

Effets de la réutilisation des eaux usées brutes de la ville d'Oujda sur quelques paramètres agronomiques et bactériologiques

Mounia ABOUELOUFA^{1*}, Abdelbasset BERRICHI¹,
Hassan EL HALOUANI¹ & Mohammed KHARBOUA¹

(Reçu le 03/12/2001 ; Accepté le 11/07/2002)

أثيرات إعادة استعمال المياه المعاملة لمدينة ودة لى عض اعوال افلاية والكيرووية

قدينت در اة قارة أير وية المياه لى و ال انموعض ازرمات الخس و اوم و اكو ة أن اقي المياه المعاملة و المياه المخصصة ة دي إلى تحين ردو ة إاج ل ازرمات الخاضعة لرة، دون أن ةدي ذلك إلى تغيير الخاصيات افز وكيمايائية لرة. ما أن المياه المعاملة و المقار ة مع المياه المخصصة لا ةر لى ول أو رض أور اق اوم مما و بي أهائؤ ر صفة ر ئيية لى طر اوم. نفس المقار ة لا و د أي أير لموس لى ول اكو ة و وزن الخس و لوه و ذلك لة أور اه. ما أادت الميلاات اكيرة لمياه المعاملة لمدينة و ة أهاتحو بي لى ددير ن الجر ايم اغائطية عدى وصيات المنظمة اعلمية لصة (OMS) المعلقة المياه الموهة لقي الغير المشروط. يمار ة دوى المزرو مات ابي علق طيعة انلات و وية ماء اقي، صل إلى أريمة انة لس المقي المياه المعاملة. و صفة لة در ة اعدوى فوق الحد المعارف ليه (OMS) انة كل المنومات الخاضعة هذه ادر اة.

الكلمات المفاية : مياه عملة - أر ض - لة - مات - يز و كيمياء - لم اكير ا - و ة

Effets de la réutilisation des eaux usées brutes de la ville d'Oujda sur quelques paramètres agronomiques et bactériologiques

Ce travail présente les résultats d'une étude comparative de l'irrigation de trois cultures (laitue, ail et courgette) avec des eaux usées brutes (EUB), l'eau potable enrichie de fertilisants (EPF) et l'eau potable (EP), afin de mettre en évidence, d'une part, l'effet de ces traitements sur les paramètres de croissance et, d'autre part, de déterminer le degré de contamination de ces eaux et des cultures par les germes indicateurs de pollution. L'irrigation avec les EUB et EPF conduit à une amélioration du rendement de toutes les cultures testées sans pourtant affecter les caractéristiques physico-chimiques du sol. L'évolution de la largeur et de la longueur des feuilles de l'ail (variété de Meknès et variété de Figuig) est similaire lors de l'irrigation avec les EUB et les EPF. L'effet de ces deux traitements sur la longueur de la courgette et sur la variation du poids frais, la surface foliaire et la hauteur de la laitue n'a fait ressortir aucune différence significative. L'analyse bactériologique a montré que la contamination des cultures par les germes fécaux varie selon la nature du végétal cultivé et le type d'eau utilisée pour l'irrigation. Comparativement à l'ensemble des cultures testées, la laitue présente le degré de contamination le plus élevé. Le nombre des germes fécaux obtenu à partir de l'organe comestible dépasse les normes prescrites par la FAO/OMS (5 CF/g du fruit), ce qui pourrait avoir un effet néfaste sur la santé publique.

Mots clés: Eaux usées - Sol - Agriculture - Végétal - Physico-chimie - Bactériologie - Oujda

Effects of the reuse of raw wastewater of Oujda city on some agronomical and bacteriological parameters

This work presents the results of a comparative study of the use of raw wastewater, drinking water associated to a fertiliser and drinking water in three cultures (Lettuce, garlic and courgette) so as to put in evidence the effect of these treatments on the growth parameters on the one hand and on the other hand to determine the contamination degree by pollution indicator germs of these waters and cultures. Irrigation with raw wastewater (EUB) and fertilised drinking water (EPF) improved the yield of all the tested plants without affecting the physico-chemical characteristics of the soil. The growth of garlic leaves in wideness and length is similar during the irrigation with raw wastewater and fertilised drinking water. Moreover the effect of these two treatments on both length and weight of the courgette and on the lettuce shoot system dimensions showed no significant difference. The bacteriological analysis showed that of culture contamination with faecal germs varies according to both the nature of cultivated vegetable and the type of water used for irrigation. It is worth to note that the lettuce shows the highest degree of contamination compared to all other tested plants. Indeed the number of faecal germs detected from the edible part exceed excessively the norms of the FAO/WHO.

Key words: Wastewater - Soil - Agriculture - Vegetable - Physico-chemistry - Bacteriology - Oujda

¹ UFR des Sciences de l'Environnement en milieu aride et semi-aride, Département de biologie, Faculté des Sciences Oujda

* Auteure correspondante

INTRODUCTION

L'approvisionnement des grandes agglomérations en eau potable est un souci permanent des pouvoirs publics vu l'accroissement continue de la population et l'augmentation de l'utilisation de l'eau pour différents usages surtout dans les pays caractérisés par un climat aride à semi-aride. C'est dans cette optique que la réutilisation des eaux usées peut constituer une ressource non conventionnelle d'appoint, si l'on sait que le volume annuel des eaux usées rejeté par les agglomérations urbaines au Maroc est d'environ 500 millions de m³ et atteindra selon le Conseil supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC, 1994) 900 millions de m³ en l'an 2020. Le volume rejeté par la ville d'Oujda est estimé actuellement à 10 millions de m³. Lorsque cette énorme quantité d'eau subit un traitement d'épuration convenable, elle peut être utilisée à diverses fins notamment en agriculture où l'eau constitue un grand handicap (Bielorai *et al.*, 1984; Brister & Schultz, 1981; Neilsen *et al.*, 1989; Day *et al.*, 1962; Rhallabi, 1990; Seydou, 1996).

