Le très beau livre de Goblot est le premier Support qui raconte l'histoire et l'originalité de la foggara répandue sur certaines régions du monde. C'est Goblot qui a mis en évidence le lieu de naissance du qanât dans le plateau iranien depuis plus de 30 siècles.

I.4.2. Travaux de Kobori (1982)

Les qanâts algériens auraient été célèbres par Kobori. Sur les foggaras d'Aoulef, de nombreux travaux ont été réalisés. Il a visité les oasis d'Aoulef à plusieurs reprises. Toutes ses œuvres ont été inspirées de la position sociale de la foggara dans les oasis d'Aoulef.

I.4.3. Travaux de Lightfoot D.R., 1996

L'auteur Lightfoot (1996) dit qu'un réseau de 300 km de Khattara (qanat) a été creusé dans le bassin de Taflalt à partir du XIV^e siècle. Creusées dans le bassin du Taflalt à partir de la fin du XIV^e siècle plus de 75 de ces chaînes ont fourni de l'eau pérenne après l'éclatement de l'ancienne cité de Sijilmasa. La Khattara a continué à fonctionner pour une grande partie de l'oasis du nord jusqu'au début des années 1970, lorsque les nouvelles technologies et les politiques gouvernementales ont imposé des changements. Des ressources en eau insuffisantes et les pratiques non durables ont considérablement fait baisser la nappe phréatique, asséchant

Chapitre I Généralités sur les systèmes traditionnels de captage et stockage des eaux

ainsi les Khettaras. Cela a entraîné une perte de contrôle local sur les ressources en eau, l'abandon d'un système d'irrigation durable et une déshydratation et un assèchement progressif de la khettara.

I.4.4.Travaux Dubost et Moguedet (1998)

Pour la première fois, Dubost et Moguedet (1998) se sont penchés sur les risques de disparition des foggaras du Touat. Dans la région du Touat, de nouvelles techniques de captage de l'eau sont mises en œuvre. Les technologies d'irrigation par aspersion ont été utilisées au début des années 1980 et ont nécessité la construction de plus de 300 forages qui puisent entre 6 et 8 m³/s dans la nappe du Continental intercalaire. Les niveaux piézométriques de la nappe ont été abaissés du fait de la situation actuelle. L'assèchement d'une centaine de foggaras est l'un des premiers effets de cette nouvelle circonstance.

I.4.5.Travaux de Remini et Achour (2017)

Ce travail réalisé en 2017 par Remini et Achour a montré que malgré l'apport des technologies modernes (pompes, forage) dans l'oasis, la foggara de Moghrar continue à fonctionner. La population locale utilise toujours ces méthodes traditionnelles. La foggara de Moghrar fonctionne toutes les heures et la distribution de l'eau se fait par unité de temps. Le temps d'irrigation est une fonction de la contribution à l'entretien de chaque agriculteur, l'eau au bout de la palmeraie est recueillie dans un bassin collectif par la collecte de l'eau d'une source, la foggara Moghrar est longue de 300 mètres. Si aujourd'hui ce système hydraulique continue à fonctionner, c'est grâce à la population locale qui continue à protéger ce patrimoine.

I.4.6.Travaux de Remini et Rezoug (2017)

Selon Remini et Rezoug (2017), l'eau peut être soulevée d'une profondeur de 6 à 7 mètres par la khottara de la Saoura. Dans l'oasis de Beni Abbes et Igli, le montant de la khottara ne dépasse pas 3 mètres. Dans les oasis situées dans l'axe de l'oued Saoura, plus de 1500 khotteras ont été installées. Il s'agit des oasis de Beni Abbes, El Ouata, Beni Iklef et Kerzas, dont plus de 600 ont été installées au centre des palmeraies de Kerzaz. Dans ces oasis, trois espèces de Khottaras ont été utilisées. Ce sont les Khottaras à une perche, à double perches et à triple perche. Les Khottaras sont toujours en activité aujourd'hui, mais la pompe a remplacé le pendule en raison de préoccupations environnementales et sociales. Seuls les vestiges des montants, un patrimoine hydraulique mondial en voie de disparition, subsistent dans les oasis de la Saoura.

I.4.7. Travaux de Remini et Abidisaad (2019)

Selon le travail conjoint des chercheurs Remini et Abidisaad (2019), la foggara de Tindouf a été conçue pour exploiter les eaux de la nappe inféroflux de l'oued Tindouf. Il y a sans doute eu un transfert du savoir-faire des régions voisines comme le Touat, la Saoura et Tabalbala, mais la population ksourienne a adapté ce système hydraulique aux conditions hydrologiques et topographiques de son climat. Par ailleurs, le système de partage de l'eau de la foggara diffère de celui du Touat. Il est basé sur un paramètre temporel et non sur un paramètre volumique comme celui du Touat. C'est un mode horaire, la distribution de l'eau se fait par unité de temps, et l'irrigation se fait tour à tour, c'est l'irrigation en série.

I.4.8. Travaux de Remini (2019)

Selon Remini (2019), une façon d'inonder les palmeraies de l'oasis d'El Guerraraa a été découverte par les Mozabites. Perpendiculaire à l'oued Zegrir, un barrage de 1,8 km de long a été construit pour tirer profit des inondations. Un système de partage de l'eau a été mis en place pour assurer l'irrigation temporaire (en cas d'inondation) de tous les jardins, chacun en fonction de sa contribution. Dans la palmeraie, un réseau maillé de cours d'eau de séguias a été construit sur une longueur totale de 10 km. Aux quatre coins de la palmeraie, environ 1300 puits à traction animale ont été construits pour assurer l'irrigation permanente des jardins. Des puits d'eau équipés d'un réseau de galeries souterraines ont été mis en évidence pour permettre une recharge homogène de la nappe phréatique. Un système composé de 32 portes coulissantes pour évacuer l'eau vers l'oued Zegrir a été conçu pour éviter tout risque d'inondation. Simultanément, l'irrigation des palmeraies, la recharge artificielle de la nappe phréatique et la protection de la population sont garanties par un tel projet.

I.4.9. Travaux de Remini (2020)

Selon Remini (2020), le partage des eaux de crue entre les agriculteurs est la dernière phase du développement de l'IRS dans la rivière M'Zab. Après avoir drainé les eaux de crue de la rivière M'Zab à travers un système de séguias jusqu'à la palmeraie, l'eau a été divisée. Équipé d'un système Koua, un réseau de séguia a été mis en place pour distribuer l'eau chargée entre les jardins. Ce réseau est alimenté par six galeries souterraines, chacune d'entre elles desservant un secteur bien défini. Les dimensions de chaque galerie sont liées au débit d'eau nécessaire à l'irrigation de son secteur. Un tel aménagement démontre l'intérêt porté par la population ksourienne à l'irrigation en eau brute. Malheureusement aujourd'hui, ce patrimoine est dans un état très dégradé.

I.5. Conclusion

Après avoir montré l'ingéniosité des techniques de génie qui ont été mises en œuvre pour capter et stocker des eaux douces dans des régions hyper arides, nous avons résumé à travers ce chapitre l'essentiel des résultats des travaux effectués sur les systèmes hydrauliques traditionnels inventés par la population du Sahara.

CHAPITRE II

LES BARRAGES EN CASCADE DANS LES OASIS DE BOUSSAÂDA

II.1. Introduction

La ville de Boussaâda est célèbre par les sites touristiques ainsi que ses palmeraies et ses plaines cultivées, irriguées à partir de la nappe phréatique ainsi que les oueds de Maïtar et de Boussaâda. Les mosquées de Sidi Thameur, Ouled Attiq et Echeurfa gardent, quant à elles, le témoignage de leurs éléments architectoniques d'antan. Les palmeraies abondamment arrosées par l'oued Boussaâda, qui s'est creusé un lit profondément encaissé et dont les berges escarpées et ombragées de palmeraie sur lesquelles Dinet tenait son atelier formaient autrefois un paysage de rêve.

Dans cette étude, on va découvrir un système dans l'oasis de Boussaâda, qui est généralement similaire au système de barrage en cascade de l'oasis de Tiout. C'est pourquoi, on a mené des enquêtes et des entretiens avec les propriétaires de l'oasis de Boussaâda pour comprendre ses caractéristiques et son état fonctionnel.

II.2. Historique de la ville de Boussaâda

L'étymologie du mot « Boussaâda » veut dire cité du bonheur (Saada en arabe). Sa position de nœud routier a contribué à la promotion de l'oasis. Mais l'histoire de la cité nous montre que sa fondation est liée à l'eau, à l'agriculture et à la croyance. Dans le cas de Boussaâda, l'hydraulique et la culture y étaient solidaires. À partir de là, l'oasis se développa. L'excellente position géographique de Boussaâda a permis au site depuis toujours de se présenter comme un relais routier important entre le Tell et le Sahara (Hadjab et Ouali, 2007).

II.3. Situation géographique de la Région d'étude

L'Oasis de Boussaâda se situe au Sud-Est du Nord algérien appartenant aux Hauts Plateaux, il est situé à 250 km d'Alger, mais seulement à 200 km à vol d'oiseau de la mer. Elle couvre une superficie de 255 km² avec une population de 157476 habitants ce qui nous donne une densité de 635 habitants au Km² (DPSB, 2017). Située sur l'axe de la route nationale n°:8 (Alger-Biskra) et la route nationale n°:46 (M'Sila - Djelfa), elle s'offre comme un carrefour idéal entre la méditerranée et le Sahara, mais aussi entre les Ziban et le littoral algérois, et entre le M'Zab et Constantine. Boussaâda est placée au point de rencontre des coordonnées spatiales suivantes : 4° 11' longitude Est et 35° 13' latitude nord. Son altitude est de 560m au-dessus du niveau de la mer.

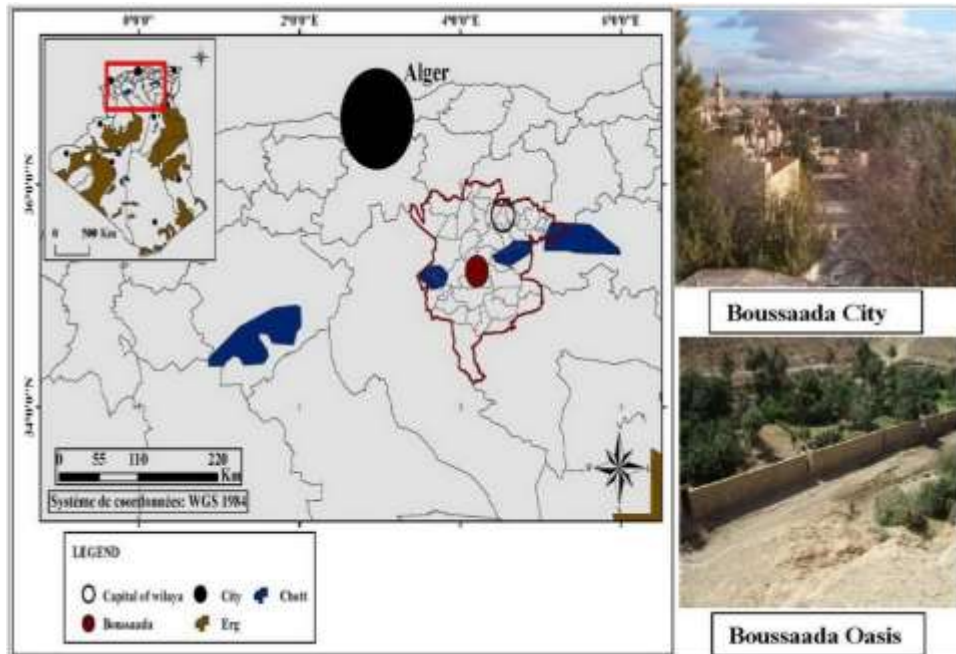


Fig.22 Carte de localisation la ville de Boussaâda (Remini, 2018 modifiée par l'auteur)

II.4. Relief

Les reliefs de la région de Boussaâda sont marqués par la présence de chaînes de montagnes de diverses orientations, notamment au niveau du Sud et du Sud-Ouest.

Les reliefs existants :

- ◆ Djebel Grigour côté Nord-ouest de la ville.
- ◆ Djebel Moubkhira côté Sud-ouest du chef-lieu (772 m).
- ◆ Djebel Kerdada côté Sud (947 m).
- ◆ Mont de Menkeb Sidi Brahim (718 m) côté Sud-est de la ville et djebel El Maalleg côté Sud de la commune.

Pour la vallée :

a- La vallée de l'Oued Boussaâda :

À 600 mètres d'altitude, elle crée une sorte de couloir entre le Djebel Moubkhira et le Djebel Kerdada. L'Oued Boussaâda, qui coule au pied du Djebel Kerdada et dans la plaine du nord, traverse cette vallée.

b-La vallée de l'Oued Maiter :

Située à l'ouest de la ville de Boussaâda avec une altitude de 587m à la limite Ouest de la commune et 547 m sur la RN 8, formant un couloir venteux animé par les vents Ouest et Nord, engendrant des champs de dunes orientées Ouest-Sud-ouest / Est-Nord-est.

Les formes récentes ne sont généralement pas stabilisées, ce sont parfois des dunes au pied des reliefs comme celui du Djebel Kerdada.

Sur la rive Est de l'Oued Maiter, on trouve des champs de Sebkhass où les larges lits de l'Oued sont souvent à sec et sont soumis à la déflation des vents de l'Ouest.

II.5. Le Climat

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent sur les autres facteurs météorologiques tels que les précipitations, l'insolation, l'hygrométrie, l'évaporation, et par la même le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les températures sont donc l'un des éléments majeurs qui influent sur le climat d'une région. C'est donc cette action du régime thermique qui nous intéresse spécialement d'autant plus que l'évapotranspiration atteint des valeurs importantes dans notre bassin notamment en saison chaude. Cependant, les données dont on dispose sont très limitées, elles appartiennent la station de Boussaâda.

Le climat de Boussaâda est de type semi-aride, d'un été sec et très chaud et un hiver très froid.

II.6. Pluviométrie

Trois stations pluviométriques sont situées dans le sous-bassin de la plaine de Boussaâda. La première station (aéroport de Boussaâda) est située plus près du nord-est de la ville étudiée, tandis que les deux autres (Slim et Ain Khermame) sont situées respectivement au Sud-Ouest et au Nord. L'utilisation des données climatiques recueillies dans les stations de mesure permettra de caractériser les conditions climatiques de la zone d'étude. Dans les stations mentionnées ci-dessus, les relevés climatiques sont rapportés sur différentes périodes de temps. Il s'agit des statistiques de l'ANRH. Pour les trois stations, il existe une séquence d'observation des précipitations sur 20 ans, de 1986 à 2005 (**Tableau 1**).

Tableau 1. Caractéristiques des stations pluviométriques (ANRH)

CODE	Nom de la station	Coordonnées				Altitude (m)	Période d'observation de la précipitation
		X (km)	Y (km)	Longitude (degré)	Latitude (degré)		
051702	Boussaâda	635,00	213,45	4° 11' 18'' E	35° 12' 37''	600,00	1986-2005
050702	Ain khermame	631,18	240,45	4° 8' 1'' E	35° 27' 17''	490,00	1986-2005
051703	Slim	594,90	178,20	3° 44' 20'' E	34° 53' 53''	1070,00	1986-2005

Tableau2.Données climatiques à niveau de la Station de Boussaâda

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
T min (°C)	2	4.8	5.6	10.1	14.5	20.1	23.6	23.1	21.3	11.4	7.7	2.1	12.2
T max (°C)	14.8	17.2	20.9	24.4	26.1	35.4	40.2	37.5	33.3	24.5	19.4	14.5	25.7
T Moyenne (°C)	7.3	11.2	12.1	18.3	21	28.9	32.9	30.8	27.4	18.1	14.2	8.1	19.2
Précipitations (mm)	34	22	29	25	25	14	4	14	24	24	32	35	296

II.7.Le vent

Le vent est un élément climatique qui joue un rôle important dans le façonnage des zones arides et désertiques en agissant comme agent d'érosion (Senni, 2014). Selon Oldache (1988) il est le principal agent climatique qui concourt au fonctionnement des paysages arides et désertiques. Il a une vitesse relativement faible dans notre région d'étude, ne dépassant pas 5,49 m/s, et les vents dominants sont les vents d'hiver et de printemps du nord-ouest, qui sont relativement humides, et les vents d'été de l'EST, qui sont chauds et secs, et souvent accompagnés de sable. (Hadbaoui, 2013).

