

Évaluation de la productivité de la pomme de terre (*Solanum Tuberosum* L.) sous l'effet de l'irrigation avec une eau traitée magnétiquement dans la région de Chaouia (Maroc)

H. TAIMOURYA¹, M. OUSSIBLE¹, E.H. BOURARACH², A. EL HARIF³, N. HASSANAIN³, L. MASMOUDI³, L. BAAMAL⁴

(Reçu le 25/11/2015; Accepté le 31/12/2015)

Résumé

Les rapports de la littérature révèlent que le traitement physique de l'eau par un champ magnétique statique montre des effets bénéfiques sur la productivité de l'eau ainsi que sur les paramètres de croissance des plantes, rendant ainsi l'eau un facteur moins limitant pour la production. En vue de quantifier l'effet de l'application de cette nouvelle technologie sur la production végétale dans les conditions de production marocaines, une expérimentation a été conduite au champ dans la région de Chaouia-Ouardigha. Le dispositif expérimental est complètement aléatoire avec 3 répétitions pour chaque traitement de l'eau d'irrigation (magnétique et normale). Les plantes de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) étaient suivies à travers les mesures des paramètres de croissance végétale et de production. Les meilleurs résultats sont enregistrés pour le traitement magnétique de l'eau d'irrigation, à savoir: une augmentation hautement significative de la hauteur; le nombre de branches principales; la masse aérienne; la matière sèche et la masse racinaire, de l'ordre de 13,9%; 50%; 110%; 91,6% et 40,1%, respectivement et une augmentation du rendement de 35,7%. Finalement, L'utilisation du traitement magnétique de l'eau dans le domaine agricole peut être une technique prometteuse, dont la connaissance demande à être approfondie.

Mots clés: Technologie magnétique, eau d'irrigation, champ magnétique, pomme de terre.

Abstract

The literature reports that there are some beneficial effects of irrigation water treatment by a static magnetic field. Magnetic field improved the production and the growth characteristics of the plants and make water less limiting to production conditions. To quantify the effect of the application of this new technology on crop production in Moroccan production conditions, an experiment was conducted *in situ* on a farm situated in the region of Chaouia-Ouardigha. A randomized complete design, with three replicates, was used in the experiment for each treatment of irrigation water (magnetized and ordinary). Potatoes plants (*Solanum tuberosum* L.), were controlled through regular measurements of growth and production parameters. Magnetic treatments of irrigation water gave the best results. We noted a significantly increase in plant height; branch number; fresh weight of aerial part; dry matter and root fresh weight in the order of 13,9%; 50%; 110%; 91,6% and 40,1%, respectively and an increase in the yield of 35,7%. Finally, we emphasized that the technique of magnetic field in agricultural fields could be a promising technique for agricultural production improvement but extensive research is still required.

INTRODUCTION

Le potentiel agricole dans la région Chaouia-Ouardigha est très important, vu que la superficie agricole utile représente environ 10,7% de la superficie nationale et s'élève à 933.000 ha (DRACO, 2012). C'est une région où les sols sont riches et fertiles. À l'échelle nationale, c'est l'une des régions les plus productrices en pommes de terre avec une production de 188.000 T (DRACO, 2012). Cependant, cette région a été identifiée comme étant vulnérable au changement climatique, ce qui aura une influence sur le développement de cette culture.

La recherche s'oriente de plus en plus vers des stratégies qui visent l'augmentation des niveaux de production, l'amélioration de la qualité de la production et l'amélioration des niveaux de valorisation de l'eau d'irrigation aussi bien de la quantité que la qualité. En outre, la littérature rapporte la présence d'une gamme de techniques simples et accessibles par les agriculteurs qui favorisent une meilleure productivité, une plus grande valorisation de la production et une pérennisation des ressources en eau. Ces techniques se basent sur un traitement physique de l'eau par un champ magnétique et peuvent être utilisées comme alternatives aux produits chimiques qui produisent une pollution de l'environnement.

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département de Production, Protection et Biotechnologie Végétales, B.P. 6202. Madinate Al Irfane, Rabat.

² Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département Énergie et Agro-équipement, B.P. 6202, Madinate Al Irfane, Rabat

³ Université Mohammed V, Faculté des Sciences Agdal, Département de Physique, 4 avenue Ibn Battouta, Rabat

⁴ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département de Statistiques et Informatiques Appliquées, B.P. 6202. Madinate Al Irfane, Rabat

Depuis de nombreuses années, les effets des champs magnétiques sur l'eau ont été l'objet d'intérêt et de polémique des physiciens, des chimistes et des biologistes. En général, l'eau est diamagnétique. L'exposition de l'eau à un champ magnétique crée des changements dans ses propriétés physiques et chimiques (Cai *et al.*, 2009) en augmentant le nombre de monomères de molécules d'eau (Zhou *et al.*, 2000). Ce traitement physique améliore simultanément la tétrahédralité de l'eau et la force des liens hydrogène (Wang *et al.*, 2007).