Au niveau de la ville d'Oujda, la réutilisation des eaux usées est limitée aux zones situées en aval des zones de rejet des effluents et où il est facile de les acheminer vers les périmètres à irriguer. Néanmoins, cette pratique présente de sérieux inconvénients à la fois pour la santé des consommateurs et pour l'environnement.

L'objectif du présent travail est de déterminer l'effet fertilisant des eaux usées brutes de la ville d'Oujda sur la croissance et le rendement des cultures mises à l'essai (laitue, courgette et ail) et leur impact sur le sol comparativement à l'irrigation avec l'eau potable avec et sans apport de fertilisant. Vu que la réutilisation des eaux usées obéit à des normes de qualité conçues dans le but de préserver la santé humaine, l'aspect bactériologique est abordé dans cette étude afin d'apprécier le nombre de germes indicateurs de la contamination fécale au niveau des eaux d'irrigation et des cultures et de prédire, éventuellement, l'origine des eaux usées.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Géographie et climat

La ville d'Oujda est située dans la plaine des Angad à une altitude moyenne de 459 m, de longitude 1°56' et de latitude 34°48' (MARA, 1978). Elle est caractérisée par un climat aride à semi-aride, de

température moyenne 12,5°C en hiver et 25°C en été. La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 238 mm. Les vents sont de direction nord-sud et nord-est sud-est avec une vitesse moyenne variant de 1,9 à 4 m/s. L'intensité moyenne du rayonnement solaire est de 2400 mw/cm² en hiver et 3900 mw/cm² en été.

2. Protocole expérimental

L'étude agronomique s'est déroulée dans la station expérimentale de la faculté des sciences d'Oujda. Le travail du sol a été fait avant la mise en place de la culture; des sarclages et des binages ont été effectués régulièrement.

Les essais ont été réalisés selon un dispositif approprié à chaque culture avec trois traitements (irrigation avec l'eau usée brute (EUB), irrigation avec l'eau potable (EP) et une irrigation avec l'eau potable associée à une fertilisation (EPF)). Les essais ont été répétés trois fois. Le système d'irrigation adopté pour les cultures est gravitaire. Les besoins en eau ont été déterminés sur la base des valeurs de l'évapotranspiration de la région. Les doses apportées étaient de: 480 mm pour la laitue, 546 mm pour la courgette et 649 mm pour l'ail.

Pour la culture de la laitue (*Lactuca sativa*), la variété utilisée est la Madrilène. Cultivée en pépinière le 01/12/1998, les plants de laitue ont été repiqués en plein champ, au stade trois à quatre feuilles, le 02/02/1999 sur billon avec un espacement de 25 cm entre les plants et 80 cm entre les billons. Pour une superficie de 4 m² chacune, les parcelles expérimentales, espacées les unes des autres par une distance d'un mètre pour éviter tout échange d'eau entre les différents traitements, correspondent à une densité théorique de plantation est de 100 000 plants/ha. La durée de l'essai est de deux mois.

Le semis de la courgette (*Cucurbita pepo*) a été réalisé le 5/5/2000 en poquet distant de 60 cm avec un écartement entre les lignes de 80 cm. La superficie des parcelles de 12 m² correspond à une densité de semis de 12 500 plants/ha. La durée d'essai est de trois mois.

En ce qui concerne l'essai de l'ail (*Allium sativum*), deux variétés locales ont été étudiées: la variété de Meknès (VM) et la variété de Figuig (VF). Les parcelles expérimentales utilisées ont une superficie de 4 m² chacune. Elles sont espacées les

unes des autres par une distance de 1 m. Le modèle expérimental adopté est un dispositif en split-plot avec deux variétés, trois traitements et trois répétitions. La plantation des caïeux a été faite le 23/11/1999 sur billon avec un espacement de 20 cm entre les caïeux et 15 cm entre les billons soit une densité de plantation de 200 000 caïeux/ha. L'essai a duré sept mois.

La croissance de la laitue a été appréciée par la mesure de la hauteur de la pomme, le diamètre, le nombre et la surface des feuilles, ainsi que le poids. Le rendement est déduit par pesée de toute la récolte obtenue.

Dans le cas de la courgette, les mesures ont porté uniquement sur la détermination du poids et la longueur du fruit.

Quant à l'ail, le rendement, le diamètre du bulbe, le nombre, la longueur et la largeur des feuilles ont été déterminés.

3. Analyses physico-chimiques

3.1. De l'eau

L'analyse physico-chimique consiste en un suivi annuel des eaux usées du canal principal à partir des prélèvements bimensuels dont l'objet est de déterminer les principaux paramètres susceptibles de caractériser ces eaux.

Les matières en suspension sont déterminées selon la norme AFNOR T90-105 (Rodier, 1984), la demande biologique en oxygène a été déterminée par la méthode manométrique (DBO-mètre de type BMS). L'azote ammoniacal, les orthophosphates, le calcium, le magnésium et les chlorures ont été déterminés respectivement selon les normes AFNOR: T90-015, T90-023, T90-016, T90-003 et T90-01 (Rodier, 1984). Le sodium et le potassium ont été dosés par spectrométrie à flamme. Les mesures du pH et de la conductivité électrique ont été déterminées à l'aide d'un multianalyseur de type Consort P407. Les métaux lourds ont été déterminés à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (à émission de flamme).

3.2. Du sol

Le sol a fait également l'objet d'analyse afin d'évaluer son degré de fertilité et sa composition en éléments minéraux et en métaux lourds. La méthode d'échantillonnage appliquée est celle de l'échantillon composite moyen. Huit échantillons

individuels ont été prélevés sur chaque parcelle, avant et après les essais, à des profondeurs allant jusqu'à 20 cm. Les principaux paramètres physico-chimiques du sol ont été déterminés au laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydraulique (DRH).

