

Irrigation d'un sudangrass avec des eaux usées traitées.

II- Risque de contamination par les micro-éléments

S. Rejeb

Les eaux usées traitées représentent un apport fertilisant de N, P, K et d'oligo-éléments mais leurs teneurs en éléments chimiques potentiellement toxiques, notamment les micro-éléments, peuvent être un obstacle à leur utilisation. Outre le risque sanitaire lié à la présence dans les eaux usées d'agents pathogènes, un risque de contamination chimique existe. En effet, ces substances accumulées dans le sol ou entraînées en profondeur ne sont pas sans danger pour l'environnement et la santé.

Dans un premier article, nous avons essayé d'étudier la valeur fertilisante de ces eaux usées sur un sudangrass. Le présent travail est destiné à mieux comprendre le risque de contamination du végétal par les micro-éléments, notamment le bore (B), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn), le plomb (Pb) et le zinc (Zn) sur la même culture de sudangrass.

Dans le groupe des micro-éléments, on distingue :

MOTS CLÉS

Eau usée traitée, fertilisation, oligo-éléments, sudangrass, toxicité.

KEY-WORDS

Fertilization, sudan-grass, micro-elements, toxicity, treated waste water.

AUTEUR

Centre de Recherches de Génie Rural, BP 10, Ariana 2080, Tunisie.

— les oligo-éléments, indispensables aux plantes mais dont de fortes absorptions peuvent devenir toxiques, tels que le bore, le cuivre, le fer, le manganèse et le zinc ; leurs concentrations sont de l'ordre de quelques ppm à quelques millièmes ;

— les éléments traces ou indésirables (cadmium, chrome, nickel et plomb...) qui, même à l'état de trace, peuvent engendrer des phytotoxicités ; parmi ces éléments, le cadmium, le plomb, le mercure et l'arsenic sont les plus toxiques pour l'homme.

Les dangers encourus par la présence d'une pollution chimique peuvent se manifester soit par une action phytotoxique, soit à la fois par une action toxique et phytotoxique. Dans le cas le moins prévisible, on peut avoir une action non phytotoxique avec accumulation susceptible de perturber la chaîne trophique.

Matériel et méthodes

Le travail ici présenté s'inscrit dans la continuité de l'expérimentation du premier article (REJEB, 1992). Afin d'évaluer les risques dus à l'accumulation de micro-éléments, l'essai a été irrigué pendant 4 années successives avec d'une part des eaux de nappe (témoin) et d'autre part des eaux usées traitées, provenant d'une station d'épuration urbaine. Les résultats ici présentés concernent la première et la quatrième campagne d'irrigation ; le site, le protocole, le matériel végétal (*sudangrass*, *Sorghum sudanense*, variété Piper) et les méthodes de prélèvement des plantes sont identiques. Rappelons seulement (REJEB, 1992) que le sorgho a été semé en dérobé en juin, que les prélèvements de plantes réalisés lors des 2 coupes ont donné lieu aux estimations de rendements et aux analyses chimiques.

Pour doser les micro-éléments, les méthodes analytiques suivantes ont été appliquées aux échantillons végétaux séchés puis broyés :

— Dosage du bore : la poudre végétale est calcinée à 500°C pendant 4 heures, la reprise des cendres est faite avec de l'acide acétique à 25 % . Le développement de la couleur en présence de dianthrimide et de sulfate d'hydrazine se fait à 90°C pendant 3 heures. Le dosage est effectué par colorimétrie à 620 nm à l'aide d'un spectrophotomètre à UV-VIS Lambda 3.

— Cd, Cu, Fe, Mn, Pb et Zn sont dosés à partir de l'attaque nitro-perchlorique. Le poids de la poudre végétale, la quantité d'acide ainsi que le volume final ont été modifiés selon la concentration présumée des éléments et la limite de détection des appareils.

Cu, Fe, Mn et Zn sont dosés en absorption atomique de flamme. Les dosages sont faits directement sur les minéralisats sauf pour le fer. Pour ce dernier, les minéralisats sont dilués au chlorure de lanthane à 5‰, en vue de corriger les interféren-

ces. Les mesures sont réalisées au moyen d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin Elmer 2380.