II.8. Cadre géologique

La ville de Boussaâda est située sur le socle ancien dans la zone de contact de l'étage supérieur des régions de plissement alpin et des dépressions (bassins) molassiques internes d'âge alpin. D'un point de vue tectonique, elle se superpose à un synclinal suspendu. La dépression de Hodna de la part du Nord de la ville (Rmel) représente un bassin de sédimentation de Néogène - Quaternaire avec des dépôts de calcaire et gypses couverts des couches épaisses d'argile et des sables argileux de Quaternaire (Hadjab et Ouali, 2007).

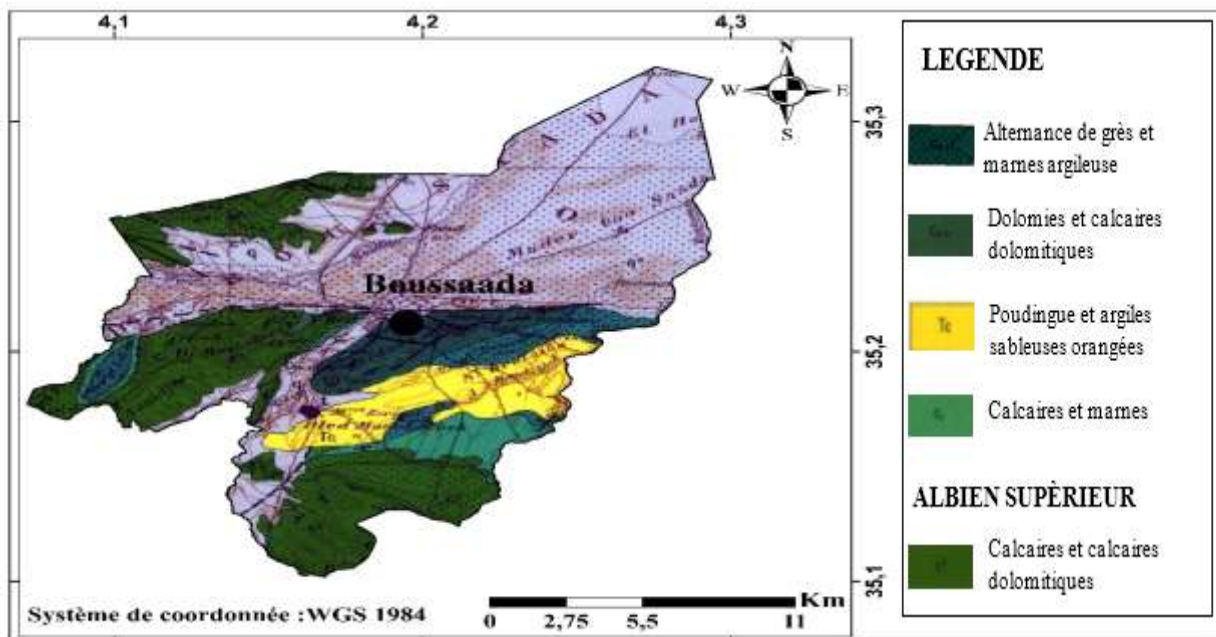


Fig. 23 Extrait de la carte géologique du Boussaâda

II.9.Stratigraphie :

Les formations, post-triasiques, du bassin sont décrites dans l'ordre stratigraphique :

• Alluvions anciennes et récentes :

Des limons souvent très riches en matière sableuse, atteignant parfois une épaisseur supérieure à 10 cm.

• Dunes :

Localisés dans la cuvette des oueds Tamsa et Maiter, des sables souvent chargés en matière argileuse, ils proviennent de l'érosion de grès.

• Tertiaire continental :

Ces formations sont localisées au sud de Boussaâda, elles sont constituées par des dépôts d'argile rouge et de sables. L'épaisseur de ces formations est très variable de 50 à 250 m.

• Aptien supérieur :

À une épaisseur de 200 m environ, turonien : caractérisé par des calcaires et des marnes à intercalations calcaires.

• Cénomaniens :

Ces formations situées au sud de Boussaâda, elles sont à prédominance carbonatée, dans lesquelles les horizons gypseux sont réduits.

• Barrémo-Bédoulien :

Dans la région de Boussaâda, le Barrémien est représenté par une épaisse série de grès tendres continentaux à stratification entrecroisée et d'argiles vertes ou lie de vin silteuses, avec des intercalations de bancs calcaires et dolomitiques rattachées à l'Aptien inférieur ou Bédoulien. C'est l'ensemble Barrémo-Bédoulien. Au Nord-Est du bassin, le Barrémien et l'Aptien inférieur. forment une épaisse série de calcaires, dolomies, marnes et grès.

• Albien

Dans la région de Boussaâda : série de grès tendres à stratification entrecroisée, sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur, avec intercalations d'argiles vertes silteuses et sableuses, faciès annonçant le « Continental Intercalaire » saharien, parfois surmonté par une série carbonatée

alternant avec des formations détritiques. Dans les monts du Hodna, l'Albien est très réduit (calcaires et marnes) ou absent.

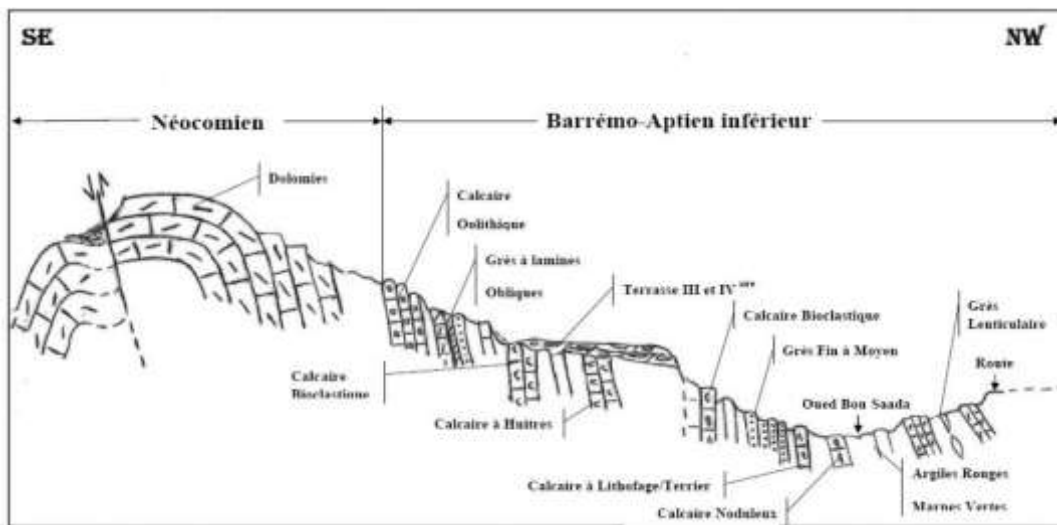


Fig. 24 Coupe géologique de la zone de Boussaâda (Bennaci et al., 2009)

II.10. Missions dans la région de Boussaâda

Pendant des missions effectuées en 2017 et en 2018 dans les oasis de Boussaâda pour enquêter et discuter avec la population ksourienne, nous avons trouvé un système traditionnel complètement différent du système de Foggara. Il s'agit d'un système hydraulique ancestral constitué de plusieurs barrages qui se remplissent par les eaux de source réparties sur l'oued Boussaâda.

II.11. Résultats et discussion

II.11.1. Barrage de sources

Sur un tronçon de 2 km d'oued Boussaâda dans le sousbassin versant de 102 000 ha situé au sud-ouest du bassin versant de Honda (Fig. 25), une série de barrages en cascade y sont centrés (Fig. 26,27). Contrairement aux barrages des oasis d'Ouakda alimentés par les eaux de ruissellement (Remini et al., 2017), les barrages de Boussaâda sont alimentés en permanence par des sources d'eau pour irriguer en continu les oasis de la vallée. Ces barrages deviennent parfois un exutoire pour les visiteurs.

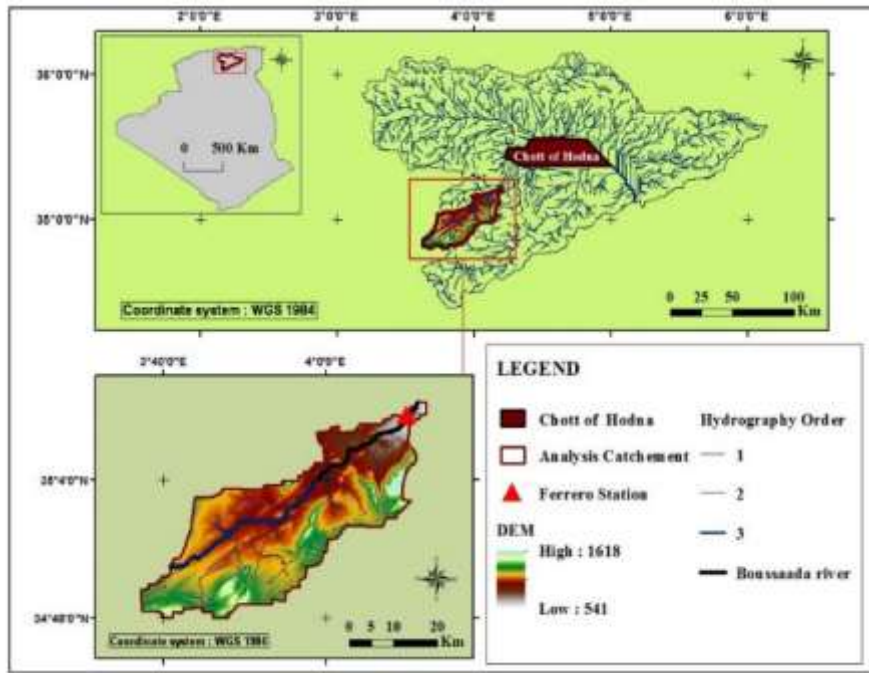


Fig. 25 Sous bassin versant d'oued Boussaâda (Hamdaoui et Remini, 2020)

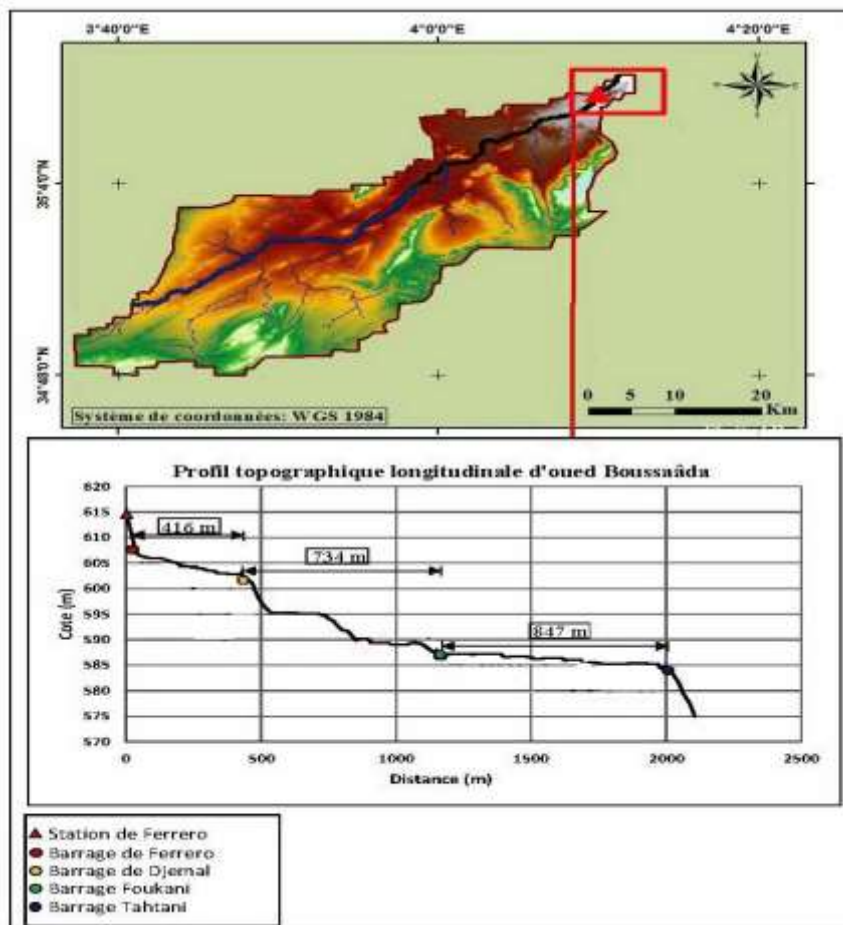


Fig.26 Profil topographique longitudinale d'oued Boussaâda

II.11.2. L'originalité de l'oasis de Boussaâda

L'oasis de Boussaâda s'alimente en eau par un système de barrages en cascade (Fig.27). L'originalité de cette oasis réside dans la fonction de l'infrastructure hydrotechnique. Elle n'est pas seulement destinée à l'irrigation de la palmeraie et satisfaire la demande en eau des habitations du ksar comme l'oasis de Tiout (Fig.28), mais aussi pour servir à moudre et à broyer les graines grâce aux moulins à eau.

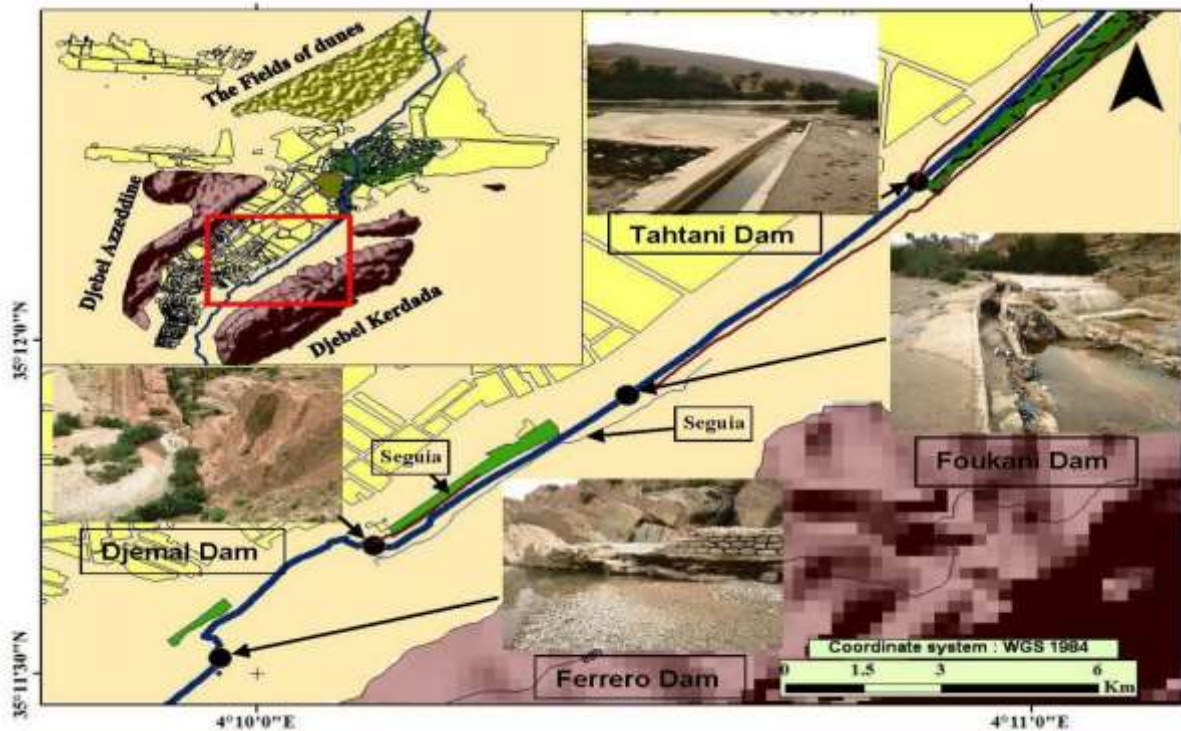


Fig.27 Schéma des barrages situés sur l'oued de Boussaâda

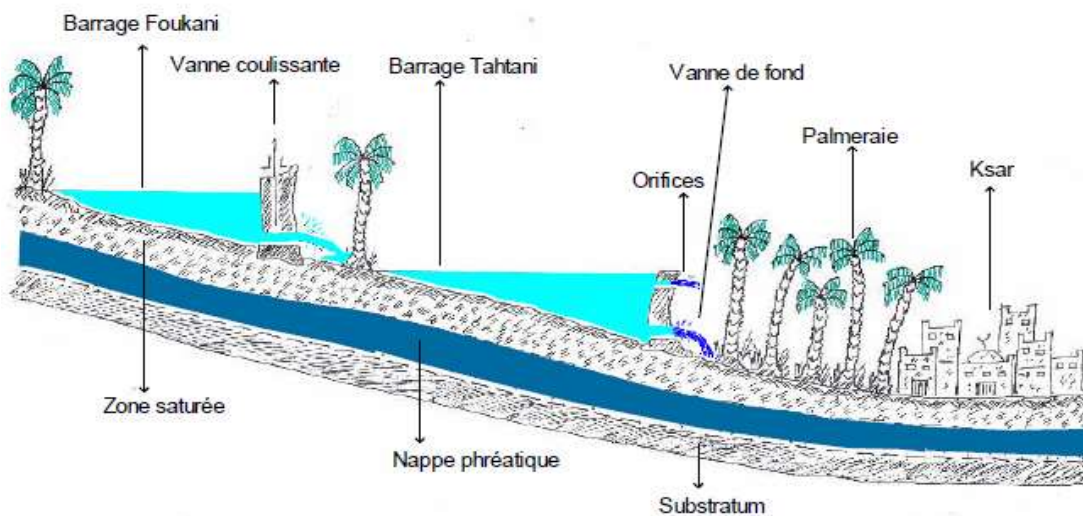


Fig.28 Schéma simplifié de l'oasis de Tiout (Remini, 2019)

II.11.3. Le Ksar de Boussaâda

Le ksar de Boussaâda appartient à la médina (**Fig.29**) qui est noyau de la ville, il a été bâti durant le 13^{ème} siècle sur l'initiative des deux cheikhs «Sidi Thameur» et « Sidi Slimane ». Ils construisent d'abord une mosquée et ses demeures. Les premières habitations ont été installées à proximité de l'oued sur le point le plus haut de l'éminence (Nacib, 1986). Le ksar s'alimentait en eau potable par les eaux de source.



