



Etude de l'effet de l'irrigation avec des eaux magnétisées sur la croissance, le rendement du piment et la salinisation du sol dans un environnement aride

Effect of magnetic water irrigation on growth, yield of pepper and soil salinization in an arid environment

Ibtihel Jamil, Fathia EL Mokh*, Warda Tlig & Kamel Nagaz

Laboratoire d'Aridoculture et Cultures Oasiennes, Institut des Régions Arides de Médenine, 4119 Tunisia.

Article info

Histoire :
Reçu : 02 Octobre 2023
Accepté : 03 Novembre 2023

Mots-Clés : Eau salée, eau magnétisée, piment, rendement, aride.

Résumé

Le présent travail concerne la gestion des eaux salées en irrigation de la culture de piment à travers le pratique de pilotage d'irrigation et l'utilisation de technique de magnétisation afin de réduire les risques de dégradation du sol et d'améliorer la productivité de culture. A cet effet, une expérimentation a été menée dans une parcelle expérimentale située dans la région de Médenine, Tunisie. La culture du piment variété Baklouti a été transplanté sur un sol sableux et irriguée au goutte à goutte avec des eaux ayant une salinité de 7,3 dS/m. Trois traitements d'irrigation sont considérés. Deux traitements magnétiques consistent à traiter l'eau salée par un champ magnétique en utilisant deux magnétiseurs Delta-Water (DW) et Magiko. Dans le troisième traitement (Témoin), l'eau n'a pas été traitée. Les mesures effectuées ont porté sur l'humidité et la salinité du sol, l'indice foliaire (LAI), le poids frais, et la teneur relative en eau durant le cycle de développement de la culture. A la récolte, le rendement et ses composantes (nombre des fruits /plante, poids de fruits/plante) ont été évalués.

Les résultats montrent que le pilotage d'irrigation adapté aux conditions réelles maintient l'humidité du sol proche à la capacité au champ pour les trois traitements. Par ailleurs, le pilotage adopté et les quantités des pluies reçues ont permis de réduire la salinité du sol. Les traitements magnétiques améliorent la croissance de la culture avec l'augmentation de l'indice foliaire. L'augmentation de la croissance est due à une amélioration significative de la teneur relative en eau de la culture. Ces techniques résultent, également, en une augmentation du rendement (20 et 22.4 t/ha) et ses composantes et une amélioration du calibre des fruits qui atteint 10.3 g pour les plantes traitées par Magiko comparé à 8.8 et 8.3 g, respectivement, pour DW et témoin. Ainsi, l'utilisation du traitement magnétique de l'eau en agriculture pourrait constituer une technique prometteuse dans la valorisation des eaux salées qui reste à confirmer par des expérimentations à long terme et dans différentes conditions.

* Auteur correspondant
elmokh.fa@gmail.com

Article info

Article history:
Received: 02 October 2023
Accepted: 03 November 2023

Abstract

This study examines the impact of magnetized irrigation water on pepper production and soil salinization in the arid zones of southern Tunisia. The aim of

Keywords: Saline water, magnetized water, pepper, yield, arid, irrigation scheduling.



Copyright©2023 JOASD

*Corresponding author
elmokh.fa@gmail.com

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

this is to better manage and enhance the use of saline water in the irrigation of pepper crop through irrigation scheduling and the use of magnetic treatment in order to reduce the risks of soil degradation and improve crop productivity. To this end, a field experiment was carried out in the region of Medenine. Pepper crop (cv. Baklouti) was transplanted on a sandy soil and drip-irrigated with a well water having an ECi of 7.3 dS.m⁻¹. Three irrigation treatments were considered. Two magnetic treatments consist of treating irrigation water with a magnetic field using two magnetizers Delta-Water and Magiko. For the third treatment (control), the water was not treated. Measurements includes soil moisture and salinity, leaf area index (LAI), relative water content. At harvest, the yield and its components (number of fruits/plant, weight of fruits/plant) were evaluated.

Results show that the practice of irrigation scheduling adapted to actual conditions keeps the soil moisture close to the field capacity for the three treatments. In addition, the irrigation management adopted and the amounts of rain received reduce the soil salinity. Magnetic treatments improve crop growth through the increase of leaf index. The increased growth is due to a significant improvement in the relative water content of the crop. These techniques result also in an increase in yield (20 and 22.4 t/ha) and its components and an improvement in fruit seize which reaches 10.3 g for plants treated with Magiko compared to 8.8 and 8.3 g, respectively, for DW and control treatments. The use of magnetic field to treat irrigation water could constitute a promising technique that allows using low quality water in agriculture while these results should be confirmed by long-term experiments and under different conditions.

1. INTRODUCTION

La Tunisie ne dispose que de faibles ressources en eau de plus en plus sollicitées. En effet, les trois quarts de son territoire sont semi-arides ou arides. Dans les régions arides, l'eau est le facteur limitant pour la production agricole en général et de la production maraîchère en particulier. Ce déficit hydrique, posé actuellement avec acuité, impose l'utilisation des eaux salées en irrigation. D'ailleurs, l'irrigation de plusieurs cultures sensibles et tolérantes aux stress hydrique et salin notamment les cultures maraîchères se développe autour des puits de surface qui exploitent les nappes phréatiques ayant une salinité supérieure à 2-3 g/l.

Le piment est une culture à cycle long et de haute valeur nutritive et économique. Cette culture, considérée sensible à la salinité et au déficit hydrique, est pratiquée en irrigué dans les exploitations privées sure des puits de surface. Toutefois, la pratique de cette culture dans les régions arides nécessite une gestion appropriée de l'eau et de la salinité.

La réponse des cultures aux apports hydriques a été étudiée pour plusieurs cultures afin de déterminer les stratégies d'irrigation permettant d'optimiser le rendement et la productivité de l'eau (Ayars et al., 1991; Bustan et al., 2004; Zhang et al., 2004; Ali et al., 2007; El Mokh et al. 2021, 2022). Il a été démontré qu'un pilotage d'irrigation optimum nécessite une estimation précise de l'ETc (Doorenbos and Pruitt, 1977). D'autre part, le système goutte à goutte est considéré parmi les méthodes d'irrigation les

plus efficaces pour apporter l'eau aux plantes cultivées, améliorer le rendement, la productivité de l'eau et contrôler la salinisation du sol (Batchelor et al., 1996; Ayars et al., 1999; Karlberg et Frits, 2004). Il permet d'économiser des quantités importantes d'eau d'irrigation si une gestion appropriée de l'irrigation est pratiquée. Toutefois, l'irrigation au goutte à goutte des cultures adopté par les agriculteurs reste empirique et ne tiennent pas compte des besoins en eau réels, et l'application de l'eau souvent dépasse les besoins de cultures. Ainsi, il est indispensable d'évaluer la réponse de la culture de piment à l'eau dans des conditions de disponibilité en eau limitée et cultivée sur des sols sableux irrigués au goutte à goutte.