4. Analyse bactériologique

4.1. De l'eau

L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale (coliformes fécaux et totaux et streptocoques fécaux). Les prélèvements ont été effectués avec une fréquence mensuelle. Le dénombrement des coliformes et des streptocoques a été effectué selon la méthode indirecte de fermentation en tube multiple dans un bouillon lactosé et déduit statistiquement par la méthode du nombre le plus probable (Rodier, 1984).

4.2. Du végétal

La qualité hygiénique de la production des cultures pratiquées a également fait l'objet d'une étude. À la récolte, 50 g du poids frais de laitue, courgette et ail ont été prélevés des parcelles d'essais, puis lavés dans 100 ml d'eau physiologique stérile. L'eau du rinçage ainsi obtenue est soumise immédiatement à l'analyse bactériologique selon la méthode AFNOR NF V08-017 (juin, 1980) pour Coliformes fécaux et la méthode publiée au journal de la RF (19/01/1980) pour les streptocoques fécaux.

5. Fertilisation

La fertilisation minérale a été apportée selon les valeurs répertoriées dans le tableau 1 en tenant compte des exigences de chaque espèce.

Tableau 1. Apport en fertilisant (kg/ha)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Références
Laitue	200	400	200	Fiche technique, INRA- Maroc
Courgette	60	150	100	Gerard (1983)
Ail	80	160	80	Berrichi (1990)

6. Analyse statistique

Le traitement statistique des données est basé sur l'analyse de la variance à différents facteurs. Les moyennes sont comparées par la méthode de la plus petite différence significative (PPDS, 5%). La réalisation des calculs est effectuée à l'aide du logiciel Statistix.

RÉSULTATS

1. Analyses physico-chimiques des eaux usées brutes du canal principal

Les valeurs moyennes des variables physico-chimiques des eaux usées du canal principal (Cp) de la ville d'Oujda montrent que certains éléments chimiques sont apportés par les eaux usées en quantité acceptable respectant les normes des eaux d'irrigation (OMS, 1989) comme dans le cas de K, Mg, Ca par rapport à d'autres éléments qui sont apportés en quantité excessive dépassant les besoins des plantes telles que les matières en suspension, les matières azotées et les matières phosphatées (Tableau 2). Ainsi, sur la base d'un débit moyen de 175 l/s d'eaux usées du canal principal et d'une surface irriguée à Oujda de 251 ha (El Halouani, 1995), des valeurs moyennes des apports sont évaluées à 396 kg/ha.an en N, 119 kg/ha.an en P et 500 kg/ha.an en K. La richesse des eaux usées brutes de la ville d'Oujda en éléments majeurs leur confère une valeur fertilisante appréciable d'environ 1,4 à 1,7 fois du besoin maximal des plantes. Les valeurs de la conductivité électrique et de la sodicité ont montré que les eaux usées étudiées sont moyennement salines. Ceci impose certaines restrictions à leur utilisation pour l'irrigation des cultures sensibles.

Tableau 2. Paramètres physico-chimiques des eaux usées domestiques du canal principal de la ville d'Oujda

Paramètres	Collecteur Canal principal.....		
	Min.	Moy.	Max.
Température(°C)	17	19,5	28
pH	6,3	7,1	8,05
Conductivité(µS/cm)	1730	2630	3600
DBO ₅ (mg/l)	140	280	370
DCO (mg/l)	329	514	625
MES (mg/l)	135	275	651
N-NH ₄ (mg/l)	6,13	11,76	23,48
N-NO ₂ (mg/l)	0	0,02	0,22
N-NO ₃ (mg/l)	0	0,48	0,96
P-PO ₄ (mg/l)	2,88	5,43	8,44
P (tot) (mg/l)	7,38	9,97	11,53
Ca (mg/l)	50	100	130
Mg (mg/l)	24,3	54,7	72,9
Na (mg/l)	131,1	339,3	469,2
K (mg/l)	16	22,8	35,2
Cl (mg/l)	248	541	781
SO ₄ (mg/l)	24	54,1	86
CO ₃ (mg/l)	0	0	0
HCO ₃ (mg/l)	366	619	915
SAR (méq/l)	2,55	6,80	9,73

Du point de vue toxicité, les eaux usées du canal principal présentent des teneurs en fer de 0,95 mg/l, en zinc de 0,22 mg/l et en manganèse de 0,1 mg/l. Le plomb, le cuivre, le Cadmium, le chrome, nickel et l'argent sont absents. L'analyse bactériologique de ces eaux indique une charge moyenne en coliformes totaux (CT) de $2,6 \cdot 10^8$ germes/100ml. Les charges moyennes en coliformes fécaux (CF) sont de $2,9 \cdot 10^7$ germes /100 ml et celles des streptocoques fécaux (SF) sont de $4,2 \cdot 10^6$ SF/100 ml. Le calcul du rapport de CF/SF des eaux usées du canal principal est supérieur à 4. Ceci signifie que la pollution fécale est d'origine humaine. Concernant la qualité bactériologique de ces cultures, le nombre moyen de coliformes fécaux obtenus est de $6,4 \cdot 10^8$ germes CF/100 g pour la laitue, $1,3 \cdot 10^5$ germes CF/100 g pour la courgette et $3,5 \cdot 10^5$ germes CF/100 g pour l'ail quand l'irrigation est faite avec des EUB. Ce nombre est largement réduit pour une irrigation avec l'eau potable: 80 germes/100 g de laitue, 124 germes/100 g d'ail et moins de 100 germes/100 g de courgette. Il en est de même pour les streptocoques fécaux, les valeurs moyennes obtenues des cultures irriguées avec des EUB sont de $2,7 \cdot 10^7$ germes SF/100 g pour la laitue, 10^4 germes SF/100 g pour la courgette et $8 \cdot 10^6$ germes SF/100 g pour l'ail. Elles sont très élevées comparativement à celles qui sont irriguées avec l'eau potable: 38 germes SF/100 g de laitue, moins de 100 germes SF/100 g de courgette et 56 germes SF/100 g d'ail. D'après ces résultats, la contamination fécale varie en grande partie selon la nature du végétal cultivé (feuille, fruit ou bulbe) et le type d'eau utilisée.