Fig.29 Une maison dans la médina

II.11.4. Les moulins à eau

Les moulins à eau sont des structures qui servent à mouliner et à broyer les graines. Comparativement aux moulins en Iran qui travaillent avec l'énergie produite par les eaux du qanât (**Fig.30**) (Yazdi et Khaneiki, 2013). Les moulins à eau de Boussaâda fonctionnent grâce à l'eau qui descend en chute libre dans un barrage en cascade pour pousser les pales du rotor. Quelques moulins ont été construits à la berge d'oued Boussaâda (**Fig.31**). Les populations locales profitent de la nature topographique de la région pour installer les moulins, en suivant la pente du terrain.



Fig.30 Moulin à eau du *qanât* de Zarch à Yazd, en Iran:
 (a) La descente vers le moulin ; (b) La partie centrale du moulin où se trouve le rotor en bois, les meules et le bac à recevoir la farine ; (c) L'eau du *qanât* descendant en chute libre pour pousser les pales du rotor (Megdiche, 2015)



Fig.31 Traces de témoins de la localisation d'un moulin à eau de Ferrero

II.11.5. La palmeraie du Boussaâda

La palmeraie de Boussaâda, d'une superficie totale de 155 ha, a été construite pour l'autosuffisance de la population ksourienne. Elle contient plus de 6 000 palmiers dattiers (**Fig.32**) (DSA et SAB, 2002), de différents types de fruits (figuier, grenadier, olivier) et cultures maraîchères (**Fig.33**, **Fig.34**). Les jardins de Boussaâda étaient alimentés par deux barrages situés sur l'oued Boussaâda ; le barrage "El Fougani" (le plus haut) et Tahtani (le plus bas)

éloignés l'un de l'autre d'une distance de **847 m** qui s'alimentaient de plus d'une source qui se situent sur le lit et les berges de l'oued. L'irrigation des jardins s'effectuait par les eaux des deux barrages à travers deux seguias principales (Seguia khachbat et Seguia Nakhara). Le partage de l'eau d'irrigation entre les agriculteurs est assuré par El Hassab (Fig.35) qui s'en charge de la comptabilité.

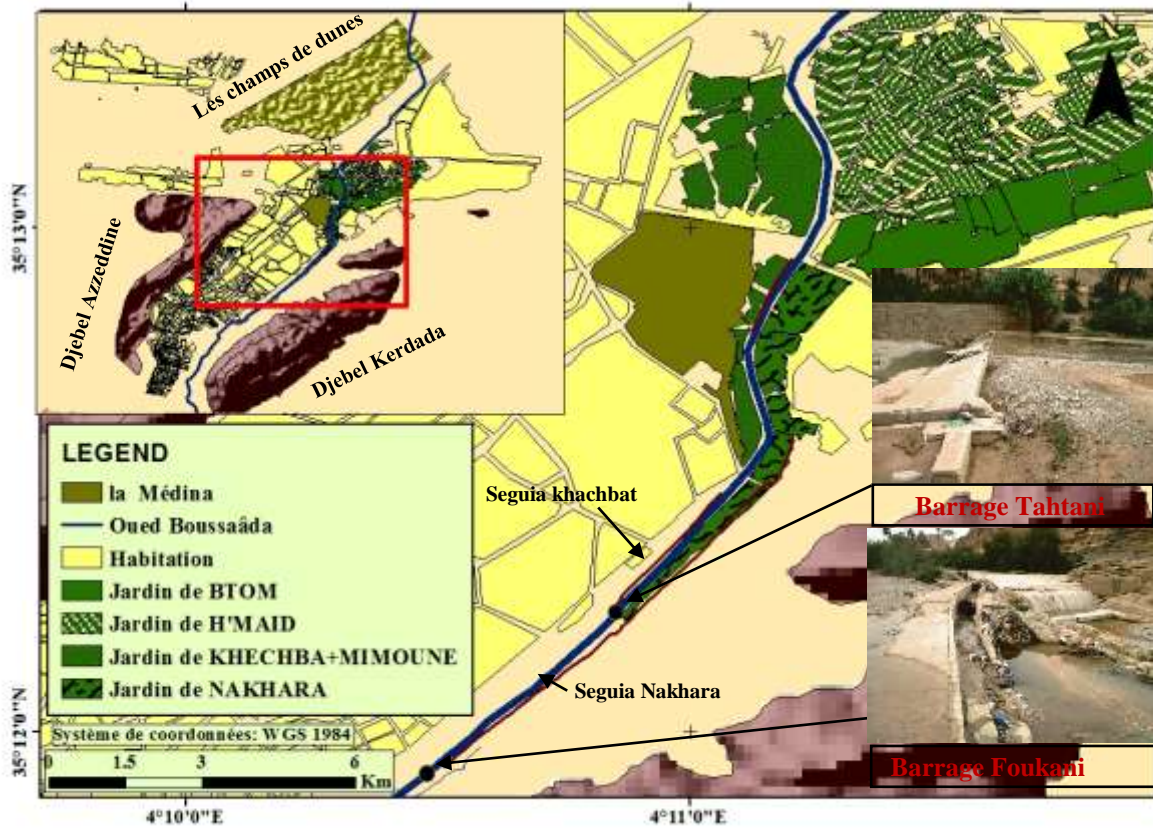


Fig.32 Schéma de la superficie de la palmeraie de Boussaâda



Fig.33 Les palmiers dattiers dans l'oasis de Boussaâda



Fig.34 Arbres fruitiers dans l'oasis de Boussaâda



Fig.35 El Hassab chargé de répartir les rôles d'irrigation à Boussaâda

II.11.6. Les eaux de source

Les populations locales comptent sur les eaux de source pour satisfaire l'alimentation en eau potable du ksar et l'irrigation de la palmeraie située sur le lit et les berges de l'oued.

On a recensé trois types de sources d'eau découvertes à Boussaâda :

- L'eau de source est située sur la rive gauche de la vallée provenant de la nappe phréatique qui est rechargée par l'infiltration et le drainage de l'eau d'irrigation (**Fig.37**).
- L'eau de source est située sur la rive droite de la vallée provenant de la nappe phréatique qui se recharge à partir des eaux de ruissellement en provenance des montagnes périphériques (**Fig.38**).
- L'eau de source est située sur le lit de la vallée (**Fig.39**).



Fig.36 Source d'eau située sur la rive gauche de la vallée



Fig.37 Une source d'eau située au pied de la montagne



Fig.38 Source d'eau située sur le lit de la vallée

II.11.7. Les facteurs favorisant la disparition de ce système :

II.11.7.1. La pollution urbaine

On a remarqué que la vallée de Boussaâda est devenue un lieu de réception des eaux usées et un lieu de dépôts à ordures contribuant à polluer l'eau de la vallée. Une autre remarque aussi : certains des réseaux d'assainissement versent sur la seguia transportant l'eau de source. Les eaux usées de ces réseaux s'infiltrent un peu partout par le biais de fuites.



Fig.39 La présence d'un réseau d'assainissement au-dessus la seguia

II.11.7.2. Influence des forages d'eau sur le système traditionnel

La nécessité de l'eau pour les différents usages pour la vie de l'homme est la raison de la réalisation des forages (Fig.40) pour capter une quantité suffisante pour les besoins des habitants mais d'un autre coté elle présente un risque pour la permanence du système traditionnel.

Ce système gros consommateur d'énergie et de capitaux est à l'origine d'un rabattement de la nappe ce qui a causé une diminution et un tarissement les sources de l'eau, c'est tout le système oasien qui semble être condamné si des mesures ne sont pas envisagées pour le sauvegarder.

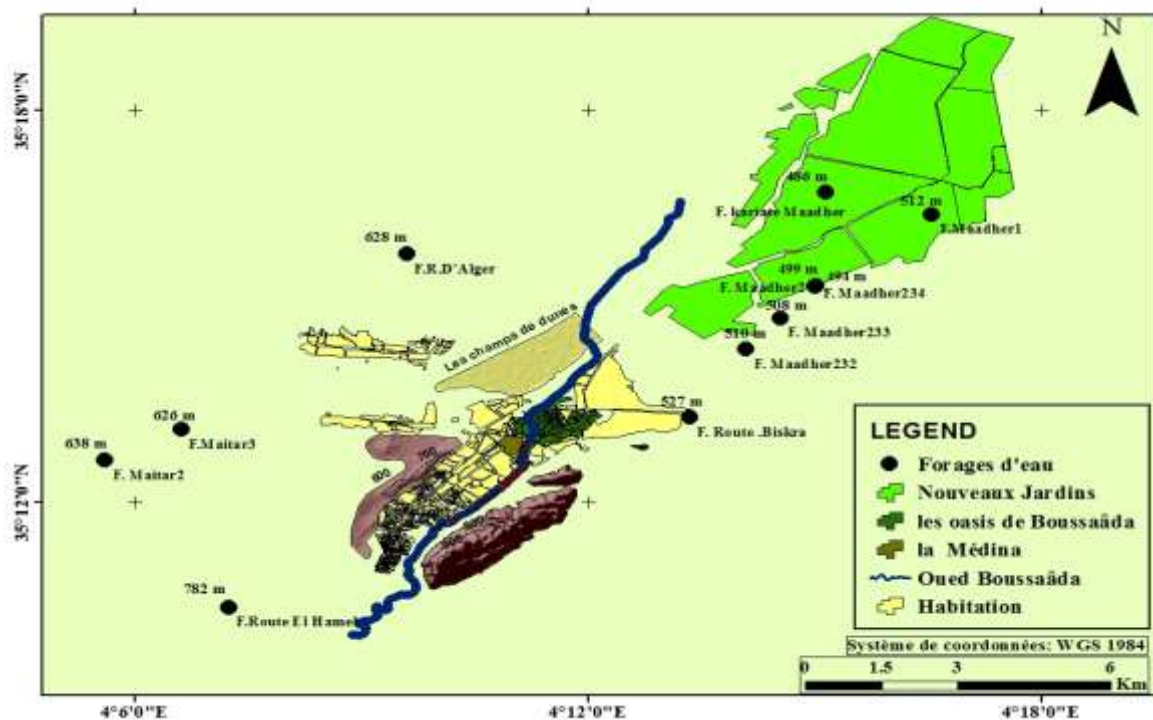


Fig.40 Les forages sont répartis autour des oasis

II.11.7.3. Ensablement et l'envasement des barrages

En période de crue, une autre préoccupation se pose : l'ensablement et l'envasement des barrages. Bien que les oasiens entretiennent le barrage à chaque crue tout en ouvrant la porte coulissante pour les sédiments sensés se déposer dans la retenue du barrage. La dégradation du barrage a eu des répercussions néfastes sur la palmeraie et les activités touristiques de la région.



Fig.41 Une vue sur coupe transversale d'un Barrage Ferrero



Fig.42 L'envasement occupe la majeure partie de la retenue du barrage Tahtani

II.11.7.4. Dégradation des seguias

Aujourd'hui, les seguias sont aussi dans un état critique. À l'aval des barrages, elles sont ensablées ou détériorées. Cependant, la seule seguia Nakharat qui est dans un état acceptable est la seguia khachbat, bien qu'elle soit en assez bon état, elle est hors service.



Fig.43 Une partie de la seguia Nakhara en bon état



Fig.44 Une partie de la seguia Khachbat colmatée par la boue

II.12. Conclusion

La ville de Boussaâda est située au sud-est du nord algérien. Cette région est caractérisée par un climat semi-aride, et un été sec. Plusieurs problèmes peuvent accélérer le déclin de système de barrage en cascade. Il s'agit des problèmes environnementaux et socioéconomiques. L'apport des nouvelles techniques de captage des eaux dans la région favorisera l'abandon de système traditionnel.

CHAPITRE III

LA DIVERSITÉ DES TECHNIQUES DE CAPTAGE ET DE STOCKAGE DE L'EAU DANS LES OASIS D'EL BAYADH

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons plusieurs techniques ancestrales de captage et de stockage des eaux qui ont été réalisées durant des siècles dans les régions de Brézina et Méchria Essghira et Stitten situées dans wilaya d'El Bayadh. Ce patrimoine hydraulique rencontre des problèmes techniques et sociaux, surtout avec l'avènement des technologies modernes qui donnent plus d'eau avec moins d'effort humain, mais nuisent à l'environnement. Notre étude met le point sur l'évolution chronologique des systèmes hydrauliques utilisés dans ces régions. L'impact de l'apport des nouvelles techniques hydrauliques dans les jardins sur l'environnement sera également abordé dans cette étude.

III.2. Situation géographique de la Région d'étude

Les régions de Stitten, Méchria Essghira et Brézina ont situé au niveau de la wilaya d'El Bayadh (Fig.45), elles sont connues par leurs traditionnels Ksour, leurs richesses de palmeraies et la bonne qualité et variété végétarienne (fruits et légumes). Ces régions du Sud-ouest algérien sont connues par leurs énormes capacités d'eau souterraine et superficielle.

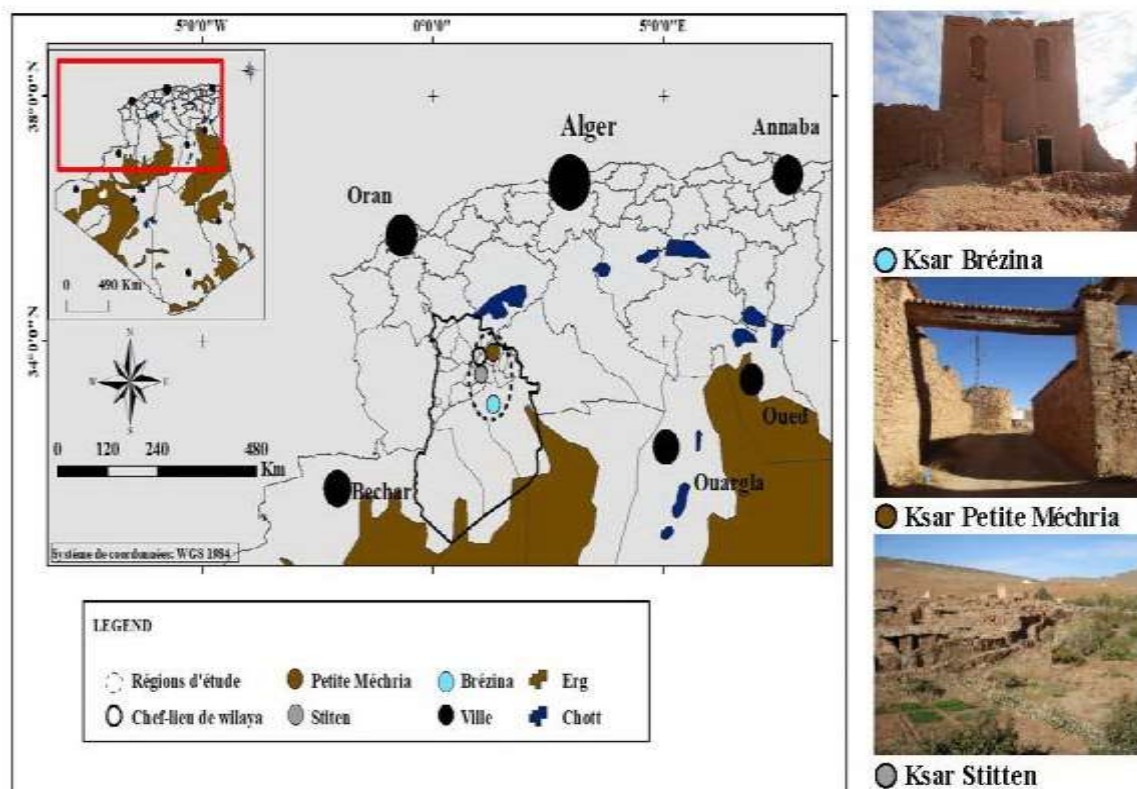


Fig.45 Carte de Localisation des trois oasis (Brézina, Méchria Essghira et Stitten) ((Remini, 2018 modifiée par l'auteur))

El Bayadh est entourée par 9 wilayas, qui sont :

La wilaya de Saida au Nord, Tiaret au Nord Est, Sidi Bel Abbes au Nord-Ouest, Laghouat à l'Est, à l'ouest la wilaya de Naâma, au Sud-Est par Ghardaïa et El Meniaa, Bechar et Adrar au sud. Elle s'étend sur une superficie de 71 697 km², soit 3 % du territoire national ; elle s'étend du Chott Echergui à l'Erg occidental, elle est dominée par les trois monts du djebel Amour de la chaîne Atlas Saharien, le Boudergua 1873 mètres, majestueux par sa masse avec ses vestiges du poste optique, El Ouastani 1878 mètres et le grand Ksel avec 2008 mètres.