Outre le problème chronique du manque d'eau, l'agriculture irriguée dans les régions arides est soumise au danger d'accumulation de sels dans les sols vu la qualité des eaux utilisées et la forte demande climatique. Par conséquent, le recours à des nouvelles technologies basées sur la magnétisation des eaux peut constituer une solution permettant la valorisation de ces eaux en agriculture. Cette technologie de l'eau magnétique (MW) est l'une des techniques écologiques et rentables, récemment utilisées en irrigation des cultures pour améliorer leur croissance et rendement (Ali et al., 2014). Ces techniques se basent sur un traitement physique de l'eau par un champ magnétique et présente un effet sur les propriétés physiques, chimiques et bactériologique de l'eau (Cai et al., 2009). De nombreux chercheurs ont signalé les effets

bénéfiques du MW dans le secteur agricole. En effet, les travaux de recherche ont été orientés en grande partie vers l'effet du traitement magnétique de l'eau sur la croissance et la physiologie des plantes, ainsi que le rendement en termes de quantité et de qualité (Esmaeilnezhad et al., 2017; Fakhri et al., 2018 ; Yano et al., 2004 ; Nasher, 2008 ; Hamed, 2014 ; Elaoud et al., 2016). D'autre part, des études récentes ont rapporté que l'eau magnétisée peut augmenter la productivité de l'eau et diminuer le risque de salinisation des sols à travers la réduction de la taille des cristaux des sels de façon qu'ils deviennent plus absorbés par les racines (Ajitkumar, 2014; Taimourya et al., 2015). Cependant, les travaux sur l'utilisation de ces techniques sont limités dans des conditions où la salinité de l'eau et du sol est relativement élevée.

Le présent travail a été réalisé pour évaluer les effets de l'irrigation avec des eaux salées traitées par un champ magnétique sur la productivité du piment et la salinisation du sol dans le but de réduire les risques de dégradation du sol et d'améliorer la productivité de l'eau.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Site expérimental

Le travail expérimental a été réalisé dans une parcelle expérimentale avec une superficie de 704 m² située dans le sud-est de la Tunisie. Cette zone se caractérise par un climat aride inférieur. Les données climatiques collectées durant le

cycle de croissance sont présentées dans le Tableau 1. Les quantités de pluies reçues pendant les mois de mai, octobre, septembre et novembre sont, respectivement, de 23, 17,4, 105 et 16 mm.

Le sol est de texture sableuse, il est constitué de 80,6% de sables, de 12,4% d'argile et de 5,7% de limon et il présente une faible teneur en matière organique (< 8 g/kg). Il est caractérisé par une humidité à la capacité au champ de 12,6% et une humidité au point de flétrissement permanent de 4,30%. La densité apparente du sol est de 1,5 g/cm³. L'eau totale disponible pour une profondeur de 0,6 m est de 75 mm. La salinité initiale du sol se situe entre 7,6 et 9,8 dS/m.

2.2. Dispositif expérimental

Les plants du piment variété Baklouti ont été transplantés le 10 avril 2019 en lignes distantes de 50 cm avec un espacement entre plants de 40 cm. La parcelle est subdivisée en trois blocs différents espacés de 1 m, chaque bloc comporte 20 lignes. La méthode adoptée pour l'irrigation est la goutte à goutte. L'eau d'irrigation provenant d'un puits de surface a une salinité de 7,3 dS/m dont les propriétés chimiques sont présentées dans le Tableau 2.

Le dispositif expérimental adopté est le complètement aléatoire. Pour comparer l'effet de l'application des techniques de traitement de l'eau par un champ magnétique, trois traitements et trois répétitions ont été considérés (Fig. 1). Les traitements considérés sont les suivants :

Tableau 1. Température et évapotranspiration de référence (ET_o) mensuelles (IRA, 2019).

Table 1. Monthly temperature and reference evapotranspiration (ET_o) (IRA, 2019).

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
T °C	18,9	21,0	28,0	29,5	29,4	27,0	22,4	14,8
ET _o (mm)	123,6	144,9	181,5	193,5	177,9	130	94,3	52,2

Tableau 2. Composition chimique de l'eau d'irrigation (méq/l).

Table 2. Chemical composition of irrigation water (meq/l).

CEi (dS/m)	RS (g/l)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ³⁻
7,3	5,37	8,36	17,5	16,0	38,0	0,56	57	3,7

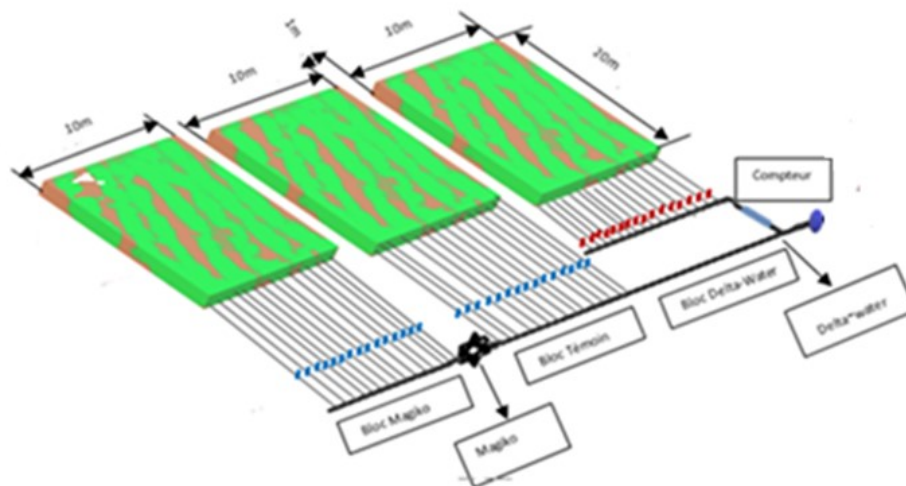


Fig. 1. Dispositif expérimental.

Fig. 1. Experimental design.

