

L'énergie renouvelable une alternative pour la préservation des foggaras

A. Laaboudi^{1*}, B. Nasri^{2,3}, T. Ansari², M. Benhamza²

¹National Institute of Research in Agronomy of Algeria. Experimental Station of Adrar.

²Agence Nationale de Ressources hydrauliques. Direction régionale d'Adrar.

³Université Ahmed Draia Adrar, Faculté des sciences et de la Technologie, Laboratoire Energie Environnement et Système d'Information.

*Corresponding author: Laaboudiaek@yahoo.fr.: +213 06 71 87 79 69; Fax: +213 00 00 00

ARTICLE INFO

Article History :

Received :21/06/2019

Accepted :29/12/2019

Key Words:

Sahara; Foggara;

Preserve ;

Solar Energy ;

Sustainable Development

Mots clés :

Sahara; Foggara;

Préserver ;

Energie solaire ;

Développement durable.

ABSTRACT/RESUME

Abstract: *The Touat, Gourara and Tidikelt regions located in the Algerian Sahara are characterized by a hostile environment unfavorable to life. To cope with this problem, the man had created oases playing the role of artificial shelters. They are irrigated by groundwater using ingenious works called "foggaras". However, this ancestral system is in continuous deterioration especially during the last three decades. Through this work carried out in the Reggane zone located in the Touat region, it turned out that the main causes of this deterioration are of a socio-economic and cultural nature. Excessive pumping due to the expansion of agricultural land has aggravated the situation and may cause the foggaras disappearance. The ecological and social consequences are significant and are likely to be irreversible. To preserve this world heritage, the use of solar energy constitutes an alternative to overcome the constraints which the survival of the foggaras faces. This action must be accompanied by rigorous management of the available water via the adoption of a water-efficient irrigation system, the choice of profitable varieties with high added value and the application of appropriate technical itinerary. The results obtained during these tests, highlighted increases in the area sown, the saving of water, the flow of foggara and the income of farmers; 50%, 100%, 500%, 500% respectively. In addition, the sustainable development of the study region is ensured through an adequate reconciliation of social, economic, ecological, security and cultural objectives.*

Resumé: *Les régions du Touat, Gourara et Tidikelt situées au Sahara Algérien sont caractérisées par un environnement hostile et défavorable à la vie. Pour faire face à ce problème, l'homme avait créé des oasis jouant le rôle d'abris artificiels. Elles sont irriguées par l'eau souterraine à l'aide d'ouvrages ingénieux nommés « foggaras ». Cependant, ce système ancestral est en détérioration continue notamment durant ces trois dernières décennies. A travers ce travail réalisé dans la zone de Reggane située dans la région du Touat, il s'est avéré que les principales causes de cette dégradation sont de nature socio-économique et culturelle. Le pompage excessif dû à l'expansion des terres agricoles par la mise en valeur a aggravé la situation et peut provoquer la disparition des foggaras. Les conséquences écologiques et sociales sont importantes et risquent*

d'être irréversibles. Pour préserver ce patrimoine mondial, l'utilisation de l'énergie solaire constitue une alternative pour surmonter les contraintes auxquelles la survie des foggaras est confrontée. Cette utilisation doit s'accompagner d'une gestion rigoureuse des eaux fournies par celle-ci à travers l'adoption d'un système d'irrigation économe en eau, le choix de variétés rentables et à haute valeur ajoutée et l'application d'itinéraires techniques appropriés. Les résultats obtenus durant ces essais, ont mis en évidence des augmentations de la superficie emblavée, de l'économie d'eau, du débit de la foggara et du revenu des agriculteurs ; de 50%, 100%, 500%, 500% respectivement.

En plus, le développement durable de la région d'étude est assuré grâce à une conciliation adéquate entre les objectifs sociaux, économiques, écologiques, sécuritaires et culturels.

I. Introduction

La foggara est un système hydraulique millénaire qui fonctionne depuis plus de 10 siècles. Elle reflète l'importance du génie humain pour un ouvrage hydraulique qui exploite les eaux du sous-sol à zéro énergie [1]. Cet ouvrage qui a des similitudes avec les Qanat Iranien, La Khettara Marocaine et le Falaj d'Oman a été amélioré pour s'adapter aux conditions locales des régions du Touat, Gourara et Tidikelt [2]. Grâce à ces foggaras, des oasis sont créées, elles ont fait face à un environnement hostile. Les foggaras ont permis une exploitation pérenne des maigres ressources hydriques [3] et ont maintenu la pérennité de la verdure dans les palmeraies des zones désertiques [4].

Les foggaras sont situées dans les limites de la nappe albienne. Elles sont considérées comme un exutoire naturel de cette nappe. Bien qu'il elle s'agit d'une eau fossile emmagasinée au cours des périodes pluvieuses du quaternaire, une faible alimentation de la nappe se poursuit sur les marges d'affleurement [5]. Ceci a permis de maintenir un équilibre entre le flux entrant (alimentation) et le flux sortant (exploitation par foggaras et d'autres prélèvements). Ce bilan était presque nul selon Burgeap (1963, cité par BenHamza [6]) qui avait estimé le débit de la recharge à 15 m³/s. Durant les années 1970, le bilan avait montré un faible dépassement du flux sortant (FS) par rapport au flux entrant (FE) ; FS-FE= 4,5 m³/s [5].