Géographiquement, la Wilaya est comprise entre les parallèles 30° 42' et 34° 28' de l'altitude Nord et entre les méridiens de longitude 0° 24' à l'Ouest fuseau 30 et 2° 16' à l'Est fuseau 31 (DSA, 2013).

III.3. Méthodologie de travail

Notre travail est basé essentiellement sur les enquêtes menées auprès de la population ksourienne ainsi que les services d'hydrauliques et d'agricultures locaux. En effet, plusieurs missions de travail ont été effectuées sur les trois oasis durant les années (2017- 2019). Nous avons visité toutes les infrastructures hydrauliques ancestrales et modernes des trois régions (Méchria Essghira, Stitten et Brézina). Nous avons enquêté l'irrigant de trois oasis et voir la situation des systèmes d'irrigation traditionnels et modernes pour identifier les difficultés et les avantages de ces systèmes.

III.4. Résultats et discussions

III.4.1. L'eau dans les jardins de Stitten et Méchria Essghira

Stitten et Méchria Essghira ce sont des régions riches en sources d'eau naturelle qui s'écoulaient d'une façon continue sur la surface du sol. Grâce à la denrée acquise, les premières familles se sont installées en construisant les premières maisons du ksar. Avec l'agrandissement du ksar et le développement des jardins, la nappe d'eau a subi une diminution et un assèchement de quelques sources d'eau. Cette nouvelle situation a poussé les propriétaires à canaliser les eaux des sources pérennes par les foggaras.

III.4.1.1. La foggara de Méchria Essghira

Après la découverte de sources d'eau dans la région (**Fig.46**), les agriculteurs ont construit deux foggaras localement appelées « Ain » qui captent les sources d'eau par une galerie de faible pente. Au début de sa réalisation, la foggara s'écoule directement dans les seguias et l'irrigation se fait tour à tour. L'augmentation du nombre de propriétaires dans le temps signifiait que les

agriculteurs devaient construire un Madjen collectif pour chaque foggara. Ce dernier stocke l'eau de foggara avant la distribution dans les seguias du réseau.



Fig.46 Vue générale de la région de Méchria Essghira

La foggara de Méchria Essghira est différente de la foggara classique. Elle exploite des sources d'eau qui capte son eau à partir d'une nappe phréatique qui se recharge à partir des eaux de ruissellement en provenance des montagnes périphériques. Elle est équipée d'une galerie de 100m de long légèrement inclinée et trois puits d'aération (**Fig.47**). Elle se déverse en permanence dans le collectif Madjen situé dans le jardin (**Fig.48, 49**). Grâce à une distribution horaire, l'eau est distribuée à tour de rôle entre les propriétaires. Chacun a sa part d'eau en fonction de son apport. L'eau est transportée à travers un réseau de seguias qui distribuent l'eau dans les jardins(**Fig.50**). La foggara classique est une foggara exploitée dans les régions du Touat et du Gourara (sud-ouest algérien). La foggara classique se compose d'une galerie (qui peut atteindre 17 km) et de plusieurs puits d'air (jusqu'à 700 puits) la foggara classique exploite les eaux de la nappe de continent à l'intercalaire.



Fig.47 Un puits d'aération de la foggara de Méchria Essghira

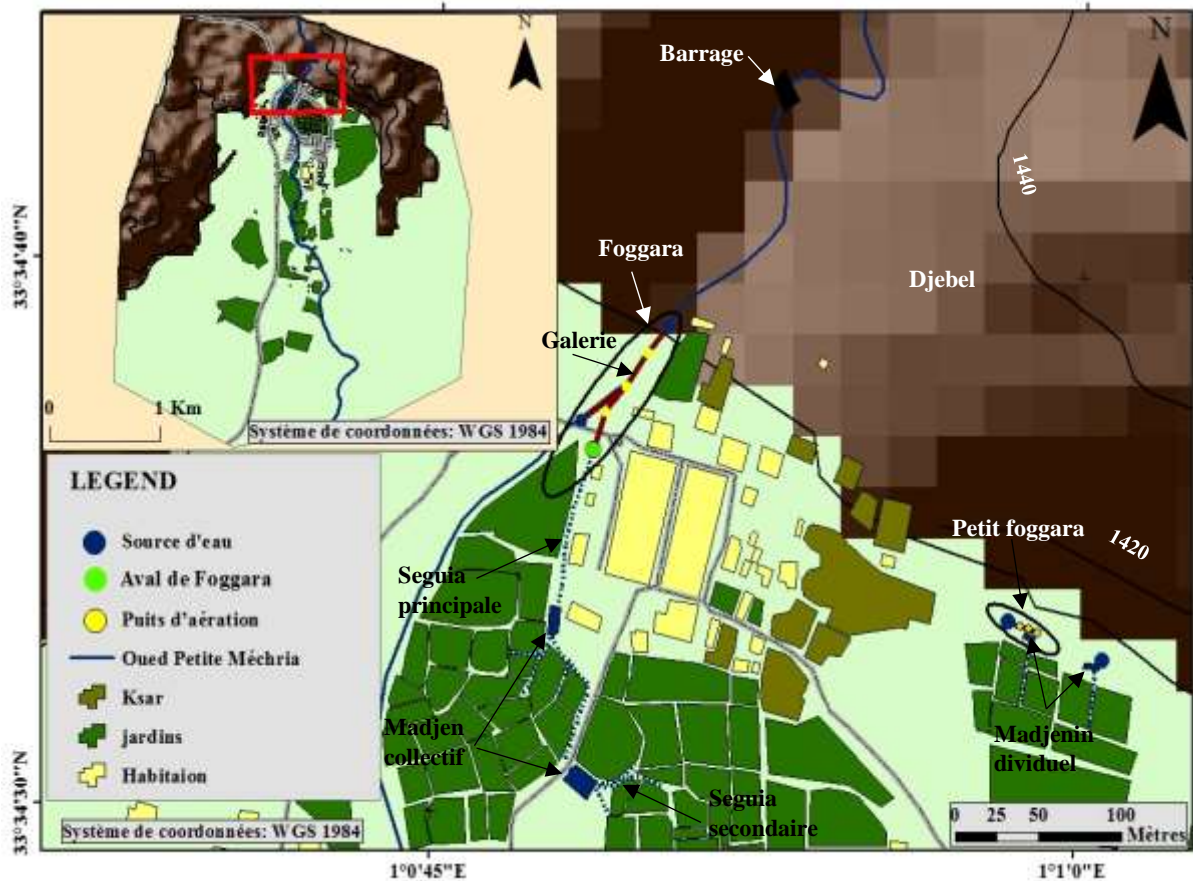


Fig.48 Schéma synoptique représente les Foggaras dans Méchria Essghira



Fig.49 Madjen collectif de foggara de Méchria Essghira



Fig.50 Séguia principale dans le jardin de Méchria Essghira

III.4.1.2. Puits à poulie

Dans chaque maison du ksar, il existe au moins un puits. Au total, il existe 100 puits dans le ksar réparti sur toutes les maisons de ksar. Le propriétaire a équipé son puits par une roue (poulie en bois) pour faciliter la traction (**Fig. 51**). C'est grâce à ces ouvrages de puisage d'eau que l'alimentation en eau potable de la population s'effectue.



Fig.51 Un des puits qui alimente le ksar de Méchria Essghira

III.4.1.3. La foggara de Stitten

Les foggaras de Stitten ont été creusées dans cette région pour l'irrigation des jardins et l'alimentation de ksar (**Fig.51**), contrairement à la Foggara de Méchria Essghira, qui capte son eau de deux ou plusieurs sources. Deux Foggaras partagent la même source à partir de laquelle

leur eau est captée et elles se rechargent à partir des eaux de ruissellement en provenance des montagnes périphériques. Contrairement à la foggara d'El Meghier dont la galerie est longue de plus de 10km équipés de plus de 500 puits d'aération. La foggara de Stitten présente des galeries de quelques centaines de mètres, elle possède une galerie de longueur de plus de 100 mètres(Fig.52).



Fig.52 Une vue générale du Ksar de Stitten

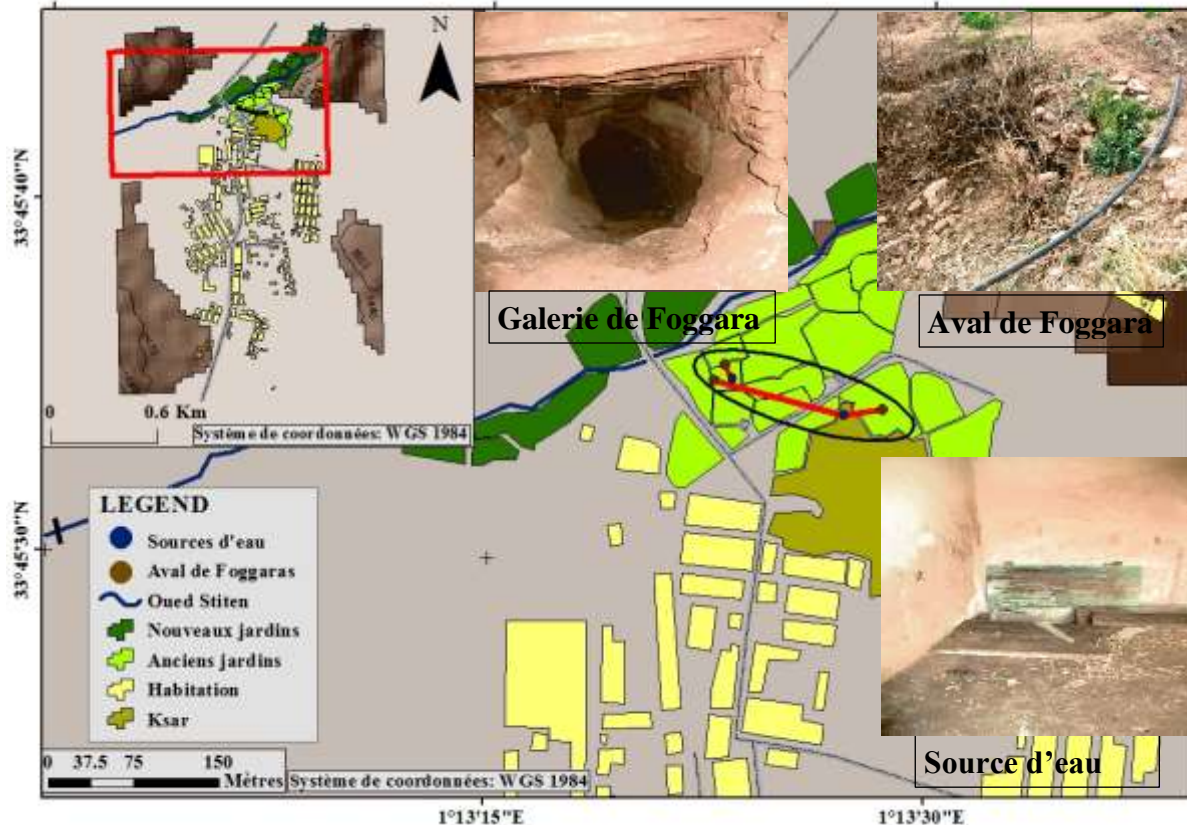


Fig.53 Schéma synoptique représente les Foggaras à Stitten

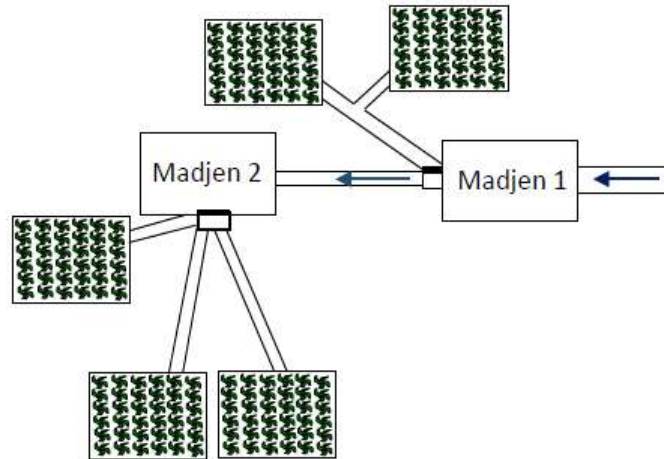
III.4.1.4. Réseau de distribution des foggaras de Stitten et Méchria Essghira

Contrairement à la distribution des eaux de la foggara de Touat qui est de type volumétrique. L'irrigation des jardins s'effectue tour à tour (nouba) c'est-à-dire, jardin après jardin. On parle de l'irrigation en série. Dans ce cas, la répartition de l'eau est soumise à la méthode temporaire. Avec le lever du soleil, le tour de remplissage du Madjen 2 commence. Une fois le remplissage du Madjen 2 est achevé vers midi. Il arrête l'écoulement de l'eau vers le Madjen 2 afin de remplir le Madjen 1 à l'aide des bouchons pour fermer l'ouverture au fond du Madjen 1 (**Fig.54**), pendant ce temps, les jardins près du Madjen 2 sont irrigués à travers celui-ci. Le remplissage du Madjen 1 se termine au coucher du soleil (**Fig.55**).

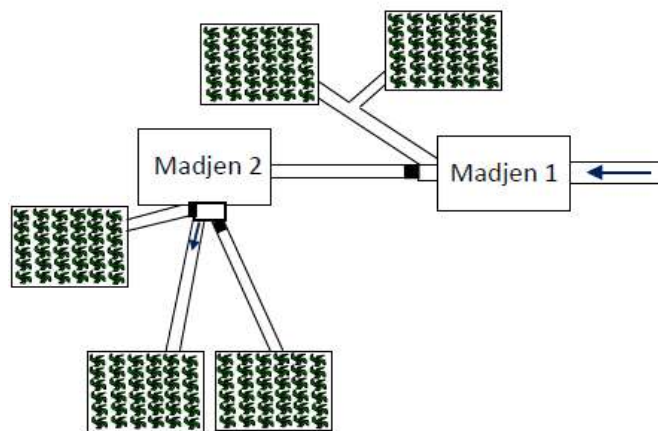


Fig.54 Ouverture au fond du Madjen

1-lever du soleil



2- Midi



3-Coucher du soleil

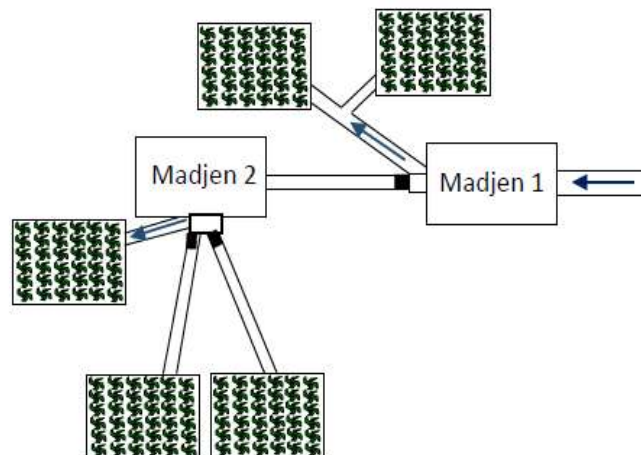


Fig.55 Exemple des tours d'irrigation entre les propriétaires dans Méchria Essghira

III.4.1.5.Méthode d'El Hadjra

El Hadjra (la pierre) ou Saatechems (la montre du soleil) réalisée par une pierre plate. Les propriétaires dépendent de la luminosité du soleil sur El Hadjra. Selon eux, l'heure de midi commence lorsque l'ombre couvre la moitié d'El Hadjra (**Fig.56**).