Cd et Pb : les niveaux de concentration étant trop faibles pour autoriser une mesure correcte en absorption atomique en flamme, les mesures ont été réalisées en absorption atomique électrothermique. Le matériel utilisé est un four graphite HGA 400 Perkin Elmer.

L'interprétation des résultats est effectuée avec analyse de variance en calculant le rapport F de Fischer au seuil de signification de 5%.

La composition moyenne en micro-éléments des eaux d'irrigation est indiquée tableau 1. La concentration en micro-éléments des eaux usées traitées est faible : en effet, la plupart de ces éléments (sauf le bore) sont éliminés dans les boues lors de l'épuration des eaux résiduaires. Toutefois, ces éléments peuvent s'accumuler dans le sol suite à un épandage répété des eaux usées traitées.

Eléments	Eau usée traitée	Eau de nappe
Bore	1,00	0,10
Cadmium	trace	trace
Cuivre	0,03	0,02
Fer	0,33	0,11
Manganèse	0,05	0,01
Plomb	0,19	0,16
Zinc	0,12	0,04

TABEAU 1 : Composition chimique moyenne des eaux usées et des eaux de puits (analyse réalisée par le Laboratoire de chimie du Centre de recherche du Génie Rural).

TABLE 1 : Mean chemical composition of waste waters and water from wells (analysed by Chemical Laboratory of C.R.G.R.).

Résultats

Au cours de la deuxième année d'expérimentation, les rendements du traitement avec les eaux usées (7,3 t MS/ha) sont supérieurs à ceux du traitement "eau de nappe" (3,5 t MS/ha). Cependant, comme pour la première année d'épandage, ces rendements restent relativement faibles.

• Teneurs en bore

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

Au cours des 2 années d'expérimentation, les eaux usées augmentent de façon significative (seuil 5%) les teneurs en bore dans les différentes parties du sudan-grass (figure 1). La différence de concentration des eaux d'irrigation peut expliquer ce résultat. En effet, l'épandage de 700 mm d'eaux usées apporte 7 kg de bore, soit 10 fois la quantité apportée par les eaux de nappe (0,7 kg/ha).

D'autre part, on remarque que le bore migre vers les parties aériennes de la plante et se concentre dans les feuilles.

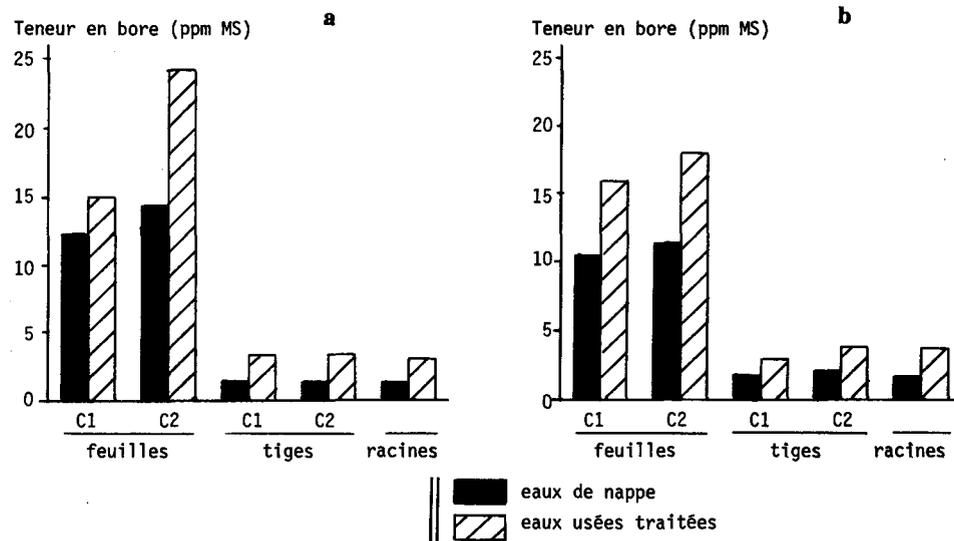


FIGURE 1 : Evolution des teneurs en bore (en ppm de la MS) dans les différentes parties du sorgho fourrager, aux premières et deuxièmes coupes (C1 et C2), en fonction de l'eau d'irrigation, a) au cours de la première année, b) après 4 années successives d'épandages.