Il existe des milliers de foggaras opérationnelles depuis des siècles. Certaines ont été créées durant le siècle dernier. Elles ont vécu grâce à une organisation socio-économique solide. Malheureusement, ce patrimoine hydraulique et culturel se dégrade d'une année à l'autre en raison de problèmes techniques et sociaux [7]. Ainsi de 2285 recensées en 1941 il n'en reste que 824 en 2018 [8]. Par conséquent, l'eau acheminée par les foggaras est loin de satisfaire toutes les surfaces irriguées. Afin de combler ce déficit, les habitants

des Ksours ont eut parfois recours à la réhabilitation de la foggara en l'alimentant par un forage ou par le détournement de l'eau potable [9].

Les raisons de la dégradation des foggaras sont nombreuses et complexes [10] et la préservation de ce patrimoine précieux est indispensable. Sachant que la durée d'ensoleillement peut atteindre 12 heures/jour en été [11], l'exploitation de l'énergie solaire permettra non seulement la préservation de ces ouvrages hydrauliques mais aussi assurera un développement durable dans ces régions. Dans ce contexte Gourari et Anteur [12], ont souligné que l'intégration des énergies renouvelables dans le monde rural peut mener à une amélioration des conditions et du niveau de vie des populations dans le cadre du développement durable

Il faut mentionner que l'Algérie dispose d'un potentiel solaire le plus élevé de la région du MENA (Middle East and North Africa) et l'un des plus importants au Monde [13]. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 Kwh/m²/an au Nord et 2263 KWh/m²/an au sud du pays [14]. En outre, la région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie [15].

En effet, la moyenne annuelle de l'irradiation solaire journalière globale mesurée sur plan incliné dépasse la valeur de 7 kWh/m² (Capderou, 1985 cité par Sadok [16]) et atteint son minimum de 4,34 kWh/m²/jour en décembre [17]. Cependant, il faut noter que le rendement réel de conversion d'un module est faible, il est de l'ordre de 10% à 15% avec une limite théorique pour une cellule de 28% [18].

L'objectif essentiel de ce travail est de mettre en exergue ; les conséquences de détérioration des foggaras, d'une part, et l'importance de l'utilisation

de l'énergie solaire pour la préservation de ce patrimoine hydraulique d'autre part.

II. Materials and methods

II.1. Matériels

II.1.1 Localisation de la zone d'étude

L'étude à été réalisé pendant quatre campagnes agricoles successives (2011/2012, 2012/2013,

2013/2014 et 2014/2015). Elle à été effectuée dans la région de Reggane (Sud de l'Algérie) située dans la partie occidentale du Sahara algérien, entre les latitudes 26°30'N et 27°00'N et les longitudes 0°30'W et 0°30'E. Elle s'étend sur une superficie de 124 298 km², occupé par une population de 33 540 habitants (Fig. 1).

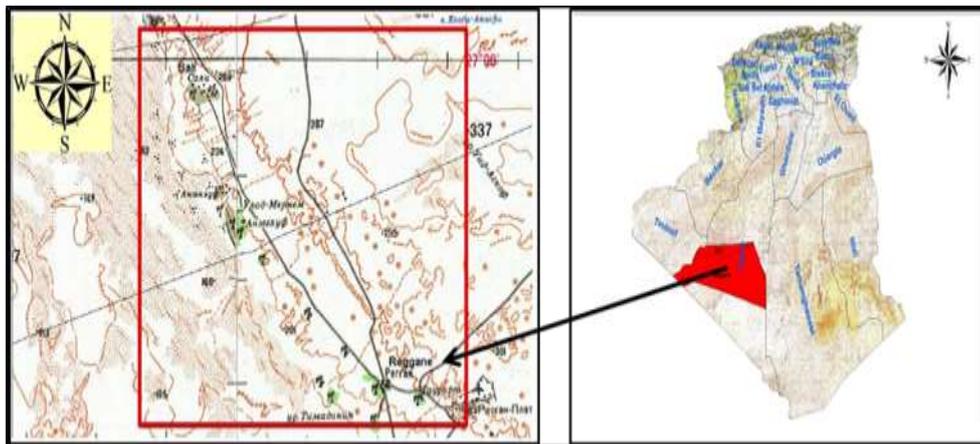


Figure 1. Localisation géographique de la zone d'étude (Echelle : 1/1 000 000) [8]

La région d'étude renferme plusieurs traits morphologiques ; le Plateau à forme tabulaire rocheuse, le Reg à surface plane couverte de gravier, des débris de roches et de massives dunes

de sable à l'Ouest. La dépression est localisée en aval de la palmeraie et représentée par une sebkha. Celle-ci s'étale tout le long de la rive gauche de cette zone (Fig. 2).

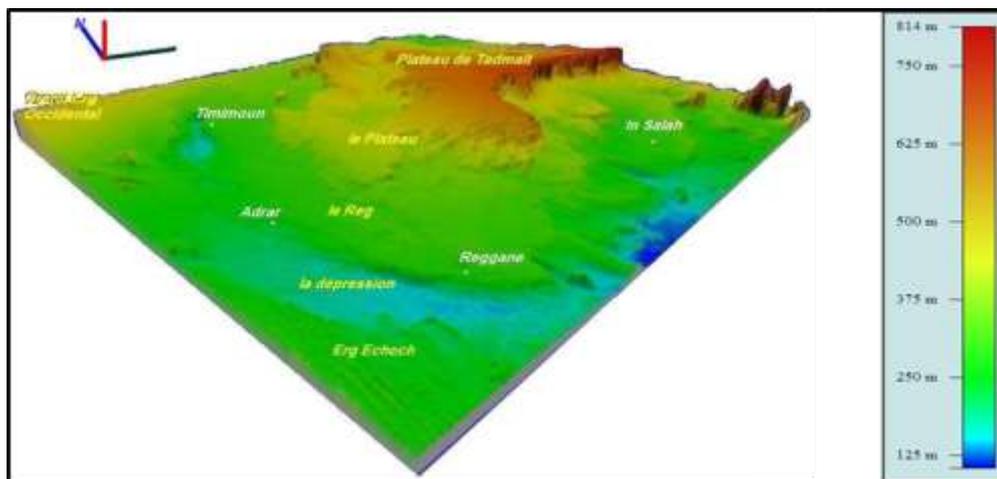


Figure 2. Traits morphologiques en 3D de la zone d'étude (Echelle : 1/2 000 000) [6]