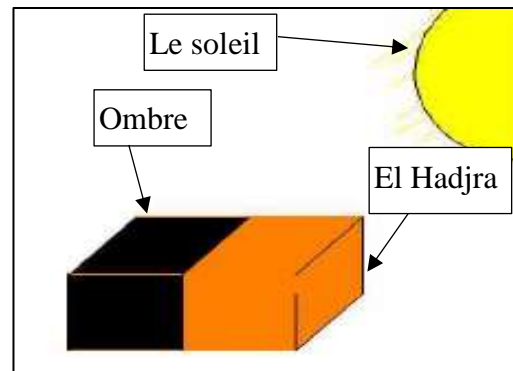


Fig.56 El Hadjra de Méchria Essghira

III.4.1.6.Évolutions des puits individuels

La diminution du débit des foggaras des Stitten et Méchria Essghira a poussé les agriculteurs à opter pour des puits traditionnels afin de combler le déficit en eau (**Fig.57**). Quelques puits ont été réalisés à partir des années quatre-vingt, ces puits ont été équipés par des motopompes, ce qui a engendré un débit appréciable en eau destinée à l'irrigation. Ces nouvelles techniques de captage des eaux ont eu des conséquences néfastes sur les eaux souterraines, ce qui a provoqué le rabattement du niveau de la nappe phréatique et l'assèchement des foggaras et par conséquent la dégradation de jardins.

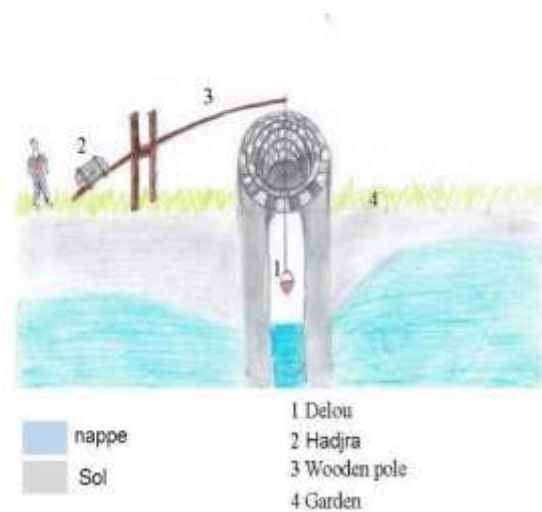
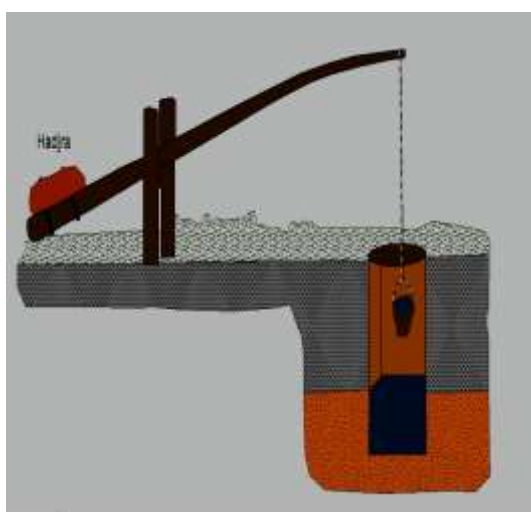


Fig.57 Schéma des balanciers des khottaras dans la région de Stitten

III.4.1.7.Essed

Au début des années soixante la population locale a réalisé des barrages de stockage qui servent à capter les eaux collectées durant les crues Pour assurer la réalimentent la nappe phréatique et la distribution et l'acheminement de l'eau vers les jardins. Mais, suite aux fortes crues drainées par l'oued, les deux barrages ont été emportés et détruits. En plus de l'assèchement du lac du barrage, le sable s'est accumulé dans la cuvette à plus de 90% du volume initial du barrage.



Fig.58 La situation actuelle du Barrage de Stitten ensablé à 100%



Fig.59 La situation de l'effondrement du barrage de Méchria Essghira après la crue

III.4.3. Les oasis de Brézina

Une belle oasis située à la périphérie de la ville de Brézina et plus de 900 km au sud-ouest d'Alger, une région rocheuse (**Fig.60**) connue par les fortes crues drainées occasionnellement par l'oued Seggueur. La seule source d'eau de toute la vallée était la nappe alluviale qui se réalimente par les crues. Ensuite, à l'aide des puits à traction animale, les ksours s'alimentent et les jardins s'irriguent(**Fig.61**).



Fig.60 Région d'El Gor à Brézina



Fig.61 Vue générale de l'oasis de Brézina

III.4.3.1. Historique du système ancestral

Brézina était une oasis créée au 13e siècle qui a servi comme une destination pour les troupeaux de chameaux pour la disponibilité de l'eau. Les ksours ont été bâtis sur les hauteurs non loin de l'oued de Brézina. Par contre, la palmeraie et les jardins, ce sont développés sur les rives de l'oued. Des centaines de puits ont été creusés à la périphérie de l'oued Seggueur où l'eau souterraine est de bonne qualité et de quantité importante.

III.4.3.2. Les ressource d'alimentation en eau du système

L'oasis de Brézina est située dans le sud-Est de la ville. Elle irriguée par l'oued principal :

Oued Seggueur : L'oued Seggueur entoure la ville de Brézina de sorte qu'il alimente l'oasis Brézina

Le bassin versant de l'oued Seggueur s'étend sur la partie sud de l'Atlas saharien et il est entouré par le massif du Djebel Amour. Les montagnes de l'Atlas saharien, dont la direction est SO-NE, délimitent nettement la région du bassin des plaines sahariennes.

La superficie du bassin de l'oued Seggueur dans le profil du barrage Kheneg Larouia est de 3680 km². C'est au niveau du profil du barrage que les apports sont les plus importants, car les deux principaux affluents, oueds Mellah et El Rhoul, s'y joignent pour former l'oued Seggueur.

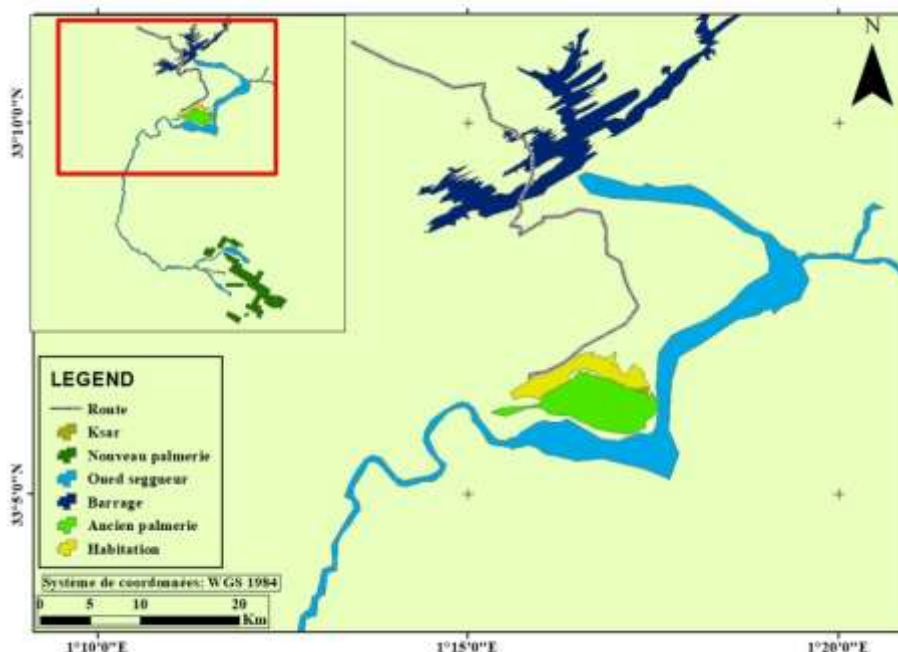


Fig.62 Localisation de la palmeraie de Brézina par rapport à l'oued Seggueur

III.4.3.3. Composition du système traditionnel d'irrigation

Dans les oasis de Brézina, il existe deux types d'irrigation

III.4.3.3.1. En temps ordinaire

Le système d'irrigation est composé de:

III.4.3.3.1.1. Les puits

En période de sécheresse, l'irrigation s'effectue durant toute l'année par les eaux souterraines par l'utilisation des puits à traction animale (**Fig.64**), qui consiste à extraire de l'eau souterraine en utilisant un animal (un âne ou un chameau) pour tracter le Dalou par l'intermédiaire d'une corde appelée « Shedade ». Grâce à des puits à traction animale, l'eau puisée est destinée à l'irrigation des jardins. Au niveau de la palmeraie, chaque jardin est équipé d'un système de puisage. En période de crues, les puits aménagés par des margelles conçues pour la protection les eaux de puits.

El Dalou est suspendue à une corde qui passe sur la poulie. Le tuyau est maintenu relevé par une seconde corde qui glisse sur un rouleau de bois appelé « Meroide » (**Fig.63**), placé à l'ouverture du puits.

Le va-et-vient de l'animal (âne, Mulet ou un chameau) qui tire les cordes d'un bout à l'autre de la piste fait monter et descendre El Dalou dans le puits.

El Dalou se vide dans un petit bassin appelé « Messabe », puis l'eau se déverse dans un grand bassin latéral nommé « Madjen »



Fig.63 Rouleau de bois appelé « Meroide »

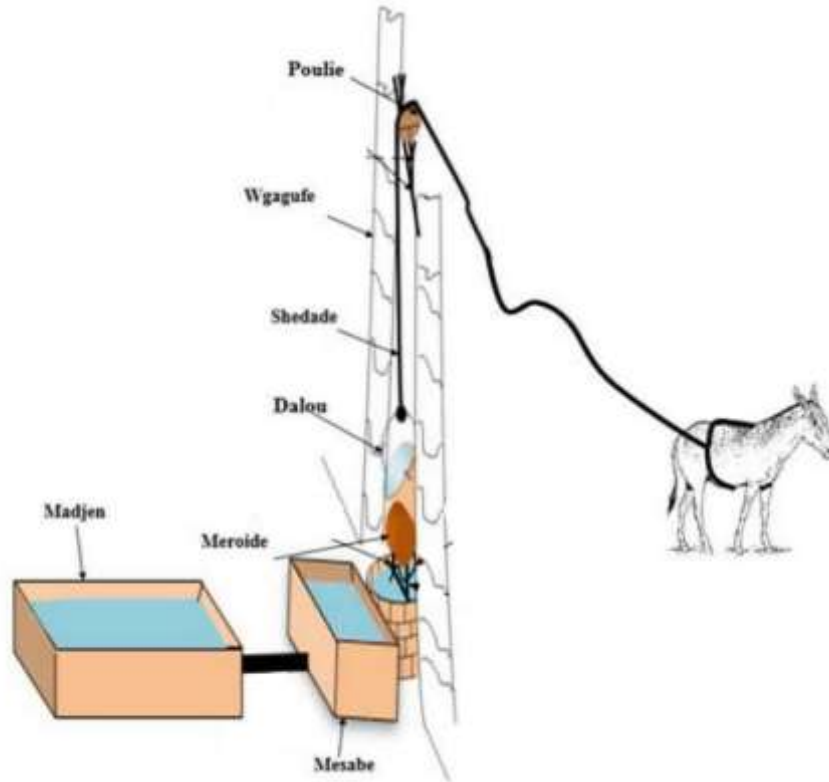


Fig.64 Schéma simplifié d'un puits à traction animale

III.4.3.3.1.2. Mesabe

Situé juste après les puits, une fois le Delou rempli d'eau est remonté à la surface, le puisatier la déverse dans un petit bassin appelé Messabe (Fig.65).



Fig.65 Messabe dans l'oasis de Brézina

III.4.3.3.1.3.Le Madjen

C'est un bassin de récupération et de régularisation de profondeur relativement faible, il joue le rôle d'un château d'eau. Il est destiné à stocker les eaux en provenance du petit bassin Messabe, chaque jardin est équipé d'un Madjen (**Fig.66**).



Fig.66 Madjen individuel

III.4.3.3.1.4.La seguia

Les seguias de la palmeraie de Brézina se trouvent à l'intérieur des jardins situés juste après les puits, elles assurent le transport des eaux jusqu'au jardin, une fois les puits et les seguias sont remplis d'eau, l'irrigation permanente des jardins sera entamée (**Fig.67**).



Fig.67 La seguia dans le jardin

III.4.3.3.2. Le temps de crue

Le système de partage des eaux a été mis en œuvre par les propriétaires durant des siècles pour assurer une irrigation temporaire (en cas de crues) pour tous les jardins chacun en fonction de sa contribution.

Ce système joue plusieurs rôles :

1- l'eau de crues est très chargée en particules fines et en éléments nutritifs qui permettent d'amender le sol.

2- Remplir les barrages qui se réalimentent de la nappe phréatique par les infiltrations à travers le sol, pour réutiliser ces eaux dans les périodes de sécheresse.

3- Récupérer le maximum des eaux pluviales pour couvrir le manque d'eau dans les jours ordinaires.

Le système de récupération des eaux pluviales et répartition se compose de :

III.4.3.3.2.1. Digues

Des digues de barrages appelées Tutia (**Fig.68**) sont localisées dans l'oued Seggueur à l'amont de la palmeraie qui capte le surplus d'eau de crues qui viennent de l'oued.



Fig.68 Une vue de la digue

III.4.3.3.2.2. Les seguias-ruelles

Les ruelles de la palmeraie jouent un double rôle ; la circulation des oasisiens en période de sécheresse et comme seguias pour drainer l'eau de crues en période de crues(**Fig.69**).



Fig.69 Une vue d'une segua –ruelle de la palmeraie de Brézina

III.4.3.3.2.3. Les petits barrages

Les petits barrages ont été construits à l'intérieur de l'ancienne palmeraie de Brézina pour inonder les jardins afin de profiter des particules fines et de la recharge les nappes, ce sont des ouvrages originaux construits avec les matériaux locaux (**Fig.70**).



Fig.70 Jardins sur lequel a été bâti le petit barrage

III.4.3.4. Fonctionnement de l'aménagement hydraulique

À l'arrivée d'une crue sur l'oued Seggueur au niveau du lieu de **digue**(Fig.71,72), ces eaux sont dirigées par les propriétaires vers **seguias-ruelles**(Fig.73), et arrivant directement au système de partage des eaux. L'eau est distribuée à l'aide des **seguias-ruelles** qui couvrent toutes les palmeraies. Grâce à des seguias, la crue se déverse dans la retenue de **petit barrage** pour inonder directement les jardins (Fig.74,75).



Fig.71 L'arrive de l'eau



Fig.72 Le débordement latéral de l'eau vers les chemins



Fig.73 L'arrive de l'eau dans Les chemins



Fig.74 La crue se déverse vers la retenue



Fig.75 Retenue des eaux de crue dans le jardin

III.4.3.5. Apport des nouvelles techniques d'irrigation**III.4.3.5.1. L'influence de la moto pompe sur le système traditionnel**

L'évolution de la vie de l'homme influe sur le système par l'utilisation des pompes au lieu des animaux, qui sont posés sur tous les travaux d'irrigation.

Aujourd'hui, on trouve que les motopompes sont utilisées dans les puits traditionnels, qui alimentent un ou plusieurs jardins.



Fig.76 La pompe dans le puits traditionnel

III.4.3.5.2. L'effet de la réalisation de Barrage réservoir sur le système traditionnel

Pour irriguer les surfaces agricoles situées à 11 km environ au sud du village et améliorer de l'alimentation en eau du village de Brézina, le Barrage réservoir a été construit en 1998. Il a contribué à l'interruption du fonctionnement de système de partages des eaux de crues. Cette nouvelle situation a provoqué chez les agriculteurs une scène de tristesse et de la peur sur l'avenir de leurs jardins.



Fig.77 Barrage Brézina

III.5. Conclusion

Enfin, lorsqu'on consulte l'état de fonctionnement de ce système on remarque que le manque d'entretien, l'influence des forages, le rabattement de la nappe à l'échelle régionale sont des facteurs qui influent sur la continuité de système traditionnel. La foggara cette magnifique invention qui coule depuis des siècles est condamnée à une disparition inévitable.

CHAPITRE IV

UNE ÉTUDE SUR LE PARTAGE ANCESTRAL DE L'EAU A FOGGARA D'AÏN MADHI

IV.1. Introduction

La première partie de ce chapitre porte sur la présentation et le fonctionnement du système de partage et de captage des eaux de la ville d'Aïn Madhi. Dans la deuxième partie, nous allons essayer de trouver une méthode technique pour vérifier d'une façon ou d'une autre quel est le degré de crédibilité de la méthode de partage des eaux entre les différents jardins. On va appliquer des équations hydrauliques connues.

