

Valorisation et étude phytotoxicologique des eaux d'irrigation à partir des eaux usées, sur deux cultures (tomate industrielle et haricot vert)

Valorisation and phytotoxicology study of irrigation water from wastewater on two crops (industrial tomato, green beans) in the region of El-Kala.

Mourad Lazhar Bouzou^{*1}, Chaabene Rahmoune², Ratiba Seridi³ & Moussa Houhamdi⁴

¹ Université Abbès Laghrou Khenchela, Algérie.

² Laboratoire éco-toxicologie, Université Constantine, Algérie.

³ Département de Biologie. Université Badji Mokhtar, BP 12, 23000, Annaba, Algérie.

⁴ Département de Biologie, Université 08 mai 1945, 24000, Guelma

Soumis le : 16/10/2017

Révisé le : 21/05/2017

Accepté le : 04 /06/2018

ملخص:

دراستنا التجريبية تحتوي على متابعة بحث في ميدان الري الزراعي باستعمال المياه القذرة و الملوثة الغير الصناعية مع مربع الكتلة التجريبية يتركب من 04 انواع مختلفة من مياه السقي وصنفين 02 من المحصولين مثل (الفاصوليا الخضراء) و(الطماطم الصناعية) باستعمال 02 نوعان مختلفان من التربة ثقيلة وخفيفة (أ) و (ب). مجموعة المربع التجريبي يتكون من 80 وعاء مع تردد الري في القدرة الميدانية مع إجراء تحاليل فيزيائية و كيميائية لثبوت وجود بعض السموم مثل المعادن الثقيلة وغيرها باستعمال قوانين وإحصائيات تثبت وتدلل على اختياري الجودة و النوعية الصالحة لسقي في فائدة المحاصيل الزراعية.

كلمات مفتاح : الري - فيزيائية و كيميائية - البيئة - الطاقة المتجددة - نوعية المياه .

Résumé

Notre étude expérimentale consiste à réaliser une expérimentation Agronomique sur l'irrigation avec les eaux usées (domestique), dont le bloc expérimental se compose comme suite : 04 traitements d'eau ; 02 cultures (tomate) et (Haricot vert), cultivé sur 02 sols : (A) lourd, (B) léger, l'ensemble forme un bloc de 80 pots, avec une fréquence d'irrigation à la capacité au champ (CC). Des analyses physico-chimiques minérales et toxiques se déterminent avec des lois statistiques comparatives pour définir la bonne qualité d'eau à des fins Agricoles.

Mots clé : irrigation, physico-chimique, écologie, énergie renouvelable, qualité d'eau.

Summary

Our experimental study consists in carrying out an agronomic experiment on irrigation with waste water (domestic) whose experimental block is composed as follows: 04 water treatment, 02 crops (tomato) and (green bean), cultivate on 02 soils: (a) heavy, (b) light, the whole forms a block of 80 pots, with frequent irrigation with field capacity (cc). Physicochemical analyzes are performed with comparative statistical laws to define good water quality for agricultural purposes.

Key words: Irrigation, Physicochemical, ecology, renewable energy, water quality.

* Auteur correspondant: bouzou.lazhar@yahoo.fr

1. Introduction

L'accroissement démographique et l'urbanisation accélérée de la population algérienne sont à l'origine d'une augmentation importante des besoins en eau potable. Parallèlement, l'intensification de l'agriculture a multiplié les demandes en eau d'irrigation. Face à ces demandes importantes, les ressources naturelles en eau superficielle de surface et souterraine ne sont plus suffisantes. C'est pourquoi, parallèlement à la recherche d'une meilleure gestion de ces ressources, la réutilisation des eaux usées traitées apparaît de plus en plus nécessaire. Suite à l'épuration des eaux usées, des quantités importantes des boues sont produites et doivent être éliminées. Leur richesse en matière organique a conduit à leur valorisation agricole. L'utilisation des eaux usées et des boues a été envisagée en Algérie depuis de nombreuses années. Cependant, les essais entrepris tels que l'irrigation de la plaine d'El-Kala ou l'irrigation à partir des eaux usées de la ville d'El-Kala n'ont pas fait l'objet d'études approfondies. Ainsi, la mise en place d'un programme de la recherche expérimentale s'est avérée nécessaire avec comme objectif l'élaboration de normes d'utilisation propres aux conditions agro-climatiques de l'Algérie. En effet, la détermination des conditions d'utilisation est indissociable des facteurs relatifs au milieu naturel (sol et climat), aux pratiques des boues utilisées, celle-ci étant fortement liés à leurs origines et aux types d'épurations. Le travail que nous présentons ici est destiné à mieux comprendre la valeur agronomique des eaux usées traitées, ainsi que le risque de contamination du végétal par les éléments potentiellement toxiques qu'elles contiennent. Notre étude a été basée sur quelques types d'approche :

- Une approche par l'expérimentation de l'irrigation avec les eaux usées sur la croissance et la qualité des cultures.
- Une approche par l'expérimentation en milieu contrôlé dont le but est d'apporter des éléments d'information relatifs à l'efficacité de l'azote contenu dans l'eau usée.
- Une approche de développement technique est de stocker l'eau traitée dans des bassins de lagunage proches des superficies irrigables.
- Une mobilisation des agriculteurs, à ne pas irriguer avec les eaux usées (interdit par les lois).
- D'encourager l'installation des STEP (Station de Traitement d'Eau polluante), cette eau étant considérée comme une partie d'énergie renouvelable à valoriser.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Matériels

Ci-dessous le matériel utilisé dans la réalisation du travail concernant l'eau d'irrigation:

- * E0 : (eau de nappe comme témoin)
- * E1 : (eau usée brute)
- * E2 : (50% (EUT) + 50% (EUB))
- * E3 : eau usée traitée (EUT)

2.1.1. Matériel biologique

Deux plantes ont été utilisées dans notre expérimentation : la tomate industrielle et le haricot vert.

2.1.2. Bloc expérimental

Nous avons opté pour la partie expérimentale pour un bloc aléatoire complet aussi bien pour la tomate industrielle que pour le haricot vert, comme présenté sur la figure ci-dessous. L'essai a été mené en blocs complètement randomisés avec quatre traitements ; 4 mètres de long chaque parcelle élémentaire

2.1.3. Mesures effectuées

Les mesures prises sur les végétaux ont requis le matériel suivant :

- pot (diamètre de 80 cm, hauteur est de 60 cm)
- règle graduée
- pied à coulisse
- spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme
- Multi paramètre



Figure 1 : Blocs aléatoires complets des cultures de tomate industrielle et de haricot vert

2.2. Méthodes

2.2.1. Echantillonnage et mesure de croissance

Les prélèvements des feuilles de tiges, des racines et des fruits ont été réalisés jusqu'à la fin de la période de production, tout le long du cycle végétatif, aussi bien pour la tomate que le haricot.