2. Caractérisation du sol étudié

Le sol est peu évolué d'apport alluvial. Il présente une texture limono-argileuse, très carbonatée; son pH est de 8,13. Il est moyennement pourvu de matières organiques, d'azote et de phosphore (Tableau 3).

Tableau 3. Caractérisations physico-chimiques du sol

	Texture.....				Humidité	
	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin		Sable grossier
EP	15,70	22,75	16,58	27,53	17,80	10,5%
EPF	16,33	23	15,08	24,80	21,32	10,5%
EUB	15,33	22,50	15,08	25,97	23,15	10,5%
	Terre fine %.....					
	CaCO ₃	Corg	Mat. org.	N-NTK	P ₂ O ₅	C/N
EP	9	1,15	1,98	0,12	0,03	9,58
EPF	12	1,17	2,02	0,13	0,06	9,58
EUB	12	1,13	1,95	0,12	0,15	9,41

3. Effets des traitements sur la croissance et le rendement des cultures

3.1. Culture de la courgette

Les résultats de variation du poids et du rendement de la courgette en fonction du type d'eau sont présentés dans le tableau 4. Il en ressort que l'irrigation avec les eaux usées et l'eau potable enrichie de fertilisant permet d'améliorer le rendement de 2,4 pour les eaux usées et 1,5 fois pour l'eau enrichie par rapport à l'eau potable. Cet accroissement du poids des fruits est attribué à la valeur nutritive de ces eaux.

Tableau 4. Effet de l'eau d'irrigation sur le rendement, le poids et la longueur de la courgette

	EU	EP	EPF
Rendement (t/ha)	23,76	10	15,45
Poids (g/plant)	1900	800	1236
Longueur (cm)	14,92	14,07	14,56

Si les rendements sont affectés par la nature des eaux d'irrigation de manière très hautement significative, il n'en est pas de même pour les longueurs des fruits qui ne présentent aucune différence significative entre les trois types de traitement. Ceci laisse penser que la richesse en éléments fertilisants se répercute principalement sur l'aspect quantitatif.

3.2. Culture de l'ail

Les résultats des observations et mesures effectuées sur le végétal ont permis de mener une étude comparative de la croissance et du rendement des deux variétés de l'ail. Les figures 1 & 2 montrent l'évolution de la croissance de l'ail durant les quatre mois d'essai pour les différents traitements. On note que la croissance des feuilles des deux variétés est rapide pendant les trois premiers mois pour entamer par la suite une phase stationnaire. D'autre part, les feuilles de la variété de Figuig sont plus courtes et moins larges que la variété de Meknès durant tout l'essai. Par ailleurs, les résultats montrent que l'irrigation avec les eaux usées brutes influe de manière hautement significative sur la longueur et la largeur des feuilles des deux variétés comparativement à l'eau potable, surtout au dernier stade de l'essai. De ce fait, EPF et EUB forment un groupe statistiquement homogène justifié par leur effet identique sur les deux paramètres. La largeur moyenne des feuilles est de 1,29 cm pour les EUB

et 1,06 cm pour EP. Quant aux longueurs moyennes des feuilles pour ces mêmes traitements, leurs valeurs moyennes varient entre 29,98 cm (EUB) et 25,05 cm (EP).

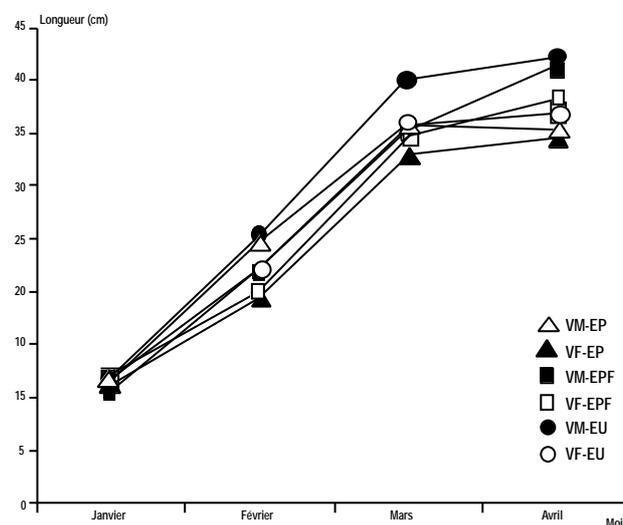


Figure 1. Évolution de la longueur des feuilles de l'ail pendant la période d'essai

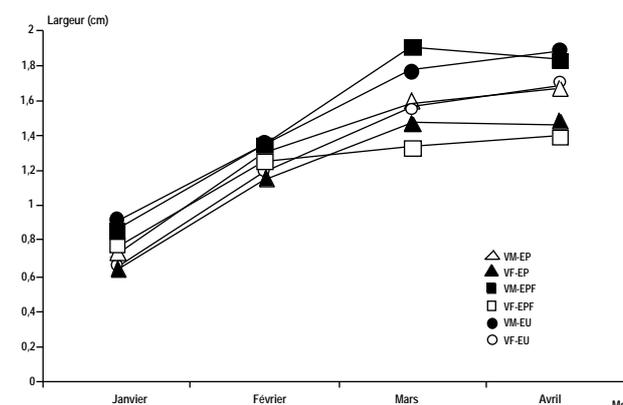


Figure 2. Évolution de la largeur des feuilles de l'ail pendant la période d'essai

Le comptage du nombre de feuilles pendant la période de l'essai (Figure 3) permet de constater que les feuilles des deux variétés apparaissent avec une cadence d'environ deux feuilles par mois. Entre le mois de mars et d'avril, la variété de Meknès maintient son nombre de feuilles. Par contre, celle de Figuig voit son nombre décroître, ce qui pourrait être expliqué par le stade couché dû à la précocité de la variété. Par ailleurs, l'analyse de la variance montre que les effets de la variété et du traitement sont hautement significatifs pour le nombre de feuilles avec une valeur moyenne de 4,6. Aucune différence significative n'a été obtenue entre les EUB et EPF.

