



L'OASIS D'EL GUERRARA (ALGERIE) : IRRIGATION ET RECHARGE DES NAPPES ASSUREES PAR LES INONDATIONS

THE OASIS OF EL GUERRARA (ALGERIA): IRRIGATION AND RECHARGE OF THE AQUIFERS ENSURED BY THE FLOODS

REMINI B.

Département des Sciences de l'Eau et Environnement, Faculté de Technologie,
Université Blida1, Blida 9000, Algérie,

reminib@yahoo.fr

RESUME

Le présent article évoque pour la première fois, le cas de l'oasis d'El Guerrara qui a su maîtriser le problème des inondations. Il ressort de cette étude menée durant la période 1990-2019 que les Mozabites connaissant la valeur des inondations, ils ont réalisé un grand barrage ancestral de 1,8 km de long pour profiter des crues d'oued Zegrir. Un réseau maillé de seguias-ruelles d'une longueur totale de 10 km a été réalisé pour que les 80000 palmiers bénéficient des eaux brutes des crues. Des puits de recharge équipés par un réseau de galeries souterraines ont été mis en évidence pour réalimenter la nappe phréatique d'une manière homogène. Enfin pour éviter tout danger émanant des crues, un dispositif de vidange des eaux vers l'oued Zegrir composé de 32 portes coulissantes et un déversoir. L'aménagement hydroagricole d'El Guerrara assure les fonctions : Irrigation, Recharge et Sécurité (IRS).

Mots clés : Oasis, El Guerrara, Oued Zegrir, Crues, Recharge de la nappe, Irrigation.

ABSTRACT

This article evokes, for the first time, the case of the oasis of El Guerrara that has mastered the problem of floods. It appears from this study conducted during the period 1990-2019 that the Mozabites know the value of the floods, they

realized a great ancestral dam 1.8 km long to take advantage of flood Zegrir River. A network of seguias-alleys with a total length of 10 km was realized for the 80000 palms to benefit from the raw water of the floods. Recharge wells equipped with a network of underground tunnels have been highlighted to replenish the water table homogeneously. Finally to avoid any danger from floods, a device for draining water to the Zegrir River composed of 32 sliding doors and a spillway. The hydro-agricultural planning of El Guerrara ensures the functions: Irrigation, Recharge, and Security (IRS).

Keywords: Oasis, El Guerrara, Zegrir River, Floods, Groundwater recharge.

INTRODUCTION

Considéré comme le plus grand désert de la planète, le Sahara est un milieu sec dont la pluviométrie ne dépasse pas les 100 mm/an. Par contre, les crues sporadiques qui surviennent dans les différentes régions peuvent drainer de fortes quantités d'eau. Cependant, une part importante s'évapore dans l'atmosphère et une faible part s'infiltré à travers le lit d'oued pour rejoindre la nappe infero flux. Pour les oueds qui s'achèvent dans les dunes de sable, l'eau s'infiltré pour recharger la nappe libre. Dans un tel milieu, le seul réservoir capable de stocker de l'eau en toute confiance est sans aucun doute les aquifères. Diverses techniques ont été conçues par la population locale pour l'extraction de cette denrée rare. Ce sont des conditions géologiques, hydrogéologiques et topographiques d'une région qui déterminent le type et la nature du procédé hydraulique à adopter. C'est ainsi que le système foggara a été adopté dans les oasis de Touat, Gourara et Tidikelt, puisque ces oasis se trouvent en contre bas de la cote piézométrique de la nappe d'eau (Remini, 2019 ; Remini, 2017 ; Remini et Achour, 2016, Remini, 2008 ; Remini, 2011 ; Remini et al, 2011 ; Remini et al, 2014 ; Remini et Achour, 2016). Par contre, dans la vallée de la Saoura, c'est plutôt la khottara ; un système hydraulique originaire de la région qui a été développé depuis plus de 7 siècles dans la région. Inventé par les fermiers, ce puits à balancier original s'adapte bien aux conditions hydrogéologiques de la région puisque le niveau de la nappe se situe à plus de 6 mètres de profondeur (Remini et Rezoug, 2017). Dans la vallée d'Oued Souf, c'est plutôt la technique des Ghouts qui a été développé depuis plus de 7 siècles au milieu des dunes de sables du Grand Erg Oriental. Il s'agit de planter des palmiers dans des cratères afin que les racines de la plante restent en contact avec la nappe phréatique (Remini, 2019 ; Remini et Souaci, 2019 ; Miloudi et Remini, 2018a ; Miloudi et Remini, 2018b). Dans la vallée de M'zab, c'est un autre procédé qui a été inventé par les agriculteurs, il s'agit des

Khottara ; un puits à traction animale qui consiste à extraire de l'eau souterraine en utilisant un animal (Un âne ou un chameau) pour tracter le Delou par l'intermédiaire d'une corde. Ce type de procédé hydraulique est dicté par des conditions hydrologiques, puisque le niveau de la nappe phréatique se situe à plus de 20 m de profondeur (Remini, 2018). Nous abordons dans ce modeste travail, l'aménagement hydroagricole original qui consiste à réaliser un barrage pour le recalibrage de l'oued Zegrir et profiter des eaux de crues pour recharger la nappe phréatique. Grâce à des puits à traction animale, l'eau puisée est destinée à l'irrigation des jardins.

REGION D'ETUDE, INVESTIGATIONS ET ENQUETES

Situation de la région d'étude

El Guerrara, une belle oasis située sur l'oued Zegrir à plus de 600 km au sud-ouest d'Alger et à 120 km à l'Est de Ghardaïa (fig. 1). Le ksar d'El Guerrara d'une superficie de 18 ha a été fondée 1641, aujourd'hui il est devenu une grande ville d'une superficie de plus de 250 ha. D'une superficie initiale d'environ de 180 ha, la palmeraie d'El Guerrara avec plus de 80000 palmiers dattiers et d'une cinquantaine de variétés de dattes, a une superficie d'environ de 400 ha.