2.2.2. Mesure de la croissance pondérale

La croissance pondérale a été déterminée par les masses de matières fraîches et sèches pour une moyenne de 10 répétitions. Chaque répétition étant constituée de 4 à 6 plants prélevés pour chaque pot.

2.2.3. Mesure de la croissance en longueur

Les longueurs des tiges et les parties aériennes comme les feuilles ont été mesuré à l'aide d'une toise. Les valeurs données sont les longueurs moyennes de 10 répétitions, chaque répétition est-elle même une moyenne des mesures effectuées sur 6 à 15 plants. Le sol a été irrigué de manière à être maintenu à 70% de sa capacité au champ environ 7kg/pot. Pour éviter les problèmes liés à la germination, les graines ont germé dans des boîtes de Petri. Elles ont par la suite été repiquées sur sol. La production de matière sèche a été déterminée pour tous les traitements considérés.

2.2.4. Echantillonnage et mesure de croissance

Pour les deux essais, une période de croissance de 70 jours a été adoptée. A la fin de cette période, les parties aériennes ont été prélevées pot par pot et pesées en vue de la détermination de la matière fraîche puis séchées à 80°C jusqu'à un poids constant.

2.2.5. Analyse chimique

Les échantillons prélevés pour la détermination de la croissance ont été utilisée pour l'analyse de la composition chimique. L'analyse a été réalisée sur chaque partie (feuilles, tiges, racines et fruits) séparément. Après la détermination de la matière sèche, tous les échantillons pris individuellement ont été broyés finement. La poudre végétale obtenue a par la suite été minéralisée de différentes manières pour prendre en compte l'ensemble des éléments à doser.

2.2.6. Dosage de l'azote Kjeldahl

L'azote a été déterminé par la méthode Kjeldahl. La minéralisation à l'acide sulfurique a été suivie d'une distillation à l'aide d'un appareil Buchi. Les ions ammonium ont été récupérés dans l'acide borique puis titrés avec de l'acide chlorhydrique N/20.

2.2.7. Dosage des chlorures

L'extraction a été faite par action de HNO_3 à 5% et à froid. Le dosage par colorimétrie a été effectué en présence de gélatine et d'un tampon acétique. Pour nos premières déterminations, nous avons utilisé un chloridimètre Buchler.

2.2.8. Dosage du bore

La poudre végétale a été calcinée à 500°C pendant 4 heures, la reprise des cendres a été faite avec de l'acide acétique à 25%. Le développement de la couleur en présence de dianthrimide et sulfate d'hydrazine se fait à 90°C pendant 3 heures. Le dosage a été effectué par colorimétrie à 620 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible Perkin Elmer Lambda3.

2.2.9. Dosage du soufre total

Le dosage des sulfates a été effectué par gravimétrie à l'état de BaSO_4 . L'attaque de la matière végétale se fait avec de l'acide nitro-perchlorique à chaud. La précipitation de SO_4^- se fait avec BaCl_2 à 10% et à chaud. Après filtration et lavage jusqu'à la disparition des chlorures, le précipité a été calciné puis pesé.

Dosage de Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, k, p, Pb et Zn

Des analyses préalables ont été effectuées. Les tableaux I et II représentent les apports moyens des fertilisants d'une hauteur d'eau de 600mm(en Kg/h) et les propriétés physiques des sols utilisés.

Tableau I. Apports moyens des fertilisants d'une hauteur d'eau de 600mm(en Kg/h)

	E0 (mg/l)	E1 (mg/l)	E2 (mg/l)	E3 (mg/l)
pH	7.6	8.6	7.9	7.6
CE (ds/m)	1.61	3.1	2.9	2.3
RS	1.71	1.9	1.7	1.82
HCO_3^-	228.5	390	299	370
SO_4^-	90	360	390	350
Cl^-	648	740	720	554
Ca^{++}	250	340	290	150
Mg^{++}	48.5	60.1	58	56.5
Na^+	214	370	390	366
N	126	240	200	189
P	0.1	40	20	24.6
K	19.3	317	120	217.6
B	0.60	12	0.9	6.00
Cd	Trace	-	-	Trace
Co	0.24	1.4	1.2	0.30
Cr	-	1.1	1.2	0.12
Cu	0.12	1.2	1.1	0.18
$\text{Fe}^?$	0.66	0.9	0.7	1.98
Mn	0.06	1.0	0.9	0.30
Ni	0.30	1.9	1.5	0.36
Pb	0.96	0.9	0.9	1.14
Zn	0.24	0.8	0.8	0.72

Tableau II. Propriétés physiques des sols utilisés

sols	Sol (A) Tomate	Sol (B) Haricot vert
Granulométrie		
Argile (%) 0-2 μm	44	16

Limon (%) 2-50 µm	16	20
Sable (%) ≥50 µm	40	64
Texture	Argilo-sableux	Sablo- argileux
Densité apparente	1.06	1.25
Humidité pondérale (kg/dm ³) à la capacité au champ	32.5%	24%
Point de flétrissement	11%	7%

2.2.10. Préparation du matériel

Pour l'ensemble de ces éléments, nous avons retenu l'attaque nitro-perchlorique. Le poids de la poudre végétale, la quantité d'acides ainsi que le volume final ont été modifiés selon la concentration présumée des éléments et de la limite de détection des appareils. On utilise généralement 0.5 g/100 ml pour les éléments majeurs et 2 g/50 ml pour les microéléments.

2.2.11. Dosage de calcium, potassium et sodium

Les dosages de Ca, K et Na ont été réalisés en émission de flamme soit sur le minéralisant directement soit après dilution à l'aide d'un photomètre à flamme de type Eppendorf.

2.2.12. Dosage du cobalt, cuivre, fer, magnésium, manganèse et zinc

Ces éléments ont été dosés en absorption atomique à flamme. Pour le Zn, Cu et Mn, les dosages réalisés sur les minéralisats. Pour Mg et Fe, les dosages ont été réalisés sur les minéralisats dilués au chlorure de lanthane à 5% pour corriger les interférences. Les mesures ont été réalisées au moyen d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer 2380.

2.2.13. Dosage du cadmium et plomb

Les niveaux de concentration de ces éléments étaient trop faibles pour permettre une mesure correcte en absorption atomique à flamme. A cet effet, nous avons dû refaire certains dosages en augmentant le poids de la poudre et en réduisant le volume final, par la suite, nous avons réalisé des mesures en absorption atomique électrothermique. Le matériel utilisé était un four graphite HGA 400 - Perkin Elmer.