Plusieurs auteurs ont rapporté que la technologie du magnétisme a plusieurs avantages sur la productivité de l'eau. Nous citons que ce traitement physique de l'eau réduit l'accumulation des dépôts calcaires dans les conduites de l'eau et empêche leur formation (Ajitkumar, 2014); améliore le taux de germination et stimule la croissance des cultures via une plus grande absorption des éléments minéraux et des nutriments dissous dans l'eau du sol (Chern, 2012; Yusuf and Ogunlela, 2015) et diminue le risque de salinisation des sols. Ce dernier résultats a été justifié par le fait que le traitement magnétique réduit la taille des cristaux de sel de façon qu'ils deviennent plus absorbés par les racines (Ajitkumar, 2014).

L'objectif de notre étude est de quantifier l'impact de l'application de cette nouvelle technologie sur la productivité et la production de la culture de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) dans les conditions de production marocaines. Le présent travail vise également l'approfondissement des travaux préliminaires conduits sur la culture du chou dans la même exploitation. Ces travaux ont montré un effet favorable de l'irrigation avec une eau traitée magnétiquement sur la croissance et la productivité du chou (Taimourya *et al.*, 2015).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Conditions édapho-climatiques du site expérimental

L'essai a été conduit dans l'exploitation de M. Hajji Miloud située au douar Ouled Ben Amour, caïdat d'Ouled Ziâne, cercle d'El Gara de la région de Chaouia-Ouarghna à 12 Km du centre-ville de Berrechid. Ce site se trouve à une altitude de 206 m au-dessus de la mer, une latitude

de 33°22' Nord et une longitude de 7°32' Ouest. Le climat de la zone d'étude est semi-aride (Haddoudi, 2013) influencé par l'océan Atlantique, avec des hivers tempérés et des étés assez chauds et secs. Cette zone connaît une irrégularité de la pluviométrie dans le temps et dans l'espace. Les précipitations moyennes annuelles enregistrent des valeurs de 366 mm (Centre des travaux de Berrechid, 2014). La durée annuelle d'ensoleillement dépasse 2800 heures, l'hygrométrie moyenne annuelle est d'environ 60 à 75 % et l'évaporation annuelle atteint 1500 mm avec des valeurs journalières variant de 2 à 7 mm selon les saisons. Les températures moyennes varient entre 11°C et 25°C; les gelées sont exceptionnelles alors que les températures maximales absolues peuvent atteindre 50°C lorsque souffle le chergui (El Assaoui, 2009). Cette zone est caractérisée par une sécheresse qui s'étale sur une période de cinq mois sur douze (mai - septembre). Elle est définie par l'irrégularité et la fluctuation des précipitations en termes de quantités. Une analyse granulométrique et chimique du sol de la parcelle d'expérimentation (en prélevant à l'aide d'une tarière des échantillons de sol à une profondeur de 30 cm), effectuée au laboratoire du département des sciences du sol de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, montre que la parcelle est de type limoneux fins (Tableau 1), une texture très propice à la culture de pomme de terre.

En terme de fertilité, cette parcelle a un pH alcalin, une faible teneur en matière organique, des réserves très soutenues en potassium, de fortes réserves en phosphore et des réserves excessives en magnésium (Tableau 2). La mesure de la conductivité montre qu'il n'y a pas de risque de salinité.

La conduite culturale et le matériel végétal

- Le précédent cultural est l'artichaut (variété: le violet d'Alger).
- Le travail du sol adopté est de deux passages croisés de la charrue à socs (3 socs), l'épandage du fumier bovin (40 tonnes/ha) en deux passages croisés, billonnage en laissant 90 cm entre les lignes et finalement un désherbage total.
- Le matériel végétal de l'essai est composé de la pomme de terre (variété PAMILLA).