Le premier traitement (irrigation avec des eaux traitées à travers un magnétiseur Delta-water) : L'eau est acheminée de la station de tête vers les parcelles par une conduite principale en polyéthylène de 75 mm de diamètre. Ensuite, l'eau passe à travers un champ magnétique créé à l'intérieur d'un Magnétiseur commercial «Delta Water», fabriqué avec une technique japonaise ayant une force magnétique de 13500 Gauss. L'eau est traitée en passant une seule fois à travers le Magnétiseur. Delta Water est installé, en amont de la parcelle traitée. Ainsi, l'eau qui circule dans les goutteurs se trouve déjà traitée. Le deuxième traitement (irrigation avec des eaux non traitées) : l'eau de puits passe mais sans aucun traitement physique ou chimique. Celui-ci constitue le témoin.

Le troisième traitement (Irrigation avec des eaux traitées à travers un magnétiseur Magiko): l'eau de puits est traitée physiquement en l'exposant à un champ magnétique créé à l'intérieur d'un Magnétiseur commercial « Magiko » Y- 2M à base de NdFeB, avec une force de 12800 Gauss produit par la société Dailymag.

2.3. Pilotage d'irrigation

Un modèle de pilotage des irrigations a été développé selon l'approche de la FAO-56 pour estimer l'ETc et prédire le pilotage d'irrigation en fonction des données climatiques, des stades de croissance de la culture et de la disponibilité de l'eau dans le sol. L'irrigation est pratiquée lorsque le cumul de l'ETc atteint le seuil de déclenchement de l'irrigation définie comme étant une fraction de l'eau totale disponible dans

la zone racinaire. Ce modèle permet de calculer l'évapotranspiration de la culture journalière (ETc) en utilisant l'évapotranspiration de référence (ETo) et le coefficient cultural (Kc). Les valeurs journalières de l'évapotranspiration de référence (ETo) sont collectées en temps réel de la station climatique installée près de la parcelle expérimentale. Les données du sol et de la culture utilisées pour le calcul de l'évapotranspiration de la culture sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Données du sol et de la culture utilisées pour le calcul de l'ETc

Table 3: Soil and crop data used for ETc calculation

Paramètre	Valeur
Kcini / Kcmid / Kcend	0, 15/1,13/0,88
Période de culture	10 Avril 2019 - 11 Novembre 2019
Profondeurs d'enracinement initiale/ maximale (m)	0,15/0,60
Fraction de tarissement P (%)	40
Eau totale disponible (mm/m)	75

2.4. Paramètres étudiés

L'humidité du sol a été mesurée par la méthode gravimétrique et par la sonde TDR tous les 20 cm jusqu'à une profondeur de 60 cm et à différentes périodes de cycle.

Pour déterminer la salinité du sol, des échantillons du sol ont été pris avant l'installation de la culture, durant le cycle de la culture et à la récolte, et analysés pour déterminer la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (CEe).

L'indice foliaire (LAI) et la teneur relative en eau des feuilles ont été mesurés pour évaluer l'effet de traitement magnétique sur la croissance et l'état hydrique de la plante. En Effet, l'indice foliaire a été mesuré par une méthode restrictive. Des échantillons de la partie arienne du piment ont été collectés manuellement chaque mois durant la période de culture. Un appareil de surface foliaire a été utilisé (LI-COR-3100C) pour mesurer l'indice foliaire (LAI) des échantillons du piment collectés. La teneur relative en eau est déterminée selon la méthode décrite par Barrs et Weatherley (1962) et Scippa et al. (2004).

La teneur relative en eau (TRE) est calculée selon Clarck et Mac-Caig (1982) comme suit :

$$TRE (\%) = [(PF-PS) / (PT-PS)] * 100 \quad (1)$$

Où PF représente le poids frais, PT est le poids Turgescence (la même feuille placée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée pour la réhydratation pendant 24h à 4°C), PS est le poids sec et déterminé après le passage de l'échantillon dans une étuve à 80°C pendant 48 heures.

A récolte, les plantes de chaque répétition ont été collectées à la main pour déterminer le rendement des fruits frais et le nombre de fruits/plante durant deux cueillettes : la première le 12 septembre 2019 et la deuxième le 29 octobre 2019.

Un suivi de l'irrigation a permis, également, de déterminer les apports d'eau d'irrigation pour chaque traitement. Ces données ont été utilisées pour évaluer la productivité de l'eau (WP) définie comme étant le rapport entre le rendement obtenu et la quantité d'eau, que ce soit de l'eau d'irrigation ou celle totale reçue y compris les précipitations :

$$WP (\text{kg/m}^3) = \text{Rendement} (\text{kg/ha}) / \text{Apport totale d'eau} (\text{m}^3/\text{ha}) \quad (2)$$

2.5. Analyse statistique

L'effet des traitements magnétique a été étudié en effectuant une analyse de la variance pour les paramètres étudiés. Le test LSD (Least Significant difference) à été utilisé à un seuil de 5% pour déterminer la différence entre les traitements. L'analyse a été effectuée au moyen d'un logiciel Statigraphic 18.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Besoins en eau d'irrigation

Les apports d'eau d'irrigation ont été estimés en tenant compte des besoins en eau de la culture (ETc) et des événements pluvieux. L'évapotranspiration de la culture de piment (ETc) dépend de la demande climatique (ETo) et du coefficient cultural (Kc). La Fig. 2 illustre l'évolution de l'ETo et l'ETc ainsi que les quantités de l'irrigation et des précipitations durant le cycle de développement du piment.

Les valeurs de l'ETo journalières, mesurées par une station métrologique proche de la parcelle, sont comparables. Cependant, une légère diminution a été enregistrée durant la phase finale de production (Octobre-Novembre). Les valeurs maximales de l'ETo mesurées durant le cycle de la culture sont observées pendant le mois de juin. Le cumul de l'ETo mesurée durant la période de culture est de 1194 mm.

La transplantation a eu lieu en avril, les valeurs de l'ETc sont relativement faibles durant la phase initiale (avril-début mai) qui est caractérisée par une faible croissance végétative et demande évaporative. L'ETc augmente d'une manière croissante, durant la phase de développement, et atteint une valeur moyenne de 6,8 mm/j pendant le stade mi-saison. Les valeurs élevées observées durant la période de mi-saison correspondent à la période de forte demande évaporative (juillet-août) et de couvert végétal maximal. Durant la phase finale, l'ETc diminue d'une manière décroissante suite à la réduction de l'évaporation directe du sol pour les mois d'octobre et novembre.