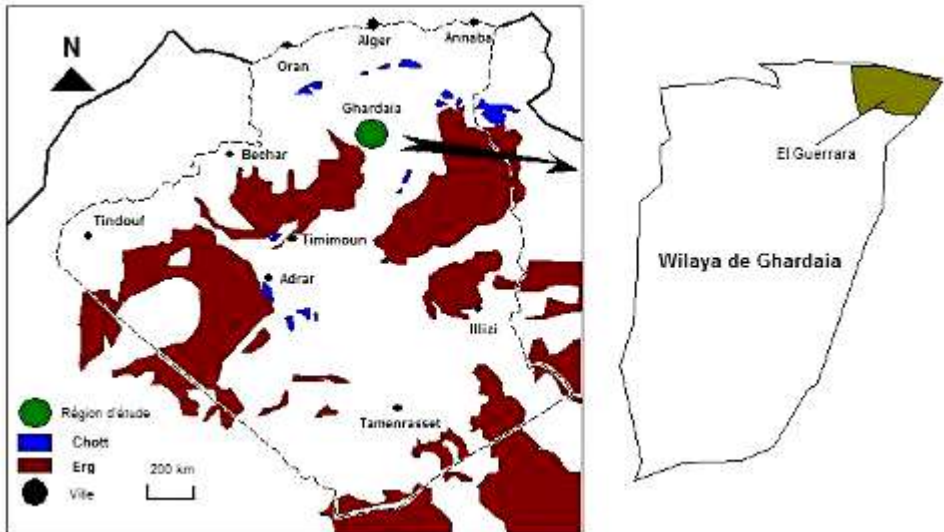


Figure 1 : Localisation de l'oasis d'El Guerrara (Remini, 2018)

Investigations et enquêtes

Depuis 2000 que j'ai commencé à s'intéresser aux oasis de la vallée d'oued Zegrir, j'étais impressionné par le génie et le savoir-faire des Guerrari dans le domaine d'hydraulique et d'architecture. A chaque mission dans l'oasis d'El Guerrara, j'apprends de nouvelles idées concernant le système de partages des eaux de crues ainsi que le système ingénieux de la recharge artificielle de la nappe.

Des visites et des investigations ont été menées dans au niveau de l'ensemble des parties du grand ouvrage hydraulique ancestral d'El Guerrara comme le grand barrage appelé « Foussa », le partiteur, les vannes coulissantes, les seguias, les puits de puisage et de la recharge de la nappe. Des enquêtes ont été effectuées auprès de la population locale sur l'intérêt et le fonctionnement sur le système hydraulique d'El Guerrara.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Oasis d'El Guerrara

Comme toutes les oasis de la vallée de M'zab, l'oasis d'El Guerrara est une oasis a puits (fig. 2). Que ce soit, l'alimentation en eau du ksar ou l'irrigation de la palmeraie, le procédé de captage des eaux est le même. Il s'agit du puits à traction animale appelée khottara. Le ksar est alimenté par 50 khottara (fig. 3). Par contre, la palmeraie est irriguée par 1300 khottara (fig. 4). Le croquis de la figure 5 résume bien l'oasis d'El Guerrara avec son grand barrage appelé Ahbas Foussa. Destiné à inonder la palmeraie par les eaux brutes des crues, Ahbas Foussa représente le symbole d'un savoir-faire exceptionnel de la région.



Figure 2: A l'entrée du ksar, un puits à traction animale (khottara) ; symbole d'alimentation en eau du ksar et d'irrigation de la palmeraie (Photo. Remini, 2019)



Figure 3 : Une vue du ksar d'El Guerrara (photo. Remini, 2019)



Figure 4 : Palmeraie d'El Guerrara (photo. Remini, 2019)

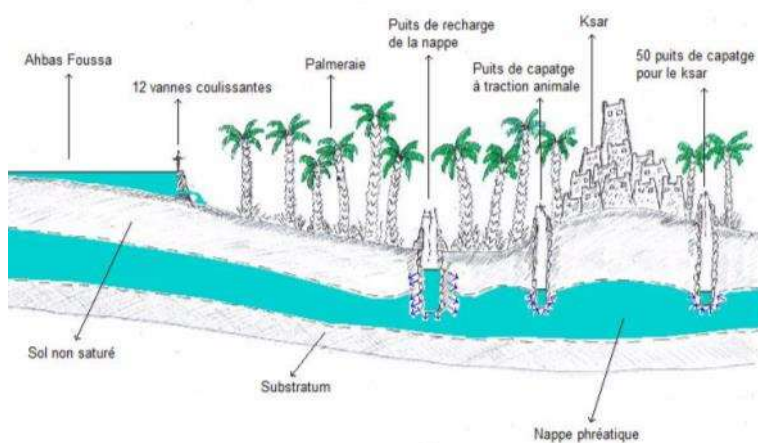


Figure 5 : Schéma de l'oasis d'El Guerrara (Remini, 2019)

L'envergure de l'aménagement hydraulique ancestral d'El Guerrara

Au début, la palmeraie de l'oasis El Guerrara a été développée à environ 2 km au nord de l'oued Zegrir. Les fermiers se contentaient uniquement d'irriguer par les eaux puisées de la nappe phréatique en utilisant les puits à traction animale. Seulement, avec des sécheresses répétées, le niveau piézométrique de la nappe a beaucoup rechuté, ce qui a conduit les fermiers à inventer un aménagement hydroagricole ancestral original composé des éléments suivants :

- Le grand barrage,
- Trois digues dans la palmeraie
- Les puits de recharge et de captage
- Réseau de seguia-ruelles.

Le grand barrage

Le grand barrage d'El Guerrara appelé Ahbas Foussa est un ouvrage original construit avec la roche et le mortier du gypse et la chaux. 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 (fig. 6), d'un 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. Elle est construite perpendiculaire à l'écoulement de l'oued Zegrir pour rectifier le sens de l'écoulement et de l'orienter vers la palmeraie (fig. 7). À l'entrée de la retenue sur une distance de 700 m la pente est positive puis elle devient négative sur une distance 1100 m (fig. 8). Cette topographie particulière du lit de la retenue engendre un remplissage très long. Ce qui donne le temps à la nappe de se recharger. C'est le premier recalibrage d'un oued dans l'histoire de l'hydraulique. L'objectif d'un tel ouvrage est de faire remonter l'eau de l'oued Zegrir une pente de 1/1000 pour atteindre le système de partage de l'eau qui se situe à la périphérie de la palmeraie qui se trouve loin de 2 km au nord de l'oued Zegrir.