2.2.14. Dosage du phosphore

Le phosphore a été dosé par colorimétrie au vanadomolybdate à 436 nm.

3. Résultats et Discussions

3.1 Effets des eaux usées traitées sur la teneur en eau du haricot vert et de la tomate

Nous avons exprimé la teneur en eau en g par g de matière sèche. Les résultats obtenus sont indiqués dans le Tableau III. Pour le haricot vert, nous pouvons constater qu'au cours de la production les parties aériennes des plantes irriguées avec les eaux usées traitées présentent une hydratation supérieure à celle du témoin. Pour la tomate, nous pouvons noter que la teneur en eau des racines et des parties aériennes (feuilles et tiges) dans le traitement E3 est sensiblement la même que celle du témoin. Cependant, nous remarquons que les fruits prélevés sur le traitement eaux usées (E3) sont moins hydratés que ceux du témoin notamment à la production.

Tableau III. Teneur en eau des différents parties du haricot vert (HV) et de la tomate industrielle (Ti) exprimé en gg-1MS)

	Haricot vert			tomate		
	P.A	R	Fr	P.A	R	Fr
E0	2.1	2.3	1.5	2.3	1.1	6.2
E3	2.2	3.2	1.2	2.2	1.1	5.1

PA: partie aérienne ; E0: eau de nappe ; R : racines ; E3: eau usée ; Fr: fruit

3.2. Evaluation des exportations en azote, phosphore et potassium

Nous avons évalué les exportations effectives de N, P et K par les 02 cultures, c'est à dire les quantités en éléments absorbées par les parties végétales sorties de champ. Les résultats obtenus se trouvent dans le tableau IV qui présente les rendements d'après Chérif (2011)

Tableau IV. Rendement du haricot vert (HV) et de la tomate industrielle (TI) en (t/ha)

	Haricot vert		tomate	
	E ₀	E ₃	E ₀	E ₃
MV	12.2	3.8	15.5	11.8
MS	3.1	3.8	0.8	1.00

E₀ : eau témoin ; MV: matière verte ; E₃ : eau usée traitée ; MS : matière sèche

Pour le piment, en plus du rendement en fruits récoltés, nous avons estimé la production de biomasse aérienne exportée hors champ en considérant que la densité de peuplement était égale à 42000 pieds à l'hectare (estimation par excès). Les résultats relatifs aux quantités N, P et K prélevées sont indiqués dans le tableau V.

Tableau V. Quantités de N, P et K exportées par le haricot vert et la tomate (exprimées en kg/ha).

	Haricot vert		Tomate Industrielle	
	E ₀	E ₃	E ₀	E ₃
N	49.2	99.2	40.6	52.8
P	6.6	11.3	3.8	5.1
K	70.4	114.8	36.9	47.5

On note qu'en présence d'eau usée, le haricot vert exporte des quantités de N, P et K supérieures à celles du traitement T (eau de nappe). Pour la tomate, la différence de prélèvement des éléments fertilisants entre traitements E₀ et E₃ est faible, malgré un apport en N, P et K plus important par les eaux usées. Connaissant les quantités de N, P et K apportées par les eaux usées traitées et les eaux de nappe traitées pour les deux cultures ainsi que celles apportées par la fertilisation complémentaire, nous avons essayé de déterminer l'efficacité d'exportation (E. ex) selon la méthode de Godin (1983).

$$E. ex = \frac{\text{Quantité de N, P ou K exportée}}{\text{Quantité de N, P ou K apportée}}$$

Les résultats obtenus, exprimés en kg exportée/kg apporté, sont indiqués dans le tableau VI

Tableau VI. Efficacité d'exportation de N, P et K par le haricot vert et la tomate

	Haricot vert		Tomate	
	E ₀	E ₃	E ₀	E ₃
N	0.20	0.31	0.19	0.19
P	0.17	0.17	0.10	0.8
K	0.67	0.34	0.37	0.17

E₃ : eau traité E₀:eau de nappe

Nous pouvons noter que pour le haricot vert, la quantité d'azote exportée dans le traitement E₃ est le double de celle exportée dans le traitement E₀(tableau V) alors que la différence entre les quantités d'azote apportées dans les deux traitements (E₀ et E₃) n'est pas aussi grande. Ainsi, l'efficacité d'exportation est plus élevée pour les eaux usées selon les résultats exprimés sur le tableau VI. Pour le haricot vert, comme pour la tomate, les quantités de phosphore exportées par unité de phosphore

apportée sont équivalentes pour les deux traitements E0 et E3 (tableau VI). La comparaison entre les traitements E0 et E3 montre bien que la quantité de potassium apportée par les eaux usées est supérieure à celle apportée par les eaux de nappe (tableau I), la différence entre les quantités de potassium exportées dans les deux traitements (tableau V) est faible notamment pour la culture maraîchère. Ceci correspond à une efficacité d'exportation moindre dans le cas du traitement eau usée pour les deux cultures étudiées (tableau VI). La comparaison entre les deux espèces étudiées montre des efficacités d'exportation en N, P et K plus élevées pour le haricot vert notamment en présence d'eau usée.

Nos résultats, regroupés sur la figure 1, montrent que pour la tomate, la matière sèche augmente de manière sensiblement linéaire en fonction de la dose de N, P et K absorbée (figure 1 d, e et f) Nous sommes donc dans la zone A du modèle théorique. Pour le haricot vert, et notamment pour les relations N et P absorbés - matière sèche, nous pouvons constater que pour les fortes doses de N ou P absorbées correspondent au traitement E₃. Nous observons également un léger palier (figure 1 a et c). L'étendue des doses de N ou P absorbées nous permet d'observer deux zones; d'abord la zone A où il y a un déficit, puis une partie de la zone B où il y a consommation de luxe.

Ces résultats peuvent être résumés en introduisant la notion d'efficacité d'utilisation de N, P et K.

Cette efficacité d'utilisation (**Eu**) est évaluée par la masse de matière sèche produite par 1g d'élément absorbé (Anderson, 1985 ; Glass, 1999 ;).

$$Eu = \frac{\text{Matière sèche produite (g/plante)}}{\text{Quantité absorbée (g/plante)}}$$

Une autre approche a été adoptée par Soltani (1988) qui a utilisé la notion de coût de la croissance en un élément donné. Cette notion n'est autre que l'inverse du rapport défini ci-dessus. Les résultats relatifs aux différentes efficacités d'utilisation sont regroupés dans le tableau VII.