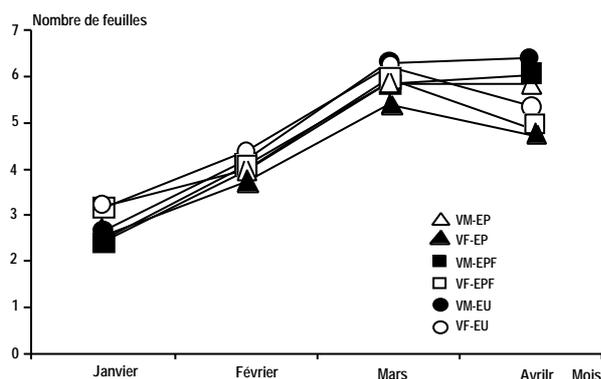


Figure 3. Évolution du nombre des feuilles de l'ail pendant la période d'essai

S'agissant de l'influence des eaux d'irrigation sur le rendement et le diamètre des bulbes d'ail, toutes les mesures confirment la supériorité des EUB et des EPF. En effet, une différence hautement significative a été décelée pour les deux variétés par rapport à l'eau potable.

Ainsi, le rendement de la variété de Figuig est de 25 q/ha pour les EUB et 12 q/ha pour EP tandis que pour la variété de Meknès, il est substantiellement plus élevé avec 31,5 q/ha pour EUB et 13 q/ha pour l'eau potable.

Cette différence pourrait être expliquée par une capacité génétique de production plus élevée de la variété de Meknès. Il est à remarquer également que le calibre des bulbes de la variété de Meknès est nettement plus gros comparativement à celui de la variété de Figuig.

3.3. Culture de la laitue

L'effet des trois traitements sur la culture de la laitue a été étudié en examinant les différents paramètres de croissance. D'après les figures 4 et 5, le poids moyen et la surface foliaire sont nettement améliorés avec une irrigation avec EUB par rapport à EP. Cette tendance a été également constatée, mais d'une manière moins prononcée pour la hauteur et le diamètre.

Toutefois, les données relatives à la culture de la laitue révèlent que tous les paramètres évoluent avec la même importance pour les deux types d'irrigation EUB et EPF avec un avantage pour l'utilisation des EUB allant de 8 à 11% suivant le paramètre étudié.

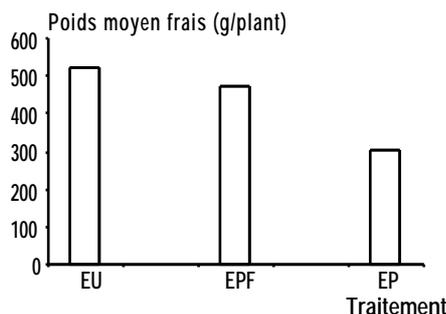


Figure 4. Variation du poids moyen frais d'une pomme de laitue en fonction du type d'irrigation

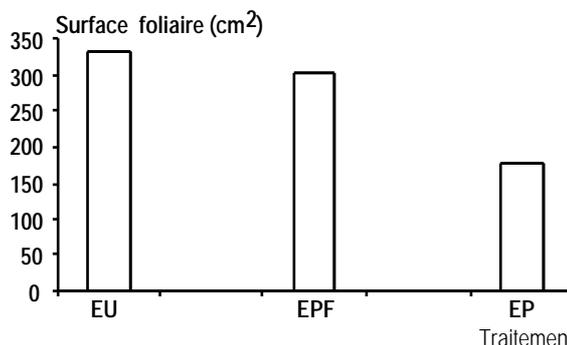


Figure 5. Variation de la surface foliaire de la laitue en fonction du type d'irrigation

L'analyse statistique relative à la hauteur, à la surface foliaire et au poids frais montre, par rapport à EP, une différence hautement significative en faveur des EUB et EPF qui forment un groupe statistiquement homogène.

Les essais effectués ont enregistré des rendements de 33,30 t/ha pour EUB, 27,50 t/ha pour EPF et 25,8 t/ha pour EP (Figure 6), ce qui correspond, pour les EUB, à une augmentation du rendement de 29% par rapport à EP.

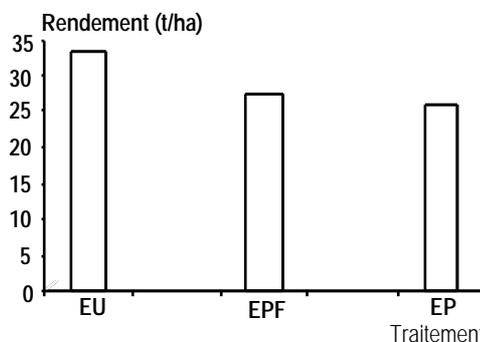


Figure 6. Variation du rendement de la laitue fraîche en fonction du type d'irrigation

DISCUSSION

L'analyse physico-chimique des EUB du canal principal de la ville d'Oujda a révélé que la charge polluante de ce rejet est relativement faible par rapport à celle des eaux usées brutes à l'échelle nationale (ONEP, 1998). En général, Les apports des EUB en éléments fertilisants dépassent largement les besoins des cultures. La quantité d'azote contenue dans les eaux usées du canal principal est proche de celle qui a été donnée par El Halouani (1995) alors qu'elle est très inférieure à celle qui a été rapportée par El Hamouri *et al.* (1987) et Bouhoum *et al.* (1995), mais elle reste en excès par rapport au besoin azoté des espèces les plus exigeantes qui se situe à 280 kg/ha.an (El Halouani, 1995). L'apport en phosphore du canal Cp concorde avec les données relatives aux eaux usées marocaines (Bentalab, 1986; ONEP, 1999) et répond parfaitement au besoin des plantes dont le seuil est estimé à 80 kg/ha.an selon El Halouani (1995). D'après les travaux de Ratel *et al.* (1986), les besoins des cultures en potassium se situent entre 60 et 300 kg/ha.an. Ce résultat signifie que les eaux usées du canal principal sont capables d'apporter la quantité de potassium nécessaire à la croissance des plantes.