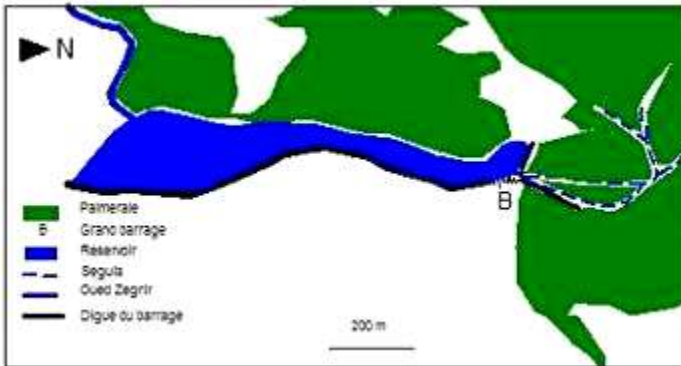


Figure 6 : Digue du grand barrage d'El Guerrara (Remini, 2018)

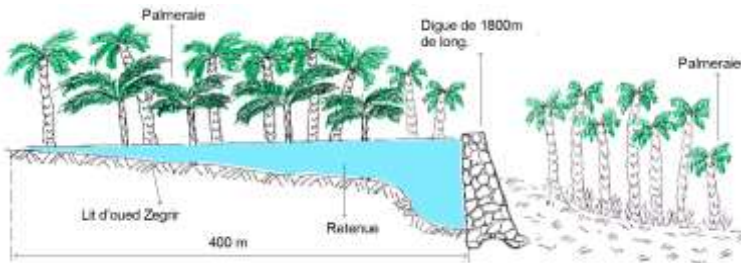


Figure 7 : Schéma du profil en long de l'oued Zegrir a l'entrée de la retenue d'Ahbas Foussa (Schéma Remini, 2019)

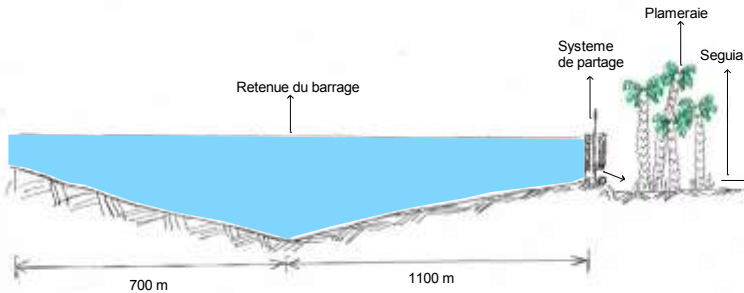


Figure 8 : Schéma du profil en long de la retenue d'Ahbas Foussa avec deux pentes (négative et positive) (Schéma Remini, 2019)

Les Guerrari donnent plus d'importance à la sécurité de la population. L'arrivée d'une crue au niveau du barrage est un événement exceptionnel pour la population. Toutes les familles se retrouvent au niveau du barrage pour fêter la crue. Cependant, les Guerrari ne badinent pas avec la sécurité. C'est ainsi que l'ouvrage d'évacuation est composé de trois batteries de vannes et un déversoir rectangulaire. Ce système d'évacuation fonctionne après le partage de l'eau,

l'inondation de la palmeraie et la recharge de la nappe. Le déversoir fonctionne automatiquement dès que le niveau d'eau atteint le seuil, la crue sera évacuée. Les ouvertures des vannes sont manœuvrées selon l'importance de la crue. Le système d'évacuation des eaux se compose (fig. 9 et 10) :

- d'une première batterie de 4 vannes à portes coulissantes (fig. 11(a et b), 12 et 13).
- d'une deuxième batterie de 26 vannes à portes coulissantes (fig. 14(a et b) et 15).
- d'un évacuateur de crue de forme d'un déversoir rectangulaire (fig. 16).
- d'une troisième batterie de deux vannes coulissantes se situe juste à l'aval du barrage (fig. 17).

Tous ces ouvrages sont contrôlés par une équipe des Oumana El Ma qui siège dans la chambre des manœuvres lors des crues (fig. 10).



Figure 9 : Système de partage et d'évacuation des eaux de crues (Remini, 2014)

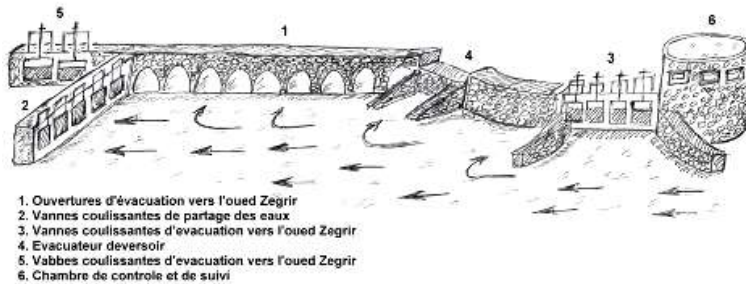


Figure 10 : Schéma du système de partage et d'évacuation des eaux de crues (Remini, 2018)

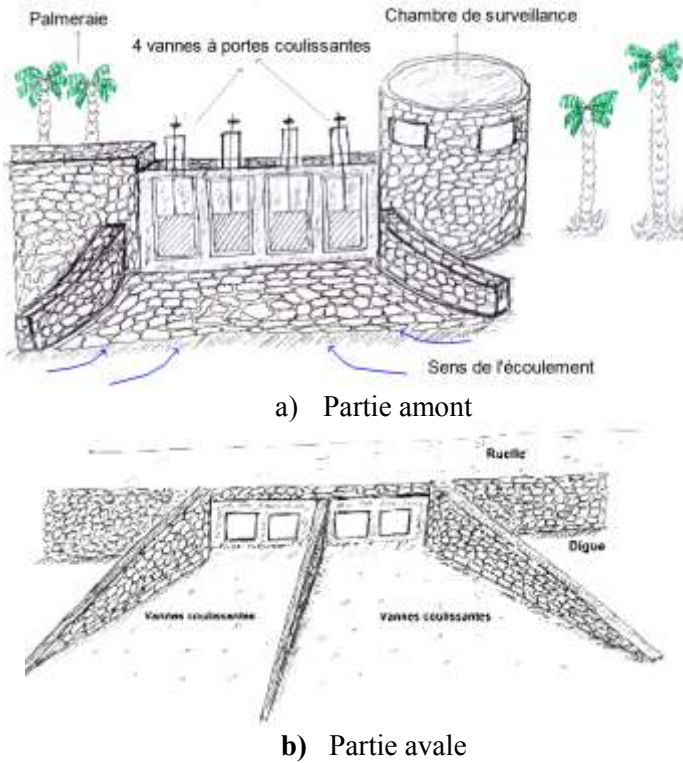


Figure 11 : Schéma de la première batterie de 4 vannes à portes coulissantes (Schéma Remini, 2018)



Figure 12 : Première batterie de vannes coulissantes (Remini, 2014)



Figure 13 : Partie avale de la première batterie de vannes a portes coulissantes (Remini, 2014)



a) Partie amont



b) Partie avale

Figure 14 : Pertuis de vidange équipés de 26 portes coulissantes (photo. Remini, 2014)



Figure 15 : Vue d'une vanne à porte coulissante (Photo. Remini, 2013)



Figure 16 : Vue de l'évacuateur de crues du barrage d'El Guerrara (Photo. Remini, 2014)