Tableau 1: Texture du sol de la parcelle expérimentale

	Profondeur	Argile	Limon fin	Limon grossier	Limon totaux	Sable fin	Sable grossier	Sables totaux
	Cm	%						
Parcelle I	0-25	1,7	48,4	27,6	76	20,7	1,6	22,3

Tableau 2: Analyse chimique du sol de la parcelle expérimentale

	pH	Matière organique	Calcaire total	Calcaire actif	Conductivité	Potasse	Phosphore	Azote ammoniacal	Azote nitrique
		MO.	CaCO ₃ total	CaCO ₃ actif	CE	K ₂ O	P ₂ O ₅	N-NH ₄	N-NO ₃
			%		mS/cm	K	P	Mg/kg	
Parcelle I	7,55	2,26	0,2	Traces	0,27	707	118	3,8	6,1

- Le semis est effectué le 10 février 2013. Il s'est fait manuellement avec un espacement de 35 cm entre les pieds.
- Le désherbage a été effectué à la houe, en vue d'assurer la propreté de la parcelle.
- La récolte a été réalisée le 27 juin 2013. Les tubercules sont récoltés manuellement à pleine maturité, lorsque le feuillage commence à se faner.

L'irrigation

L'eau utilisée pour l'irrigation est l'eau de puit. Elle s'agit d'une eau légèrement alcaline (pH=7,4), riche en minéraux (elle contient un résidu sec de 2,05 g/l) et dont l'électro-conductivité révèle une charge très élevée en sels dissous (une conductivité électrique: 3,21 mS/cm). Par conséquent, cette eau présente un risque de salinisation très élevé et des risques forts d'alcalinisation.

La méthode adoptée pour l'irrigation est le goutte à goutte. L'irrigation de la parcelle était tardive, à cause des pluies. Elle a débuté le 3 avril 2013. La parcelle est irriguée avec une fréquence normale de 3 J et une durée pouvant varier de 2 h à 3 h. La fréquence et la durée de l'irrigation sont adaptées aux températures ambiantes.

Les traitements

L'objectif du présent travail est d'étudier *in situ* les effets de l'application de la technologie de traitement de l'eau par un champ magnétique statique sur la croissance, la production et la qualité de la pomme de terre.

Pour atteindre cet objectif, l'étude expérimentale a examiné la différence entre le traitement magnétique et le témoin:

- **Le traitement magnétique (T1):** l'eau de puits est traitée physiquement en l'exposant à un champ magnétique créé à l'intérieur d'un Magnétiseur commercial à base de NdFeB, produit par la société «Magnetic Technologies LLC » (figure 1). L'eau est traitée en passant (une seule fois) à travers le Magnétiseur. Ce Magnétiseur est installé en amont de la parcelle traitée. Ainsi, l'eau qui circule dans les goutteurs se trouve déjà traitée. Le débit de ce Magnétiseur est suffisant pour ne pas modifier la pression des goutteurs en comparaison avec la parcelle témoin.



Figure 1: Le Magnétiseur utilisé pour le traitement physique de l'eau.

- **Le Témoin (T2):** la même eau qu'en T1 est utilisée pour l'irrigation goutte à goutte mais sans aucun traitement physique ou chimique.

Le protocole expérimental

Dans le but de réaliser cette comparaison, nous avons adopté le dispositif décrit ci-dessous. La superficie

réservée à l'essai est de 2 ha. Cette superficie est divisée en deux parcelles de 1 ha chacune: parcelle I à laquelle on affecte le T1 et parcelle II à laquelle on affecte le T2. Chacune de ces deux parcelles a été divisée en trois sous-parcelles élémentaires de 13,5 m² (3 m de longueur sur 4,5 m de largeur). L'espacement entre parcelles élémentaires a été fixé à 1 m, comme décrit sur le schéma de la figure 2.

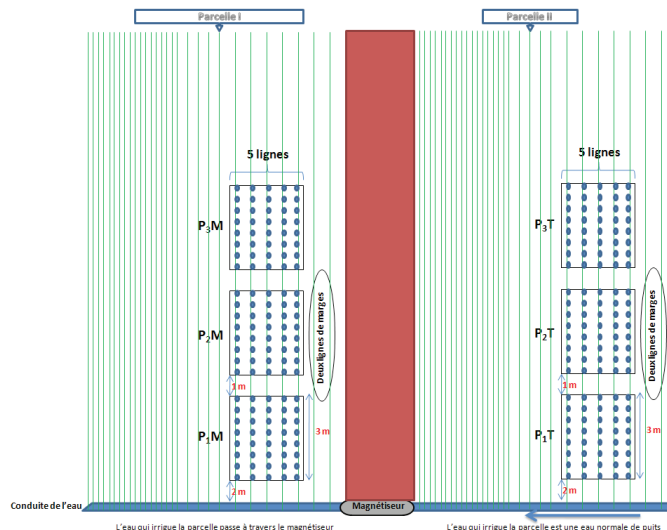


Figure 2: le schéma décrivant le dispositif expérimental

Les points montrés sur le schéma ci-dessus représentent les points de contrôle. Chacune des six parcelles élémentaires limite 40 pieds de la pomme de terre.