IV.2. Régions d'étude et méthodologie de travail

IV.2.1. La situation géographique de la région d'étude

Nos recherches ont été menées sur la région d'Aïn Madhi (**Fig. 78**) de la Wilaya de Laghouat, située au sud de la capitale algérienne, à 400 km d'Alger. Elle est limitée au nord-est par Tadjmout et au nord par El Ghicha, la commune d'Oued M'Zi, à l'ouest par El Ghicha et Tadjrouna, au sud-ouest par la Wilaya d'El-Bayadh, et à l'est par El Houaita et Hassi R'Mel. Elle est également célèbre d'être la capitale Tijaniyya du monde. C'est la Zawiya emplacement qui porte son nom.

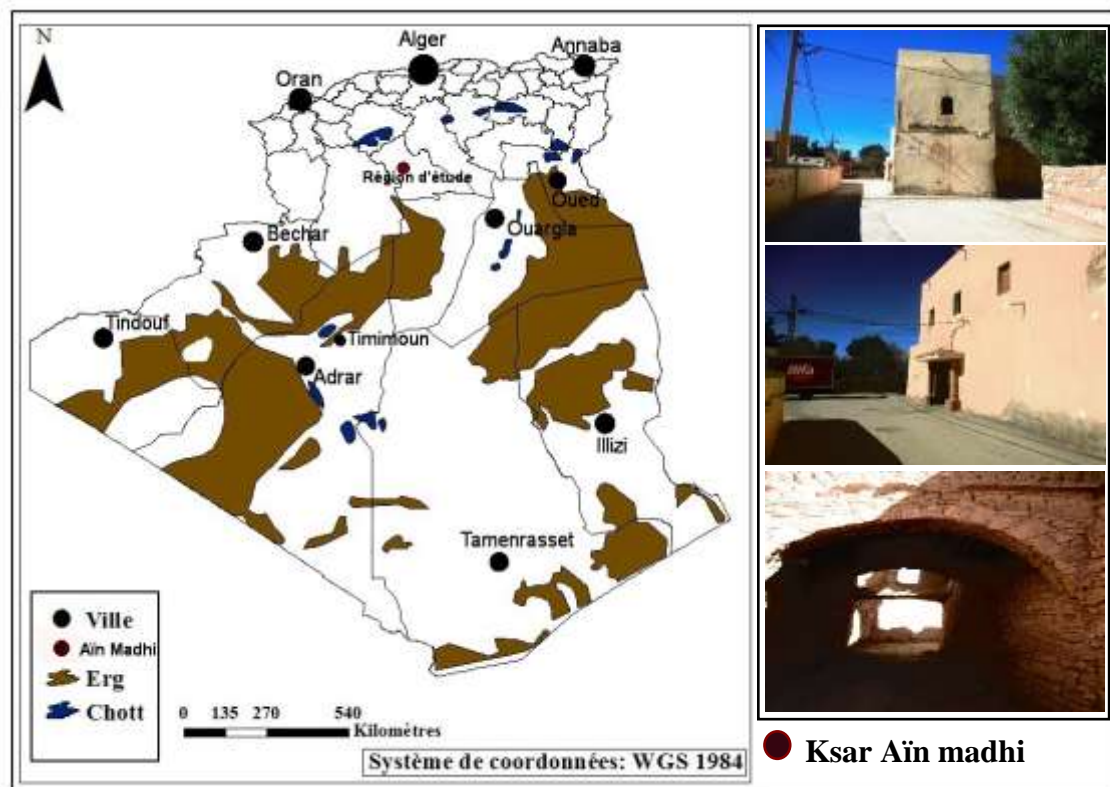


Fig.78 Carte de situation géographique de la région d'étude (Remini, 2018 modifiée par l'auteur)

IV.2.2. La méthodologie de travail

Notre étude est essentiellement basée sur les enquêtes et les investigations menées auprès de la population locale. En effet, la mission a été menée en 2019. Nous avons visité toutes les anciennes infrastructures hydrauliques de la région d'Aïn Madhi. Nous avons collecté des données, des informations et des documents auprès de la population locale et de l'Association pour la protection du patrimoine et de l'environnement à Aïn Madhi.

IV.3. Résultats et discussions

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

IV.3.1. Le captage

IV.3.1.1. La source d'eau

Il s'agit d'Aïn Sidi Moein, mais le nom original, selon les récits oraux, est Aïn de Sidi Aïssa. Celui auquel est attribué le Tidjania, où il a été trouvé avant la construction de la ville au 17^{ème} siècle (APPPE, 2011). Il représente le puits mère (**Fig.79**) qui capte son eau à partir d'une nappe phréatique rechargée par le ruissellement des montagnes périphériques.



Fig.79 Puits d'aération de Foggara d'Aïn Madhi

IV.3.1.2. La galerie

C'est un drain qui atteint quelques kilomètres et qui transporte l'eau de la source vers la seguia. Il est équipé d'une série de puits d'aération espacés de centaine de mètres (**Fig. 80**).



Fig. 80 Galerie et puits d'aération

IV.3.2. La distribution

IV.3.2. La seguia

La seguia de cette région se trouve à l'extérieur des jardins (**Fig. 81**). Elle se trouve à côté de la ruelle des jardins (**Fig. 83**). La fermeture d'une seguia s'effectue manuellement par un bouchon formé par un morceau rectangulaire de fer (**Fig. 82**).



Fig. 81 Seguia en ciment à l'extérieur d'un jardin



Fig. 82 la fermeture manuelle des seguias

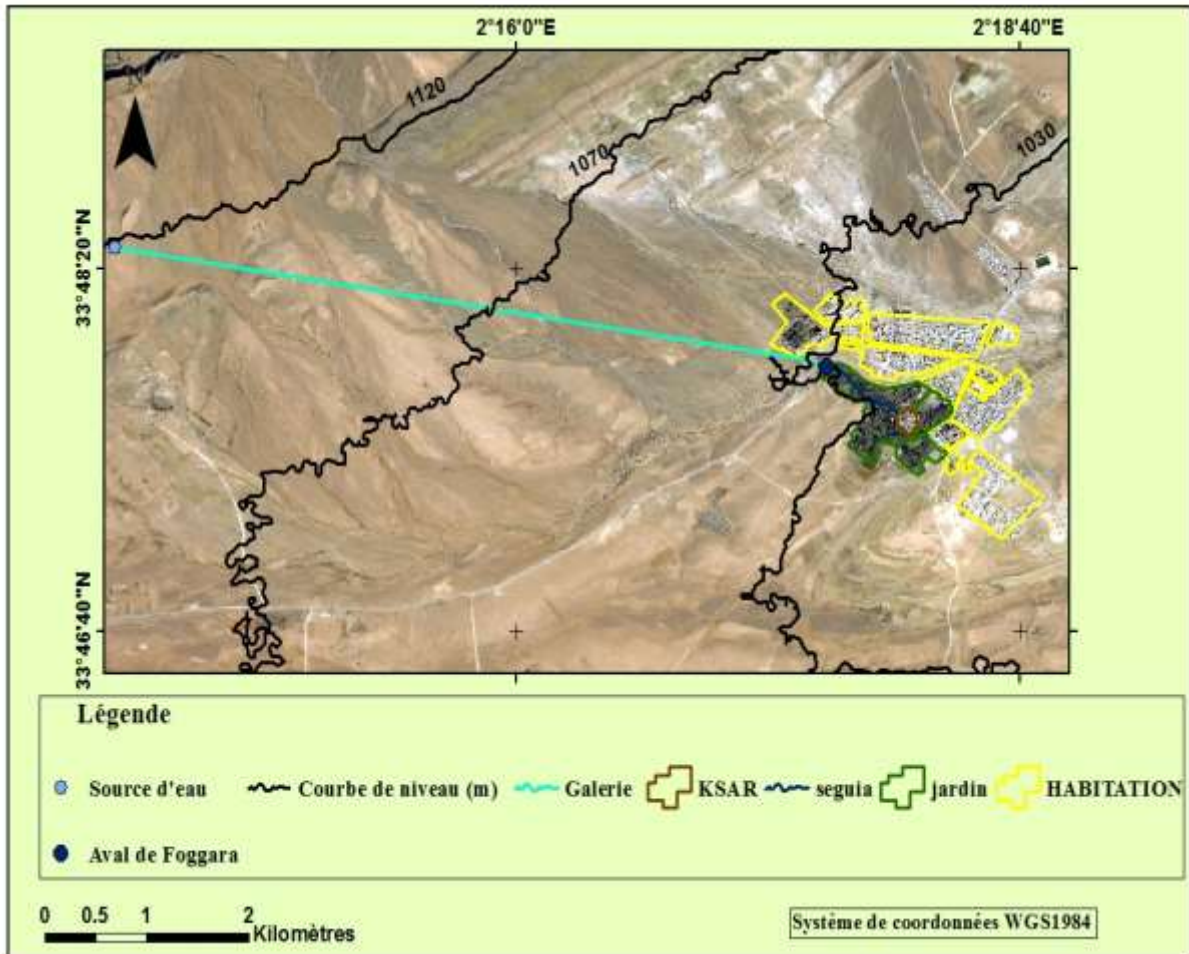


Fig. 83 Schéma synoptique de la Foggara d'Aïn Madhi (Google Earth, Préparé par l'auteur)

IV.3.2.2. El jare (Traction d'eau)

C'est le temps que l'eau prend entre un endroit et un autre. Par exemple, il faut 45 minutes à une eau pour arriver à Bab El Kbir si elle part de Bab El sakia (Tab.3). Ces minutes appelées El jare (Traction de l'eau), ce sont donc incluses dans les comptes.

Tableau 3. Le temps mis par l'eau pour atteindre l'emplacement spécifié

Point de départ	Point d'arrivée	Traction d'eau (min)
Mahat (La station) du Sultan	Maather fils ben Arous	20
Maather fils ben Arous	Qarn El-Maather	07
Qarn El-Maather	Aruja	10
Aruja	El qarbia	07
Alqarbia	El Madjen	04
Alqarbia	Hada (Fin) Sidi Ahmed ben lienay	45
El Madjen	Taht (Sous) Liainzashat	05
Taht (Sous) Liainzashat	El Sawmiea	04
El Sawmiea	El Daih	30
Sous lanzachate	Bab sakia	05
Bab El sakia	El Darkisha	07
El Darkisha	Bab El Kbir	07
Bab El sakia	Bab El Kbir	15
Bab El Kbir	Masraf si Lakhdar	05
Bab El Kbir	Hush (yarde) d'El charef	05
Mahat du Sultan	Bab El sakia	45
Mahat du Sultan	El qarbia	30
El qarbia	Bab El sakia	15
Bab El sakia	Bad El charki	11
Bad El charki	El hufra (la fosse)	05
El hufra (la fosse)	Al-Arabi ben Al-Aimish	17

IV.3.3. Le partage de l'eau entre les propriétaires

Le partage d'eau dans le jardin d'Aïn Madhi connaît deux différents types et cela selon les Saisons de l'année.

IV.3.3.1. En temps ordinaire

Le système d'irrigation des jardins d'Aïn Madi est soumis à certaines règles afin que chaque groupe d'agriculteurs ait un rôle à jouer. Le tour se compose de 24 heures divisées en deux types, 12 heures nuit Nouba et 12 heures matin Nouba (Tab.4). Chaque agriculteur a sa part d'eau, qui n'échange pas ces parts calculées en plusieurs heures et minutes. Ces calculs sont basés sur une base mathématique en fonction de la surface du jardin définie par les heures et les minutes (Tab.5).

Tableau 4. Tours d'irrigation à Ain Madhi

N°	Nom de tour	12 heures (nouba du matin)	12 heures (nouba de la nuit)
1	El-Heggagy	Ben Hagiya	El rawajje
2	Ba Zaid	Ben Slama	La Zawiya
3	Notre Sidi Mahat du Sultan	Mahate du Sultan	El hadu El Gabliu
4	Fils de Si Abdallah	El Kandariyah	El fukarinia
5	Fils de Si Ahmed ben Isa	Bouamer	Al khulu
6	Fils de Si El saghir	El Dahs	Si Ali ben Sheikh
7	Notre premier Sidi	El Daih 24 Heures	
8	Notre deuxième sidi	El Maather El kabir	Ouest du lac Bouamer
9	El ssabiea	El muqasama	Ben Zian
10	El dilasat	Ben Zaanoun	Les fils d'Ahmed
11	El Satat	El euzla	El hudud
12	Fils de si Belkacem	Fils d'El tiyni	Deib
13	Fils de Si Mohamed	Bouamer	Alkhulu
14	Sidi Mohamed	Al bahirat Algharbia	
15	Sons of Si Brahim	El Bachim	El zarawula
16	Les fils d'El Sharif	Hajj El habib	La Zawiya
17	El Dahs	Les fils de Mahmoud	Hajja khawira

Tableau 5. Les unités reconnues par les propriétaires

Heur	60 minutes
El Galaba	30 minutes
Un quart d'heure	15 minutes
demi-quart d'heure	07 minutes
Kharrouba	04 minutes

Pour savoir comment partager l'eau, nous allons prendre Nouba El hudud, qui appartient à El Satat, où nous allons essayer d'étudier son système de partage de l'eau (Fig.84). Le Nouba d'El hudud commence à 19h et dure jusqu'à 7h du matin, où les temps d'irrigation sont répartis également en fonction de la taille de leur jardin entre les 8 propriétaires du Nouba d'El hudud. Compte tenu du temps qu'a pris l'eau pour arriver (Tab.4), nous notons également que le temps d'irrigation pour les six propriétaires est diminué, ne dépassant pas le temps d'irrigation autorisé de Nouba (Fig.85).

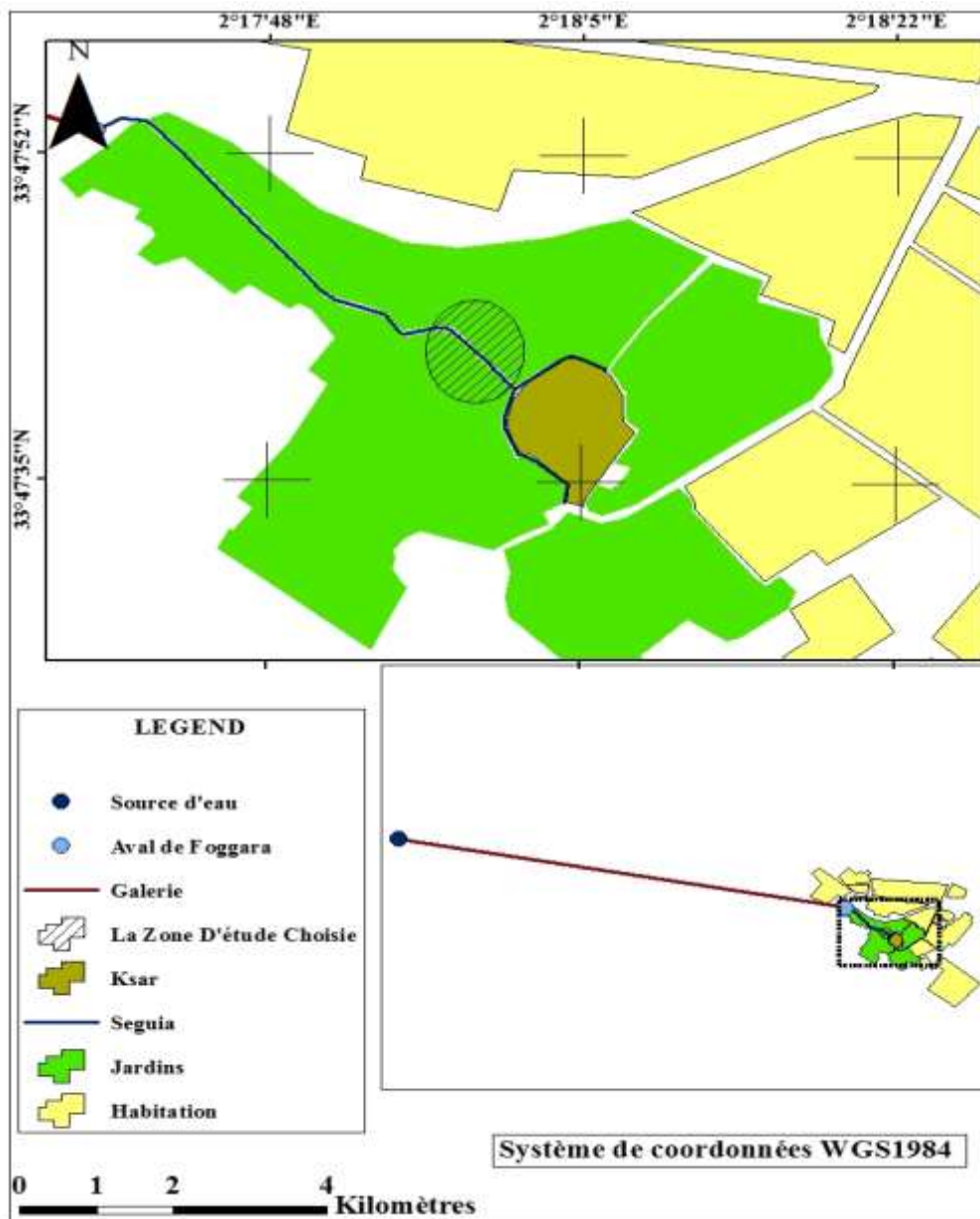


Fig. 84 La zone à laquelle appartient ce tour

Tableau 6. Répartition de l'eau entre les propriétaires en fonction du temps

N°	Nom du jardin	Sa part d'eau						Total		Traction (min)	à partir de	jusqu'à	
		Heur	El Galaba	Un quart d'heure	demi-quart d'heure	Kharrouba	minutes	temps diminué (min)	Sans réduction Heures				Avec Diminution (min)
1	Maather Boussafa	1						3	1	57	5	06 :42	07 :39
2	Gharbia	1		1				3	1,25	72	5	07 :39	08 :56
3	Had Si Mahmoud	1						3	1	57	46	08 :56	10 :39
4	Had Si Abd El Rahman	1	1					4	1,5	86	3	10 :39	12 :07
5	Had Si Ahemad lieanaya	2	1	1				5	2,75	160	7	12 :07	14 :42
6	Had Alarabi ben Alimash	1						3	1	57	7	14 :42	15 :34
7	lac Al'aemaa	2		1	1			6	2,35	135	30	15 :34	17 :19
8	lac Alarabi ben Alimash	1	1		1			3	1,62	94		17 :19	19 :08
	Total	10	3	3	2			30	12,47	11,97 H			