Figure 17 : Pertuis de vidange à double portes coulissantes (Photo. Remini, 2013)

Les Guerrari connaissent bien les avantages d'une crue, non seulement les quantités d'eau qu'elle draine, mais surtout les apports des sédiments et les éléments nutritifs qu'elle ramène aux jardins. L'inondation d'une palmeraie par une à deux crues par année a un impact considérable sur la récolte agricole. On parle de l'irrigation temporaire. C'est pour cette raison que la priorité des Guerrari a été donnée au partage des eaux de crues entre les agriculteurs. A cet effet, le barrage Ahbas Foussa est équipé d'un ouvrage de partage des eaux de crues. Equipé d'une batterie de 12 vannes rectangulaire à portes coulissantes. Les manœuvres des vannes s'effectuent une par une en fonction de la montée de l'eau dans le barrage (fig. 18(a et b) et 19). Une fois la palmeraie de 180 ha est complètement inondée, les vannes seront complètement fermées, laissant le tour à l'ouverture des vannes du système d'évacuation vers l'oued Zegrir.



a) Partie amont



b) Partie avale

Figure 18 : Système de partage des eaux de crues équipé de 12 portes coulissantes (Photo. Remini, 2014)

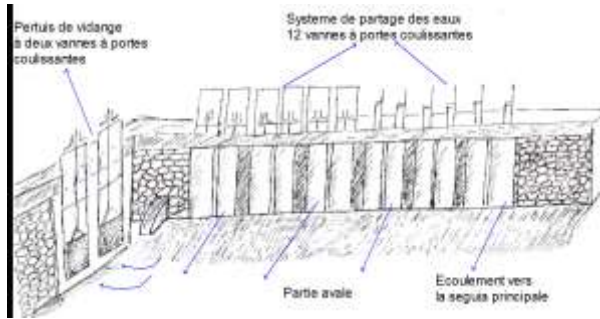


Figure 19 : Schéma de partage des eaux de crues du barrage de Foussa (Schéma Remini, 2019)

Le Réseau de segua-ruelle

La palmeraie est équipée d'un réseau maillé de plus de 10 km de segua-ruelle de 0,8 m de profondeur et d'une largeur de 2 m (en moyenne). Il est relié directement au système de partage du grand barrage (fig. 20 à 23). Son rôle dans une première étape est destiné à véhiculer les eaux de crues sur toute la superficie de la palmeraie. Dans une deuxième étape, le réseau joue le rôle d'un système de recharge artificielle de la nappe phréatique.



Figure 20 : Une vue d'une segua –ruelle de la palmeraie d'El Guerrara. Le lit de la segua est au-dessous du niveau du sol du jardin de 0,8 à 1 m (Photo. Remini, 2013)



Figure 21 : A la sortie du barrage et avant le partage de l'eau dans la palmeraie d'El Guerrara (Photo. Remini, 2013)



Figure 22 : Seguia- ruelle principale juste après la digue d'épandage centrale (Photo. Remini, 2014)



Figure 23 : Seguia reliant la sortie de la vanne à portes coulissantes (Photo. Remini, 2014)

Les Puits de puisage et de recharge

Environ 1300 puits de puisage et de recharge artificielle de la nappe ont été creusés dans toute la palmeraie. En période de crues, les puits aménagés par des ouvertures spécialement conçues pour la recharge artificielle de la nappe (fig. 24 et 25). D'une profondeur de 20 à 40 m, ces puits sont interconnectés entre eux par des galeries souterraines permettant une bonne infiltration des eaux de pluie dans le sol et une recharge homogène de la nappe dans toute la superficie de la palmeraie. C'est l'une des originalités du savoir-faire de l'oasis d'El Guerrara.



Figure 24 : Puits de captage des eaux dans l'oasis d'El Guerrara (Photo. Remini, 2013)



Figure 25 : Puits à double fonction : Puisage et recharge de la nappe dans les oasis d'El Guerrara (Photo. Remini, 2013)

Les digues d'épandage

La palmeraie d'El Guerrara est divisée en deux parties par une digue centrale d'une longueur de 1000 m. Les deux palmeraies Gharbia et Cherkia sont limitées par une digue d'épandage Ouest de 800 m et du côté Est par une digue d'épandage de 1200 m (Est) (fig. 26 (a et b)). Les trois digues d'épandage sont équipées par des vannes à portes coulissantes (fig. 27(a et b) et 28).



a) Vue de dessus



b) l'amont de la digue

Figure 26 : Digue d'épandage Gharbia (Ouest) (photo. Remini, 2013)



a) L'entrée)



b) La sortie

Figure 27 : Digue d'épandage de la palmeraie Gharbia (ouest): Pertuis de vidange à deux portes coulissantes (Photo. Remini, 2013)



a) Ouverture à deux portes coulissantes



b) Ouverture à une seule porte coulissantes

Figure 28 : Vannes à portes coulissantes de la digue d'épandage centrale (Photo. Remini, 2014)

Un puits de recharge particulier appelé Dayat Chittiya

L'un des ouvrages le plus connu dans l'oasis d'El Guerrara est le puits Dayat Chittiya. C'est un puits mixte (recharge et captage). Il est situé au point le plus bas de la palmeraie afin de capter les eaux des crues qui ne pouvaient pas être évacuées par les pertuis de vidange.

Ce puits original à double fonction (recharge de la nappe et captage des eaux pour l'irrigation) est relié à une seguia (canal) de 260 m de long. La seguia se compose d'un premier tronçon à ciel ouvert de 200 m de long, de 20 cm de largeur et de 40 cm de hauteur. Le deuxième tronçon est une galerie souterraine de 60 m de long. Pour gérer bien le remplissage du puits, le canal à ciel ouvert de 200 m de long est muni d'un petit réservoir équipé d'une vanne rectangulaire coulissante avant d'être reliée au canal souterrain (fig. 29(a, b et c) et 30(a et b)). A l'arrivée d'une crue au niveau de la palmeraie, toutes les eaux se dirigent par gravité vers ce bassin. Une fois la palmeraie est complètement inondée, on ouvre les pertuis de vidange de la digue d'épandage pour évacuer l'eau. Le volume d'eau restante dans la palmeraie qui ne pouvait pas être évacuée par les pertuis de vidange est aspiré par ce puits pour la réalimentation de la nappe phréatique. Au lieu de s'évaporer dans l'atmosphère, l'eau non évacuée s'écoule dans le puits via la seguia pour réalimenter la nappe phréatique. C'est dans le désert que l'eau retrouve sa valeur (Remini, 2017). Aucune goutte d'eau ne se perd, c'est l'objectif des Mozabites.



