

Valorisation des eaux de retour des serres agricoles chauffée par l'eau géothermique dans le sud tunisien

Valorization of return water from agricultural greenhouses heated by geothermal water in southern Tunisia

Naima Anayed^{1,4}, Latifa Dhaouadi², Wafa Tounsi³, Ali Benhmidène⁴, Besma Assadi Hamrouni^{1,5}, Rachid Boukchina⁶ & Mohamed Sadok Belkadhi^{1,5}

¹Centre Technique des Cultures Protégées et Géothermiques (CTCPG Gabès Tunisie),

²Centre Régional de Recherche en Agriculture Oasienne Degueche (CRRAO Dgueche),

³Centre de Recherche en Technologie des Eaux de Borj Cedria (CERTÉ Borj Cedria),

⁴Laboratoire énergie, eau, environnement et Procédés (ENIG Gabès),

⁵Laboratoire d'aridoculture et culture oasienne IRA tunisie

⁶Laboratoire d'Érémologie et de Lutte contre la Désertification (LR16IRA01)

Article info

Histoire :

Reçu 07 Décembre 2022

Accepté 28 Février 2023

Mots clés : Eau de retour,
Serre géothermale,
Valorisation, Sud tunisien.

*Auteur correspondant

anayed.naima@gmail.com

Résumé

Le secteur des cultures protégées sous serres chauffées dans le sud tunisien n'a cessé de se développer avec la disponibilité des ressources géothermiques. La mauvaise gestion de ces ressources entraîne leur dégradation en termes de quantité et qualité. Cette situation s'aggrave avec la demande en eau dans le secteur agricole. De ce fait, la valorisation de ces potentiels géothermiques s'avère nécessaire pour assurer leur durabilité. Le présent travail vise la caractérisation des eaux de retour et l'évaluation de leur impact sur les cultures sous serres et les systèmes oasiens. L'étude s'est basée sur des analyses physico-chimiques des eaux de retour prélevées auprès de neuf pôles géothermiques répartis sur les trois gouvernorats (Gabès, Kébili et Tozeur), des visites de terrain et des enquêtes menées auprès des agriculteurs exploitants. Ces analyses physico-chimiques indiquent une qualité d'eau médiocre à moyenne qui présente un risque salin très élevé et un risque alcalin moyen. En effet, la salinité des eaux varie de 2,6 à 11,9 g/l et le SAR de 5,1 à 8,8. Ajoutons que les techniques de gestion de la salinité adoptées par les agriculteurs restent encore limitées à cause de leur faible capacité financière.

Article info

Article history:

Received 07 December 2022

Accepted 28 February 2023

Keywords: Return water,
geothermal greenhouses,
valorization, Southern
Tunisia.



Copyright©2023 JOASD

*Corresponding author

anayed.naima@gmail.com

Conflict of Interest : The authors declare no conflict of interest.

Abstract

The sector of protected crops under heated greenhouses in southern Tunisia has continued to develop with the availability of geothermal resources. The poor management of these resources leads to their degradation in terms of quantity and quality. This situation is worsening with the demand for water in the agricultural sector. Therefore, the development of these geothermal potentials is necessary to ensure their sustainability. The present work aims at characterizing the return water and assessing its impact on greenhouse crops and oasis systems. The study was based on physico-chemical analyses of return water collected from nine geothermal poles spread over the three governorates (Gabes, Kebili and Tozeur), field visits and surveys conducted with farmers. These physico-chemical analyses indicate a poor to average water quality with a very high saline risk and a medium alkaline risk. Indeed, the salinity of the water varies from 2.6 to 11.9 g/l and the SAR from 5.1 to 8.8. In addition, the salinity management techniques adopted by farmers are still limited due to their low financial capacity.

1. INTRODUCTION

Dans le sud tunisien, vu la rareté des ressources et la mauvaise qualité des eaux, l'exploitation des eaux provenant des nappes profondes constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable, agricole et industrielle. Ces eaux sont emmagasinées dans des nappes fossiles non renouvelables : la Continentale Intercalaire (CI), le Complexe Terminal (CT) et la nappe de Djefjara. Ces nappes sont caractérisées par une salinité relativement élevée qui peut atteindre 3g/l (OSS, 2008).