FIGURE 1 : Evolution of boron contents (ppm in D.M.) of various parts of sudan-grass, for the first and the second cut (C1 and C2), according to irrigation water, a) during the first year, b) after 4 consecutive years of irrigation.

• Teneurs en cuivre

La première année, les teneurs en cuivre dans les différentes parties du sudan-grass (tableau 2) ne sont pas significativement modifiées par l'apport des eaux usées traitées, sans doute en raison de la faible différence de concentration en Cu des eaux des deux traitements.

Après 4 années d'épandages successifs d'eaux usées traitées, les teneurs avaient toujours le même ordre de grandeur.

	Feuilles	Tiges	Racines
Première coupe			
Eau de nappe	7,8	8,0	
Eau usée traitée	8,6	7,0	
	NS	NS	
Deuxième coupe			
Eau de nappe	14,7	8,8	7,3
Eau usée traitée	15,7	11,2	9,7
	NS	NS	

NS : différence non significative à 5%

TABLEAU 2 : Effet des eaux usées sur les teneurs en cuivre (en ppm de la MS) dans les différentes parties du sudangrass la première année d'irrigation.

TABLE 2 : Effect of waste waters on copper contents (ppm Cu in D.M.) of various parts of sudangrass in the first irrigation year.

• Teneurs en fer et en manganèse

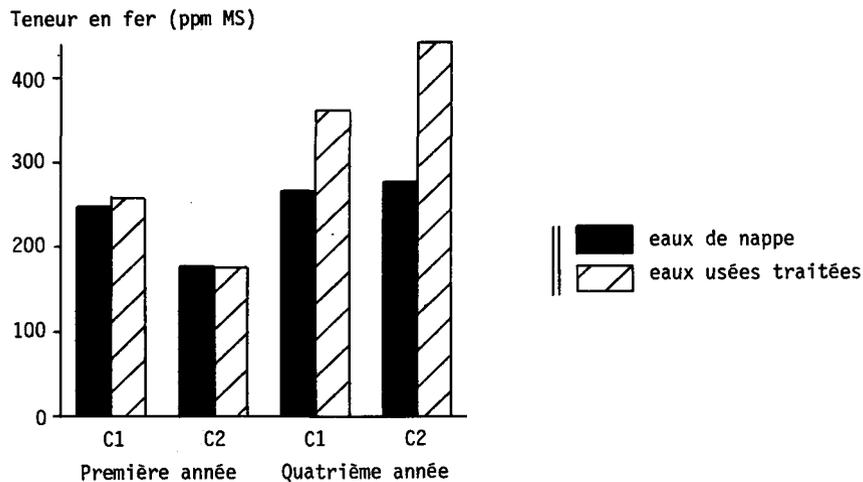


FIGURE 2 : Evolution des teneurs en fer (en ppm de la MS) dans les feuilles du sorgho fourrager, aux premières et deuxièmes coupes (C1 et C2), en fonction de l'eau d'irrigation, au cours de la première année et après 4 années successives d'épandages.

FIGURE 2 : Evolution of iron contents (ppm in D.M.) of sudan-grass leaves, for the first and the second cut (C1 and C2), according to irrigation water, during the first year and after 4 consecutive years of irrigation.