a) Réservoir équipé d'une porte coulissante

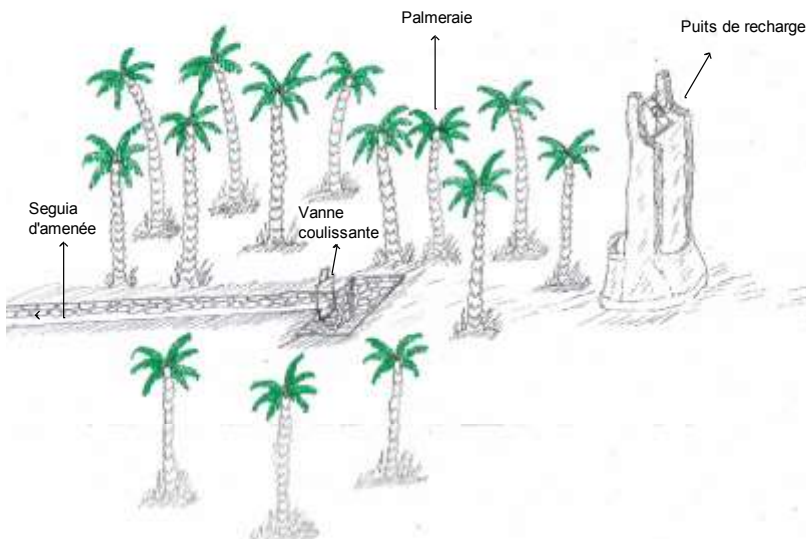


b) La seguia du puits

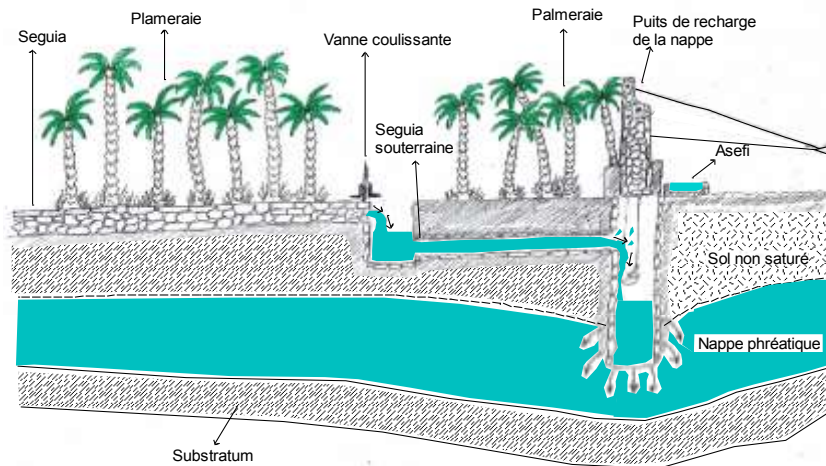


c) Puits à traction animale

Figure 29 : Puits Dayat Chittiya : la recharge et le captage des eaux (Photo. Remini, 2014)



a) Schéma approximatif du puits Dayat Chittiya



b) Coupe longitudinale du puits Dayat Chittiya

Figure 30 : Schéma synoptique du système de réalimentation de la nappe phréatique par le puits Dayat Chittiya (Schéma, Remini 2019)

Aménagement d'oued Zegrir

Depuis plus de 5 siècles un projet de modification de la direction de l'écoulement de l'oued Zegrir a été réalisé avec succès. C'est peut être le premier recalibrage d'oued réalisé dans le monde. La palmeraie d'El Guerrara a été développée avant le barrage. En se basant uniquement sur la nappe phréatique les agriculteurs ont pu développer la palmeraie par l'exploitation uniquement de la nappe phréatique par l'intermédiaire des puits à traction animale. L'oued Zegrir se trouve éloigné de plus de 2 km de la palmeraie. Mais suite aux longues sécheresses, le niveau piézométrique de la nappe a beaucoup diminué et par conséquent les puits tarissaient périodiquement. Les fermiers ont rencontré des difficultés d'irrigation, ce qui les a poussés à réaliser un aménagement original dans la vallée de Mzab. Il s'agit de recalibrage d'oued Zegrir. L'itinéraire du lit d'oued a été complètement modifié pour le faire dévier vers le nord d'environ une rotation de 90° pour atteindre la palmeraie. Les oasis ont construit une digue de 1,8 km de longueur perpendiculairement à la direction de l'écoulement avec une pente négative de 1/1000 (fig. 31(a et b)).

L'oasis d'El Guerrara (Algérie) : irrigation et recharge des nappes assurées par les inondations

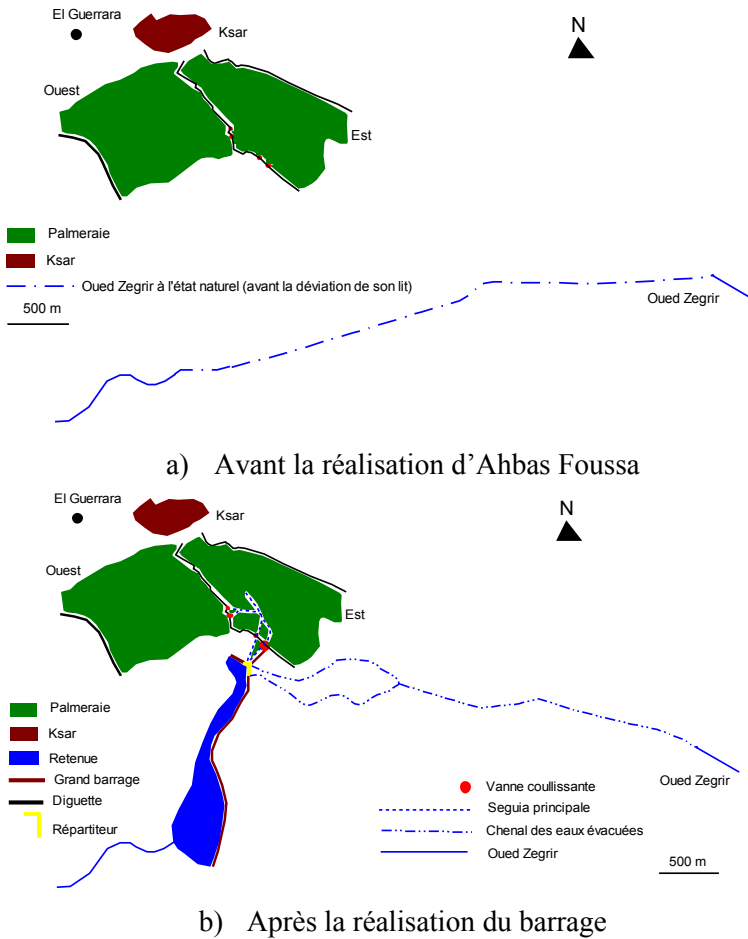


Figure 31 : Schéma de recalibrage de l'oued Zegrir par la réalisation d'Ahbas Foussa (Remini, 2019)