Concernant l'analyse bactériologique, le nombre moyen en coliformes totaux dans le canal principal est en bon accord avec les données bibliographiques relatives à l'état de contamination bactérienne des effluents urbains (Baylet & Mandin, 1978; Boutin, 1982; ONEP, 1999).

Par ailleurs, les concentrations en métaux lourds trouvées dans les eaux usées sont inférieures aux normes présentées dans la littérature (Mustin, 1987; Robert & Chevery, 1996). Certains des métaux lourds (Fe, Mn, Cu et Zn), en faible quantité, sont indispensables à la croissance des cultures. Mais à des teneurs élevées, ils peuvent être toxiques et inhiber le développement des plantes (Afli, 1996). Le fer est l'élément le plus représenté, un apport excessif en cet élément pourrait contribuer à la baisse de la disponibilité du phosphore et du molybdène essentiel pour la plante (Ayers & Wescot, 1988).

Les analyses physico-chimiques du sol réalisées avant et après les essais n'ont pas révélé de modifications sensibles de l'état de fertilité du sol. Ceci est en accord avec d'autres travaux témoignant que les effets des eaux usées sur le sol

ne se manifestent qu'après plusieurs années d'irrigation intensive (Shende *et al.*, 1985; Bardai *et al.*, 1991). Certes, cette situation pourrait être compromise après plusieurs années d'irrigation avec les eaux usées brutes, en raison de la charge polluante qu'elles contiennent et le cumul des métaux lourds qu'elles véhiculent.

La charge moyenne en coliformes fécaux (CF) et streptocoques fécaux (SF) dans l'effluent étudié dépasse le seuil fixé pour les eaux destinées à l'irrigation (OMS, 1989), mais restent quand même comparables aux résultats donnés par Kathir (1991) pour EUB de Bensargao à Agadir et par Rhallabi (1990) pour les eaux usées brutes de Rabat. Pour la ville d'Ouarzazate, le dénombrement des coliformes fécaux des EUB a révélé une charge moyenne légèrement inférieure à celle du canal principal (Projet Mor 018/86, 1998).

Au niveau du végétal, le degré de contamination est très élevé chez les cultures irriguées avec EUB comparativement à celles irriguées avec EP et EPF. Il dépasse largement les normes préconisées par la FAO/OMS fixées à 5 CF/g de fruit (Drapeau *et al.*, 1977).

La laitue, qui est un légume feuillu consommé à l'état cru, présente le risque de contamination le plus élevé car il affiche les valeurs les plus importantes en nombres de germes fécaux par rapport à l'ail et la courgette qui sont des légumes consommés généralement à l'état cuit. Ces valeurs sont attribuées, d'une part, au contact direct des cultures avec le sol et à l'eau d'irrigation et, d'autre part, à la densité et l'irrégularité de la surface des feuilles (ondulations foliaires) qui assurent une protection des germes contre la destruction par le rayonnement solaire (Rosas *et al.*, 1984; Rhallabi, 1990).

En revanche, le feuillage épars de la courgette non coureuse et la nature de sa surface permettent une meilleure exposition du fruit au rayonnement solaire, ce qui contribue à la minimisation des risques de contamination (Projet Mor 018/86, 1998).

Le degré de contamination relativement faible de l'ail fait exception malgré l'opacité du milieu et le contact direct avec le sol et l'eau d'irrigation. Cette situation pourrait être expliquée principalement par la rétention à la surface du sol d'une grande partie des matières en suspension sur lesquelles

sont adsorbés les micro-organismes (Brissaud, 1987), d'une part, et par les précipitations printanières qui ont été enregistrées durant les mois de mars et avril et qui ont réduit les fréquences d'irrigation avec les eaux usées brutes et favorisé l'entraînement des germes en profondeur loin du bulbe, d'autre part. Ce résultat a été également obtenu pour une culture de navet testée dans le cadre du projet MOR 86/018 (1998) relatif à la réutilisation des eaux usées de la ville d'Ouarzazate.

En se basant sur l'effet des irrigations sur le rendement des cultures et les autres paramètres de croissance, on constate que:

- Dans le cas de la courgette, une différence spectaculaire du rendement avec des valeurs moyennes de 23,76 t/ha pour les EUB et de 10 t/ha pour EP. Cette constatation a été également rapportée par le projet Mor 018/86 (1998) lors des essais de culture de la courgette - variété blanche d'Alger- qui ont abouti à un accroissement de la productivité allant de 3 t/ha pour l'eau de puits à 14 t/ha pour les eaux usées brutes. Des résultats similaires ont été rapportés par Kathir (1991) qui a montré que l'apport des eaux usées épurées à une culture de courgette conduit à une amélioration de la croissance de la matière fraîche et de la matière sèche des différentes parties de la plante avec une augmentation de 40% du rendement total. De manière générale, l'irrigation des cultures légumières avec les eaux usées traitées ou brutes a suscité l'intérêt de plusieurs auteurs. Ainsi, Neilson *et al.* (1989) ont constaté une amélioration de la production des cultures de tomate, poivron, concombre et haricot irriguées avec des eaux usées traitées ou avec des eaux douces fertilisées. De même Rejeb (1986) a rapporté que l'irrigation avec les eaux usées a un effet bénéfique sur le rendement de la culture de piment. De plus, pour une culture de tomate irriguée avec des eaux usées épurées, El Hamouri (1990) a obtenu une augmentation du rendement de 26% par rapport au témoin.
- Quant à l'ail, on constate une nette influence des EUB et EPF sur la longueur et la largeur des feuilles par rapport à EP. En moyenne, les résultats montrent une longueur des feuilles variant de 25,05 cm (traitement EUB) à 29,98 cm (traitement EP), ce qui est en bon accord avec les données de la littérature selon laquelle la longueur des feuilles de l'ail est comprise entre 25 et 50 cm et parfois plus selon les variétés et les

conditions de culture (Berrichi, 1990; Massiaen *et al.*, 1993).