Dans les trois gouvernorats du sud tunisien (Gabès, Kébili et Tozeur), les forages albiens sont nombreux. Concernant le gouvernorat du Tozeur, les débits disponibles est de l'ordre de 242 l/s sur CI et de 450 l/s sur le CT. A Kébili, la nappe CT est plus exploitable que la nappe du CI avec un pourcentage de 80% (Haddad, 2013). Pour le gouvernorat du Gabès l'exploitation des ressources en eau provenant des trois nappes avec un pourcentage d'exploitation de 83% des ressources profondes (Elloumi, 2016). L'exploitation intensive et l'accroissement des volumes pompés au niveau des nappes se montre par la baisse du niveau piézométrique et l'affaiblissement de l'artésianisme où on enregistre une baisse de niveau piézométrique de 50 à 40 m dans la région de Nefzaoua dans les années soixante et dans l'extrême sud, elle est de 40 m pour y aller jusqu'à 25 m (OSS, 2002). Cette exploitation croissante a entraîné la détérioration et le changement de la qualité de l'eau.

Cependant l'évolution des cultures sous serres chauffées et irriguées à partir des eaux géothermales sur des sols gypseux situés à proximité des chotts et des sebkhas pourrait constituer un risque majeur menaçant la durabilité de cette activité agricole. C'est dans ce contexte que s'intègre cette étude qui a pour objectif d'évaluer et d'analyser les eaux géothermales et plus particulièrement les eaux de retour utilisées suite au chauffage des serres provenant de la nappe de CI, afin de contribuer à la mise en œuvre d'une valorisation de eaux géothermales salées.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude concerne neuf pôles géothermiques répartis dans les trois gouvernorats du sud tunisien à savoir Gabès, Kébili et Tozeur (Fig. 1). Le gouvernorat du Gabès couvre une superficie

de 7166 km², Le gouvernorat de Kébili, occupe une superficie de 22 454 km² et le gouvernorat de Tozeur qui est de superficie de 5592,9 km².

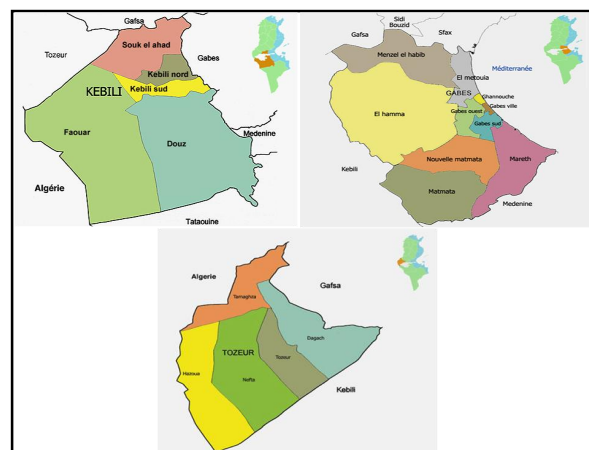


Fig. 1. Localisation géographique de la zone d'étude (DGAT2013)

2.1. Echantillonnage et collecte des données

Un total de 09 échantillons a été prélevé durant le mois d'Avril 2018, La campagne d'échantillonnage a touché la nappe du CI des trois gouvernorats Gabès, Kébili et Tozeur. La figure ci-dessous (Fig. 2) montre la répartition des points d'eau échantillonnés.

Les positions d'échantillonnage ont été préalablement déterminées et géo-référencées par GPS (Global Positioning System), Les prélèvements et les mesures ont été effectués sur les conduites de retour des eaux géothermiques au voisinage des serres. A chaque point nous avons prélevé l'eau dans des bouteilles en polyéthylène de 2 L qui sont fermées hermétiquement et garder à l'abri de lumière. Les variables physico-chimiques non conservatives tel que la température, le pH et la conductivité électrique ont été mesurés in situ à l'aide d'un Multi-paramètres.