Lorsqu'une crue atteint le barrage, il se remplit d'abord et le niveau d'eau croît lentement pour atteindre le partiteur du barrage. Dans l'oasis d'El Guerrara, la priorité est donnée à l'irrigation temporaire. En deuxième position, la recharge artificielle de la nappe phréatique et en troisième position la sécurité de la population. On parle du système IRS. Pour une faible crue dont le niveau d'eau n'atteint pas le seuil du déversoir, l'eau stockée réalimente la nappe phréatique. Dès que l'eau arrive au niveau du partiteur, on ouvre les vannes coulissantes une par une pour irriguer la palmeraie. On commence toujours par l'irrigation de la palmeraie Est. Le lit des seguias –ruelles sont d'un niveau inférieur à celui

des jardins. Une fois toutes les seguias sont remplies d'eau, on ouvre les portes de la vanne de la digue d'épandage centrale pour inonder la palmeraie Ouest par écoulement gravitaire. Une fois le réseau de seguias de toute la palmeraie est inondé par les eaux de crues, les vannes des digues Est et Ouest sont fermées. En deuxième position c'est la réalimentation artificielle de la nappe phréatique. Par la méthode directe, l'eau rempli les puits de recharge pour atteindre la nappe phréatique. Par la méthode indirecte, les seguias – ruelles jouent le rôle de bassins d'infiltrations, les eaux rechargent la nappe phréatique.

Une fois l'opération la recharge a été bien menée, on ouvre les pertuis des digues d'épandage pour obtenir le lessivage du sol et par conséquent on réduit le taux de salinité. Si toujours le niveau d'eau augmente et la crue ne s'arrête pas, on ouvre les pertuis de vidange un par un pour aider le déversoir à évacuer l'eau vers l'oued Zegrir. Dans ce cas, parle de la troisième position qui est la sécurité de la population de l'oasis.

La Palmeraie d'El Guerrara

Grace à ce fameux aménagement hydroagricole, la palmeraie d'El Guerrara s'est rapprochée de l'oued Zegrir. Les crues drainées par l'oued Zegrir arrivent au niveau d'Ahbass Foussa (grand barrage). C'est à partir de ce barrage de régularisation que s'effectue la répartition de l'eau à travers toute la palmeraie. L'objectif de cette opération est que tout les jardins doivent bénéficient des eaux de crues très chargées en sédiments et en éléments nutritifs. Le deuxième objectif de cette opération est la réalimentation de la nappe phréatique. Une opération annuelle de remplissage de la retenue permet à la nappe d'augmenter sa capacité et par conséquent le puisage de l'eau par les 1300 puits installés dans palmeraie peut tenir environ 5 années de sécheresse. Le troisième objectif est le lessivage du sol après l'ouverture des vannes du barrage. Grace à cette opération périodique, la couche du sel formée dans le sol sera complètement décapitée par le ruissèlement des eaux. En plus de l'infiltration naturelle des eaux de crues, les puits de recharge étalaient sur la superficie de la palmeraie permettent de collecter les eaux de surface et par conséquent d'accélérer la réalimentation de la nappe. Il est à rappeler que dans une région hyper aride comme El Guerrara il faut que la vitesse d'infiltration soit supérieure à celle d'évaporation. Contrairement à l'oasis de Ghardaïa, la palmeraie d'El Guerrara ne dispose pas d'habitations d'été comme l'oasis de Ghardaia (fig. 32). Ce n'est que ces dernières années que les Guerrari ont construit quelques habitations.



Figure 32 : Une vue de la palmeraie d'El Guerrara (Photo. Remini, 2013)

La palmeraie d'El Guerrara est divisée en deux parties : Est (Cherkia) et Ouest (Gharbia). Trois digues d'épandage Dans toute la vallée de M'zab, le principe est le même, l'irrigation débute par la partie Est puis la partie ouest. Dans la palmeraie d'El Guerrara, l'irrigation s'effectue par la partie Est dont la cote est plus élevée que celle da palmeraie ouest (fig. 33). A l'arrivée de la crue dans le barrage d'EL Guerrara, toutes les ouvertures sont fermées. Le niveau d'eau dans le réservoir augmente, on ouvre les ouvertures (trois) de la partie Est. Il faut trois jours complets pour que l'eau s'écoule dans toute la palmeraie Est. Ensuite on ouvre les pertuis de la partie ouest pour irriguer les jardins et la palmeraie ouest (Gharbia).

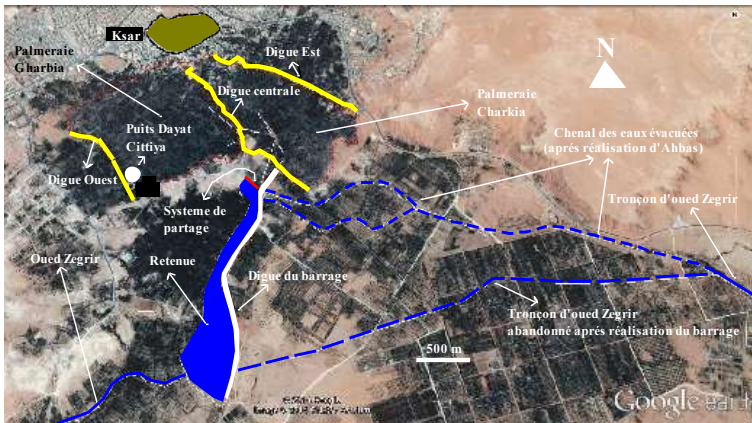


Figure 33 : Schéma de fonctionnement de l'aménagement hydroagricole d'El Guerrara (Google Earth, Remini, 2019)

Une fois l'opération de l'irrigation arrive à sa fin, on ouvre les pertuis de vidange du barrage pour évacuer l'excédent de la crue vers l'aval dans l'oued Zegrir. Le dernier puits appelé Dayat Chittiya qui collecte l'eau dans la palmeraie. L'originalité de la palmeraie d'El Guerrara est que la recharge artificielle a une grande importance dans l'oasis. Les canaux-ruelles sont aménagés au niveau bas des jardins. Les puits se trouvent dans la direction des seguias. L'eau se dirige directement vers les puits de recharge. Une fois les puits et les seguias sont remplis d'eau, l'irrigation permanente des jardins sera entamée (fig. 34 et 35). Si la crue qui arrive au niveau du barrage est trop faible, on ouvre uniquement deux vannes de la partie Est. Une fois fermées on ouvre les vannes de la partie Ouest. Dans le cas où la crue est importante, on ouvre les deux portes à l'aval pour que l'eau se dirige vers l'aval pour rejoindre l'oued Zegrir.