Sur le plan statistique, ce dispositif peut être analysé comme un dispositif complètement aléatoire avec un traitement (magnétisation) à deux niveaux et 3 répétitions (sous-parcelles). En effet, ce dispositif n'est pas, à proprement parler un dispositif complètement aléatoire, étant donné qu'en raison de contraintes pratiques, les sous-parcelles magnétisées et non magnétisées ne sont pas réparties de manière aléatoire. Toutefois, étant donné qu'il n'y a pas de différence de fertilité entre les deux parcelles, le dispositif peut être analysé statistiquement comme un dispositif complètement aléatoire.

Les paramètres étudiés

L'étude de l'effet du traitement magnétique de l'eau d'irrigation sur la croissance, la production et la qualité de la pomme de terre a porté sur des paramètres de croissance végétative et de production.

L'étude s'est faite sur 3 étapes:

- **Le suivi de la croissance:** la hauteur moyenne de la tige (H, en cm). Elle a été mesurée du collet à l'extrémité supérieure avec un mètre pliant;
- **Le développement végétatif et de production:** Au bout de 115 jours après le semis (JAS) (ce qui correspond à la fin de la phase de développement végétatif), une récolte destructive a eu lieu. Les prélèvements ont porté sur 5 pieds de la pomme de terre pour chacune des six parcelles élémentaires (traitées et témoins), ces pieds sont choisis de telle sorte qu'ils se situent sur une ligne diagonale. Les échantillons sont ramenés par la suite au laboratoire

du travail du sol de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II pour examiner les paramètres de développement végétatif et de production, à savoir:

- La hauteur moyenne des plantes (H, en cm) a été mesurée du collet à l'extrémité supérieure;
- Le nombre de branches par plante (Nb br);
- La masse aérienne (MA, en Kg), la partie aérienne des plantes a été pesée à l'aide d'une balance de précision de laboratoire;
- La matière sèche (MS en g), elle a été déterminée pour un échantillon choisi au hasard. La pesée du poids sec s'est faite après étuvage à 70°C pendant 48 h.
- La teneur en eau de la partie végétale fraîche aérienne (% EA) a été calculée par la relation: $[(\text{le poids frais} - \text{le poids sec}) / \text{le poids frais}] * 100$;
- Le ratio masse des feuilles/masse des (feuilles + tiges) (Ra(F/(F+T)));
- La masse racinaire (MR, en g), les racines des plantes ont été coupées et pesées à l'aide d'une balance de précision;
- La teneur en eau des racines (%ER);
- Le nombre de tubercules par pied (Nb. tub);
- Le poids des tubercules par pied (Pds. tub, en g);
- L'aire occupée par les tubercules d'un pied (AT, en cm²): elle est calculée d'après les diamètres, transversal et longitudinal, de chaque tubercule dont la forme est ovale;
- L'indice de récolte (IR, en %): représente chez la pomme de terre la proportion des tubercules dans la totalité de la matière produite, il est calculé dans cette expérimentation comme étant le rapport du poids frais des tubercules récoltés par celui de la biomasse aérienne. La masse racinaire est négligée.

- Les paramètres de production: le jour de la récolte (le 27 juin 2013): mesurer le rendement global des sous-parcelles fixées.

- Le nombre de tubercules par mètre carré (Nb. tub/m²);
- Le rendement (RdT en t/ha): pour chaque traitement et répétition, on a déterminé le poids des tubercules récoltés;

- L'aire occupée par les tubercules (AT, en %): elle est calculée d'après les diamètres transversal et longitudinal.

Pour valider l'efficacité de ce traitement, les résultats sont comparés avec ceux de la parcelle témoin.

L'analyse statistique

La saisie des données brutes a été effectuée sur le tableur Excel. Pour chaque paramètre étudié, nous avons calculé la moyenne des données collectées par parcelle élémentaire de chaque traitement.

Ensuite, l'effet du traitement magnétique a été étudié en réalisant une analyse de la variance à un critère de classification et avec 3 répétitions.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

La croissance

Le suivi de l'évolution de la partie aérienne s'est fait en mesurant la hauteur de la tige pendant sa phase de croissance.