Elle fait partie du bassin du Grand Erg Occidental qui englobe dans sa majeure partie la nappe du Continental Intercalaire (C.I). Cette dernière désigne dans l'histoire stratigraphique, un épisode

continental intercalé entre deux cycles sédimentaires marins.

II.1.2. Conditions climatiques

La région de Reggane se caractérise par un climat désertique et hyper aride très sec. Les températures sont très élevées en été (49°C), douces en hiver, faible humidité relative et forte intensité lumineuse. Les précipitations annuelles ne dépassent guère les 50 mm/an. Ce qui conduit à une demande climatique élevée (Evapotranspiration potentielle dépasse 3000 mm/an) [8].

II.1.3 Qualité de l'eau et du sol

La qualité des eaux des foggaras ou celle des forages profonds prélevées en amont de la palmeraie est bonne (C.e < 2,2 ms/cm) par contre les eaux de puits créés par les agriculteurs aux seins des exploitations sont classées comme mauvaises à très mauvaises qualités (C.e varie entre 2,6 à 3,37 ms/cm).

Le sol est à texture grossière (le taux de sable dépasse 90 %), la matière organique ne dépasse pas 0,2 %. La salinité est élevée, plus 2,25 ms/cm en extrait dilué 1/5 avec un taux de sodium atteint de 2,35 méq/100 g de terre.

II.2. Méthodes

II.2.1. Diagnostic socio-économique

Afin de mettre en évidence les principales causes du tarissement de la foggara et de proposer les solutions envisagées pour sa préservation, un diagnostic socio-économique a été réalisé auprès des personnes morales ou physiques ayant une relation étroite avec la foggara. En effet, une trentaine de personnes cibles ont été interrogées, dont 24 agriculteurs, 4 associations, 2 personnes de services agricoles et 2 personnes des instituts techniques. Pour savoir si les raisons de la détérioration des foggaras sont de natures techniques (rabattement de la nappe) ou de natures socio-économiques, un certain nombre de questions a été posé. Ces questions convergent globalement vers les causes réelles de cette dégradation.

II.2.2. Etude et installation des panneaux solaires.

Le but de cette installation est d'approvisionner la foggara par un débit d'eau qui peut atteindre 5 l/s, ce qui correspond à 18 m³/h à partir d'un forage profond à niveau statique de 30 m de profondeur et de le déverser directement dans la foggara pendant la période d'éclaircissement.

Pour dimensionner les panneaux solaires nécessaires, il faut calculer la puissance du groupe motopompe de refoulement. C'est-à-dire, il faut déterminer l'énergie potentielle nécessaire au relevage d'un volume d'eau Q en m³/jour. Les besoins énergétiques (ou énergie hydraulique) sont déterminés par la formule suivante:

$$B_j = m \times g \times h = \rho \times g \times Q \times HMT \text{ joule /jour}$$

$$B_j = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot HMT}{3600} = 2,725 \cdot Q \cdot HMT \frac{Wh}{j} \quad (1)$$

Avec

B_j: Besoin énergétique journalier (Wh/jour),
 m: masse de l'eau (kg),
 g: Pesanteur (= 9,81 m/s²),
 h: Hauteur de relevage (m),
 ρ: Masse volumique de l'eau (= 1000 kg/m³),
 Q: volume d'eau (m³/j),
 HMT : Hauteur manométrique totale (m) = (Niveau dynamique H_d+ perte de charge dh= 33 m)

Les besoins électriques à l'entrée de la motopompe sont déterminés par la formule :

$$E_e = \frac{B_j}{r} \quad (2)$$

Avec

E_e : besoins électrique à l'entrée de la motopompe (Kwh/jour) ;

r : rendement de la motopompe (=0,44);

La puissance nominale de la motopompe est donnée par la formule (3) :

$$P_e = \frac{E_e}{E_j} \quad (3)$$

P_e : puissance nominale de la motopompe (Kw) ;

E_j : Irradiation mensuel du mois le plus défavorable (Kwh/j) ;

L'énergie produite par les panneaux PV E_p est estimée par la formule suivante :

$$E_p = P_{cn} \times E_j \times \eta_g \quad (4)$$

Avec

E_p : Energie produite par les modules (Kwh) ;

P_{cn} : Puissance crête nécessaire (Kwh) ;

η_g : rendement globale des panneaux photovoltaïques =1- P_t perte (P_t perte : taux des pertes= 0,26).

Cette énergie est équivalente à l'énergie à l'entrée de la motopompe à travers le convertisseur qui est évalué par la formule (5) :

$$E_{e1} = \frac{E_e}{r1} \quad (5)$$

Avec

E_{e1} : L'énergie à l'entrée de la motopompe à travers le convertisseur (Kwh) ;

r1= rendement du convertisseur = 0,9.

II.2.3. Jaugeage de la foggara

Le jaugeage du débit de la foggara a été effectué avant et après l'installation des panneaux photovoltaïques et la mise en marche du système de pompage. L'eau prélevée est déversée dans la partie non drainante de la foggara. Après avoir mesuré la largeur du canal et l'épaisseur de la lame d'eau, la lecture des informations sur la vitesse d'écoulement était effectuée par un petit moulinet.