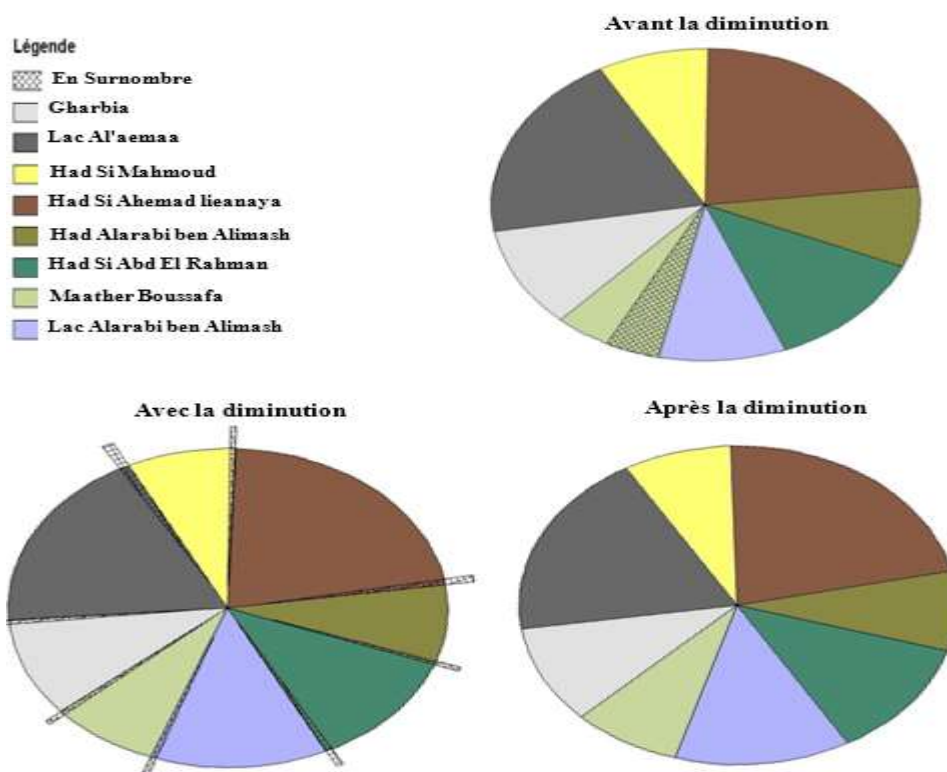


Fig. 85 Les propriétaires se consultent sur le partage de l'eau

IV.3.3.2. Système El Salaf (emprunt)

La fin du printemps, c'est-à-dire le début de la plantation des légumes, commence par l'emprunt de la méthode, où l'irrigation se fait tous les 6 jours au lieu de 17 jours, et grâce à l'esprit d'unité entre les paysans. Le tableau suivant montre le fonctionnement de ce système. Tout d'abord, le propriétaire A maintient 1 heure sur 3 de sa part d'irrigation, de sorte que deux heures d'irrigation sont accordées aux propriétaires B et C. Le propriétaire B vient ensuite et répète le même cycle. Le propriétaire C continue jusqu'en octobre (Tab.7), où la procédure devient inutile. Parfois, lorsque la chaleur augmente en juillet et août, l'irrigation se fait tous les trois jours, et ce tableau montre le processus. Nous prenons donc une nouba de chaque tour (Tab.8).

Tableau 7. Exemple du fonctionnement de ce système

Les tours	Le temps de l'irrigation avant le printemps	Le temps de l'irrigation après le printemps
1 propriétaire A	3 Heures	1 heure pour propriétaire A
		1 heure pour propriétaire B
		1 heure pour propriétaire C
2 propriétaire B	3 Heures	1 heure pour propriétaire A
		1 heure pour propriétaire B
		1 heure pour propriétaire C
3 propriétaire C	3 Heures	1 heure pour propriétaire A
		1 heure pour propriétaire B
		1 heure pour propriétaire C

Tableau 8. Exemple du système El Salaf pour tous les Tours

Le jour	Les Tours	les irrigations dans			
		Temps ordinaire	début du printemps	à la fin du printemps jusqu'à la fin d'octobre	Juillet et août
Jour 1	El-Heggagy	Jardin 1	Jardin 1	Jardin 1	Jardin 1
			Jardin 10	Jardin 6	Jardin 4
			Jardin 10	Jardin 12	Jardin 7
			Jardin 10	Jardin 12	Jardin 10
			Jardin 10	Jardin 12	Jardin 13
			Jardin 10	Jardin 12	Jardin 16
Jour 2	Ba Zaid	Jardin 2	Jardin 2	Jardin 2	Jardin 2
			Jardin 2	Jardin 7	Jardin 5
			Jardin 11	Jardin 7	Jardin 8
			Jardin 11	Jardin 13	Jardin 11
			Jardin 11	Jardin 13	Jardin 14
			Jardin 11	Jardin 13	Jardin 17
Jour 3	Notre Sidi Mahat du Sultan	Jardin 3	Jardin 3	Jardin 3	Jardin 3
			Jardin 3	Jardin 8	Jardin 6
			Jardin 12	Jardin 8	Jardin 9
			Jardin 12	Jardin 14	Jardin 12
			Jardin 12	Jardin 14	Jardin 15
			Jardin 12	Jardin 14	Jardin 1
Jour 4	Fils de Si Abdallah	Jardin 4	Jardin 4	Jardin 4	Jardin 4
			Jardin 4	Jardin 9	Jardin 7
			Jardin 13	Jardin 9	Jardin 10
			Jardin 13	Jardin 15	Jardin 13
			Jardin 13	Jardin 15	Jardin 16
			Jardin 13	Jardin 15	Jardin 2
Jour 5	Fils de Si Ahmed ben Isa	Jardin 5	Jardin 5	Jardin 5	Jardin 5
			Jardin 5	Jardin 10	Jardin 8
			Jardin 14	Jardin 10	Jardin 11
			Jardin 14	Jardin 16	Jardin 14
			Jardin 14	Jardin 16	Jardin 17
			Jardin 14	Jardin 16	Jardin 3
Jour 6	Fils de Si El saghir	Jardin 6	Jardin 6	Jardin 6	Jardin 6
			Jardin 6	Jardin 11	Jardin 9
			Jardin 15	Jardin 11	Jardin 12
			Jardin 15	Jardin 17	Jardin 15
			Jardin 15	Jardin 17	Jardin 1
			Jardin 15	Jardin 17	Jardin 4

Jour 7	Notre premier Sidi	Jardin 7	Jardin 7	Jardin 7	Jardin 7	Jardin 7
			Jardin 10			
		Jardin 12	Jardin 13			
		Jardin 16	Jardin 16			
Jour 8	Notre deuxième Sidi	Jardin 8	Jardin 8	Jardin 8	Jardin 8	Jardin 8
			Jardin 11			
		Jardin 13	Jardin 14			
		Jardin 17	Jardin 17			
Jour 9	El ssabiea	Jardin 9	Jardin 9	Jardin 9	Jardin 9	Jardin 9
			Jardin 12			
		Jardin 14	Jardin 15			
		Jardin 1	Jardin 1			
Jour 10	El Dilasat	Jardin 10	Jardin 10	Jardin 10	Jardin 10	Jardin 10
			Jardin 13			
		Jardin 15	Jardin 16			
		Jardin 2	Jardin 2			
Jour 11	El Satat	Jardin 11	Jardin 11	Jardin 11	Jardin 11	Jardin 11
			Jardin 14			
		Jardin 16	Jardin 17			
		Jardin 3	Jardin 3			
Jour 12	Fils de Si Belkacem	Jardin 12	Jardin 12	Jardin 12	Jardin 12	Jardin 12
			Jardin 15			
		Jardin 17	Jardin 1			
		Jardin 4	Jardin 4			
Jour 12	Fils de Si Belkacem	Jardin 12	Jardin 6	Jardin 6	Jardin 7	Jardin 10
			Jardin 6	Jardin 7		

Jour 13	Fils de Si Mohamed	Jardin 13	Jardin 13	Jardin 13	Jardin 13	
			Jardin 5	Jardin 1	Jardin 2	
		Jardin 13	Jardin 5	Jardin 7	Jardin 8	Jardin 11
				Jardin 14	Jardin 14	Jardin 14
Jour 14	Sidi Mohamed	Jardin 14	Jardin 14	Jardin 14	Jardin 14	
			Jardin 6	Jardin 2	Jardin 3	
		Jardin 14	Jardin 6	Jardin 8	Jardin 9	Jardin 12
				Jardin 15	Jardin 15	Jardin 15
Jour 15	Fils de Si Brahim	Jardin 15	Jardin 15	Jardin 15	Jardin 15	
			Jardin 7	Jardin 3	Jardin 1	
		Jardin 15	Jardin 7	Jardin 9	Jardin 4	Jardin 7
				Jardin 16	Jardin 16	Jardin 16
Jour 16	Les fils d'El Sharif	Jardin 16	Jardin 16	Jardin 16	Jardin 16	
			Jardin 8	Jardin 4	Jardin 2	
		Jardin 16	Jardin 8	Jardin 10	Jardin 5	Jardin 8
				Jardin 17	Jardin 17	Jardin 17
Jour 17	El Dahs	Jardin 17	Jardin 17	Jardin 17	Jardin 17	
			Jardin 9	Jardin 5	Jardin 3	
		Jardin 17	Jardin 9	Jardin 11	Jardin 6	Jardin 9
				Jardin 17	Jardin 11	Jardin 12
Jardin 17	Jardin 17	Jardin 17	Jardin 15	Jardin 15		

IV.3.3.3. Système Jebid (accélération) et système Tokhar (retard)

Les propriétaires rencontrent souvent des obstacles qui les empêchent d'utiliser pleinement leurs rations d'eau pendant leur tour pour l'irrigation, ce qui les fait manquer une partie de leur temps d'irrigation à chaque fois ou retarder leur travail jusqu'après l'irrigation, et c'est ce qui a incité les propriétaires à créer ce type d'irrigation qui leur garantit leur plein droit grâce à des lois communes entre eux ce système est comme suit :

$$T_{s(\text{matin})} = T_{a(\text{nuits})} + TR - Tr - Td$$

$$T_{s(\text{nuits})} = T_{a(\text{matin})} + TR - Tr + Td$$

Ts- Heure de début de la prochaine nouba

Ta- Heure de début de la nouba actuelle

TR- La période d'accélération

Tr- La période de retard

Td- La période de nouba (12 heures)

IV.3.4. Sahib Alramlia (distributeur d'eau)

Pour distribuer l'eau de Foggara, les propriétaires ont besoin d'une personne fiable pour veiller à la division de l'eau entre les propriétaires. Cette personne a été appelée Sahib Alramlia qui est un habitant parmi les habitants de Ain Madhi parce qu'il utilisait du sable pour changer la direction de l'eau. La gestion de l'eau se fait chez les propriétaires à Ain Madhi grâce à deux de Sahib Alramlia.

IV.4. Vérification technique et calculs hydrauliques

IV.4.1. La nature d'écoulement

L'eau de cette seguia s'écoule au contact de l'atmosphère, car il s'agit d'un écoulement libre en surface. Nous supposons que notre régime est permanent et uniforme en utilisant les équations de ce type d'écoulement, et la section d'écoulement est rectangulaire. Nous utilisons un canal entre les jardins avec les caractéristiques suivantes pour le calcul, comme nous le verrons comme suit (**Fig.86**).

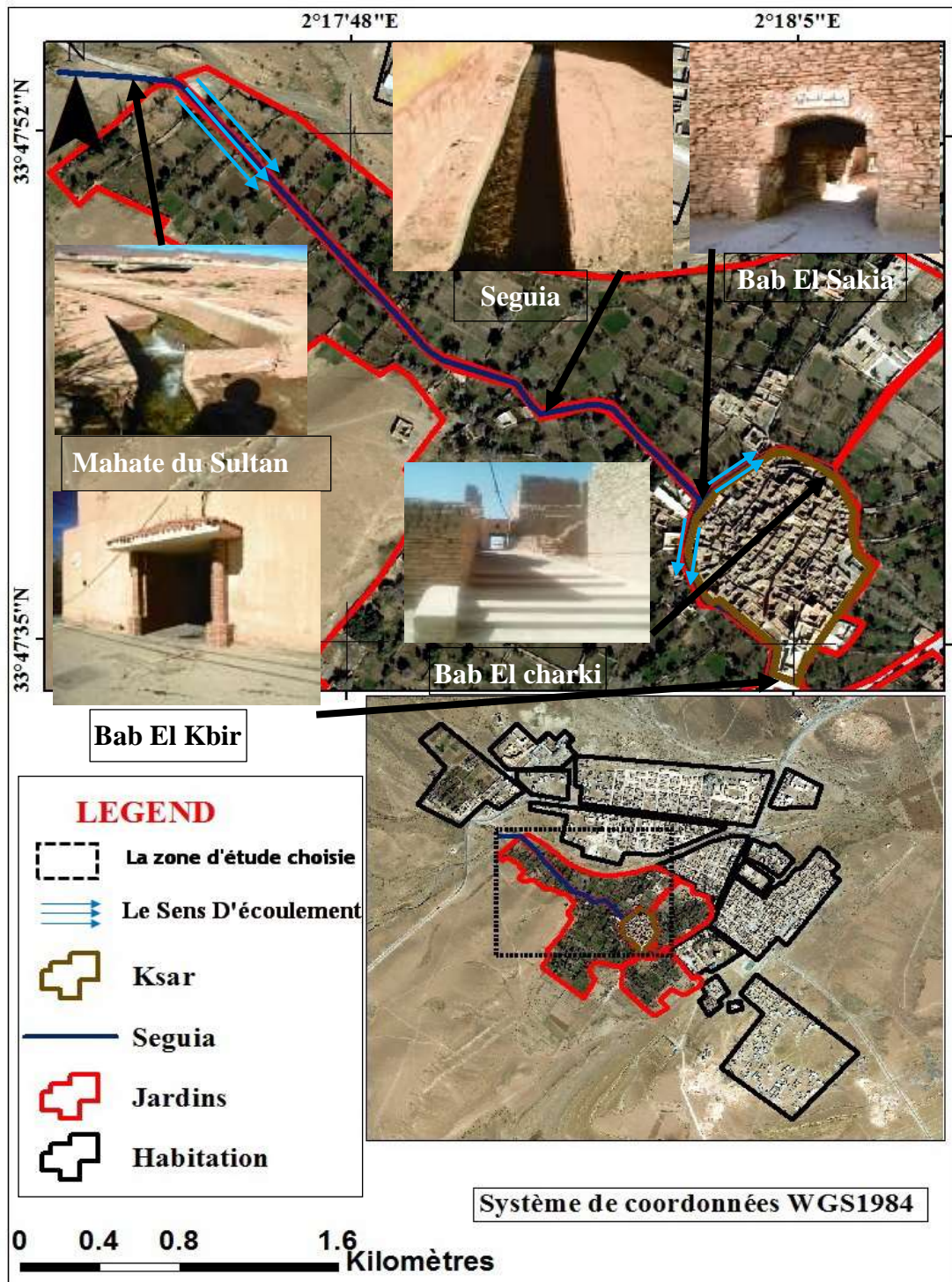


Fig.86 L'emplacement choisi pour calculer les paramètres hydrauliques

- La largeur de la seguia $b = 0,4m$;
- La pente moyenne du canal $i = 0.001m/m$
- Le niveau du trop-plein du canal $H = 0.3 m$.