Tableau VII. Efficacité d'utilisation de N, P et K par le haricot vert et la tomate industrielle

	Haricot vert		Tomate industrielle	
	E0	E3	E0	E3
N	83.6	60.2	42.4	41.5
P	637.8	506.7	476.3	433.9
K	60.9	50.8	47.9	48.5

Cette efficacité correspond à l'intérieur de chaque zone à la pente de la droite. Elle peut être considérée comme constante dans notre cas (pour chaque zone/ et l'interprétation doit se faire en se référant au modèle théorique. On peut donc ainsi comparer directement les efficacités

Concernant le haricot vert, on note que les eaux de nappe permettent une meilleure utilisation de N, P et K que les eaux usées. En effet, les efficacités d'utilisation de ces éléments dans le traitement E3 sont nettement inférieures à celles observées dans le traitement E0. Cette efficacité moindre dans le traitement E3 est à associer à la forte dose de N, P ou K absorbée (consommation de luxe). Le haricot vert irrigué avec les eaux usées a absorbés des quantités en N, P et K double de celle du témoin pour une augmentation de matière sèche peu importante (figure 1 a et c). Ainsi, l'augmentation de matière sèche observée en présence d'eau usée est inférieure à l'augmentation escompté si l'efficacité de N, P et K absorbé avait été la même que celle du traitement E0.

Par contre, on note que les efficacités d'utilisation de N, P et K par la tomate industrielle sont les mêmes pour les deux traitements E0 et E3. En effet, la matière sèche est linéairement dépendante de la quantité de N, P et K absorbée quel que soit le traitement (figure 1c, d et e).

La comparaison entre les deux espèces montre que le haricot vert valorise mieux l'azote, le phosphore et le potassium absorbés que le tomate industrielle.

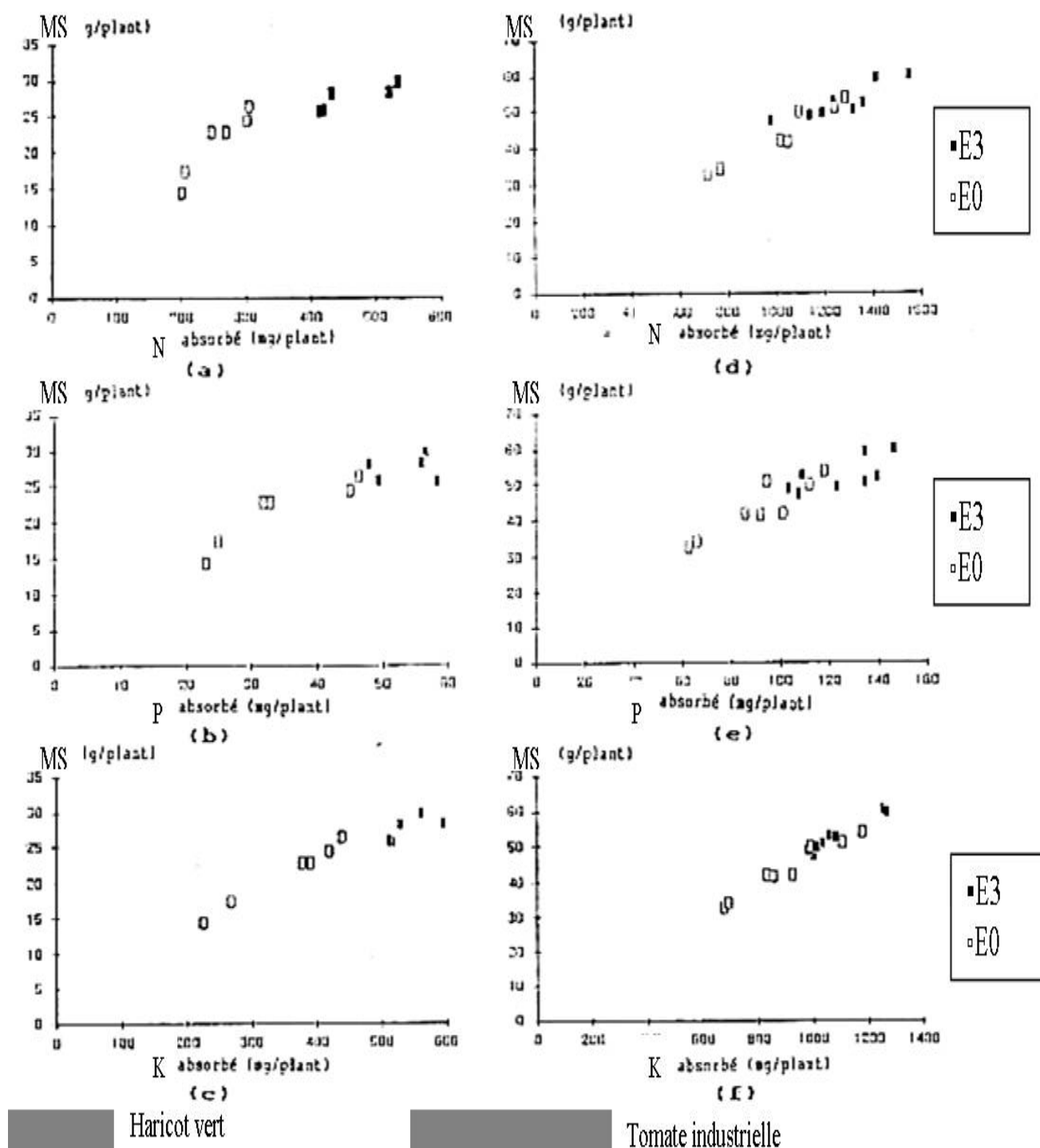


Figure 1. Relation matière sèche produite - azote, phosphore et potassium absorbé pour le haricot vert (a, b et c) et pour la tomate (d, e et f)

3.3. Effet de la charge saline des eaux usées sur la composition chimique du haricot vert et de la tomate

Si on se rapporte aux résultats d'analyse des eaux utilisées dans notre expérimentation, on constate que par rapport à l'eau de nappe, l'eau usée apporte une quantité supérieure en Na et SO₄, une quantité équivalente en Mg et Cl et une quantité moindre en Ca.

On se propose d'exposer, dans le paragraphe suivant, les effets des eaux usées sur la composition en Ca, Mg, Na, Cl et S des différentes parties du haricot vert et de la tomate.

3.4. Teneurs en calcium et magnésium

Les concentrations moyennes en Ca et Mg de l'eau de nappe sont respectivement de 250 et 50mg/l. Celles des eaux usées traitées sont respectivement de 150 et 56mg/l.

L'analyse minérale de la plante montre que pour le haricot vert comme pour la tomate, l'irrigation avec les eaux usées n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en Ca et Mg -des différentes parties de la plante (Tableau VIII).