Du laboratoire au terrain, les échantillons sont transportés dans des glacières afin de limiter l'évolution chimique des eaux avec toutes les informations concernant le prélèvement (site, lieu, date, heure, etc.).

Des enquêtes sont alors faites auprès des agriculteurs pour savoir le type des cultures installées, le système d'irrigation adopté, le besoin en eau de chauffage de chaque serre et la présence ou non des activités d'élevage.

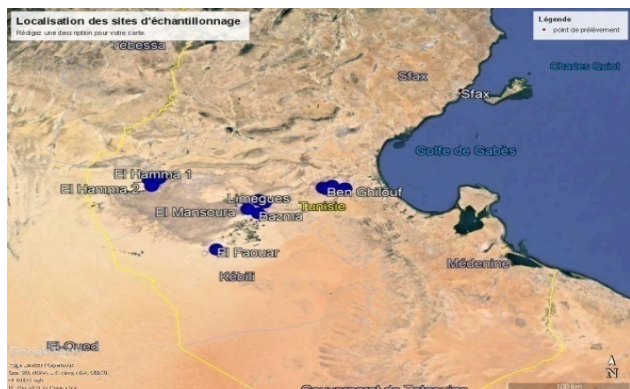


Fig. 2. Localisation des points d'échantillonnage

2.2. Analyses au laboratoire

Les analyses chimiques des éléments majeurs et du résidu sec ont été effectuées au Laboratoire de Traitement des Eaux Naturelles (LabTen) du Centre des Recherches et des Technologies des Eaux (CERTE) et les analyses chimiques ont été réalisées par différentes méthodes.

2.2.1. Résidu Sec

Le résidu Sec (RS) correspond à la quantité de matière sèche suite à une évaporation d'un échantillon donné, et permet de prévoir la quantité de sels dissous. Il est exprimé en mg/l. Pour déterminer le RS, il suffit de placer l'échantillon dans l'étuve à 100-105°C pendant 24 heures jusqu'à l'évaporation du liquide ainsi la partie restante correspond à la quantité de sel dissous. Par la suite on pèse le bécher contenant la quantité évaporée et le bécher à vide et la différence illustre bien la quantité de résidu sec (équation 1).

$$RS \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{P_2 - P_1}{V} \times 1000 \text{ (équation 1)}$$

Avec P2 : masse finale de l'échantillon après séchage à l'étuve exprimé en mg,

P1 : masse initiale avant séchage à l'étuve exprimé en mg,

V : volume de la prise d'essai de l'échantillon exprimé en (5 ml).

2.2.2. La conductivité électrique CE

L'aptitude des eaux de retour à l'irrigation a été étudiée en se basant sur la salinité qui est traduite par la CE, et mesurée directement par un conductivimètre.

2.2.3. Le pouvoir alcalin SAR

le pouvoir alcalin estimé par le SAR (équation 02) et le diagramme de Wilcox (Bradai et al., 2015) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \text{ (Équation 02)}$$

2.2.4. Indice de Langelier LSI

Il s'agit principalement de l'Indice de Saturation de Langelier (LSI) qui sert comme un indicateur du degré de saturation de l'eau par rapport au carbonate de calcium. Il est défini comme la différence entre le pH réel de l'eau et le pH de saturation (pHs) donné par la formule suivante (équation 03) (Elfil, 1999) :

$$LSI = pH - pHs \text{ (Equation 03)}$$

Selon la valeur de LSI, on peut qualifier si l'eau est entartrant ou agressive.

2.2.5. Carbonate de sodium RSC

C'est le Carbonate de Sodium Résiduel (RSC) qui donne une idée sur la quantité de carbonate et bicarbonate contenues dans l'eau d'irrigation. Il se calcule de la façon suivante (équation 04) (Landreau et Moniton, 1977) :

$$RSC \text{ (meq/l)} = [CO_3^{2-} + HCO_3^-] - [Ca^{2+} + Mg^{2+}]$$

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Température

La température est la principale caractéristique des eaux étudiées. La température varie entre 33,18 et 42,76°C, et montre une certaine variabilité d'un site à l'autre avec une moyenne de 39,21°C. La valeur minimale de la température est enregistrée dans la région d'El Faouar du gouvernorat du Kébili (33,18°C). Les eaux de Neffayet (Tozeur) présentent la valeur la plus élevée (42,76°C). Dans les autres régions la température varie entre 35,2 et 42,44°C. Ces eaux même refroidies présentent des températures plus ou moins élevées vu la période d'échantillonnage (mois d'Avril) et la mauvaise gestion du système de chauffage.