Pendant le premier mois d'irrigation avec une eau traitée, l'évolution de la hauteur décrit une phase ascendante pour les deux traitements (Figure 1A). Cependant, la hauteur la plus supérieure a été enregistrée chez les plantes irriguées par une eau traitée magnétiquement (courbe noire). Le traitement

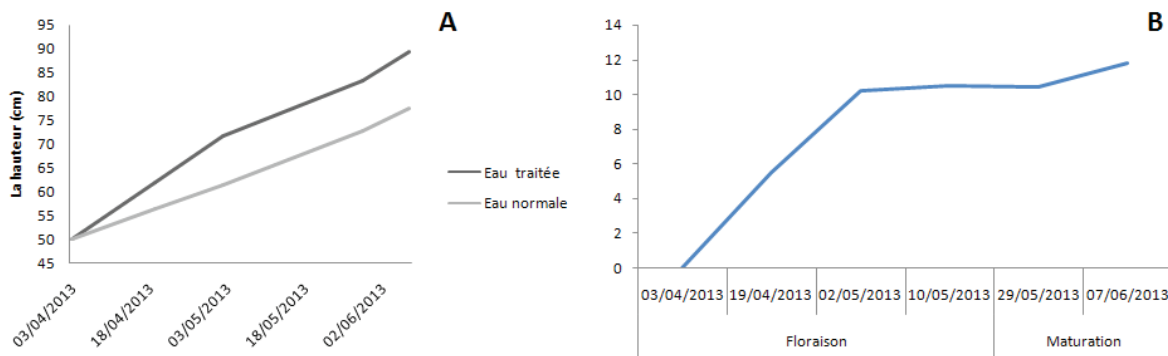


Figure 3: A- Évolution de la hauteur (cm) des plantes de la pomme de terre irriguées avec une eau traitée magnétiquement et une eau normale et B- Évolution de la différence de hauteur (en cm) entre le traitement magnétique et le témoin pendant le cycle de la pomme de terre.

Tableau 3: Hauteur (en cm) des plantes de la pomme de terre irriguées avec une eau traitée magnétiquement et une eau normale. Avec: * différence significative (p<0,05), *** différence très hautement significative (p<0,001)

	19/04/13	02/05/13	29/05/13	07/06/13
Eau traitée (T1)	61,8	71,7	83,2	89,3
Eau normale (T2)	56,3	61,5	72,8	77,5
P-value	<.0001	<.0001	<.0001	0,01
t-sign	***	***	***	*
Augmentation (%)	9,7	16,5	14,2	15,2

magnétique de l'eau a influencé donc positivement la croissance des plantes durant ce mois. En effet, d'après le cycle de la pomme de terre (graphe B), ce mois coïncide avec la période où les hampes florales se forment au sommet des tiges et les premiers tubercules commencent à se former, donc la phase de floraison. Par la suite, les deux courbes de croissance deviennent parallèles. Donc les plantes des deux parcelles croissaient d'une manière semblable.

Les différentes mesures prises sont mentionnées sur le tableau 3. Ces valeurs enregistrées montrent une augmentation de la croissance en hauteur des plantes irriguées avec une eau traitée pour les différentes prises effectuées. Ces améliorations sont de l'ordre de 13,9% en moyenne mesurée sur 4 prises des données. L'analyse statistique révèle une différence significative, voire très hautement significative, pour la majorité des dates.

On peut conclure que l'irrigation par une eau traitée par un champ magnétique statique a amélioré d'une manière très hautement significative la croissance de la pomme de terre. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés dans des travaux menés dans la même exploitation sur la culture du chou et qui ont mentionné de même une accélération de la vitesse de croissance des plantes de chou dans ses stades précoces (Taimourya et al., 2015). Dans cet axe, des travaux de recherche ont signalé une amélioration significative en hauteur de 27,4%, 11,9%, 13,9% et 21,8% pour la fève, le pois chiche, le blé et la lentille respectivement (Hameda, 2014; Hozayn et Abdul Qados, 2010 a and b). En effet, Hameda (2014) a suggéré que l'amélioration de la croissance de la tige peut être liée à l'accélération de la croissance racinaire et la conductance stomatique. En revanche, des auteurs ont observé que les plantes réagissent à l'eau traitée en produisant plus de chevelu racinaire (Taimourya et al., 2009; Brissier et al., 2005).

Le développement végétatif et de production

Le tableau 4 regroupe les moyennes des différents paramètres de développement végétatif et de production prises le 115 JAS.

Le traitement physique de l'eau a augmenté de manière très significative plusieurs paramètres de développement végétatif. En effet, la masse aérienne a été doublée pour

les plants de la pomme de terre irrigués avec une eau traitée magnétiquement. De plus, Ces améliorations sont de l'ordre de 15,2%;50,0%; 91,6% et 40,1% pour la hauteur, le nombre de branches principales, la matière sèche et la masse racinaire, respectivement.