Les quantités d'eau d'irrigation et de pluie sont, respectivement, de 761,5 et 163 mm. La majorité des événements pluvieux ont été enregistrés pendant le mois d'octobre (105 mm) et au début de la saison durant le mois de Mai (23,4 mm). Ces quantités de pluie ont contribué surtout au lessivage des sels accumulés dans le sol.

3.2. Humidité du sol

La Fig. 3 présente l'humidité du sol durant le cycle de la culture mesurée par la sonde TDR (time domain reflectomètre) et la méthode gravimétrique. Nous observons que les apports

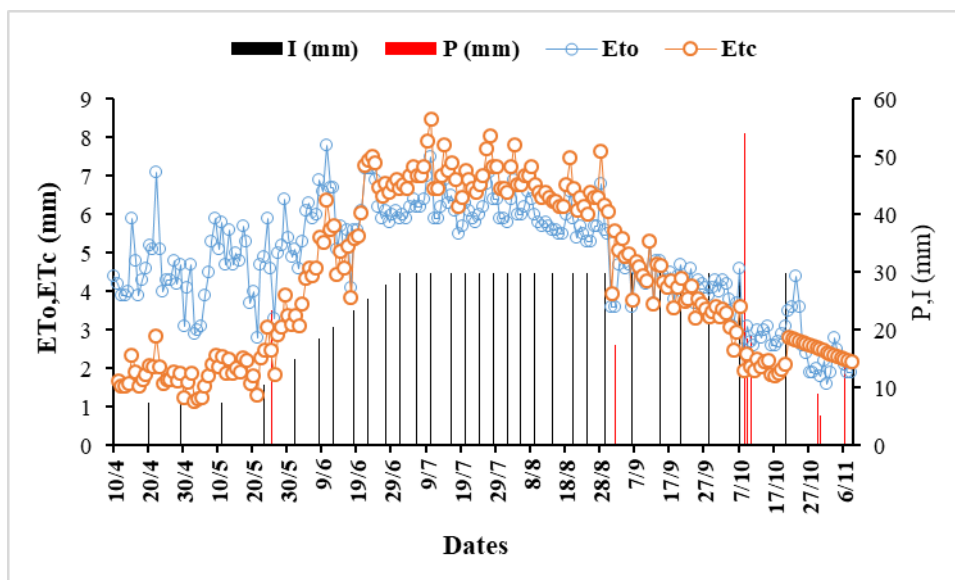


Fig. 1. Evolution de l'ETo et de l'ETc , Irrigation (I, mm) et les précipitations (P, mm) durant la période de culture du piment.

Fig. 2. Evolution of ETo and ETc , Irrigation (I, mm) and precipitation (P, mm) during the pepper growing period.

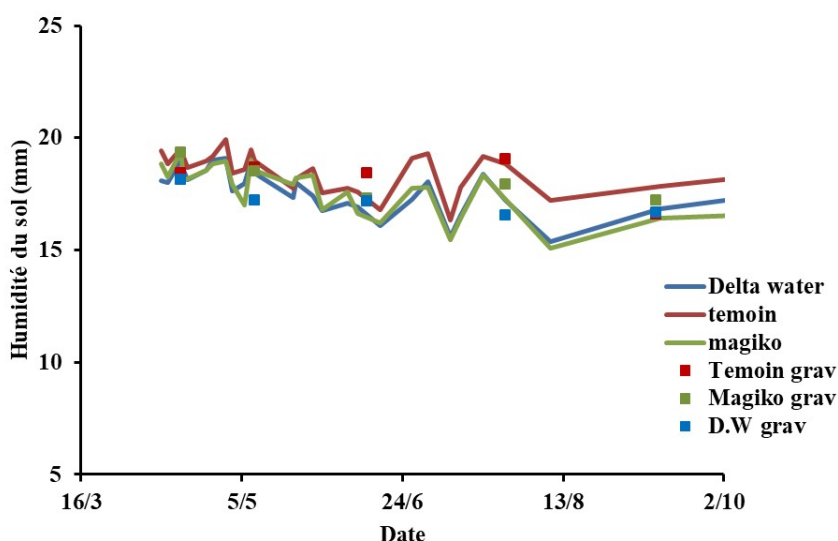


Fig. 3. Humidité du sol mesurée par la méthode gravimétrique et par TDR sous les différents traitements d'irrigation.

Fig. 3. Soil moisture measured by TRD and gravimetric method for the different irrigation treatments.

hydriques semblent être efficaces pour compenser les pertes par ETc et maintenir l'humidité de sol proche à la capacité au champ. Le pilotage d'irrigation basé sur les besoins en eau de la culture et les caractéristiques du sol permet d'adapter les apports d'eau en termes des quantités et des intervalles d'irrigation au changement des besoins de culture pendant son cycle de développement. La comparaison de l'évolution de l'humidité du sol montre un bon accord entre les deux méthodes avec un

coefficient de détermination r^2 de 0,81 (Fig. 4) et les différences entre les deux méthodes ne semblent pas être significatives. L'humidité du sol observée pour la parcelle témoin qui n'a pas été soumise à aucune magnétisation est relativement plus élevée que celle pour les deux autres parcelles irriguées par des eaux magnétisées. Cette différence peut être expliquée par la difficulté d'absorption d'eau pour les plantes irriguées par des eaux salées non traitées.

3.3. Salinité du sol

Les mesures de la salinité du sol ont été effectuées à différentes périodes de cycle de la culture du piment. Les valeurs moyennes de la salinité du sol irriguées à l'eau normal et à l'eau magnétisée sont présentées dans la Fig. 5.

Les valeurs de la salinité du sol initiale sont différentes pour les trois parcelles élémentaires, et elles sont de l'ordre de 9,8, 8,5 et 7,6 dS/m, respectivement pour les parcelles traitées par Delta Water (D.W), Magiko et la parcelle témoin. Les valeurs de la salinité du sol à la récolte sont

moins élevées que celles mesurées à la transplantation. Elles sont de l'ordre de 4,8, 4,9 et 5,1 dS/m pour les traitements DW, Témoin et Magiko, respectivement. Pour le traitement irrigué à l'eau traitée par DW et Magiko, la C_{Ee} passe, respectivement, de 9,8 et 8,5 à la transplantation au mois d'Avril à environ 4,8 et 5,1 dS/m à la récolte. Ces réductions importantes de la salinité du sol peuvent être attribuées aux événements pluvieux enregistrés au début de cycle et à la récolte (163 mm) qui semblent garantir un lessivage des sels.