Très peu de travaux ont fait l'objet d'étude de l'effet d'irrigation sur les espèces Liliacées, seul l'oignon a été étudié par Neilson *et al.* (1989) qui ont obtenu une amélioration de la production en utilisant comme source d'irrigation les eaux usées traitées ou l'eau potable associée à un supplément de fertilisant.

Les données disponibles concernant l'ail irrigué avec l'eau de puits indiquent un rendement de 7,5 t/ha en France et 5 à 6 t/ha en Tunisie. Au Maroc, les rendements obtenus dans les terres à fertilité moyenne sont de l'ordre de 6 à 8 t/ha selon les variétés (Kolev, 1972; Berrichi, 1990).

Dans ce contexte, les faibles valeurs des rendements obtenus pour les variétés de Figuig et Meknès sont vraisemblablement inhérentes aux facteurs édapho-climatiques. En effet, l'ail est très exigeant sur le plan édaphique: il préfère des terres légères, sablonneuses, saines et fertiles. De plus, il a neigé durant la période de l'essai, ce qui pourrait être néfaste pour une croissance normale de l'espèce.

- Dans le cas de la laitue, l'utilisation de EPF et surtout EUB a engendré une augmentation significative du rendement par rapport à EP, due à la disponibilité en quantité importante d'éléments minéraux pour la plante, surtout l'azote, qui stimule sa croissance végétative (foliaire) et, par conséquent, augmente sa production (Figure 10). Cette amélioration du rendement a été également observée par Fdil *et al.* (1995) qui a obtenu une augmentation de la production de la laitue d'environ 40% avec une irrigation avec des eaux usées brutes ou épurées. Les résultats relatifs à la culture du chou irriguée avec des eaux usées brutes (42,5 t/ha), épurées (39,2 t/ha) et décantées (34,6 t/ha) ont indiqué des rendements largement supérieurs à celui de EP (Rhallabi *et al.*, 1988).

CONCLUSION

L'examen des résultats relatifs aux essais de cultures réalisés sur la laitue, l'ail et la courgette a montré que l'irrigation avec des eaux usées conduit à une amélioration du rendement en comparaison avec l'eau potable compte tenu de leur richesse en éléments fertilisants et en matière organique.

Ainsi, l'effet du traitement agit principalement sur l'aspect quantitatif de toutes les cultures testées.

Les caractéristiques physico-chimiques du sol ne sont pas affectées par la nature des eaux d'irrigation. Cette situation pourrait être compromise après plusieurs années d'irrigation avec les EUB, en raison de la charge polluante qu'elles contiennent et la quantité de métaux lourds qu'elles véhiculent.

En terme de qualité hygiénique des récoltes, l'étude bactériologique a montré que le nombre de germes indicateurs de contamination fécale des eaux usées de la ville d'Oujda dépasse largement les normes recommandées par la FAO/OMS. Au niveau du végétal, le degré de contamination est fonction principalement de la nature de l'organe comestible et du type d'irrigation appliquée. Dans tous les cas rencontrés, les produits récoltés présentent une contamination nettement supérieure à 5 CF/g de l'organe consommé. Ceci constitue le seuil pour une qualité bactériologique acceptable selon les recommandations de la FAO/OMS.

Toutefois, en se basant sur les besoins nutritifs des cultures, on peut dire que les eaux usées peuvent constituer une alternative à la fertilisation minérale, à condition qu'elles subissent au préalable une épuration adéquate permettant de réduire à la fois leur charge polluante et leur degré de contamination jusqu'au niveau requis pour une réutilisation à des fins agricoles. Pour la ville d'Oujda, une épuration par lagunage facultatif ou lagunage à haut rendement pourrait représenter une solution susceptible d'améliorer leur qualité physico-chimique et bactériologique.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements sont adressés au ministère de l'enseignement supérieur, de la formation des cadres et de la recherche scientifique pour l'appui financier de ces travaux dans le cadre du PARS Agro 91.

RÉFÉRENCES CITÉES

Afli A (1996) Contraintes et perspectives de développement de la réutilisation des eaux usées traitées: cas de la Tunisie et du Maroc. Mémoire de 3^{ème} cycle Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Ayer RS & Wescot DW (1988) Qualité de l'eau en agriculture. *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage* 29

Bardai H, El Hamouri B, Handouf A, Jellal N, Khana A, Mekrane M, El Maaroufi M & Merzouk M (1991) Utilisation des eaux usées en agriculture. Effet sur la production agricole et sur l'environnement. Actes des deuxièmes journées techniques de l'assainissement urbain (Maroc)

Baylet R & Mandin G (1978) Lagunage et virologie des eaux usées. *La technique de l'eau et de l'assainissement* (383): 19-22

Bentaleb A (1986) Réutilisation des eaux usées brutes au Maroc. Mémoire de 3^{ème} cycle (génie rural – option environnement) Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

Berrichi A (1990) Assainissement viral de l'ail (*Allium sativum*) de L'OYDV (Onion Yellow Dwarf Virus) par la culture in vitro D'apex méristématiques. Mémoire de 3^{ème} cycle de l'Institut national agronomique de Tunisie

Bielorai H, Vaisman I & Fegin A (1984) Drip irrigation of cotton with treated municipal effluents I. Yield response. *Journal Environ Qual* (13): 231-234

Bouhoum K, Ouazzani N, Mandi L, Aboufirassi M, Bouarab L, Boutoux J & Schwartzbrod J (1995) Purification abilities of four extensive wastewater treatment plant under arid climate of Marrakech. IAWQ 2nd international symposium on wastewater reclamation and reuse, 17-20 octobre, Iraklio, Crete, Greece 221-232

Boutin P (1982) Implications sanitaires de l'assainissement des petites collectivités et de l'assainissement autonome. XVI^e journées de l'hydraulique. (Nantes), 14, 15 et 16 sept.

Brissaud F (1987) les procédés du géo-assainissement. Pollution et environnement des eaux souterraines. Protection et problèmes d'assainissement, AGSO-VERSSEAU (Montpellier) 7, 8 et 9 octobre, 153-204

Brister GH & Schultz RC (1981) The response of a southern Appalachian forest to wastewater irrigation. *Journal Environ Qual* 10: 148-153

CSEC (1994) Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (Maroc). Réutilisation des eaux usées en agriculture. 8^{ème} Session

Day AD, Tucker TC & Vavich MG (1962) Effect of city sewage effluent on the yield and quality of grain from barley, oats, and wheat. *Agron J* (54): 133-135

Drapeau AJ & Jankovic S (1977) Manuel de microbiologie de l'environnement. Ed. OMS-Genève

- El Halouani H (1995) Réutilisation des eaux usées en agriculture et leur impact sur l'environnement: cas de la ville d'Oujda. Thèse d'état, Faculté des sciences (Oujda)
- El Hamouri B, Bouchabchoub A, Rhallabi N, Maraghich M, Khallayoune K & Ettalibi M (1987) Traitement des eaux usées domestiques dans le chenal algal à haut rendement. *Actes inst Agron Vet* (Maroc) 7(3 & 4): 5-15
- Fdil F, Naji S, Berdai H & El Maaroufy M (1995) Actes du colloque national sur le traitement et la réutilisation des eaux usées. Casablanca
- INRA-Maroc. Fiche technique: n° 33 Ag22 X2. Sur "la Laitue" ed INRA-Maroc
- Gerard D (1983) Cours des cultures maraîchères. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Complexe horticole d'Agadir
- Kathir A (1991) Irrigation avec une eau usée épurée d'une culture de courgette. Aspect agronomique et qualité sanitaire du fruit. CEA Univ. Marrakech
- Kolev N (1972) Cultures maraîchères au Maroc. Cours universitaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat- Maroc, 349 p.
- Neilson G, Stevensen DS, Fitzpatrick JJ & Brownlec CH (1989) Nutrition and yield of young apple tree irrigated with municipal wastewater. *J Amer Soc Hort Sci* 114 (3): 377-383
- MARA D (1978) Le pouvoir d'évaporation du climat marocain. Direction de recherche agronomique. Rabat (Maroc)
- Messiaen CM, Cohat J, Lerroux JP, Pichou M & Beyries A (1993) Les Allium alimentaires reproduits par voie végétative, INRA Editions, Paris
- Mustin M (1987) Le compost gestion de la matière organique. ed. François Dubusc-Paris, 274 p.
- OMS (1989) L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture: Recommandations à avisées sanitaires. Rapport d'un groupe scientifique de l'OMS. Organisation mondiale de la santé, Série de rapports techniques 778
- ONEP (1999) Caractérisation quantitative et qualitative des eaux usées. Guide de bon pratique. Direction Laboratoire de la qualité des eaux. Mai
- Projet Mor 86/018 (1998) PNUD /FAO /OMS. Epuration et réutilisation des eaux usées à des fins agricoles. Ministère de l'agriculture, du développement rural et de pêches maritimes. Administration du Génie Rural et Office Régional de Mise en Valeur Agricole d'Ouarzazate
- Ratel C, Nejjar A & Bentaleb M (1986) La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation au Maroc: cas de la ville de Marrakech. Séminaire sur les technologies appropriées pour l'eau et l'assainissement en zones arides, Rabat, 24 -28 novembre
- Rejeb S (1986) conséquence de l'irrigation avec des eaux usées traitées et de l'application des boues résiduaires sur la composition minérale du piment, du sergho fourragère et des agrumes. Séminaire maghrebin sur la réutilisation des eaux usées après traitement en agriculture. (Tunisie): 23, 26 avril
- Rhallabi N, Moundib R, Maraghich M, Thoreau F & El Hamouri B (1988) Traitement des eaux usées domestiques dans un chenal algal à haut rendement et leur réutilisation pour l'irrigation du chou. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire
- Rhallabi N, Moundib R, Maaroufy M, Marhich M, Khallaayoune Kh, Bouzoubaa Kh, Agoumi A, Ettalibi M, Berdai H, Jellai N, Touzani M, Handoufe A, Benchokroun T & El Hamouri B (1990) Effet des irrigations avec des eaux usées brutes et épurées sur le sol, le rendement d'une culture de tomates et la qualité hygiénique de récolte. *Actes Inst Agron Vet* (Maroc) 10 (2): 57-56
- Robert M & Chevery C (1996) Les ressources mondiales en eau et en sols une limitation pour l'avenir: Cahiers Agricultures, 5: 243- 248
- Rodier J (1984) L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 7^{ème} édition, Dunod
- Rosas I, Beaz A & Coutino (1984) Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots, Mexico city. Mexico. *App Env Microbiol* 47(5): 1074-1079
- Seydou N (1996) Utilisation des eaux usées domestiques en maraîchage périurbain à Dakar (Sénégal). *Cahiers Sécheresse* 7 (3): 217-223
- Shende GB, Chakrabarti C, Rai RP, Nashikkar VJ, Kshirsagar DG, Deshbhratar PB & Juwarkat AS (1985) Status of wastewater treatment and agricultural reuse with special reference to indian experience and research and development needs. Proceedings of the FAO regional seminar in de treatment and use of sewage effluent for irrigation. Nicosia. Cyprus. ed. M Pescod MB and Arar A pp.: 185-209