La valeur moyenne de la teneur en eau des racines pour les plantes irriguées avec une eau traitée par le magnétiseur est supérieure à celle du témoin. Cette hausse est de 3,9 %. L'analyse statistique montre que la différence est hautement significative. Cependant, l'analyse statistique ne révèle pas de différence significative pour la teneur en eau de la partie végétale fraîche aérienne.

Le ratio de la masse feuilles/masses (feuilles+Tiges) a augmenté de 20%, on peut dire que le traitement magnétique a permis au potentiel foliaire de se développer de manière plus importante. Cependant, il faut souligner que ceci est plus une tendance, et que l'analyse statistique ne révèle pas de différences significatives, probablement à cause des grands coefficients de variation.

La valeur la plus élevée du nombre de tubercules par pieds a correspondu au traitement magnétique, soit 15 tubercules alors que le témoin a donné seulement 11 tubercules en moyenne.

L'aire occupée par les tubercules traduit la qualité des tubercules étant donné qu'elle est calculé à partir des diamètre transversal et longitudinal du tubercule. En effet, l'aire qu'occupent les tubercules sur un mètre carré est de 163 cm² pour le traitement magnétique alors que pour le témoin elle est de 107 cm². Donc les tubercules produits par les plants irrigués avec une eau traitée sont d'une taille plus grande que celles des plantes irriguées avec une eau normale.

L'indice de récolte est seulement de 68,0% contre une valeur moyenne de 75,5% pour le témoin. Cette réduction est peut être expliquée par le fait que les éléments nutritifs ne sont pas forcément accessibles aux plantes témoin, donc ces derniers font en sorte de produire le maximum de tubercules afin d'assurer la pérennité de l'espèce. Cependant, le traitement magnétique de l'eau d'irrigation favorise l'accessibilité des éléments nutritifs à la plante. Et ainsi, il permet la croissance en vigueur de l'appareil végétatif au profit de la production.

Tableau 4: Paramètres de développement végétatif et de production prises le 115 JAS pour des plants de pomme de terre irrigués avec une eau traitée magnétiquement et une eau normale. Avec: * différence significative (p<0,05); ** différence hautement significative; * différence très hautement significative (p<0,001) et --- différence non significative.**

	Paramètres de développement végétatif						Paramètres de production					
	H (cm)	Nb. br	MA (kg)	MS (g)	% EA	Ra (F/(F+T))	MR (g)	% ER	Nb. tub	Pds. tub (kg)	AT (cm ²)	IR (%)
Eau traitée	89,3	3	0,84	80,5	90,2	0,42	58,3	82,7	15	1,7	514	68
Eau normale	77,5	2	0,4	42	89,6	0,35	41,6	79,6	11	1,2	338,7	75,5
p-value	0,01	0,001	0,0002	0,0001	0,19	0,3	0,0005	<.0001	0,03	0,004	0,001	0,003
t-sign	*	**	**	**	---	---	**	***	*	**	**	**
Augmentation (%)	15,2	50	110	91,6	0,6	20	40,1	3,89	36,3	41,6	51,7	-9,9

L'effet de ce traitement magnétique est clairement imprimé sur la partie aérienne de manière plus importante. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ajitkumar (2014) qui a signalé une amélioration de la verdure des plantes de banane suite à l'irrigation par une eau traitée magnétiquement. Au terme de l'analyse, l'irrigation avec une eau traitée physiquement par un champ magnétique statique a significativement augmenté les paramètres de croissance et de production. Également, des travaux antérieurs ayant porté sur la culture du chou ont mentionné des résultats au profit du traitement magnétique de l'eau d'irrigation (Taimourya *et al.*, 2015). De même, des auteurs ont signalé une amélioration de la productivité et le rendement de la fraise, la tomate et la pomme de terre (Danilov *et al.*, 1994; Eşitken et Turan, 2004; Ali *et al.*, 2014). Ibrahim et Mohsen (2013) ont mentionné une amélioration de la hauteur, le poids frais et sec pour la tige et la racine des plantes de la fève irriguées avec une eau exposée à un champ magnétique d'induction 1000 Gauss.

Dans ce sens, Reina *et al.* (2001) a rapporté une augmentation significative de la vitesse d'absorption de l'eau ainsi que la masse totale de la laitue. Sadeghipour et Aghaei (2013) ont signalé que les effets consistants de l'eau traitée magnétiquement sur la croissance de la corneille induisent une amélioration des capacités d'absorption de l'eau et des nutriments. Ces explications ont été confirmées par Grewal et Maheshwari (2011) et Todeshki *et al.* (2015) chose qui a été justifiée par une diminution de la tension superficielle suite au traitement magnétique de l'eau.

Les paramètres de production

Les mesures des paramètres de production prises le jour de la récolte sont présentées au tableau 5.

On constate que le traitement magnétique de l'eau a enregistré le rendement le plus élevé, avec un gain chiffré à 35,7% par rapport au témoin. En outre, le nombre le plus élevé de tubercules a été noté chez le traitement magnétique avec une production de 41 tubercules/m². Par rapport au témoin qui a produit 34 tubercules/m². Ces améliorations sont statistiquement significatives et restent importantes pour une production destinée au marché.

D'autre part, les tubercules produites par les plantes irriguées avec une eau traitée occupent pour une surface de 1 m², un aire de 16,9% alors que pour le témoin elle n'est que de 9,7%. Cette augmentation est hautement significative, chose qui traduit une amélioration pertinente de la qualité des tubercules.

Tableau 5: Paramètres de production à la récolte pour des plants de la pomme de terre irrigués avec une eau traitée magnétiquement et une eau normale. Avec: * différence significative (p<0,05) et * différence très hautement significative (p<0,001).**

	RdT (t/ha)	Nb. tub/m ²	AT (% / m ²)
Eau traitée	44,1	41	16,9
Eau normale	32,5	34	9,7
p-value	0,03	0,04	<.0001
t-sign	*	*	***
Augmentation	35,7	20,5	74,2

La bibliographie indique une augmentation du rendement de plusieurs cultures parmi lesquelles nous citons les céréales, le tournesol, le lin, le pois chiche, le blé, la tomate, le soja et la pomme de terre (Hamed, 2014; Hozayn et Abdul Qados, 2010a).

Cette amélioration peut être attribuée à l'activation de la production des phytohormones qui se répercute sur l'amélioration de l'activité cellulaire (Maheshwari et Grewal, 2009). D'autre part, Hozayn et Abdul Qados (2010 a and b) et Turker *et al.* (2007) ont noté la formation des nouvelles bandes de protéines. Par ailleurs, Çelik *et al.* (2008) et Shabrang et Majd (2009) ont rapporté que ce traitement physique affecte l'expression génétique en augmentant les réactions biologiques comme la synthèse des protéines.

CONCLUSION

En somme, le traitement physique de l'eau, par un champ magnétique statique, a augmenté significativement la production de la pomme de terre avec une amélioration pertinente de la qualité des tubercules.

Il ressort des résultats d'essais et de la bibliographie que le traitement par un champ magnétique de l'eau trouve également une justification économique à l'échelle de l'exploitation où l'essai a eu lieu.

- Dégager un chiffre d'affaire supplémentaire égal à: 29.000 Dh/ha (la moyenne du gain obtenu pour les deux années* le prix de vente dh).

- Être dans une zone semi-aride avec une eau peu saumâtre en plus de l'adoption du goutte à goutte comme méthode d'irrigation ce qui peut engendrer le blocage des goutteurs.

La motivation de cette étude provient du fait qu'une technologie simple peut avoir des effets bénéfiques dans plusieurs secteurs utilisant de l'eau. La technologie magnétique est économique, ne nécessite aucun apport d'énergie et sans porter préjudice à l'environnement. Ses impacts favorables contre les problèmes de calcaire et les rendements culturels sont trop bénéfiques pour être ignorés.

REMERCIEMENT

Ce travail n'aurait pu avoir lieu sans l'appui de Messieurs Nassir Mokhtari et Jounaid respectivement Directeur de la Société «Atlas-Innov» et PDG de la Société «Magnetic Technologies Union des Emirats Arabes». Merci pour avoir mis à notre disposition la technologie magnétique. Un grand Merci à M. Miloud Hajji, propriétaire de la ferme, pour nous avoir donné l'autorisation de conduire nos expérimentations dans son exploitation ainsi que pour son hospitalité, sa patience et