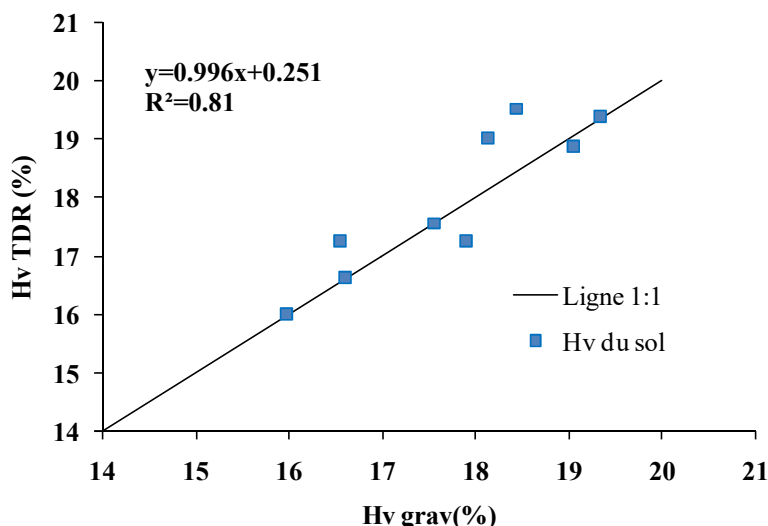


Figure 4 : Humidité volumétrique dans la zone racinaire mesurée par la méthode gravimétrique et la sonde TDR sous les différents traitements d'irrigation.

Figure 4: Volumetric water content in the root zone measured by the gravimetric method versus TDR probe under the different irrigation treatments.

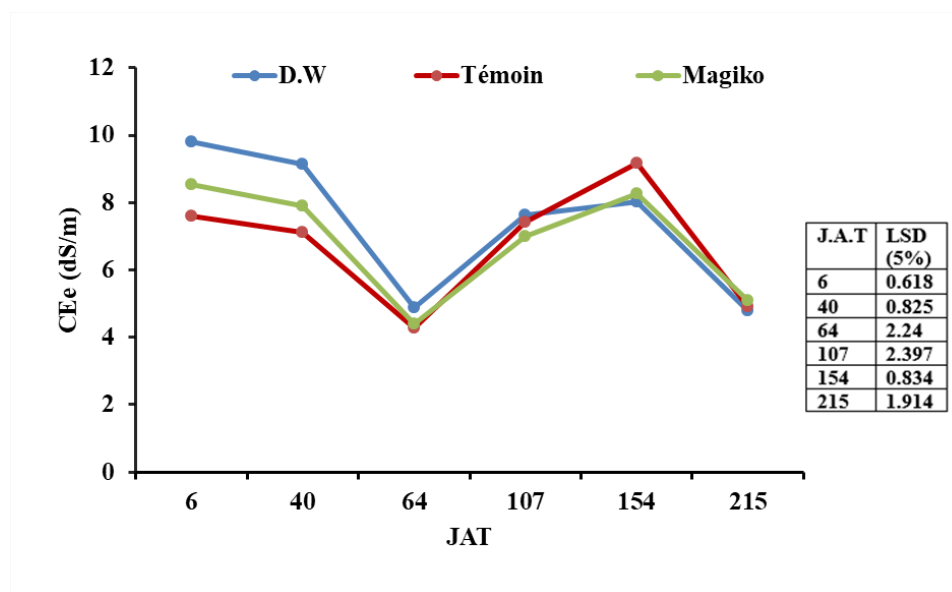


Fig. 5. Evolution de la salinité du sol (C_{Ee}, dS/m) sous les différents traitements d'irrigation.

Fig. 5. Soil salinity during the growing period (C_{Ee}, dS/m) under different irrigation treatments.

La valeur de la salinité du sol irriguée à l'eau non traitée, mesurée le 155 JAT correspondant à la première récolte, est significativement élevée à un seuil de 5% par rapport à celle des traitements magnétisés. Ce fait est probablement dû à l'utilisation des techniques de magnétisation de l'eau qui semblent contrôler la salinité du sol irrigué par des eaux salées. En effet, plusieurs études ont montré que l'eau magnétique augmente le lessivage des sels solubles en excès et dissout légèrement les sels solubles (Hilal et Helal, 2000; Al-Khazan et al., 2011; Abdelnebi, 2017).

3.4. Croissance et l'état hydrique de la plante

3.4.1. Indice foliaire

La Fig. 6 présente les valeurs de l'indice foliaire (LAI) mesurée à différentes périodes de cycle de développement du piment. Au début du cycle, la croissance végétative est relativement lente pour les trois traitements due aux valeurs élevées de salinité initiale du sol et des températures enregistrées durant la première semaine après la transplantation. Par la suite, elle augmente progressivement et atteint des valeurs importantes à la récolte qui se situent entre 3,3 et 4,1 m²/m².

L'évolution de l'indice foliaire varie selon les traitements d'irrigation. Les plantes irriguées par des eaux traitées magnétiquement présentent la croissance végétative la plus importante ; tandis que celles irriguées par des

eaux non traitées présentent une couverture du sol moins importante pendant les périodes de mesure.

Les différences observées entre les traitements sont attribuées à l'effet stimulant de l'eau magnétique sur la croissance des plantes tel qu'a été mentionné par Yano et coll (2004) qui ont montré que l'effet stimulant de l'eau magnétisée joue un rôle dans l'absorption et l'assimilation accrues des nutriments, augmentant ainsi la croissance des plantes. Plusieurs auteurs ont signalé l'importance de l'eau magnétisée sur la croissance des cultures. Hilal et Helal (2000) et Reina et al. (2002) ont rapporté une augmentation significative du taux d'absorption d'eau et une augmentation de la masse totale de la laitue traitée avec de l'eau magnétisée. Hozayn et Qados (2010) et Abdelnebi (2017) ont indiqué une augmentation en taille des plantes de pois chiches irriguées avec de l'eau magnétisée. Alors que pour les eaux salines non traitées, le stress salin entraîne un retard dans la croissance végétative qui se traduit par une réduction de la hauteur de la plante et une diminution de la surface foliaire. Selon Hamza (1977), l'effet des sels se traduit par une faible ramification et une diminution du diamètre de racines et des tiges, une diminution du nombre des nœuds et un raccourcissement des entre nœuds et une réduction du nombre de feuilles et de la surface foliaire.