IV.4.2. La méthode traditionnelle

Pour déterminer la vitesse d'écoulement, nous nous appuyerons sur la distance entre les endroits spécifiés et le temps qu'il faut pour que l'eau arrive, selon les mesures de nos ancêtres (Tab.9).

$$V = \frac{L \text{ (m)}}{T \text{ (s)}}$$

V : Vitesse d'écoulement en mètres par seconde

L : La distance entre les lieux en mètres.

T : Durée de la traction de l'eau

La section transversale de la seguia doit être mesurée pour obtenir un débit (Fig.87).

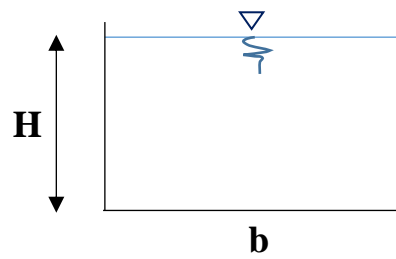


Fig.87 Section transversale de la seguia

- La largeur moyenne de la seguia $b = 0,4 \text{ m}$.
- Le niveau du trop-plein de seguia $H = 0,3 \text{ m}$.

$$S = b * a$$

$$S = 0.4 * 0.3$$

$$S = 0.12 \text{ m}^2$$

Tableau 9. Vitesses d'écoulement et débits calculés

Point de départ	Point d'arrive	Durée de la traction de l'eau (minutes)	La distance entre les deux (m)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse d'écoulement moyenne (m/s)	Débits (m^3/s)
Mahat du Sultan	Bab El sakia	45	750	0.3	0.277	0.033
Bab El sakia	Bab El Kbir	15	224	0.3	0.248	0.0298
Bab El sakia	Bad El charki	11	138	0.3	0.209	0.0251

IV.4.2. La méthode ordinaire (vérification)

En utilisant la formule de CHEZY, nous pouvons calculer la vitesse d'écoulement V et le débit Q dans la seguia.

$$U = C\sqrt{RI}$$

Avec :

U-La vitesse moyenne d'écoulement dans la séguia (m/s).

C-Un coefficient qui dépend de la nature des parois.

R- Le rayon hydraulique (m).

I -La pente moyenne du canal (m/m linéaire).

Pour déterminer le coefficient (C), on utilise la formule suivante (CARLIER,1980):

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

Avec :

R- Le rayon hydraulique (m).

γ - Coefficient, sa valeur détermine la classification des parois (Tab.10).

Tableau 10. Les différentes valeurs de γ , en fonction de la nature des parois (CARLIER, 1980)

catégories	γ	Nature des parois
N° 01	0.06	Parois très unies : ciment lissé, bois raboté etc.
N° 02	0.16	Parois unies : planches, briques, pierres de taille, etc.
N° 03	0.46	Parois maçonnerie de moellons.
N° 04	0.85	Parois de nature mixte : sections en terre très régulière. Rigoles revêtues de pierres etc.
N° 05	1.30	Canaux en terre dans des conditions ordinaires.
N° 06	1.75	Canaux en terre, présentant une résistance exceptionnelle : fonds de galets parois herbées, etc.

Dans ce cas, nous prenons γ égale la valeur de 0,85

$$\text{Le rayon Hydraulique} = \frac{\text{La surface mouillée}}{\text{Le périmètre mouillé}}$$

Après le calcul, les résultats suivants seront obtenus :

Tableau 11. Durée de la traction de l'eau après vérification

Largeur	Hauteur d'eau	Périmètre mouillée	Surface mouillée	R _H	La pente	Coefficient C	Vitesse d'écoulement (m/s)	Débit (m ³ /s)	La distance entre les deux (m)	Durée de la traction de l'eau (minutes)
0.4	0.3	1	0.12	0.12	0.001	25.19	0.276	0.0331	750	45.28
									224	13.52
									160	9.66

Les résultats présentés dans le tableau précédent (Tableau.11) ont prouvé que les mesures de nos ancêtres pouvaient être considérées comme acceptables. Malheureusement, le manque de données a été un obstacle que nous n'avons pas pu surmonter, pour approfondir la répartition de l'eau entre les propriétaires en fonction de la taille du jardin.

IV.5. Conclusion

Au début de ce chapitre, nous avons mentionné le travail d'un génie en nous concentrant sur la partie aval de la foggara et plus précisément sur le partage de l'eau entre les propriétaires. Bien que les lois hydrauliques actuelles soient peu connues à l'époque, les résultats du système conventionnel sont considérés comme acceptables compte tenu des efforts déployés pour parvenir à une répartition équitable de l'eau. C'est pourquoi, nous demandons aux autorités concernées de prendre des mesures préventives pour préserver ce précieux patrimoine.

***CONCLUSION
GÉNÉRALE***

Conclusion générale

Comme nous l'avons mentionné au début de cette étude. Les infrastructures d'une telle importance et d'une telle ingéniosité en Sahara algérien jouent un rôle important dans le développement des régions arides et semi-aride, construites depuis plusieurs siècles se trouve, pour une bonne partie, dans un état de délaissement, de non fonctionnement et parfois même de ruine.

Les résultats et les données exposées dans la présente étude permettent de dégager les conclusions suivantes :

- La vallée de Boussaâda est connue par leurs systèmes de captage et de partage des eaux de source sont : le système ancestral de barrages en cascade, quatre barrages espacés les uns des autres à une distance d'au moins 416 m. s'alimentent par de plus d'une source d'eau les barrages sont équipés par des seguias. Les eaux de barrages assurés l'irrigation de la palmeraie et le jardin, et même travaillé pour faire fonctionner les moulins à eau. Aujourd'hui, ce patrimoine est en voie de disparition. Plusieurs éléments de ce système ont été détruits. L'ancienne palmeraie a été abandonnée par rapport les nouveaux jardins, la retenue du barrage est par contre se trouve dans un état dégradant, les sources sont asséchées suite au rabattement de la nappe provoquée par le pompage de forage entourant les oasis.
- La vallée de Seggueur dans les oasis de Brézina, une région rocheuse connue par les fortes crues drainées occasionnellement par l'oued Seggueur. Les oasiens ont trouvé moyen pour inondé la palmeraie. Réaliser des barrages construits en matériaux locaux. C'est ainsi qu'un système de partage des eaux a été mis en œuvre pour assurer une irrigation temporaire (en cas de crues) pour tous les jardins chacun en fonction de sa contribution. De puits individuels ont été creusés dans les jardins compléter l'irrigation collective et pour assurer une irrigation permanent. Aujourd'hui, avec la réalisation du barrage-réservoir en 1998 pour irriguer les surfaces agricoles et la pompe a mets dans puits traditionnel. Le système hydraulique ancestral a été délaissé par les paysans.
- Les foggaras des jardins de Méchria Essghira et Stitten ont contribué au développement socioéconomique des régions depuis plus de 4 siècles. C'est grâce à ces ouvrages

Conclusion générale

hydrauliques que des centaines d'hectares de jardins ont été développées dans les régions.

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.

- La foggara d'Ain Madhi, malgré son exposition à de nombreux problèmes, elle lutte toujours pour survivre, 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 résultats du système ancestral sont jugés acceptables compte tenu de l'effort déployé pour parvenir à une répartition équitable de l'eau.

Les systèmes traditionnels de captage et de stockage des eaux demeurent toujours une technique d'irrigation efficace dans les régions arides. Elle est considérée 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. Nous tenterons dans cette région de proposer des recommandations pour aider à la protection et à la préservation de ce patrimoine qui présentent le facteur principal de la vie dans les oasis d'une conception ingénieuse :

- Il faut introduire des techniques modernes, tels que l'utilisation des PVC dans pour la galerie une conduite étanche pour résister pour éviter l'effondrement. Cette conduite minimisant également les pertes par l'infiltration dans la partie non active
- diriger un réseau d'assainissement vers la station d'épuration afin d'éviter toute pollution possible.
- Sensibiliser les habitants sur le rôle de ce patrimoine pour la préserver.
- La réalisation des forages doit être aura lieu loin la galerie de foggara, surtout en partie amont et le débit de ces forages s'ajoute à la foggara pour faire revivre les foggaras mortes.
- Le travail collectif au nettoyage continu de la retenue de barrage en cascade contre l'envasement après chaque crue.
- Mettre des lois juridiques sur l'interdiction de toute implantation de forage ou puits en amont de la foggara.

***RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES***

Références bibliographiques

- Adin S. (2006)**, Qanat a unique groundwater management tool in arid regions : the case of Bam region in Iran. International symposium groundwater sustainability.
- APPPE. (2011)**, Système d'irrigation des jardins d'Ain Madhi. Rapport interne. Ain Madhi, Algeria.
- Batu, V. (1998)**, Aquifer hydraulics: a comprehensive guide to hydrogeologic data analysis. A Wiley-Interscience Publication. USA.
- Ben Brahim, M. (2003)**, Irrigation traditionnelle et construit socioculturel dans les oasis du Tafilalet (Sud-Est marocain). Iie Congrès International «Oasis et tourisme durable. Maroc.
- Bennaci M.L., Bentoumi S, Khelfaoui F., Ouahab M. (2009)**. Rapport de stage en Géologie Bou Saâda, 12 au 19 avril 2009
- Carlier, M. (1980)**. General and Applied Hydraulics. Eyrolles, Paris.
- Castany, G. (1982)**. Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Dunod, Paris.
- Castany, G. (1980)**. L'eau propre, Hachette (réédition numérique FeniXX). ISBN : 0-376-3133-1.
- Christian, L. (1987)** Une vieille technique de puisage en perdition, Le balancier à tirer l'eau, Revue Maisons Paysannes de France, n°85, 3T.
- Christian, L. (2008)**. Le puits à balancier en France, Études et recherches d'architecture vernaculaire.
- Dechaicha, A (2010)**. L'étalement urbain et les contraintes physiques et naturelles Cas d'étude : La ville de Bou Saâda, Mémoire de Magistère en architecture, Université de Biskra, 169 p.
- DPSB. (2017)**. Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires. M'sila, Algérie
- Emberger J. (1960)**,« Esquisse géologique de la partie orientale des Monts des Ouled Nail (Atlas saharien, Algérie) », Publication SGA, Bulletin no. 37, 400 pages
- Hadbaoui I.(2013)**, Les parcours steppiques dans la région de M'Sila : quelle gestion pour quel devenir ? Thèse de Magistère en Agronomiques. FSNV/STU. Université Kasdi Merbah – Ouargla, 96p.

Références bibliographiques

- Hamdaoui, T. M., & Remini, B. (2020).** Evolution of traditional water collection techniques in the Algerian Sahara. *GeoScience Engineering*. Vol. LXVI, No 4 ,pp. 204-222. DOI 10.35180/gse-2020-0045
- Hofman ,(2007).** La gestion traditionnelle de l'eau par qanat en Iran est elle compatible avec le concept de la Gire. Synthèse technique , Engref centre de Montpellier, Fevrier, 17pages.
- Gast M, (1995),** « Delou », in 15 *Daphnitae – Djado*, Aix-en-Provence, Edisud («Volumes », no 15), 1995 [En ligne], mis en ligne le 01 juin 2011, consulté le 23 juillet 2016. URL : <http://encyclopedieberbere.revues.org/2232>
- Goblot, H. (1963),** Le Problème de l'eau en Iran, *Orient* 23:43-60.1963. Dans *L'ancien Iran, les techniques de l'eau et la grande histoire*, *Annales: économies, sociétés, civilisations* 18: 499-20. (doi: 10.3406/ahess.1963.421011)
- Goblot H (1979),** *Qanats: a technique of acquisition of water*. Mouton, Paris, 231 pages
- Gilli, É., Mangan, C., & Mudry, J. (2012),** *Hydrogeology: objectives, methods, applications*. CRC Press.
- Khelifa, A., & Remini, B. (2008).** Étude du système ancestral de captage et de distribution des eaux dans l'oasis de Ghardaïa, Thèse de magister
- Kobori I., (1982).** Case studies of foggara oases in the Algerian Sahara and Syria, Tokyo, Tokyo University, Department of Geography, report n° 2, 45 pages.
- Kumar, C. P. (2012).** Climate change and its impact on groundwater resources. *International Journal of Engineering and Science*, 1(5), 43-60.
- Lighthfoot DR (1996).** Moroccan khattara: traditional Irrigation and progressive dessiccation. *Geoforum* 27(2):261–273.
- Makhloufi H, Dehmi O, (2007),** La salinisation des sols dans la cuvette centrale du Hodna (Algerie), *Annal le Université de Bucarest, Géographie*, année LVI, pp. 35-46.
- Megdiche-Kharrat F, Ragala, R, Moussa, M, (2017).** The Aqueducts of the Sultanate of Oman. *Sustainable Water-Supplying Systems Irrigating Oases Cities*. In A. N. Angelakis, E. chiotis, S.
- Ministères des ressources en eau DHW. (2013),**« Infrastructure d'épuration des eaux usées », Rapport annuel. Inventaire de la wilaya d'El Bayadh.

Références bibliographiques

- Remini, B. (2006).** La disparition des Ghouts dans la région d'el oued (Algérie). LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (5).
- Remini, B., Achour, B. (2008).** Les foggaras du grand Erg Occidental Algérien. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (7).
- Remini, B., Achour, B., Kechad, R. (2009).** La foggara en Algérie : un patrimoine hydraulique mondial. Revue des sciences de l'eau, vol. 23, n° 2, 2010, p. 105-117.
- Remini, B. (2011).** Les foggaras de la ceinture oasienne du Sahara: passé, présent et futur (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Remini, B., & Achour, B. (2013).** Les foggaras de l'Ahaggar: disparition d'un patrimoine hydraulique. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782
- Remini, B., Achour, B. (2017).** The foggara of Moghrar (Algeria): An irrigation system millennium. Journal of Water Sciences & Environment Technologies ISSN, 2508, 9250.
- Remini, B., Rezoug, C. (2017).** La khottara de la Saoura: un patrimoine hydraulique en déclin. Larhyss Journal, 30, 273-296.
- Remini, B., Rezoug, C., Hamoudi S.(2017).** The Saoura foggaras: degradation of hydraulic system millennium case of Beni Abbes, Nuakda, Beni Ounif and Lahmar (Algeria). Geoscience engineering, 63(2), 40-47.
- Remini, B. (2018).** The foggaras of the oasis of Ghardaia (Algeria): the sharing of flood waters. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782, (36), 157-178.
- Remini, B. (2019 a).** Les foggaras du sahara : le partage de l'eau l'oeuvre du genie oasien. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680 /E-ISSN l, (39), 25-57.
- Remini, B. (2019 b).** Les barrages en cascade (oasis de Tiout, Algérie): un patrimoine hydraulique à sauvegarder.LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN l, (37), 175-206.
- Remini, B. (2019 c).** L'oasis d'el guerrara (algerie) : irrigation et recharge des nappes assurees par les inondations. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680 /E-ISSN l, (39), 25-57.
- Remini, B., Souaci, B. (2019).** Le Souf: quand le forage et le pivot menacent le Ghout. Larhyss Journal, 37, 23-38.
- Remini, B. (2020).** L'Algérie: le climat se dérègle, l'eau se raréfie, que faire?. LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN l, (41), 181-221.

Références bibliographiques

Remini, B. (2020). Oued m'zab's IRS development population and flood, life in harmony part 3: the genius of floodwater sharing. LARHYSS journal P-ISSN 1112-3680/ E-ISSN 2521-9782, (42), 179-207.

Saeidian, A. (2013). Qanat, traditional irrigation infrastructure system in Iran.

Semsar Yazdi, A et Labbaf Khaneiki, M, (2013), Veins of desert: A review on the technique of qanat/ falaj/ karez, Iran, IWRMO

Singhal, B. B. S., & Gupta, R. P. (2010). Applied hydrogeology of fractured rocks. Springer Science & Business Media, Second Edition, New York, USA, ISBN 978-90-481-8798-0 e-ISBN 978-90-481-8799-7,