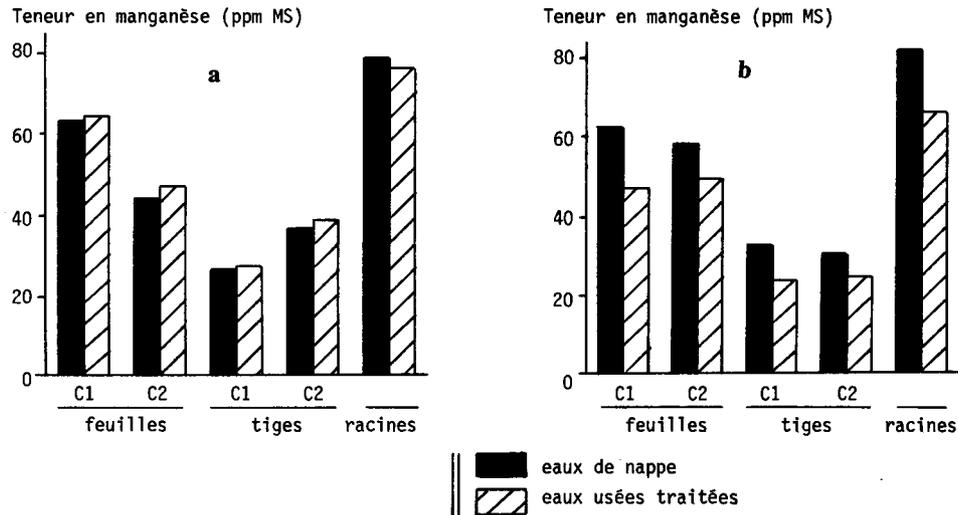


FIGURE 3 : Evolution des teneurs en manganèse (en ppm de la MS) dans les différentes parties du sorgho fourrager, aux premières et deuxièmes coupes (C1 et C2), en fonction de l'eau d'irrigation, a) au cours de la première année, b) après 4 années successives d'épandages.

FIGURE 3 : Evolution of manganese contents (ppm in D.M.) of various parts of sudan-grass, for the first and the second cut (C1 and C2), according to irrigation water, a) during the first year, b) after 4 consecutive years of irrigation.

Pour une tranche d'eau de 700 mm, les eaux usées apportent une quantité de 2,31 kg/ha de Fe et 0,35 kg/ha de Mn alors que les eaux de nappe apportent environ 0,77 kg/ha de Fe et 0,07 kg/ha de Mn.

Au cours de la première campagne de culture, la teneur en fer des feuilles du sudangrass n'a subi aucune modification du fait de l'apport d'eaux usées traitées, bien qu'elles soient plus chargées en fer que les eaux de nappe.

Cependant, lors de la deuxième campagne (4^e année d'épandage), la teneur en fer des feuilles du traitement "eaux usées" a augmenté significativement (figure 2).

Parallèlement, pour la teneur en manganèse, alors que pendant la première année d'expérimentation aucune différence significative n'avait été relevée entre les traitements, au cours de la deuxième campagne, on observe (figure 3) une diminution de la teneur en manganèse qui a affecté l'ensemble de la plante dans le traitement "eaux usées". La différence de teneur en manganèse des eaux d'irrigation ne peut expliquer cette évolution divergente, qui peut être causée par un antagonisme entre fer et manganèse.