3.2. pH

Les valeurs de pH des échantillons d'eau varient de 7,51 à 7,88 avec une moyenne de 7,7. La valeur la plus élevée est relevée au niveau de la région de Neffayet (Tozeur). Dans tous les sites étudiés, les valeurs sont proches de neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin. Cette alcalinité est due probablement aux carbonates et bicarbonates (Rosset et al., 1999).

3.3. Conductivité Electrique (CE)

Les valeurs de la CE des eaux varient entre 3,4 et 18,53 mS/cm, qui correspondent à un total des sels solubles entre 2,1 g/l et 11,9 g/l. La CE maximale est enregistrée dans les deux sites de la région du Tozeur (El Hamma 1 et Neflayet) avec, respectivement, des valeurs de 10,21 et 18,53 mS/cm. Les valeurs de CE mesurées indiquent une minéralisation élevée qui dépassent les normes d'utilisation en agriculture de la FAO (1985). Cette grande étendue de variation avec un écart-type de 5,1 mS/cm prouve une hétérogénéité notable dans la distribution de la charge minérale des eaux géothermales qui peut être attribuée à des origines géologiques et lithologiques ou à d'autres facteurs comme l'hydrodynamique, la température et à l'exploitation intensive des nappes en période sèche.

3.4. Résidu Sec (RS)

Les valeurs de RS oscillent entre 2,6 et 11,9 g/l avec une moyenne de 4,48 g/l. Ces résultats reflètent des eaux fortement minéralisées. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les régions de Neflayet et El Hamma 1 (11,9 et 6,7 g/l) du gouvernorat du Tozeur qui se trouvent à la limite d'un matériau quaternaire constitué d'alluvions et des croûtes gypseuses et d'un matériau tertiaire. La valeur la plus faible est enregistrée au niveau de la région d'El Faouar (2,6 g/l), ceci peut être due à une infiltration des eaux de pluie dans les aquifères de cette zone ce qui entraîne une baisse de la minéralisation (OSS, 2008).

3.5. Evaluation du risque de salinisation

Le risque salin lié à l'utilisation de ces eaux est évaluée à partir de la CE. Les résultats indiquent que la totalité des eaux analysées est caractérisée par un pouvoir fort de salinisation (Fig. 3), et que l'irrigation par ces eaux engendre la salinisation des sols. Le processus d'évaporation ou d'infiltration de ces eaux engendre une concentration des sels en surface et une accumulation des sels en profondeur.

En effet, selon la classification de la FAO (1985), les eaux sont qualifiées comme des eaux assez salines. Selon Bradai et al. (2015), cette conductivité élevée est liée à deux principaux paramètres tels que la température des eaux géothermales et la quantité des éléments dissous.