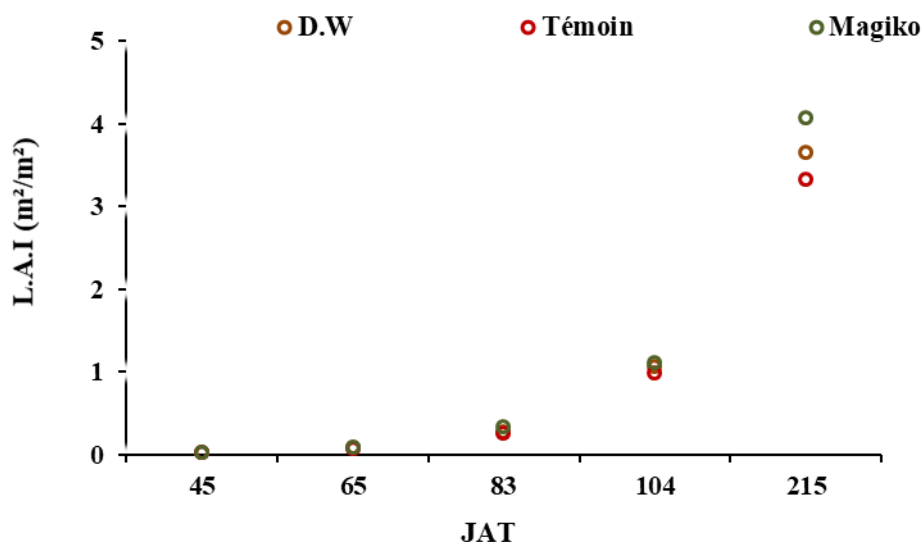


Fig. 6. Evolution de la surface foliaire pendant le cycle de la culture du piment.

Fig. 6. Leaf area index during peper crop cycle.

3.4.2. Teneur relative en eau (TRE)

Les valeurs de TRE les plus élevées sont observées pour les plantes irriguées par des eaux magnétisées par le dispositif Magiko suivi par celles traitées par Delta Water. Les plantes irriguées par les eaux non magnétisées présentent les valeurs de TRE les plus faibles. Sous ces traitements, les plantes valorisent mieux les apports d'eaux salées à travers une augmentation de taux d'absorption. Ce résultat est confirmé par Marweni (2015) pour la culture de tomate. La différence entre les plantes traitées par l'eau magnétisée et le témoin est significative à un seuil de 5%. Par contre, la différence entre les deux types de magnétisation est non significative. La faible valeur de la teneur relative en eau observée pour les plantes non traitées malgré l'humidité du sol relativement

élevée (Fig. 7) peut être expliquée par la concentration élevée des sels solubles qui empêche les racines d'absorber l'eau et les éléments nutritifs.

3.5. Rendement et ses composantes

L'effet des traitements magnétiques sur le rendement a été déterminé à travers des critères analysés à l'échelle de la plante à savoir le rendement de fruits, le nombre des fruits par plante et le poids de fruit. Les composantes du rendement étudiées ont été soumises à une analyse statistique en utilisant le test de la plus petite différence significative "LSD" à un seuil de 5%. Les données concernant le rendement et ses composantes sont présentées dans le Tableau 4. Le nombre et le poids de fruits varient avec les traitements pour les deux cueillettes, et le traitement magnétique de l'eau a permis

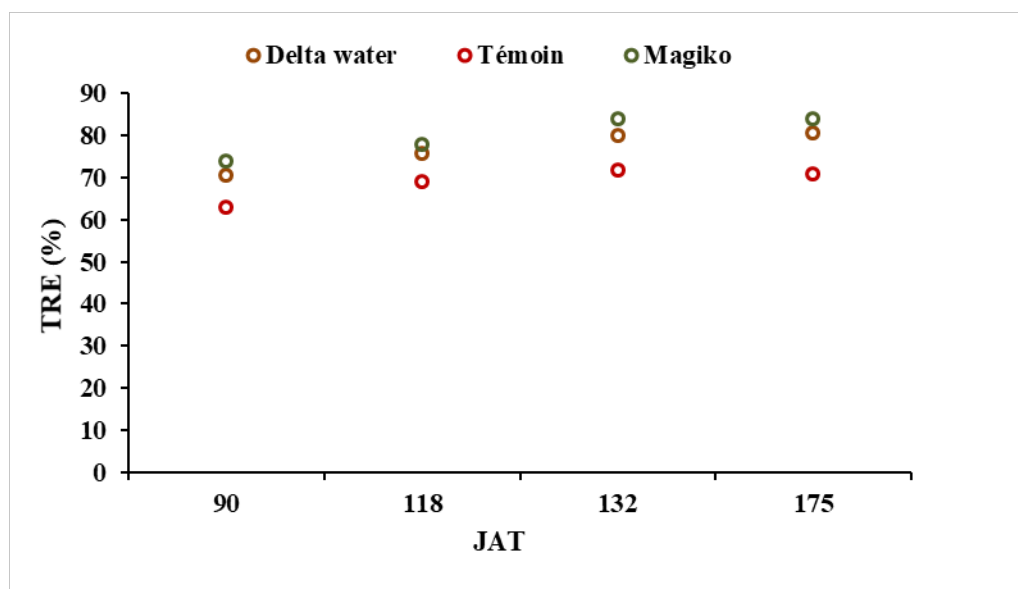


Fig. 7. Teneur relative en eau des feuilles (TRE) des différents traitements.
Fig. 7. Relative water content of the leaves (TRE) of the different treatments.

Tableau 4. Rendements et ses composantes et la productivité de l'eau d'irrigation (IWP) pour le rendement de piment sous les différents traitements d'irrigation.

Table 4. Yields, its components and irrigation water productivity (IWP) for pepper yield under different irrigation treatments.

	Poids unitaire de fruit (g)		Nombre de fruits/plante		Rendement (t/ha)	IWP (kg/m3)	Taux d'augmentation du WP
	Cueillette 1	Cueillette 2	Cueillette 1	Cueillette 2			
Témoin	7,603	8,334	19,33	19,67	19,46	2,5	-
Magiko	9,512	10,323	23	20,67	22,48	3	1,04
Delta water	8,301	8,84	21	20,33	20,014	2,6	1,2
LSD 5%	0,55	1,27	2,4	6,725	2,41	0,31	

d'obtenir les valeurs les plus élevées. Pour la première cueillette, le poids unitaire par fruit le plus élevé a été enregistré avec le traitement Magiko qui est de l'ordre de 9,5 g suivi par le traitement Delta Water avec 8,3 g par rapport au témoin (7,6 g). Ces améliorations sont significatives particulièrement pour le traitement Magiko où le poids de fruits atteint 10,3 g durant la deuxième cueillette. Cette augmentation traduit l'effet de traitement magnétique sur l'amélioration de la qualité de fruits de la culture du piment. Taimourya et al (2015) ont, également, signalé l'importance de l'effet magnétique sur l'amélioration remarquable de la qualité des tubercules.