le temps qu'il a bien voulu nous consacrer durant chaque visite. Je ne manquerai pas de remercier tous les responsables de la DPA de Berrechid, en particulier M. Benrouida Mohammed, pour leur disponibilité à me fournir les données climatiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ali, Y., Samaneh, R., Kavakebian, F. (2014). Applications of Magnetic Water Technology in Farming and Agriculture Development: A Review of Recent Advances. *Curr. World Environ.* 9, 695–703.
- 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.* 2014; 1(4): 152-156
- Brissier J., Vandoorne Y., Minnaar C., 2005, Étude d'un traitement électromagnétique de l'eau d'irrigation pour des cultures maraîchères et horticoles et analyse économique d'un tel procédé. IAV (Rabat).
- Cai, R., Yang, H., He, J., Zhu, W., (2009). The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *J. Mol. Struct.* 938, 15–19.
- Çelik, Ö., Atak, Ç., Rzakulieva, A. (2008). Stimulation of Rapid Regeneration by a Magnetic Field in Paulownia Node Cultures. *J. of Central Europ. Agric.*, 9 (2): 297 – 303.
- Chern, C.C., 2012, Application of magnetic water to stimulate the lady's finger (*Abelmoschus esculentus* L.) moench plant growth. in PhD Thesis, University of Technology, Malaysia.
- Danilov, V., Bas T., Eltez, M., Rizakulyeva, A. (1994). Artificial magnetic field effect on yield and quality of tomatoes. *Acta Horticulturae*, no 366 (août 1994): 279-86.
- El Assaoui E., 2009. Valorisation des Ressources en eau Souterraines par l'irrigation privée: Cas de la nappe de berrechid. I.A.V., Rabat, Maroc.
- Eşitken, A., Turan, M. (2004). Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. camarosa). *Acta Agric. Scand. Sect. B — Soil Plant Sci.* 54, 135–139.
- Grewal, H. S., Maheshwari, B. L. (2011). Magnetic treatment of irrigation water and snow pea and chickpea seeds enhances early growth and nutrient contents of seedlings. *Bioelectromagnetics*, 32, 58–65.
- Haddoudi M., 2013. Etude et amélioration des performances des stations d'épuration des eaux usées à débit nominal moyen. IAV, Rabat, Maroc.
- 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(4): 476-496.
- Hozayn M., Mohamed Saeed Abdul Qados A., (2010a). Irrigation With Magnetized Water Enhances Growth, Chemical Constituent and Yield of Chickpea (*Cicerarietinum* L.). *Agriculture and biology journal of north America:* 2151-7525.
- Hozayn M., Mohamed Saeed Abdul Qados A., (2010b). Magnetic Water Technology, a Novel Tool to Increase Growth, Yield and Chemical Constituents of Lentil (*Lens esculenta*) Under Greenhouse Condition. *American-Eurasian J. Agricand Environ. Sci.* 7(4): 457-462.
- Ibrahim A. M., Mohsen B. E. (2013). Effect of irrigation with magnetically treated water on faba bean growth and composition. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, Vol.1 (2), pp. 024-040, April 2013.
- Maheshwari B. L., Grewal H. S. (2009). Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management* 96(8): 1229- 1236.
- Reina F.G., Pascual L.A. et Fundora I.A. (2001). Influence of Stationary Magnetic Field on Water Relations in Lettuce Seeds. Part II: Experimental Results. *Bioelectromagnetics*, 22:596-602
- Sadeghipour O., Aghaei P. (2013). Improving the Growth of Cowpea (*Vigna Unguiculata* L. Walp) by Magnetized Water. *Journal of Bioand Env.* 3(1): 37-43.
- Shabrangi A., Majd A. (2009). Effect of Magnetic Fields on Growth and Antioxidant Systems in Agricultural Plants. PERS Proceedings, Beijing, China, March, 23-27.
- Taimourya, H., Bourarach, E. H., ElHarif, A., Hassanain, N., Masmoudi, L., Baamal, L., Oussible, M. (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). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 3(2): 27-36.
- Todeshki, A. R. S., Vanani, H. R., Shayannejad, M., Askari, K. O. A. (2015). Effects of Magnetized Municipal Effluent on Some Chemical Properties of Soil in Furrow Irrigation. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences IJACS/2015/8-3/482-489.*
- Turker, M., Temirci, C., Battal, P., Erez, M. E. (2007). The effects of an artificial and static magnetic field on plant growth, chlorophyll and phytohormone levels in maize and sunflower plants. *Phyton Ann. Rei. Botanicae* 46:271–284.
- Wang, Q., L. Li, et al., (2007). Effects of magnetic field on the sol-gel transition of methylcellulose in water. *Carbohydrate Polymers* 70(3): 345-349.
- Yusuf, K. O., Ogunlela, A. O., (2015). Impact of Magnetic Treatment of Irrigation Water on the Growth and Yield of Tomato. *Not. Sci. Biol.* 7, 345–348.
- Zhou, K. X., G. W. Lu, et al., (2000). Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field. *Journal of Applied Physics* 88(4): 1802-1805.