Figure 34 : Schéma synoptique d'une partie de la palmeraie d'El Guerrara qui pratique le système IRS (Irrigation, Recharge et Sécurité) (Schéma Remini, 2019)

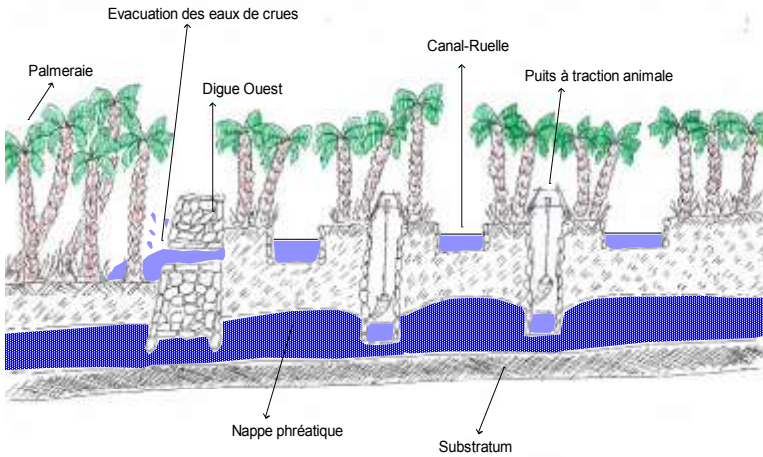


Figure 35 : Schéma d'une coupe longitudinale de la palmeraie Ouest après inondation (Schéma Remini, 2018)

L'originalité d'El Guerrara est l'interconnexion des puits entre eux par des galeries souterraines qui relient les puits pour obtenir une bonne efficacité de la recharge artificielle. Des puits sont connectés entre eux par des galeries souterraines pour avoir un équilibre entre les puits (fig. 36). On trouve des connexions entre deux à quatre puits. Ceci montre le génie et le savoir-faire de la population dans la réalisation d'un tel aménagement hydraulique. L'apport d'eau reçu par le premier puits sera automatiquement partagé entre les autres puits connectés. Ceci donne une idée sur les efforts déployés par les Guerrari pour assurer une réalimentation efficace de la nappe phréatique.

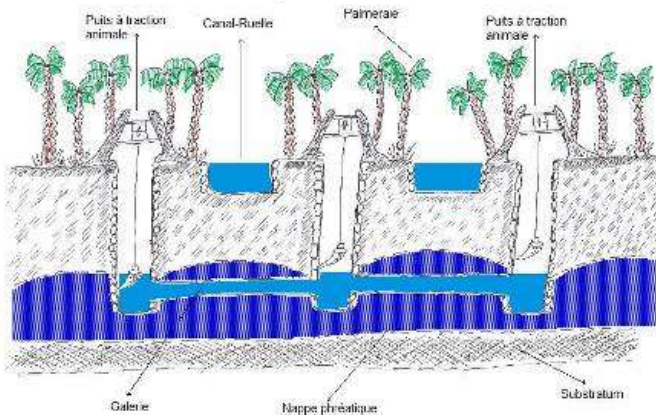


Figure 36 : Schéma montrant la technique d'interconnexion entre les puits : une originalité de l'oasis d'El Guerrara (Schéma, Remini, 2018)

Aujourd'hui, l'oasis d'El Guerrara s'est agrandie pour devenir une grande commune occupant ainsi une place privilégiée dans la wilaya de Ghardaïa. De nouvelles terres ont été valorisées. C'est ainsi que la superficie initiale de l'ancienne palmeraie qui était de 180 ha, est passée aujourd'hui à une superficie de 400 ha avec plus de 80000 palmiers dattiers et d'une cinquantaine de variétés de dattes. Le ksar d'El Guerrara d'une superficie de 18 ha, aujourd'hui il est devenu une grande ville d'une superficie de plus de 250 ha (fig. 39). Pratiquement, la totalité des habitations sont alimentés par les eaux de forages profonds. Plusieurs forages ont été réalisés pour l'irrigation notamment la nouvelle palmeraie d'El Guerrara. Le système traditionnel a été abandonné dans la nature sans entretien.

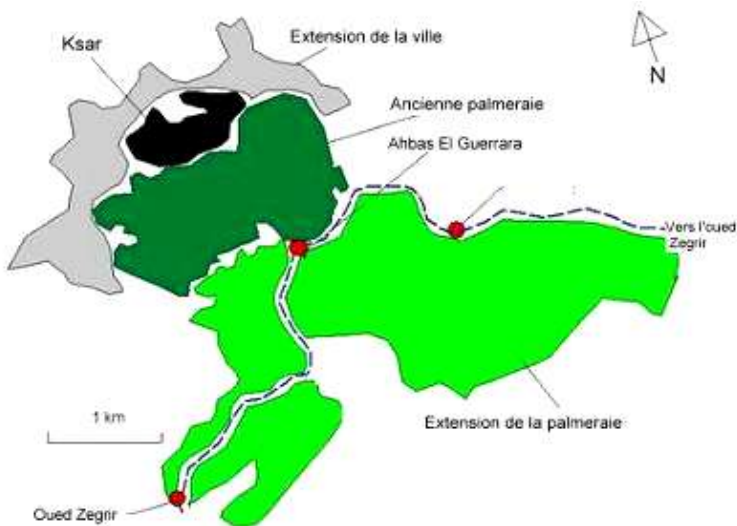


Figure 37 : Schéma de l'oasis d'El Guerrara d'aujourd'hui

DISCUSSIONS

C'est dans le désert que l'eau retrouve sa valeur (Remini, 2017). Un aménagement hydroagricole d'envergure a été mis en œuvre depuis plus de 5 siècles dans l'oasis d'El Guerrara. Il s'agit de rapprocher l'oued Zegrir vers la palmeraie. C'est à dire un changement d'itinéraire d'oued Zegrir. Réaliser un tel projet, ceci demande des connaissances de topographie et d'hydrologie, ce qui n'a pas empêché les Guerrari d'atteindre leur objectif qui est de faire ramener les eaux d'oued Zegrir vers la palmeraie afin de profiter des apports solides et

liquides des crues. Ceci explique bien l'intérêt apporté par les agriculteurs aux eaux brutes des crues. Ces éléments nutritifs et les particules fines qui font revivre la palmeraie. Pour dévier l'oued Zegrir, un grand barrage a été réalisé perpendiculairement au sens de l'écoulement d'oued Zegrir. Cet immense aménagement renferme :

- Un grand barrage d'une digue de 1,8 km.
- Des ouvrages annexes composés d'un évacuateur de crues, de 3 systèmes de vidange de 32 vannes à portes coulissantes et d'un système de partage des eaux équipés de 12 portes coulissantes.