Tableau VIII. Effet des eaux usées sur les teneurs en Ca et Mg dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimées en %MS)

		Haricot vert				Tomate industrielle			
		F	T	R	FR	F	T	R	FR
Ca	E0	0.73	0.37	1.9	0.26	1.9	0.22	0.05	0.20
	E3	0.62	0.32	1.3	0.20	1.6	0.35	0.03	0.17
	ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Mg	E0	0.47	0.43	0.31	0.22	0.82	0.62	0.14	0.21
	E3	0.44	0.48	0.23	0.23	0.83	0.72	0.15	0.23
	ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

F : feuille ; Fr : fruit ; E0 :eau témoin potable; E3 :eau usée traité ; R : Racine

3.5. Teneur en sodium

Comme signalé plus haut, les eaux usées sont plus chargées en Na (366 mg/l= 15,9 meq/l) que les eaux de nappe (214 mg/l= 9,3 meq/l) mais dans les deux cas les concentrations en Na restent relativement faibles.

La comparaison des figures 2 présentant les teneurs en sodium des différentes parties du haricot vert et de la tomate industrielle en fonction des traitements, met en évidence une accumulation de Na surtout dans les tiges de la tomate irriguée à l'eau usée. Les valeurs sont d'environ 5 fois celle du témoin. L'enrichissement en Na a également concerné de manière très significative le fruit de la tomate et les racines des deux espèces.

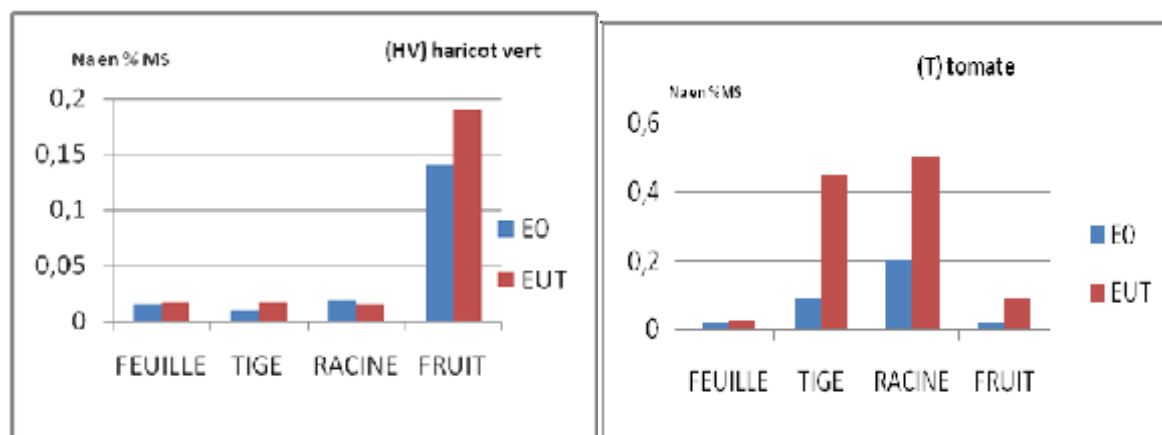


Figure 2. Effet des eaux usées sur la teneur en sodium dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate. (Exprimée en %MS).

On note aussi que les teneurs en sodium les plus élevées se trouvent dans les racines et tiges de la tomate, les feuilles et les fruits sont les organes les moins chargés. Pour (HV), le sodium est retenu dans les racines.

3.6. Teneurs en soufre

Les eaux usées contiennent des quantités importantes de sulfates. Les concentrations sont en moyennes de 350 mg/l et peuvent atteindre 950 mg/l alors que dans les eaux de nappe, les concentrations sont de l'ordre de 90 mg/l.

L'analyse des différentes parties du haricot vert, comme indiqué dans la figure 3, montre que l'eau usée traitée augmente les quantités de S dans les feuilles et tiges surtout au niveau de la dernière phase. Indépendamment des traitements, on remarque également que pour le haricot vert le soufre a tendance à se concentrer au niveau des racines.

Concernant la tomate, la figure 3 montre que les teneurs en soufre des différentes parties de la plante ne présentent aucune différence entre les traitements E0 et E3. De même que pour le haricot vert, on peut noter que le soufre est retenu dans les racines et que les fruits présentent les concentrations les plus faibles.

Ainsi la concentration élevée des eaux usées en sulfates par rapport à l'eau de nappe ne se reflète sur la composition de la plante qu'à un faible degré et seulement pour le haricot vert.

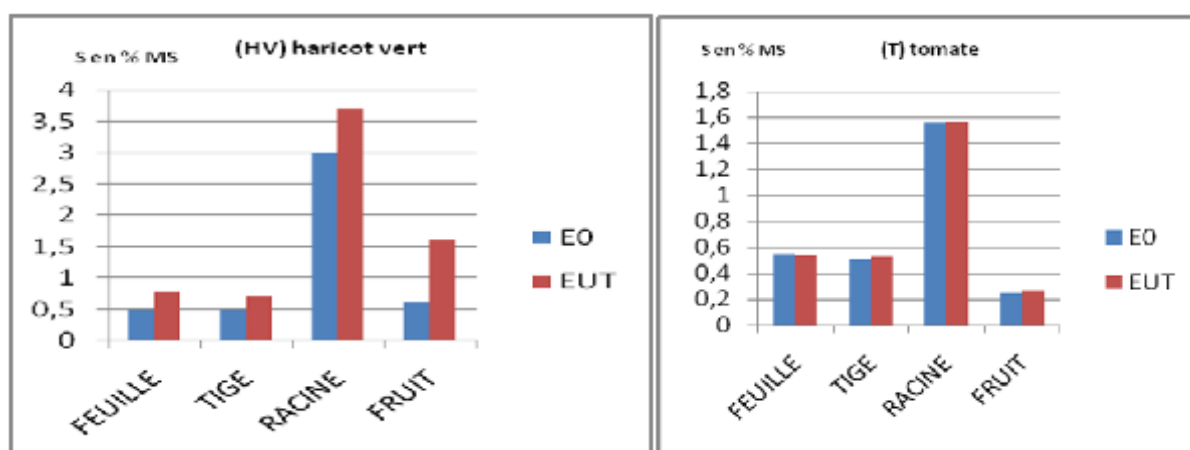


Figure 3. Effet des eaux usées sur la teneur en soufre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimée en %MS)

Bien que la plupart des microéléments des eaux usées se retrouve dans les boues résiduelles et que les concentrations en métaux des effluents sont normalement très faibles, ces éléments peuvent s'accumuler dans le sol suite à un épandage répété des eaux usées traitées.

Nous traiterons les oligo-éléments : B, Cu, Fe, Mn et Zn puis les éléments indésirables ou toxiques : Cd et Pb pour les deux cultures étudiées.

3.7. Teneur en bore

Les concentrations moyennes en bore des eaux usées traitées sont de l'ordre de 1mg/l. Ayoub (1978) a trouvé des résultats comparables.

Concernant l'analyse végétale, les résultats obtenus sont indiqués dans la figure 4.

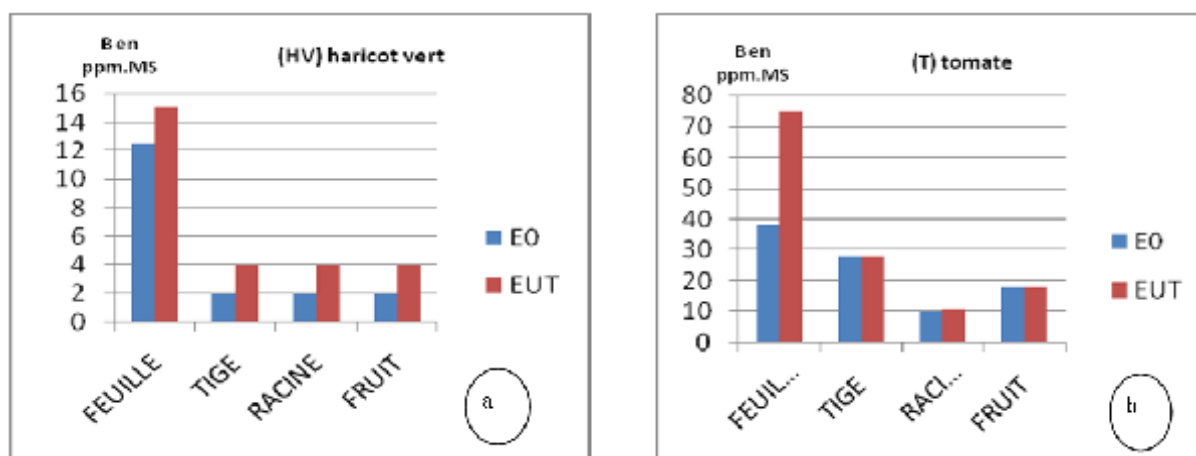


Figure 4. Effet des eaux usées sur la teneur en bore dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimée en ppm MS)

Nous pouvons constater que les eaux usées augmentent de façon significative les teneurs en bore dans les différentes parties du haricot vert (figure 4a) et dans les feuilles de la tomate sans toutefois provoquer des modifications dans le fruit (figure 4b).

D'autre part, on remarque que le bore migre vers les parties aériennes des deux espèces et se concentre dans les feuilles. Les fruits sont moyennement chargés en cet élément.

3.8. Teneur en cuivre

L'examen du tableau 9 montre que les teneurs en cuivre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate ne sont pas modifiées par l'apport d'eaux usées traitées. En effet, les différences entre traitements eau usée (E3) et eau de nappe (E0) sont insignifiantes.

La différence assez faible entre les concentrations en Cu des eaux usées et des eaux de nappe explique ce résultat. Le même résultat a été obtenu avec des teneurs en Cu ayant le même ordre de grandeur.

Tableau IX Effet des eaux usées sur les teneurs en cuivre dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate industrielle (Exprimées en ppm.MS)

	Haricot vert				Tomate industrielle			
	F	T	R	Fr	F	T	R	Fr
E0	1.8	1.2	1.5	0.4	1.0	2.9	2.0	2.5
E3	2.3	2.0	2.3	1.9	1.5	3.0	3.4	2.2
ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

E0: eau de nappe ; E3: eau usée traité ; ET : effet de traitement ; F : feuille ; T : tige ; R : racine ; Fr : fruit

3.9. Teneur en zinc

Les eaux usées traitées apportent une quantité en Zn (0,72Kg/ha pour 600mm d'eau) supérieure à celle apportée par les eaux de nappe (0,24 Kg/ha pour 600mm d'eau).

Les figures (5a et b) présentant les variations des teneurs en Zn dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate indiquent une augmentation significative de ces teneurs en présence d'eau usée dans les feuilles et racines. Les teneurs en zinc n'ont cependant pas augmenté

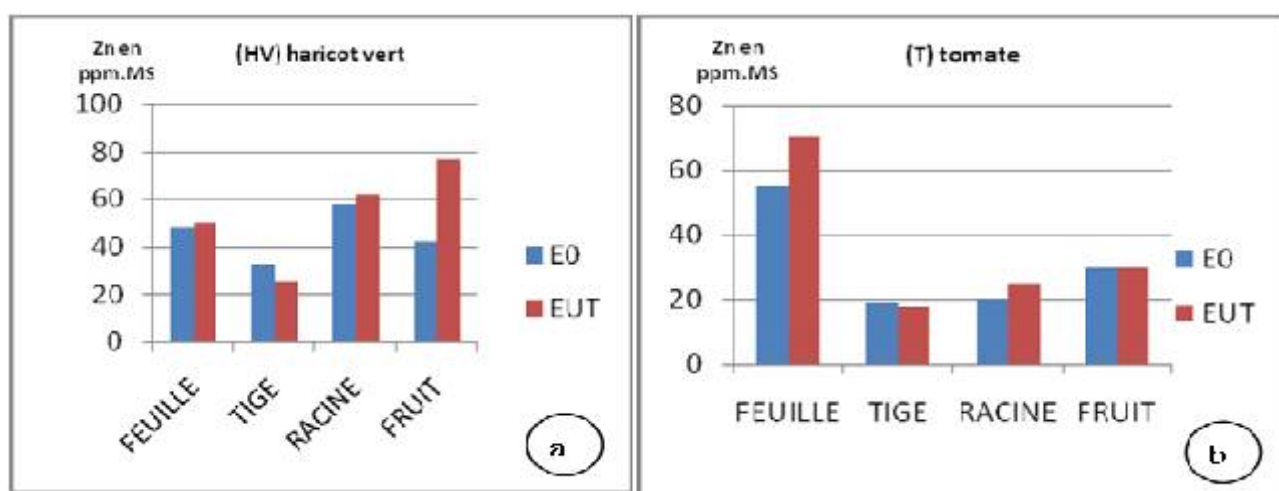


Figure 5. Effet des eaux usées sur la teneur en zinc dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimée en ppm.MS)

3.10. Teneurs en cadmium et plomb

Le cadmium n'est présent dans les eaux usées qu'à l'état de traces. Quant au plomb, l'apport par les eaux usées est en moyenne de 1,14 Kg/ha pour 600 mm d'eau.

Les résultats indiqués dans le tableau X montrent qu'il n'y a pas de différence significative due à l'apport d'eau usée traitée.

Tableau X. Effet des eaux usées sur les teneurs en Cadmium et Plomb dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate (exprimées en ppm MS)

		Haricot vert				Tomate industrielle			
		F	T	R	Fr	F	T	R	Fr
Cd	E0	0.10	0.75	0.00	0.1	0.00	0.00	0.76	0.26
	E3	0.20	0.30	0.79	0.25	0.25	0.05	0.72	0.28
	ET	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Pb	E0	0.30	0.75	0.17	0.76	1.16	1.8	1.50	0.90
	E3	2.00	0.90	2.22	1.90	2.50	2.06	2.6	0.98
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

E0: eau de nappe ; E3: eau usée traité ; ET : effet de traitement ; F : feuille ; T : tige ; R : racine ; Fr : fruit

Comme on pouvait le prévoir, l'irrigation avec les eaux usées traitées a entraîné des modifications dans la composition chimique du végétal. Cette composition a été affectée différemment en fonction de l'espèce considérée, de l'organe et de la nature et la concentration des éléments contenus dans les eaux usées traitées.

La richesse de ces eaux en éléments nutritifs a affecté de manière significative la composition en N, P et K du haricot vert. En effet, les teneurs se sont accrues dans les différentes parties de la plante, alors que pour la tomate industrielle aucun effet n'a été enregistré. D'autre part, nous avons pu noter que par rapport à la tomate industrielle, le haricot vert permet une meilleure exportation de N, P et K et présente des efficacités d'utilisation de ces éléments (N, P et K) supérieures. Ainsi, le haricot vert valorise mieux les matières fertilisantes apportées par les eaux usées. Cependant, la comparaison entre traitements E0 et E3 montre que pour la tomate industrielle, les mêmes quantités de N, P et K sont utilisées pour la production de lg de matière sèche quelle que soit la qualité d'eau. Pour le haricot vert, les eaux usées permettent un meilleur rendement mais les efficacités d'utilisation de N, P et K sont inférieures à celles obtenues en présence d'eau de nappe.

Des études réalisées aux Etats Unis (Adams et al. in INRA-SCPARP, 2009) ont montré que des cultures fourragères (le bermuda-Grass côtier) irrigué avec des eaux usées traitées présentent les meilleurs taux d'exportations de l'azote, soit environ 67% et permettent une élimination de 20% du phosphore.

La réaction vis à vis des autres éléments majeurs s'est manifestée par une accumulation importante de Na dans les tiges et racines de la tomate industrielle irriguée à l'eau usée. Au niveau des fruits, les modifications ont été moins importantes et les teneurs plus faibles.

Dans la partie aérienne du haricot vert, le sodium varie peu.

Quant aux chlorures, ils s'accumulent dans les différentes parties du haricot vert et de la tomate industrielle sans épargner le fruit.

Les fruits de la tomate industrielle sont peu chargés en soufre et les modifications en fonction des traitements sont négligeables. Bien que le soufre soit retenu au niveau des racines, les parties aériennes du haricot vert ont tendance à l'accumuler en présence d'eau usée.

L'irrigation avec les eaux usées n'a pas entraîné de modifications importantes de la composition en microéléments des espèces étudiées. Ainsi on remarque qu'aussi bien pour le haricot vert que pour la tomate industrielle, les teneurs en cadmium et plomb sont comparables dans les deux traitements E0 et E3 et sont dans les normes des plantes consommables (Cd<3 ppm et Pb<10 ppm) d'après Melsted (1999) et Godin (1997). Nous avons aussi noté que l'application des eaux usées augmente les teneurs en bore, fer et zinc des parties aériennes du haricot vert et de la tomate industrielle sans toutefois modifier les teneurs au niveau du fruit. Ces augmentations de B, Fe et Zn observées n'ont nullement affecté le comportement de la plante. Les teneurs enregistrées sont au-dessous des seuils d'alerte pour les plantes consommables (B < 150 ppm et Zn < 300 ppm) d'après Melsted (1999). Dans des essais menés en Californie (USA), Richard et al. (2009) ont montré que l'irrigation avec des eaux usées traitées ne modifie pas la composition en microéléments des parties consommables d'artichaut et de certains légumes.

Si l'on compare les résultats relatifs aux deux cultures, on constate que les feuilles de la tomate

industrielle accumulent plus de bore, de zinc, de fer, de plomb et surtout de cadmium que les feuilles du haricot vert. On remarquera toutefois que les concentrations de la plupart de ces éléments sont fortement réduites dans le fruit. La tendance des végétaux à accumuler le cadmium dépend de l'espèce considérée, Bazzaz et *al.* cités dans INRA-SCPAP (2009) ont observé que pour une teneur en Cd de la solution nutritive égale à 1 ppm, la carotte accumule 2,2 ppm de ce métal alors que la tomate en accumule 158 ppm.

Enfin, il faut surtout noter que l'apport des eaux usées n'a pas affecté les rendements des cultures. En effet, les rendements, notamment ceux du haricot vert ont augmenté d'une manière significative en présence d'eau usée.

4. Conclusion

Dans l'optique d'une valorisation agricole des eaux usées traitées et des boues résiduelles en Algérie, nous avons essayé d'apporter une contribution à l'étude de leur incidence sur les végétaux cultivés. Etant donné la diversité des eaux et des boues, nous avons choisi d'utiliser les eaux usées d'origine urbaine ayant subi un traitement biologique à boues activées et des boues urbaines digérées en anaérobiose et séchées sur lits. Deux aspects ont retenu notre attention, les effets bénéfiques sur le plan agronomique et les risques de contamination par les éléments chimiques potentiellement toxiques.

A l'aide d'une expérience conduite en plein champ, nous avons pu relever des conclusions concernant les effets à court terme de l'épandage des eaux usées traitées et des boues sur la croissance et la composition chimique des deux espèces végétales, deux cultures maraichères, l'une légumineuse, le haricot vert, et la deuxième celle de la tomate industrielle.

Par ailleurs, des expérimentations en milieu contrôlé ont permis de cerner certains problèmes plus fondamentaux qui ont concerné d'une part l'efficacité de l'azote des eaux usées par rapport à un engrais azoté classique et d'autre part l'évaluation du risque de contamination du végétal, les effets à long terme des épandages répétés sur une même parcelle, avec deux types de sols, sol(A) argilo-limoneux pour la tomate, sol (B) limono-argileux pour le haricot vert.