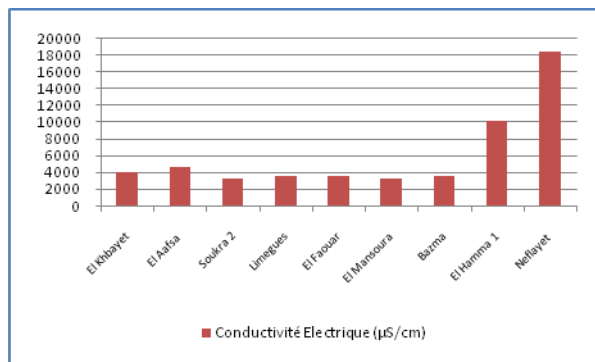


Fig. 3. Répartition de la CE des eaux de retour

3.6. Impacts de la salinité sur le sol

Les eaux de retour analysées sont trouvées assez salines, la salinité dépasse dans la majorité des sites les normes (2 g/l), pour atteindre dans la région du Neflayet 11,9 g/l. Cette salinité peut détériorer la qualité des sols et affecter leurs propriétés physiques à long terme. Ceci a été confirmé par les agriculteurs qui ont affirmé que l'irrigation répétée par ces eaux de retour des cultures sous serres et oasiennes, a entraîné l'accumulation des sels et a induit par conséquent la formation des croûtes blanches sur la couche superficielle des sols (Fig. 4). D'ailleurs, selon l'enquête menée par le CTCGP au niveau de la région de Ceddada (Tozeur), la plupart des agriculteurs de la zone ont abandonné leurs serres suite à la forte salinisation des sols entraînée par les eaux géothermales. Cette salinité a dépassé 15 g/l. Il est à signaler que les agriculteurs sont des petits exploitants incapables financièrement de renouveler leurs serres complètement entartrées à la base, et trouvent des difficultés à s'endetter auprès des fournisseurs.

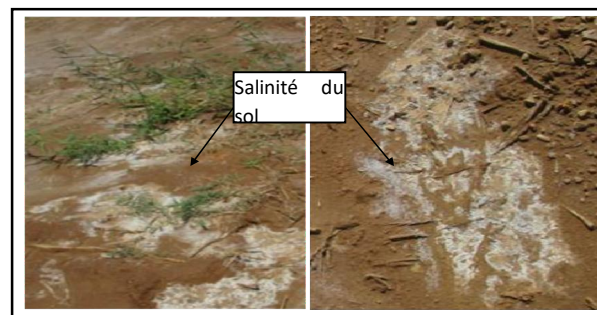


Fig. 4. Impact de la salinité sur le sol

3.7. Evaluation du risque d'alcalinisation

A partir des résultats obtenus, on constate que les valeurs du SAR oscillent entre 5,1 et 8,8 (Fig. 5). Les valeurs maximales sont enregistrées au

niveau de la région du Soukra 2 (Gabès), El Hamma 1 et Neflayet (Tozeur). Selon la classification de Wilcox, les eaux échantillonnées sont faiblement sodiques et présentent peu de danger d'alcalinisation des sols.

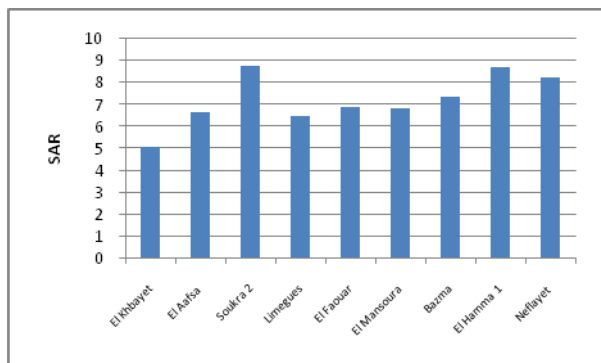


Fig. 5. Variation du SAR des eaux de retour du sud tunisien

D'après Aouidane et Belhamra (2014), les risques d'alcalinisation sont dus à l'importance de la concentration en Na⁺ à l'état dissous dans le sol qui remplace les ions Ca²⁺ et Mg²⁺ adsorbés sur les argiles, ceci provoque ainsi la dispersion des particules des sols, le bouchage des pores et réduit en conséquence le taux d'infiltration de l'eau dans le sol.

3.8. Classe des eaux d'irrigation

Les valeurs du SAR et de la conductivité correspondante de chaque point d'eau sont reportées sur un graphique semi-logarithmique (diagramme de Wilcox). Après avoir reporté ces valeurs sur ce diagramme (Figure 06), on constate que la majorité des eaux appartiennent à la classe C4-S2. Cette classe se caractérise par une qualité mauvaise. La classe C4-S3 concerne les régions de Soukra 2 (Gabès), Bazma (Kébili) et El Hamma 1 et Neflayet (Tozeur). Cette classe correspond à une qualité des eaux très mauvaise et elles ne sont utilisées que dans certaines circonstances.