II.2. 4. Parcelles de démonstration

Dans le but d'une utilisation rationnelle des ressources en eau et la valorisation des quantités en eau disponibles, nous avons choisi cinq agriculteurs pour créer aux seins de leurs exploitations des parcelles de démonstration. Dans lesquelles sont installés des réseaux d'irrigation goutte à goutte et cultivées par rotation des variétés performantes et rentables. Nous citerons la courge, la pomme de terre, le petit pois et la tomate. Les techniques de fertilisation et de l'irrigation sont appliquées et apprises sur place par les agriculteurs.

II.2. 5. Efficience de l'eau d'irrigation

L'efficience de l'eau d'irrigation est estimée par la mesure de la superficie ajoutée grâce aux quantités en eau additionnées et la technique d'irrigation utilisée.

II.2.6 Estimations des nouvelles superficies mises en cultures

L'utilisation de la formule (6) de Penman Monteith proposée par Allen et al. [19] et les durées réelles des jours, nous ont permis d'estimer les nouvelles superficies mises en cultures grâce aux quantités d'eaux additionnelles:

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (6)$$

Avec

ETo : l'évapotranspiration de référence (mm jour⁻¹);

Rn : la radiation nette à la surface de la culture (MJ m⁻² jour⁻¹);

G : la densité de flux de chaleur dans le sol (MJ m⁻² jour⁻¹);

T : la moyenne de la température diurne de l'air mesurée à 2 m de hauteur (°C);

μ₂ : la vitesse du vent à 2 m de hauteur (m s⁻¹);

e_s : la pression de vapeur à saturation (kPa);

e_a : la pression de vapeur réelle (kPa);

(e_s-e_a) : le déficit de la pression de vapeur (kPa);

Δ : la pente de la courbe de pression de vapeur (kPa °C⁻¹);

γ : le constant psychométrique (kPa °C⁻¹).

Les besoins en eau des cultures sont estimés par la formule (7) :

$$ETM = Kc \times ETo \quad (7)$$

Avec

ETM : évapotranspiration maximale (mm/jour),

Kc : le coefficient cultural de la culture concernée,

ETo : évapotranspiration de référence (mm/jour) calculée par la formule (6).

Les besoins en eau des cultures sont calculés en appliquant les formules (6) et (7). En prenant un coefficient cultural moyen pour l'ensemble des cultures Kc = 1, et l'efficience d'irrigation pour le système goutte à goutte = 0,9, une fraction de lessivage de 10%. Le pompage est effectué à partir d'un bassin réservoir à l'aide d'une petite pompe à axe horizontal. Le système contient un filtre et une conduite primaire qui alimente directement les tuyaux souples et perforés. Pour quantifier les besoins en eau d'irrigation, la fraction de lessivage est prise en considération quelque soit la manière de son apport. Dans notre cas elle est généralement apportée avec l'eau d'irrigation pour dégager les sels de la zone prospectée par les racines.

Les superficies irrigables sont estimées de la façon suivante :

1. Estimation des besoins en eau des cultures exprimées en ETM.

2. Estimation des besoins en eau d'irrigation (Bi) qui prennent en compte la fraction de lessivage (Fl) et l'efficience d'irrigation (Ei) :

$$ETM \text{ (mm/j)} = Kc \cdot ETo \text{ (Kc = 1)}, ETM = ETo$$

$$Bi \text{ (m}^3\text{/ha)} = ETM \cdot Fl \cdot Ei = ETo \cdot (1+0,1) \cdot (1+0,1) \cdot 10$$

$$Bi \text{ (m}^3\text{/ha)} = 12,1 ETo \quad (8)$$

En divisant les quantités en eau mobilisées par les besoins en eau d'irrigation de 1 ha.

$$Si = \frac{Em}{Bi} \quad (9)$$

Avec

ETM : Evapotranspiration maximale (mm/j),

ETo : Evapotranspiration de référence (mm/j),

Bi : Besoins en eau d'irrigation (m³/ha),

Si = Superficie irrigable (ha),

Em = Quantité en eau mobilisée (m³/ha).

III. Results and discussion

III.1. Résultats du diagnostic socio-économique

Après des enquêtes qui avaient concerné une trentaine de personnes cibles concernant les causes essentielles de la détérioration des foggaras, nous avons aboutit aux résultats suivant (Fig.3).

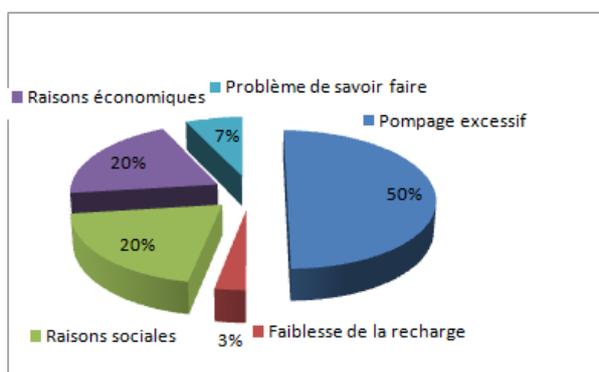


Figure 3. Principales raisons de la détérioration des foggaras

Le rabattement de la nappe lié aux facteurs techniques tel que le pompage excessif est la raison primordiale de la détérioration des foggaras (50%). La faiblesse de la recharge constitue le facteur à

plus faible impact (3%), car l'Atlas Saharien est la principale zone de la recharge du système aquifère du Sahara septentrional [20] et l'opération d'une recharge locale fut ressentie uniquement par les anciens agriculteurs après le ruissellement des cours d'eau issus de plateaux de Tadmaït en cas d'une pluie torrentielle.