Ce grand barrage appelé Aghas Foussa est complété par des aménagements dans la palmeraie. C'est ainsi que la palmeraie a été divisée en deux parties : Est et Ouest. Les frontières des deux palmeraies sont délimitées par 3 digues d'épandage de 2 m de hauteur et d'une longueur totale égale à 3,2 km. Pour permettre à l'eau de s'écouler entre les deux parties, les digues sont munies par 3 vannes à portes coulissantes. Un réseau maillé de *seguia* de plus de 10 km de longueur totale a été réalisé à l'intérieur de la palmeraie. Creusées au-dessous de 1 m du sol et de 2 m de largeur, les *seguias* peuvent jouer le rôle d'un bassin d'infiltration pour réalimenter la nappe phréatique. Environ 1300 puits à traction animale ont été réalisés dans les 4 coins de la palmeraie pour assurer une irrigation permanente. Il existe deux types de puits : captage et mixte. Généralement ce type de puits (mixte) se localise dans le sens de l'écoulement pour assurer la recharge de la nappe phréatique.

Un puits original est équipé d'un canal rectangulaire de plus de 250 m de long. Il est situé au point le plus bas de la palmeraie afin de capter les eaux de premières crues afin de réalimenter la nappe phréatique. Une autre particularité de la région concerne la connexion entre les puits par l'intermédiaire des galeries souterraines. C'est une originalité de l'oasis d'El Guerrara. Une telle technique permet d'obtenir une réalimentation homogène de la nappe phréatique.

La leçon qu'on peut tirer de ce modeste travail est que les Guerrari ont donné beaucoup d'importance à la recharge artificielle de la nappe phréatique. C'était la seule technique valable dans les régions arides qui peut stocker une quantité non négligeable dans le sous-sol. Les volumes d'eau apportés par les crues peuvent s'évaporer rapidement s'ils ne sont infiltrés dans le sol. Malheureusement aujourd'hui avec tous les moyens matériels et humains que possède l'Algérie, nous n'avons même pas un site de recharge artificielle des nappes. Avec les défis des changements climatiques sur les ressources en eau en

Algérie, le développement de la technique de la réalimentation artificielle des nappes devient la priorité des services d'hydrauliques.

CONCLUSION

Quel génie ? Depuis des siècles le problème des inondations a été solutionné par les Mozabites. Habiter plus haut et cultiver sur les rives des oueds. Pour eux, les inondations n'ont jamais été un danger mais plutôt un don du ciel. Comment vous interprétez l'exemple de l'Oasis d'El Guerrara ? Une oasis située loin de l'oued Zegrir de 2 km, elle était à l'abri des crues. Connaissant l'intérêt des inondations, les Mozabites ont trouvé moyen pour inonder la palmeraie. Réaliser un barrage de 1,8 km de long perpendiculairement à l'oued Zegrir pour tirer profil des inondations. 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. Un réseau maillé de seguias-ruelles d'une longueur totale de 10 km a été réalisé dans la palmeraie. Environ 1300 puits à traction animale ont été réalisés sur les 4 coins de la palmeraie pour assurer une irrigation permanente des jardins. Des puits de recharge équipés par un réseau de galeries souterraines ont été mis en évidence pour permettre une recharge homogène de la nappe phréatique. Pour éviter tout danger émanant des crues, un dispositif de vidange des eaux vers l'oued Zegrir composé de 32 portes coulissantes a été réalisé. Un tel projet assure à la fois l'Irrigation de la palmeraie, la Recharge artificielle de la nappe phréatique et la Sécurité de la population (IRS).

REMERCIEMENTS

Après plusieurs années de travail le long de la ceinture oasienne, j'ai appris beaucoup de choses de la population ksourienne. A travers cet article, je profite pour remercier vivement toute la population du Ksar El Guerrara. Sans elle, ce papier n'aurait pas vu le jour.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- MILOUDI A., REMINI B. (2018a). The Ghout of Souf: an original hydro agricultural system. *Geoscience Engineering*. Vol. LXIV, N° 3, pp. 30-37.
- MILOUDI A., REMINI B. (2018b). Water resources between conditions of quality and quantity in the Oued Souf region! *AIP Conference Proceedings* 1968, 020015; doi: 10.1063/1.5039174
- REMINI B. (2008). *La foggara*. Editions Office des Publications Universitaires OPU, Alger, 132p.
- REMINI B. (2011). *La foggara du Sahara-Le génie oasien*. Editions Universitaires Européennes. 128 p.
- REMINI B., ACHOUR B. ET KECHAD R. (2011). Traditional techniques for increasing the discharge from qanats in Algeria. DOI: 10.1007/S10795-012-9125-6. *Journal of irrigation and drainage systems* (Springer). Volume 25, N° 4 (December), pp 293-306
- REMINI B., ACHOUR B., KECHAD R. (2014). The foggara: a traditional system of irrigation in arid regions. *Geoscience Engineering Journal*. Vol. LX, n°32, pp.32-39.
- REMINI B., ACHOUR B. (2016). The water supply of oasis by Albian foggara: an irrigation system in degradation. *Larhyss Journal*, N°26, Juin, pp. 167-181.
- REMINI B. (2017). *La foggara de Tademaït : sans énergie de l'eau du sous-sol à la surface du sol*. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°32, Dec. 2017, pp. 301-325.
- REMINI B. ET REZOUG C. (2017). *La khottara de la Saoura : un patrimoine hydraulique en déclin*. *Larhyss Journal*, N°30, Juin , pp. 273-296.
- REMINI B. (2018). The foggaras of the oasis of Ghardaia (Algeria): the sharing of flood waters. *Larhyss Journal*, n° 36, pp. 157-178.
- REMINI B., SOUACI B.E. (2019). Le souf : quand le forage et le pivot menacent le ghout ! *Larhyss Journal*, N° 37, Mars, pp. 23-38.
- REMINI B. (2019). Les foggaras du Sahara : le partage de l'eau l'œuvre du génie oasien. *Larhyss Journal*, n°39, Sept, pp. 25-57.
- REMINI B. (2019). *La foggara et le ghout (Algérie) : quand le forage sonne le déclin*. *Larhyss Journal*, n°39, Sept, pp. 275-297