• Teneurs en zinc

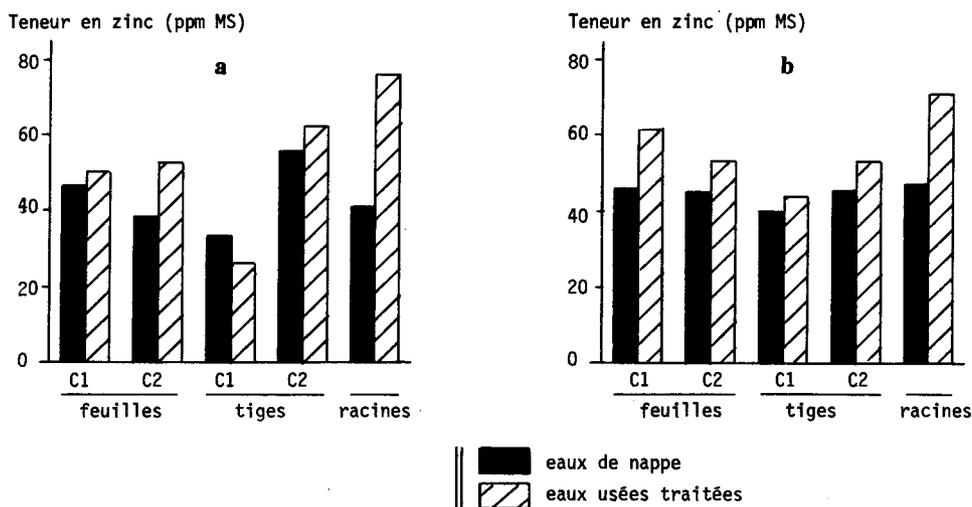


FIGURE 4 : Evolution des teneurs en zinc (en ppm de la MS) dans les différentes parties du sorgho fourrager, aux premières et deuxième coupes (C1 et C2), en fonction de l'eau d'irrigation, a) au cours de la première année, b) après 4 années successives d'épandages.

FIGURE 4 : Evolution of zinc contents (ppm in D.M.) of various parts of sudangrass, for the first and the second cut (C1 and C2), according to irrigation water, a) during the first year, b) after 4 consecutive years of irrigation.

On peut constater figure 4 une augmentation, significative au seuil 5 %, des teneurs en zinc des feuilles et des racines dès la première année d'épandage d'eaux usées ; vraisemblablement, l'apport de zinc par les eaux usées (0,84 kg/ha) nettement supérieur à celui des eaux de nappe (0,28 kg/ha) peut en être la cause.

Après 4 années d'apports répétés d'eau usées, les teneurs en zinc sont comparables à celles de la première année d'épandage. Ainsi, l'apport cumulé de zinc au cours des ces années consécutives d'épandage n'a pas provoqué d'accumulation excessive de Zn dans la plante.

• Teneurs en cadmium et en plomb

Le cadmium n'est présent dans les eaux usées qu'à l'état de traces ; quant au plomb, l'apport annuel par les eaux usées est en moyenne de 1,33 kg/ha.

La première comme la quatrième année d'épandage, les teneurs en cadmium et en plomb des différents organes (feuilles, tiges et racines) du sudangrass ne sont

pas statistiquement différentes entre les deux traitements. On ne peut donc pas parler d'accumulation de cadmium ou de plomb dans le sorgho fourrager en 4 ans.

	Feuilles	Tiges	Racines
Cadmium			
Première coupe			
Eau de nappe	0,40	0,40	
Eau usée traitée	0,40	0,39	
	NS	NS	
Deuxième coupe			
Eau de nappe	0,40	0,37	0,68
Eau usée traitée	0,33	0,32	0,79
	NS	NS	NS
Plomb			
Première coupe			
Eau de nappe	3,25	1,92	
Eau usée traitée	3,46	2,08	
	NS	NS	
Deuxième coupe			
Eau de nappe	3,00	1,75	4,17
Eau usée traitée	3,25	1,50	5,08
	NS	NS	NS

NS : différence non significative à 5%

TABLEAU 3 : Effet de l'eau d'irrigation sur les teneurs en cadmium et en plomb (en ppm de la MS) dans les différentes parties du sudangrass la première année.

TABLE 3 : Effect of irrigation water on cadmium and lead contents (ppm in D.M.) of various parts of sudan-grass in the first irrigation year.

Discussion

Pour les différents organes du sudangrass, et notamment dans les parties aériennes consommables, les teneurs en micro-éléments observées en présence d'eaux usées traitées sont inférieures aux seuils d'alerte pour les plantes consommables relevés dans la bibliographie (Cd < 3 ppm et Pb < 10 ppm, d'après MELSTED (1979) et GODIN (1983) ; B < 150 ppm et Zn < 300 ppm, d'après MELSTED, 1979).

Par ailleurs, les travaux de RICHARD et al. (1987) montrent que l'irrigation avec des eaux usées traitées ne modifie pas la composition en micro-éléments des parties consommables d'artichauts et de légumes.