Nous avons montré que l'irrigation avec les eaux usées traitées, riches en éléments fertilisants, entraîne un effet favorable sur le haricot vert. Cette action se traduit par une amélioration de la croissance. Une augmentation des teneurs en azote, phosphore et potassium également été notée. Toutefois, l'efficacité de N, P et K absorbé en présence des eaux usées est inférieure à celle du témoin. Pour la tomate, aucun effet bénéfique sur la croissance ou la nutrition en N, P et K n'a été observé mais en même temps, nous n'avons pas noté d'effets dépressifs.

Nous n'avons pas relevé des cas de toxicité par les éléments nocifs même durant le cycle de la production. L'accumulation de certain élément tel que le bore, le chlore, le fer et le zinc dans les tissus des deux espèces ainsi que celle du sodium dans les parties aériennes de la tomate peuvent être considérées comme normales.

Nous pouvons dire que dans le cas d'une bonne pratique agricole, les risques encourus par les cultures irriguées avec de telles eaux usées traitées sont minimes, au moins à court et moyen terme, d'autant plus que les éléments chimiques les plus polluants sont retenus dans les boues au cours de l'épuration. Seul le risque dû à l'azote est à appréhender et à prendre en compte. Le problème se poserait différemment si l'effluent était d'origine industrielle ou en cas de mauvais fonctionnement de la station d'épuration.

A partir de nos investigations en milieu contrôlé, nous avons constaté que les eaux usées utilisées présentaient, sur la base de l'azote prélevé par le haricot vert, une efficacité agronomique et d'absorption inférieure à celle de l'ammonitrate. L'amélioration des rendements obtenus en présence d'eau usée traitée, accompagnée par une élévation des teneurs en azote par rapport à un témoin non fertilisé conduit à considérer l'apport des eaux usées comme un complément de fertilisation dont il faut tenir compte dans le calcul de la dose de fertilisation minérale à apporter.

Les approches nécessaires à tenir compte sont :

- Compléter par des analyses physico-chimiques de nos sols (A) et (B), ainsi que l'eau du drainage récupérée à la fin de l'expérimentation pour voir le bilan de tous nos éléments organiques ou minéraux.
- Instaurer des stations (STEP) nécessaires pour chaque ville peuplée et aider ainsi au contrôle de cette énergie précieuse.

- Créer des bassins de décantations tout prêt des vergers irrigable ; d'après L'OMS, FAO les valeurs et les résultats trouvés dans notre étude pour le (E3) qui est l'eau traitée, se trouvent dans la bonne norme, valable pour l'irrigation des cultures maraichères, fourragères et pérennes.
- Instaurez, aussi les nouvelles techniques de traitement comme celle aux ultraviolets soule système bactériologique, la membrane HF-FWS et CW pour mieux rassurer le consommateur et l'agriculteur pour cette eau de bonne qualité à des fins agricoles

References

- [01] Anderson, J.F. Hallmartin, A., Russell, D.A. (1985). Minimum Area Requirements of species. *Journal of Zoology*. 53-61.
- [02]. Abbas S.T., Sarfraz M., Mehdi S.M., Hassan G. et Obaid-Ur-Rehman (2007), Trace elements accumulation in soil and rice plants irrigated with the contaminated water; *Soil & Tillage Research* 94 503–509
- [03]. Adams, A., (2009) : Recherche sur les eaux usées urbaines. INRA, France.
- [04]. Alatiri R., Rezgui F. et Aniba B. H., (2002), Réutilisation des eaux usées, cas de la Tunisie,
- [05]. Allani A. (1993), Epuration des eaux résiduaires urbaines par lagunage aéré et désinfection par rayonnements ultraviolets. Thèse doc. Uni. Paris VII.
- [06]. Ayers, R.S., D.S., Westcot (1985), Water quality for agriculture. *Irrigation and Drainage*
- [07]. Bahri, A. and F. Brissaud. (2002), Guidelines for Municipal Water Reuse in the Mediterranean Countries. WHO regional Office for Europe, Euro Project Office, MAP, Athens, Greece, pp. 62.
- [08]. Charfi D., (1995); Effet des eaux usées traitées sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et sur la physiologie de quelques espèces végétales cultivées au périmètre d'ElHajeb (Sfax). Thèse en écologie végétale, Fac. Sci. de Sfax.
- [09]. Cherifi ,(2011) : yieldcropsvegetables
- [10]. Benfredja, F., Han, J., Funamizuc, N., Ghrabid, A., Isoda, H., (2012). Assessment of waste water-irrigated soil containing heavy and establishment of specific biomarkers *Ecotoxicology and environmental safety*. https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/index.php?action=pages_view_main&active_action=repository_action_common_download&item_id=27765&item_no=1&attribute_id=17&file_no=1&page_id=13&block_id=83
- [11]. FAO (2007), Agriculture et rareté de l'eau: une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome, pp15
- [12]. Fars S., Bousselhaj K., Nejmeddine A., Ouazzani N. Laghmari A. et Bouadili A. (2003), Réutilisation d'une eau résiduaire brute et purée en agriculture: Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu, Cd et Cr). Séminaire internationale: Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration: optimisation, valorisation et durabilité, septembre 2003, Tunis, Tunisie.
- [13]. Glass, Spalding EP1, Hirsch RE, Lewis DR, Qi Z, Sussman MR, Lewis BD . (1999): Potassium uptake supporting plant growth in the absence of AKT1 channel activity: Inhibition by ammonium and stimulation by sodium. *Plant physiol*. 113(6):909-18.
- [14]. Junger, J.F., (2000). The reuse of urban waste water in agriculture: European Research on Treated Wastewater Reuse in Agriculture. Urban Technology Network Project 10th, 7 pages.
- [15]. Keffala Cheima, Marcello, Ahmed Ghrabi, & Jean-Luc Vassel 2011, investigation of nitrification and denitrification in the sediment of wastewater stabilization ponds.
- [16]. Masi F (2008). Enhanced denitrification by an hybrid HF-FWSCW in large scale wastewater treatment plant (Jesi). In V (ed) *wastewater treatment, plant dynamics and management in constructed and natural wetlands*. Springer, New York.
- [17]. Masi F, Caffaz S, Ghrabi A (2013) Multi-stage constructed wetlands Technology .
- [18]. Mireles A., Solis C., Andrade E., Lagunas-Solar M., Pina C., Flocchini R.G., (2004), Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 219–220 , 187–190. Paper 29. FAO, Rome.
- [19]. Pescod, MB. (1992), Wastewater treatment and use in agriculture. Bull FAO, vol. 47; Rome, Italy: FAO. pp125.
- [20]. Standard Methods, other parameter Technique, water analysis methods, Examination of water and wastewater, : centennial Edition , Loveland (2005).
- [21]. Toze S. (2006), Reuse of effluent water—benefits and risks; *Agricultural Water Management*.