Le rabattement de la nappe est important, son effet négatif était constaté en particulier sur les foggaras à faible profondeur. Dans ce contexte, Benhamza [6] a signalé que dans certaines régions le rabattement de la nappe varie entre 15 et 20 m et pourrait atteindre 35 m durant les 20 prochaines. En fait, un nombre élevé de puits sont creusés à proximité de zones de captage des foggaras (Fig.4). Par conséquent, certaines foggaras sont tarées et les débits d'un grand nombre de celles-ci sont affaiblis.

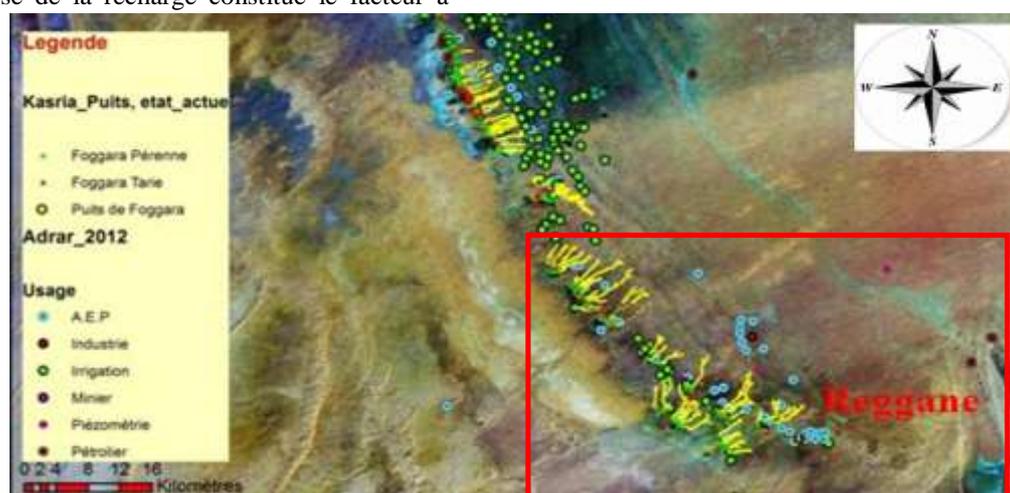


Figure 4. Positionnement des foggaras et forages de la zone d'étude (Echelle : 1/2 000 000) [6]

Les causes socio économiques constituent aussi des contraintes majeures dans la plupart des cas. Le manque d'entretien de qualité, faute de main d'œuvre qualifiée est un autre facteur qui aggrave la situation. Ce constat a été signalé par Blama et Laaboudi [10].

Les conséquences socio-économiques, culturelles et environnementales sur le tarissement des foggaras sont flagrantes et dangereuses sur plusieurs aspects. En effet, l'agriculture traditionnelle de subsistance qui en dépend risque de disparaître et l'organisation socio culturelle qui née et maintenue pendant des siècles grâce à ces ouvrages hydrauliques collectifs se dissocie. Cette situation va compromettre l'avenir, voire l'existence d'espaces oasiens vécus au quotidien [4]. En outre, la population paysanne abandonne ses terres et rejoint d'autres secteurs. C'est un facteur important de l'exode rural. La partie de la population qui subsiste creuse des puits peu profonds et réutilise une partie des eaux de drainage, ce qui aggrave le processus de salinisation des eaux et des sols.

Pour surmonter cette situation, la réhabilitation des foggaras est incontestable. Cependant, vue les contraintes auxquelles est confrontée la survie des foggaras, la réhabilitation de celles-ci est difficile et complexe. Pour cette raison, toutes les actions effectuées dans ce sens, n'ont pas abouti à une solution définitive. En fait, le maintien en vie de ces ouvrages hydrauliques, nécessite l'instauration d'un développement durable dans ces régions fragiles. Celui-ci repose actuellement sur cinq piliers selon Bervar et Bertoncej [21]. En effet, pour assurer un développement durable, aux trois piliers pris en considération selon le traité de Lisbonne, en exigeant un équilibre entre les dimensions sociales, économiques et environnementales [22], il faut ajouter deux autres piliers à aspects culturel et sécuritaire.

III.2. Résultats de l'utilisation des panneaux photovoltaïques

Le débit maximum souhaité est 5 l/s. vue l'intensité d'éclairement qui varie au cours de la journée, le débit moyen est évalué à 4,4 l/s (soit 92 m³/jour).
 Le besoin énergétique journalier, selon la formule (1);

$$B_j = 2,725 \times 92 \times 33 = 8,2731 \text{ kWh/jour}$$

Les besoins électriques à l'entrée de la motopompe (E_e), selon la formule (2) sont estimés à 18,8025 kWh/jour.

Connaissant l'irradiation mensuelle du mois le plus défavorable, E_j=5,8 kWh/m² et en appliquant la formule (3), la puissance nominale de la motopompe (P_e) est évaluée à 3,24 kW.

Sur le marché, on a trouvé une pompe de type LORENZ PS4000 d'une puissance de plus de 3,24 kW accessible à augmenter la puissance PV installée et par suite le débit d'eau.

L'énergie à l'entrée de la motopompe à travers le convertisseur (E_{e1}), selon la formule (5) est estimé à 20,89 kWh (avec r₁=0,9).