En ce qui concerne le nombre des fruits par plante, pour la première cueillette, les traitements magnétiques par l'appareil Magiko et Témoin sont significativement différents entre eux à un seuil de 5%. Alors que pour la deuxième cueillette, il n'y a aucune différence significative entre les trois traitements. Le rendement total des fruits frais du piment est de 22.4, 20 et 19.4 t/ha pour les plantes traitées par Magiko, Delta Water et témoin, respectivement. L'effet de traitement magnétique sur l'augmentation de rendement particulièrement pour le Magiko est attribué principalement à l'amélioration des composantes du rendement.

Plusieurs auteurs ont indiqué l'effet de traitement physique sur l'augmentation de la production de plusieurs cultures telles que la tomate, la pomme de terre et les céréales. Ils ont attribué ces améliorations de production à une amélioration de l'activité cellulaire et l'augmentation de synthèse des protéines (Maheshwari et Grewal, 2009; Shabrang et Majd, 2009; Hozayn et Abdul Qados, 2010). Le rendement obtenu pour la parcelle témoin est relativement plus important que celui des agriculteurs de la zone d'étude. Une enquête réalisée sur la culture de piment irriguée avec des eaux ayant un résidu sec entre 2,5 et 3,5 g/l a montré que les rendements obtenus chez les agriculteurs varient entre 16,5 et 21 t/ha. Ce rendement élevé malgré la salinité élevée de l'eau d'irrigation (5,4 g/l) est attribué principalement à la quantité de pluie reçu au cours de cycle (163 mm) et à la pratique culturale adoptée notamment le pilotage d'irrigation.

3.6. Productivité de l'eau

La productivité de l'eau (WP) est la relation existante entre le rendement obtenu et la quantité d'eau d'irrigation appliquée de la

plantation jusqu'à la récolte. Les valeurs de la productivité de l'eau sous les différents traitements d'irrigation sont présentées dans le Tableau 4.

Les résultats montrent que la productivité de l'eau la plus élevée est observée avec le traitement magnétique Magiko alors que la faible productivité obtenue avec le témoin peut être attribuée à une diminution significative du rendement. Les écarts observés dans la productivité de l'eau entre les traitements sont dus à des réductions du rendement. Le traitement magnétique augmente la productivité de l'eau avec un taux de 1.04 et 1.2 pour le D.W et Magiko, respectivement. Nessrien (2018) a mentionné que le traitement magnétique de l'eau améliore la productivité de l'eau avec un taux de 1.65, 1.88 et 1.7 pour l'aubergine, la féverole et la tomate, respectivement.

Maheshwari et Grewal (2009) ont montré que l'eau magnétisée utilisée pour l'irrigation peut améliorer la productivité de l'eau. De même, Kareem (2018) a montré des augmentations significatives de la productivité de l'eau pour les cultures d'aubergine, de fève et de tomate irriguées à l'eau magnétisée.

4. CONCLUSIONS

La culture de piment ayant une valeur économique élevée est parmi les cultures les plus cultivées dans la région de Médenine notamment pour la production de paprika. Mais, la production faible de cette culture est causée par l'augmentation de la salinité des sols suite à la pratique de l'irrigation associée à une surestimation des besoins des cultures et l'absence de drainage. Par ailleurs, un grand effort doit être déployé pour inciter les agriculteurs à adopter des itinéraires techniques mieux adaptés au contexte agro-climatique afin de réduire les apports d'eau d'irrigation et les effets néfastes de la salinisation. A cet effet, ce travail a été effectué pour étudier l'effet de l'irrigation avec des eaux salées traitées par un champ magnétique sur la croissance, le rendement de la culture du piment et la salinisation du sol.

L'expérimentation menée sur la culture de piment cultivée sur un sol sableux et irriguée avec des eaux salées (RS de 5,4 g/l) a montré que les traitements magnétiques (DW et Magiko) améliorent significativement la croissance de la culture. En effet, le traitement magnétique des eaux a stimulé l'absorption de la plante et résulte en une augmentation de la teneur relative en eau

(TRE). L'augmentation de la TRE induit une augmentation du couvert végétal.

Les résultats montrent, également, que le rendement le plus élevé du piment est obtenu avec les traitements magnétiques Magiko et DW (22.4 et 20 t/ha). L'augmentation du rendement particulièrement pour le Magiko est attribuée principalement à l'amélioration du calibre de fruits. Le rendement obtenu pour la parcelle non traitée est de l'ordre de 19.4 t/ha et qui est considéré relativement élevée par rapport à celui des agriculteurs de la région (16.5-21 t/ha). Ces rendements élevés obtenus dans des conditions de salinité élevées s'expliquent par la quantité de pluie reçue au cours de cycle (163 mm) et à la pratique culturale adoptée notamment le pilotage d'irrigation.

Par ailleurs, les résultats montrent que ces techniques présentent l'avantage d'améliorer la productivité de l'eau et ont permis de mettre en évidence les effets significatifs des eaux d'irrigation traitées magnétiquement, ce qui implique que même une eau de mauvaise qualité peut être utilisée en agriculture dans des conditions de pénurie d'eau. Toutefois, ces résultats restent à confirmer par des travaux à long terme et dans différentes conditions notamment la variabilité des précipitations et des apports d'eau d'irrigation.

REFERENCES

Abdelnebi, A. (2017). L'effet de l'irrigation par l'eau magnétisée sur trois cultures (L'orge, la fève et l'haricot). Mémoire de master en AGRONOMIE Spécialité gestion durable de l'environnement Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.

Ajitkumar, G. P. (2014). Device for magnetic treatment of irrigation water and its effects on quality and yield of banana plants. *International Journal of Biological Sciences and Applications*, 1, 152-156.

Ali, B., Hayat, S., Ahmad, A. (2007). Homobrassinolide ameliorates the saline stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Environmental and Experimental Botany* 59, 217-223.

Ali, Y., Samaneh, R., Kavakebian, F. (2014). Applications of Magnetic Water Technology in Farming and Agriculture Development: A Review of Recent Advances. *Current World Environment*, 9, 695-703.