Cependant, la tendance des végétaux à accumuler le cadmium est variable selon l'espèce considérée. C'est ainsi que BAZZAZ et al. (1979) ont observé que, pour une teneur en cadmium de la solution nutritive égale à 1 ppm, la carotte en accumule 2,2 ppm et la tomate 158 ppm.

Conclusion

Tout d'abord, l'apport d'eaux usées n'a pas affecté les rendements de la culture par rapport au témoin et aucun signe de phytotoxicité n'a été observé lors des deux campagnes d'expérimentation.

Dans les conditions de notre expérimentation, l'irrigation avec les eaux usées traitées n'a pas entraîné de modification importante de la composition en micro-éléments de la plante, même après 4 années d'épandages successifs.

Ainsi, on remarque que les teneurs en cadmium et en plomb sont comparables dans les deux traitements, tout en étant dans les normes. L'application des eaux usées augmente les teneurs en bore, fer et zinc des parties aériennes du sudangrass sans affecter le "comportement" de la plante, ni être qualifiées d'excessives par rapport aux normes.

La valeur des résultats obtenus reste tributaire des conditions expérimentales. Toutefois, du fait que nous travaillons avec 6 répétitions et en présence d'un témoin, les conclusions tirées doivent être prises en compte et considérées au moins comme des éléments de réponse préliminaire en vue d'une approche plus approfondie de la question.

Ainsi, 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. Le problème se poserait différemment si l'effluent était d'origine industrielle ou en cas de mauvais fonctionnement de la station d'épuration. D'autre part, il faudrait tenir compte de la variabilité "usuelle" de composition des eaux usées et de l'aptitude des espèces végétales à accumuler et à tolérer les micro-éléments.

Accepté pour publication, le 5 mars 1992.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AYOUB-TEBINI H. (1979) : *Contribution à l'étude de la contamination des eaux souterraines. Exemple de la nappe superficielle de la Soukra et des effluents urbains de Tunis après épuration*, thèse 3ème cycle.
- GODIN P. (1983) : "Les sources de pollution des sols : essai de quantification des risques dus aux éléments traces", *Sciences du sol*, 73-87.

MELSTED (1979) : *Possibilités d'épandages des eaux usées urbaines. Etude bibliographique*, Agence du bassin Rhône-Méditerranée-Corse, I.N.R.A - S.C.P.A.R.P., 371 p.

REJEB (1992) : "Irrigation d'un sudangrass avec des eaux usées traitées. I. Effet fertilisant", *Fourrages*, 130 (ce même numéro).

RICHARD G.B., BAHMAN S., ROBIN P.C., COOPER R.C., RIRIE D. (1987) : "Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw", *California Agriculture*, July-august, 4-7.

RÉSUMÉ

Afin d'étudier les possibilités de réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, une expérimentation en plein champ a été engagée sur 4 ans pour mettre en évidence les effets de ces eaux (d'origine urbaine) sur la croissance et la composition chimique d'un sudangrass. Dans ce second article nous avons essayé d'évaluer le risque causé par les micro-éléments (B, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn). L'irrigation avec des eaux de nappe sert de témoin.

Les teneurs en bore, fer et zinc des parties aériennes sont significativement supérieures la 4ème année d'épandage mais cette accumulation, relativement faible, ne semble pas représenter un danger. Par ailleurs, nous n'avons relevé ni cas de toxicité par les éléments nocifs (cadmium et plomb), ni signe de phytotoxicité.

SUMMARY

Irrigation of a sudan-grass field with treated waste water. II- Contamination risk by microelements

This study is about waste water utilization in agriculture ; we experimented the effects of treated waste water on the growth and chemical compounds of sudan-grass irrigated. The use of treated waste water and of water from wells were compared. The waste water used was of urban origin and submitted to a biological treatment (active sludge). In this second paper, we tried to estimate the risks due to the microelements (B, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn).

The results showed that under waste water treatment, in spite of its duration for 4 consecutive years, there was not any noteworthy toxicity with injurious elements (cadmium and lead). In addition, the accumulation of Bo, Fe, and Zn in plant tissue was not important and could be considered as not abnormal. Thus, there was not any toxicity symptom observed on the crop.