Donc la puissance crête nécessaire (4):

$$P_{cn} = E_p / (E_j \times \eta_g) = 20,89 / (5,8 \times 0,76) = 4,73 \text{ kW}$$

Selon la caractéristique de la motopompe LORENZ PS4000, fonctionnement solaire direct : MPPT (Maximum Power Point Tracking, point de fonctionnement max) V_{oc} = 375 V DC. Donc la motopompe doit être alimentée par une tension environ de 240V.

Les panneaux utilisés ont une puissance (P_c) de 150Wc, chaque panneau délivre une tension moyenne de 15V. Le nombre des panneaux connectés en série N_s=240/15=16 panneaux.

Aussi P_{cn} = N_s × N_b × P_c donc D'où, le nombre de branches

$$N_b = P_{cn} / (N_s \times P_c) = 4739 / (16 \times 150) = 1,97 \text{ arrondie à } 2.$$

Il en résulte un nombre total de modules = 32, le nombre de modules en série = 16 et le nombre de modules en parallèle (Nombre de branches) = 2.

Les panneaux photovoltaïques sont installés près d'un forage profond sur deux supports de 8 m de hauteur (Fig.5).

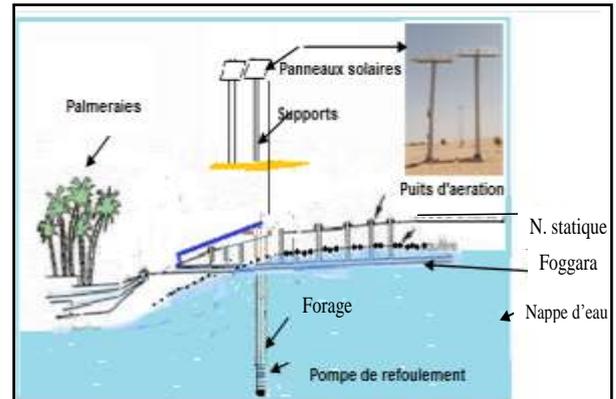


Figure 5. *Schema d'installation (conception des auteurs)*

Dès la levée du soleil, le système fonctionne activement et le débit d'eau de la foggara augmente après un certain temps de 1 l/s à 6 l/s. La lame d'eau dans le canal d'amenée (Fig. 6) s'est élevée d'une lame mince (h₁) à une lame plus épaisse (h₂). Cette eau est de moyenne qualité (2,2 ms/cm) car elle est amenée de l'amont de la palmeraie. Contrairement aux eaux de puits creusés aux seins des exploitations où la salinité est plus élevée (Conductivité électrique C.E dépasse 3, 5 ms/s).

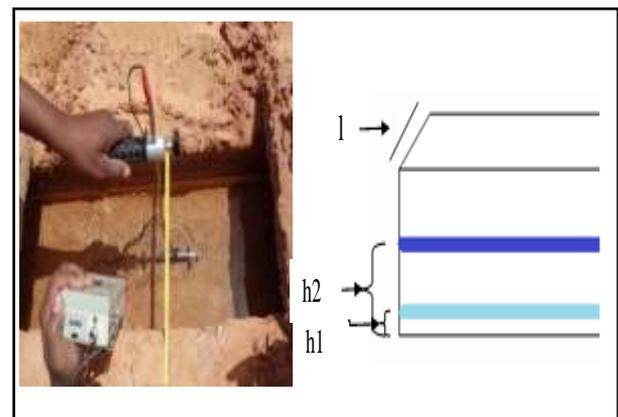


Figure 6. *Mesure de débit et évolution de la hauteur de la lame d'eau du canal.*

III.3. Caractéristique du débit au fil du soleil

Le débit assuré par ce système est fonction des mois de l'année mais aussi de l'état du ciel. La température aussi peut influencer sur le rendement du système lorsqu'elle dépasse une certaine limite. Pour un pompage au fil du soleil et dans le cas d'un ciel bien dégagé, c'est la situation générale de la région, les quantités en eau pompées sont représentées dans la fig. 7.

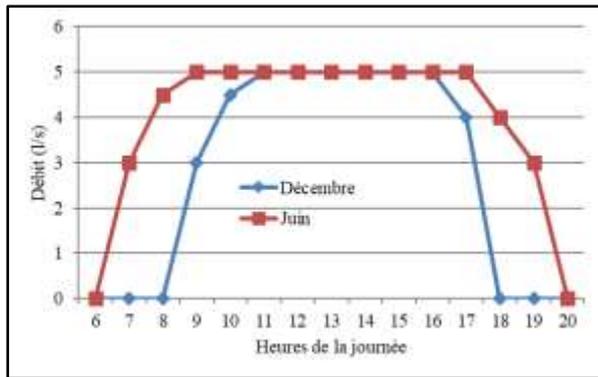


Figure 7. Quantités en eau pompées au cours de la journée

III.4. Superficies mises en culture

Avant de la mise en place du projet, chaque agriculteur a creusé un puits au sein de son exploitation à forme rectangulaire. Le system

d'irrigation par gravité est la méthode d'irrigation utilisée. Pour amener l'eau à des parcelles relativement éloignées, une grande partie de l'eau s'infiltre dans un sol à texture grossière. Grâce à l'addition de l'eau dans la foggara par l'énergie solaire et grâce à l'utilisation du système goutte à goutte, qui fait face à la perte d'eau dans les canaux d'amener et dans le début des parcelles à irriguer, elle a été constaté que la superficie irriguée est doublée est l'efficacité d'irrigation est doublé par conséquent.

La superficie irrigable diffère d'un mois à un autre selon les quantités d'eaux mobilisables et les besoins en eau des cultures. En tenant compte de la durée réelle d'éclaircissement et en appliquant les formules (6), (7), (8) et (9), les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 1.

Tableau 1. Superficies mises en culture après la mise en marche des panneaux photovoltaïque

Mois	Durées astronomiques des jours	Durées réelles des jours	Quantité en eau mobilisable (m ³ /j)	ETo (mm/j)	Superficies irrigables (ha)
Janvier	10,5	7,49	134,82	3,49	3,19
Février	11,2	7,69	138,42	3,87	2,96
Mars	12	8,49	152,82	5,55	2,28
Avril	12,6	9,15	164,7	6,69	2,03
Mai	13,5	10,32	185,76	8,48	1,81
Juin	13,9	11,27	202,86	8,67	1,93
Juillet	13,7	10,09	181,62	9,81	1,53
Aout	13,1	9,4	169,2	8,52	1,64
Septembre	12,3	8,19	147,42	7,36	1,66
Octobre	11,6	8,35	150,3	5,73	2,17
Novembre	10,8	8,05	144,9	4,07	2,94
Décembre	10,4	7,23	130,14	2,89	3,72

L'eau d'irrigation est mieux utilisée, l'amélioration des efficacités agronomiques et économiques est observée sur le terrain et ressentie par les agriculteurs.

A travers les résultats obtenus par cette étude, l'utilisation de l'énergie photovoltaïque a assuré simultanément toutes les composantes (piliers) de développement durable.

Pilier environnemental

Il est réalisé en réduisant la pollution de l'atmosphère et la contamination de la nappe. Car, le manque d'eau d'irrigation dans le site étudié a poussé les agriculteurs à creuser leurs propres puits et prélever de l'eau saumâtre en utilisant l'énergie

électrique. La préservation de la foggara, voire amélioration de son débit a réduit l'utilisation de l'énergie électrique qui réduira la pollution de l'atmosphère. Dans ce contexte, Tauw France [23] indique que l'énergie solaire photovoltaïque ne produit aucun rejet de gaz polluant dans l'atmosphère. Dans le sens, Bebtouba et al. [24], ont d'indiqué qu'avec l'utilisation du système photovoltaïque pour l'électrification des villes, environ 11 tonnes d'émissions de carbone par an peuvent être évitées dans l'atmosphère pour une seule maison.

De même, l'utilisation d'eau de bonne qualité réduira le risque de salinisation du sol et contamination des eaux souterraines.

Pilier économique

Il est assuré à travers plusieurs facteurs. L'absence des dépenses pour l'énergie électrique a réduit les charges des agriculteurs et elle a amélioré leurs profits. L'application des techniques culturales appropriées en vue de l'optimisation de l'utilisation des quantités d'eau additionnées grâce à l'énergie solaire ont conduit à économiser 100%, en eau d'irrigation, 50% du temps de travail et une amélioration du revenu qui a dépassé les 500% (Fig. 8).

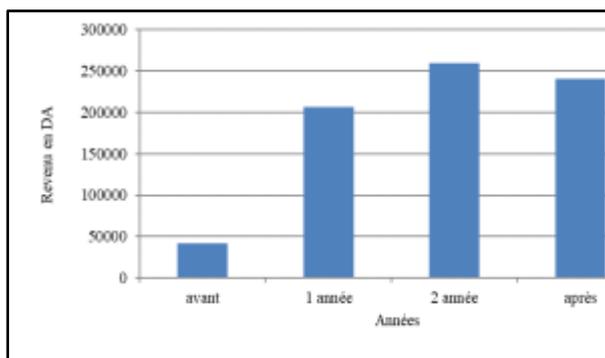


Figure 8. Améliorations des revenus des agriculteurs dans le site d'essai

Une investigation effectuée chez les agriculteurs a montré que la quantité d'eau consommée par l'utilisation du système localisé est égale à la moitié de celle consommée par l'irrigation gravitaire. En plus, l'irrigation des cultures peut être effectuée au moment où d'autres tâches agricoles s'effectuent par l'agriculteur. Ceci a permis 50% en économie de main d'œuvre.

Pilier social

Il est vérifié par le maintien de l'organisation sociale autour de la foggara. Celle-ci est consolidée par la création d'une autre organisation autour des panneaux photovoltaïques. Ainsi, les relations de coopération et de volontariat sont maintenues fortement entre les individus de la société paysanne.

Pilier culturel

C'est une composante indispensable pour la durabilité du développement. Le maintien de la foggara autour de laquelle est instaurée une culture traditionnelle de coopération, de partage des eaux et d'organisation sociale est lui-même un point fort qui consolide l'aspect culturel de la société. Ajouter à ceux-ci, la formation technique et l'apprentissage des opérations culturales des agriculteurs sur place.

En effet, les agriculteurs ont appris directement plusieurs techniques agricoles et savoir-faire, tels que; l'avantage du système d'irrigation localisé, l'utilité d'un bon choix de variétés rentables et à hautes valeurs ajoutées. Ajouter à ceux-ci, l'instauration d'une culture de l'utilisation du système d'irrigation économe en eau. Ainsi, l'irrigation localisée est pratiquée dans la palmeraie par l'ensemble des agriculteurs et pour toutes les cultures.

Pilier sécuritaire

Il est reflété par la stabilité des agriculteurs et toute la population rurale dans leurs milieux d'origine. En effet, le manque d'eau a poussé certains agriculteurs à abandonner leurs terres et rejoindre d'autres secteurs. L'utilisation de l'énergie solaire a consolidé la sécurité sociale par la fourniture d'une énergie propre à longue durée. Ceci donnera une assurance de préserver la foggara à long terme et confirmera la stabilité morale et physique de la population.

IV. Conclusion

Les conséquences de tarissement des foggaras aboutissent à la disparation d'une civilisation marquante de l'histoire de la région, disparation d'une organisation socio culturelle solide et finissent par un déséquilibre écologique flagrant. La préservation de ce patrimoine précieux est indispensable. Cette étude a révélé que l'utilisation de l'énergie solaire a permis non seulement la préservation des foggaras mais aussi elle a assuré un développement durable dans la zone d'étude. Suite à ce développement effectué dans cette zone, les revenus de la population paysanne sont améliorés et la stabilité de la population contre l'exode rural est assurée.

Ce travail est réalisé dans un endroit limité, des duplications de ce genre de projet est indispensable sur toutes les régions à foggaras.

V. References

1. Remini, B. La foggara de Tademaït : sans énergie de l'eau du sous-sol a la surface du sol. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, 32 (2017) 301-325.
2. Remini, B; Achour B. The water supply of oasis by albian foggara: an irrigation system in degradation. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, 26 (2016)167-181.
3. Chehema, A. Le Sahara en Algérie, situation et défis. L'effet du Changement Climatique sur l'élevage et la gestion durable des parcours dans les zones arides et semi-arides du Maghreb » université Kasdi Merbah - Ouargla- Algérie, du 21 au 24 Novembre (2011).

4. Senoussi, A.; Bensania, M.; Moulaye, S.; Telli, N. La foggara : un système hydraulique multiséculaire en déclin. Revue des BioRessources 1(2011) 47-54.
5. Dubost, N. Contribution à l'amélioration de l'utilisation agricole des eaux chaudes du continental intercalaire (albien) dans la cuvette du bas Saha Algérien. Bulletin d'agronomie saharienne 5 (1983) 61-109.
6. Benhamza, M. Aperçu hydrogéologique et hydro chimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « foggara » dans la région d'Adrar. Mémoire de Magister, 160 p. (2009).
7. Remini, B.; Achour, B. Vers la disparition de l'une des plus grandes foggaras d'Algérie : la foggara d'El Meghier. Sécheresse 19 (3) (2008) 217-221.
8. ANRH (Agence nationale des ressources hydrauliques). Bilan des inventaires des foggaras 2018. Rapport interne.
9. Hadeid, M.; Bellal, S.A.; Ghodbani, T.; Dari, O. L'agriculture au Sahara du sud-ouest algérien : entre développement agricole moderne et permanences de l'agriculture oasisienne traditionnelle. Cah. Agric. 27(2018) 15005.
10. Blama, A.; Laaboudi, A. La foggara : possibilité de la préserver et de l'améliorer. Revue recherche agronomique. 20 (2007) 90-98.
11. Laaboudi, A.; Mouhouche, B.; Slama, A. Modeling of daily reference evapotranspiration using climatic factors for arid regions of Algeria. Sky Journal of Agricultural Research. 4(6) (2015)114 – 122.
12. Gourari, B.; Anteur, I.D. Projets d'énergies solaire photovoltaïque dans le développement durable de l'agriculture dans la région de Bourdj Bou arredj (enjeux, concept et méthodologie) Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution. ICEMAEP2016, October 30-31, (2016), Constantine, Algeria.
13. Dehkal, A. Etats des lieux des énergies renouvelables dans la région MENA: Le pari Algérien dans le secteur de la mobilisation de l'eau. Revue Nour des études économiques (مجلة نور للدراسات الاقتصادية) 3(2016) 90-205.
14. Ministère de l'Energie et des Mines. Guide des energies renouvelable en Algerie Edition 2007 80 p.
15. Boudries– Khellaf, R.; Dizene, R.; Belhamel, M. Evaluation du potentiel hydrogène solaire en Algérie Cas de captation avec systèmes de poursuite. Revue des Energies Renouvelables CER'07 (2007) 113 – 116.
16. Sadok, M. Détermination des Paramètres, Performances et Etude de la Dégradation des Modules Photovoltaïques en milieu saharien. Thèse Doctorat en Sciences Physiques. Université de Tlemcen. (2011)142.
17. Bentouba, S.; Boucherit, M.S.; Bourouis, M.; Coronas, A.; Draoui, B.; Hamouda, M. Environmental evaluation of typical house situated in the south of Algeria by using photovoltaic system. 2nd International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications (EFEA). 2012. Northumbria University.
18. Hadj Arab, A.; Benghanem, M.; Gharbi, A. Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque. Rev. Energ. Ren. 8 (2005) 19 – 26.
19. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration (guidelines focomputing irrigation crop water requirement). Irrigation and drainage paper. 56(1998). Food and Agriculture Organization. Rome Italy.
20. Ould Baba, Sy. M. Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara septentrional. Thèse Présentée pour l'obtention de diplôme de Doctorat en Géologie (2005) 271.
21. Bervar, M.; Bertoncej, A. The Five Pillars of Sustainability: Economic, Social, Environmental, Cultural and Security Aspects. Management international conference. Pula Croatia June 2016.
22. Clune, W.H.; Zehnder Alexander, J.B. The Three Pillars of Sustainability Framework: Approaches for Laws and Governance. Journal of Environmental Protection, 9(2018) 211-240.
23. Tauw France. Etude d'impact sur l'environnement du projet de parc photovoltaïque de Ville bois 01 (2014) 183.
24. Capderou, M. Atlas Solaire de l'Algérie, Office des Publications universitaires, Alger. (1985).

Please cite this Article as:

Laaboudi A., Nasri B., Ansari T., Benhamza M., L'énergie renouvelable une alternative pour la préservation des foggaras, *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 7:1 (2021) 1787-1796