Al-Khazan, M., Abdullatif, B.M., Al-Assaf, N. (2011). Effects of magnetically treated water on water status, chlorophyll pigments and

some elements content of Jojoba (*Simmondsia chinensis* L.) at different growth stages. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5, 722-731.

Ayars, J.E., Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Davis, K.R., Schoneman, R.A., Vail, S.S., Mead, R.M. (1999). Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management*, Elsevier, 42, 1-27.

Ayars, G.P., Ivey, J.P., Gillett, R.W. (1991). Coherence between seasonal cycles of dimethylsulfide, methane-sulfonate and sulfate in marine air. *Nature*, 349, 404-406.

Barrs, H.D., Weatherley, P.E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 24, 519-570.

Batchelor, C., Lovell, C., Murata, M. (1996). Simple micro irrigation techniques for improving irrigation efficiency on vegetable gardens. *Agricultural Water Management*, 32, 37-48.

Bustan, A., Sagi, M., De Malach, Y., Pasternak, D. (2004). Effects of saline irrigation water and heatwaves on potato production in an arid environment. *Field Crops Research*, 90, 275-285.

Cai, R., Yang, H., He, J., Zhu, W. (2009). The Effects of Magnetic Fields on Water Molecular Hydrogen Bonds. *Journal of Molecular Structure*, 938, 15-19.

Clarck J.M., Mac-Caig, T.N. (1982). Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. *Canada Journal Plant Science*, 62, 571-576.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 24, 144 p.

El Mokh, F., Nagaz K., Alva. A.K. Masmoudi, M.M. Ben Mechlia N. (2022). Effect of irrigation regimes using saline water on faba bean (*Vicia faba* L.) yield and water productivity in an arid environment. *Irrigation and Drainage*, 71, 81-93

El Mokh, F., Nagaz, K., Masmoudi, M.M., Ben Mechlia, N., Ghiglieri, G. (2021). Deficit Irrigation Using Saline Water of Fruit Trees under Water Scarcity Conditions of Southern Tunisia. *Atmosphere*, 12, 864. <https://doi.org/10.3390/atmos12070864>.

Elaoud A., Turki, N., Ben Amor, H., Jalel, R., Ben Salah, N. (2016). Influence of the Magnetic Device on Water Quality and Production of

- Melon. Journal of Current Engineering and Technology, 6, 2256– 2260.
- Esmailnezhad, E., Choi, H.J., Schaffie, M., Gholizadeh, M., Ranjbar, M. (2017). Characteristics and applications of magnetized water as a green technology. Journal of Cleaner Production., 161, 908-921.
- Fakhri, N., H.Y. Mehdaoui, N. Elloumi and M. Kallel. (2018). Magnetic Treatment Effects on Salt Water and Tomato Plants Growth. editors. Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017. Springer; Cham, Switzerland: 2018. Advances in Science, Technology & Innovation. pp 1095–1097
- Hameda, E. S. (2014). Impact of Magnetic Water Irrigation for Improve the Growth, Chemical Composition and Yield Production of Broad Bean (*Vicia Faba L.*) Plant. American Journal of Experimental Agriculture, 4, 476-496.
- Hamza, M. (1977). Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques. Thèse Doct. Sc. Univ., Paris VII, 252p.
- Hilal, M.H and Helal, M.M. (2000): Application of magnetic technologies in desert agriculture, I Effect of magnetic treatments of irrigation water on salt distribution in olive and citrus fields and induced changes of ionic balance in soil and plant. Egyptian Journal of Soil Science, 40, 423-435.
- Hozayn M., & Mohamed Saeed Abdul Qados A. (2010). Magnetic Water Application for Improving Wheat (*Triticum aestivum L.*) Crop Production. Agriculture and Biology Journal of North America 1, 677-682.
- Kareem, N. S. A. (2018). Evaluation of Magnetizing Irrigation Water Impacts on the Enhancement of Yield and Water Productivity for Some Crops. Journal of Agricultural Science and Technology, 8, 271-283.
- Karlberg, L., Frits, W.T.P.V. (2004). Exploring potentials and constraints of low-cost drip irrigation with saline water in sub-Saharan Africa. Physics and Chemistry of the Earth, 29, 1035-1042.
- Maheshwari, B.L., Grewal, H.S. (2009) Magnetic Treatment of Irrigation Water: Its Effects on Vegetable Crop Yield and Water Productivity. Agriculture Water Management, 96, 1229-1236.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016>
- Marweni, H. (2015). Effet de l'irrigation par l'eau magnétisée sur la tomate. Mémoire de Licence Appliquée en Protection de l'environnement Parcours traitement et valorisation des rejets (2015) Institut Supérieur de Biotechnologie de Sfax.
- Nasher, S.H. (2008). The Effect of magnetic water on growth of chick-pea seeds. Engineering and Technology Journal, 26, 1-4.
- Nessrien, S.A.K. (2018). Evaluation of Magnetizing Irrigation Water Impacts on the Enhancement of Yield and Water Productivity for Some Crops. Journal of Agricultural Science and Technology A8, 271-283. doi: 10.17265/2161-6256/2018.05.003.
- Reina, F.G., Pascual, L.A., Fundora, I.A. (2002) 'Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part II: Experimental Results', Bioelectromagnetics, 22, 596-602.
- Scippa, G.S., Di Michele, M., Onelli, E., Patrignani, G., Chiatante, D., Bray, E.A. (2004) The histone-like protein H1-S and the response of tomato leaves to water deficit. Journal of Experimental Botany, 55, 99-109
- Shabrangi, A., Majd, A. (2009). Effet des champs magnétiques sur la croissance et les systèmes antioxydants dans les plantes agricoles. PIERS Délibérations, Beijing, Chine, Mars, pp. 23-37.
- Taimourya, H., Bourarach, E. H., ElHarif, A., Hassanain, N., Masmoudi, L., Baamal. (2015). Évaluation de la productivité du chou pommé (*Brassica oleracea*), sous l'effet de l'irrigation avec une eau traitée magnétiquement, dans la région de Casablanca (Maroc). Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 3, 27-36.
- Yano, A., Ohashi, Y., Hirasakiand, T., Fujiwara, K. (2004). Effects of 60 Hz magnetic field on photosynthetic uptake and early growth of radish seedlings. Bioelectromagnetics, 25, 572-581.
- Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S., (2004). Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield and water use efficiency in the North China Agricultural Water Management, 64,107-122.