3.9. Indice de Saturation de Langelier (LSI)

Les valeurs de LSI des échantillons analysés varient de 0,41 à 1,33 (Fig. 7). Pour tous les échantillons, ces indices sont supérieurs à zéro, ce qui confère un effet entartrant aux eaux de retour. Le calcium et le magnésium sont deux éléments responsables de la formation du tartre (Elfil, 1999), ce qui explique alors la valeur la plus importante du LSI au niveau de la région du Neflayet où s'est relevée les concentrations les plus élevées en calcium et magnésium.

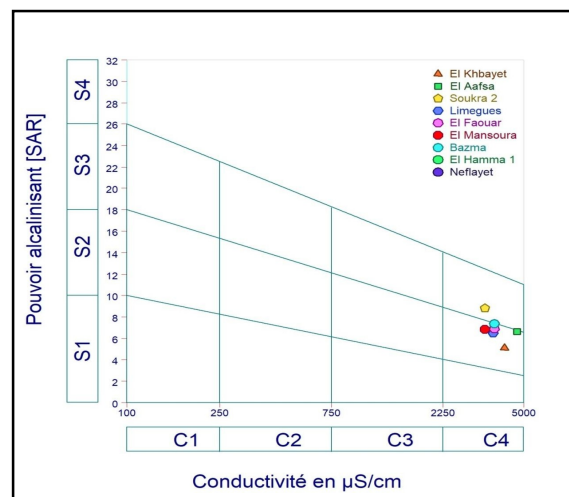


Fig. 6. Diagramme de Wilcox

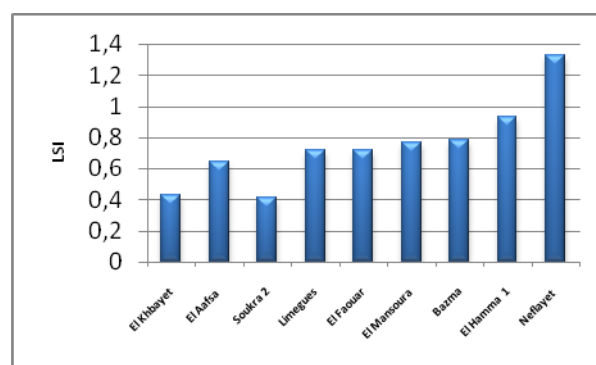


Fig. 7. Variation de LSI des eaux échantillonnées

3.10. Indice de Carbonate de Sodium Résiduel (RSC)

L'analyse des résultats de calcul de RSC a révélé que les eaux de retour ont des valeurs qui sont extrêmement inférieures à zéro (Fig. 8), et par le fait même inférieur à 1,25 meq/l. Ces eaux ne présentent pas des risques liés aux bicarbonates et carbonates.

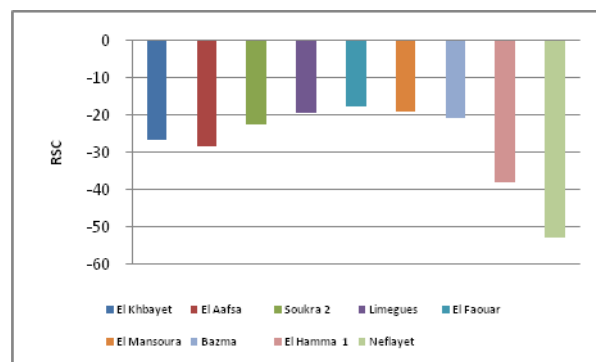


Fig. 8. Variation du RSC des eaux de retour

3.11. Dureté Totale (TH)

A la lumière des résultats obtenus, les eaux échantillonnées présentent des valeurs de dureté (TH) qui varient entre 105 F° et 277 F° (Fig. 9), ces échantillons sont qualifiés comme eaux très dures (FAO, 1985). Cette grande dureté présente comme conséquence le colmatage et le bouchage des conduites suite à la formation des couches de tartre formées principalement du carbonate de calcium (CaCO₃).

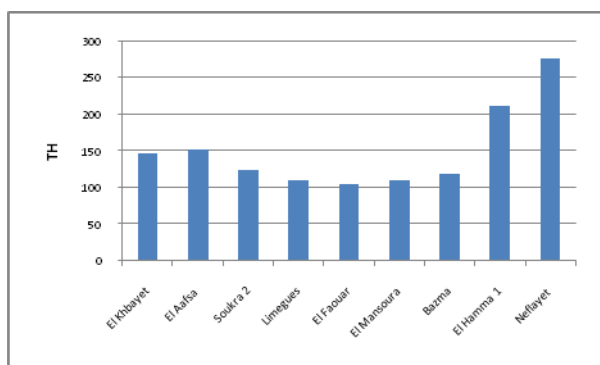


Fig. 9. Variation de la Dureté Totale (TH)

4. CONCLUSION

Les régions du sud tunisien souffrent de plusieurs problèmes notamment la mauvaise qualité des ressources en eau ainsi que la forte demande résultante des activités agricoles.

La présente étude vise l'évaluation de la qualité des eaux de retour provenant des systèmes de chauffage des serres géothermales des neuf sites géothermiques des trois gouvernorats du sud tunisien.

L'interprétation des résultats analytiques a montré que les eaux de retour de la nappe de CI sont caractérisées par une température variant de 33,18 à 42,76°C. Les eaux de pH proche de la neutralité profitent d'un caractère plus au moins alcalin avec une valeur moyenne de 7,7.

Les eaux se distinguent par deux classes de risque d'alcalinisation allant du moyen (classe S2) pour les cinq zones d'El Khbayet, El Aafsa (Gabès), Limegues, El Mansoura et El Faouar (Kébili), au fort (classe S3) détecté dans les quatre zones suivantes :Soukra2 (Gabès) Bazma (Kébili), El Hamma 1 et Neflayet (Tozeur). Quant au risque de salinisation, la totalité des eaux échantillonnées se caractérisent par une salinité assez élevée. La valeur maximale est observée au niveau de la zone de Neflayet (Tozeur) soit près de 18,53 mS/cm qui correspond à un total des sels solubles de 11,9 g/l. D'autres indices étaient utilisés pour évaluer aussi la qualité des

eaux en vue d'utilisation en irrigation comme le RSC et LSI, qui ont mis en évidence l'effet entartrant des eaux de retour sur les équipements agricoles (conduites d'irrigation, agrothermes, bassin d'irrigation, etc.).

Pour faire face à ses contraintes, certains agriculteurs gèrent les problèmes d'engorgement et de salinité, et interviennent par des pratiques d'amendements sableux et organiques ainsi que d'autres pratiques culturales. D'autres, par contre, restent hésités quant à ces techniques en raison de leur coût élevé.

RÉFÉRENCES

- Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). (2008). Système Aquifère du Sahara Septentrional (SAAS). Gestion concentrée d'un bassin transfrontalier, collection n°1. p51.
- Hadded M. (2013). Evaluation de l'utilisation des eaux géothermiques pour la production des légumes sous abris serre à Nefzaoua (Sud-ouest tunisien) et impératifs de réhabilitation. Revue des régions arides n°32. pp 3-14.
- Eloumi M. (2016). La gouvernance des eaux souterraines en Tunisie. 121 p.
- Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). (2002). Système Aquifère du Sahara Septentrional (SAAS). Synthèse hydrogéologie. Vol 2, 261 p.
- Bradai A., Douaoui A. et Marlet S. (2015). Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, Algérie. 7 p.
- Elfil H. (1999). Contribution à l'étude des eaux géothermales du sud tunisien : étude de mécanismes et de la prévention des phénomènes d'entartrage. Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse. 168 p.
- Landreau L., et Monition L. (1977). Nouvelle évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation. Rapport géologique. Bureau des recherches géologiques et minières. 25 p.
- Rosset R., Douville S., Ben Amor M. et Walha K. (1999). L'inhibition de l'entartrage par les eaux géothermales du sud tunisien. Revue des sciences de l'eau. Vol 12 (4), pp 753-764.
- DGAT. (2013). Direction Générale de l'Aménagement du Territoire. Rapport final. ATLAS du gouvernorat de Tozeur. 111 p.
- FAO. (1985). La qualité d'eau dans l'irrigation. Bulletin n°29 de l'organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture.