

EFFET DE L'ÉPANDAGE DES EAUX USEES TRAITÉES ET DES BOUES RESIDUAIRES SUR LES CARACTERISTIQUES D'UN SOL SABLEUX DE TUNISIE⁽¹⁾

A. BAHRI⁽²⁾ et B. HOUMANE⁽³⁾

RESUME

L'épandage d'eaux usées traitées (600 mm) et de boues résiduaires (30 t/MS/ha/an) durant deux années sur un sol sableux entraîne des variations importantes de la composition chimique du sol. On enregistre une augmentation de la teneur en sels, en éléments fertilisants (N, P, K) et en certains éléments traces (Cu, Pb, Zn).

Les modifications observées, notamment après plusieurs apports conjugués d'eaux usées traitées et de boues sur le sol sont en relation avec leur composition chimique et les doses épandues.

L'évaluation de la valeur fertilisante et de la charge polluante montre que les eaux usées traitées et les boues, comparées aux eaux de puits et à la fertilisation minérale, constituent un potentiel de matières organique et minérale fertilisantes. Ce potentiel subit toutefois des variations spatio-temporelles notables.

L'utilisation des eaux usées traitées et des boues résiduaires doit obéir à certaines normes fixant les concentrations limites en éléments traces, les doses et les fréquences d'apport en relation avec les pratiques agricoles.

INTRODUCTION

En Tunisie et dans les régions arides et semi-arides, l'eau constitue un facteur limitant de la production végétale. L'introduction des eaux usées traitées comme ressource complémentaire peut contribuer à la satisfaction des besoins en eau d'irrigation. Par ailleurs, l'utilisation des boues résiduaires comme amendement organique pourrait participer à l'amélioration de la fertilité des sols.

Ainsi, la valorisation agricole des eaux usées et des boues résiduaires, évoquée depuis longtemps en Tunisie (EL AMAMI, 1976) s'impose à l'heure actuelle.

Si de nombreux travaux ont été réalisés sur ce sujet en Europe et ailleurs (INRA, 1979, COLIN, 1979, POMMEL, 1979, CEE, 1979, HENIN, 1980, CEE, 1981, BOUWER, 1982, COTTENIE et al., 1982, JUSTE, 1983) les études effectuées dans ce domaine restent limitées dans le Maghreb.

(1) Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche CRGR-PNUD (RAB 80/011) intitulé « Utilisation des eaux usées après traitement en agriculture ».

(2) CRGR : Centre de Recherche du Génie Rural, B.P. 10, Ariana, Tunisie.

(3) FST : Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 1060 Tunis, Tunisie.

En s'inscrivant dans cette problématique, nous avons entrepris par l'expérimentation en plein champ et par des analyses de laboratoire :

- l'étude de la variabilité spatio-temporelle de la composition chimique des eaux et des boues ;
- la comparaison des effets séparés et conjugués des eaux usées traitées, des boues résiduelles et de la fertilisation minérale sur le sol ;
- l'évaluation de la valeur fertilisante et de la charge polluante de ces deux milieux et leurs limites d'utilisation.

I. MATERIELS ET METHODES

1. Les eaux et les boues

Les eaux proviennent des stations d'épuration biologique par boues activées de la Cherguia (Tunis) et de Nabeul (SE₄). Elles sont à 90 % d'origine domestique. Ces stations traitent respectivement 40 000 et 4 600 m³/j d'eau usée et produisent quotidiennement 155 et 30 m³ de boue digérée humide. Les boues, séchées sur lits, sont à 65 % environ de matière sèche et sont utilisées en agriculture.

2. Le sol

Le sol de la station expérimentale de la Soukra (proche de Cherguia) est peu évolué, alluvial ; il présente une texture sablo-argileuse à sableuse (Tableau I) et repose sur une croûte calcaire dure de 20 cm d'épaisseur et de profondeur variable (CHAABOUNI, 1986).

Tableau I : Caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Physical and chemical soil characteristics.

	% terre fine					%		(P.S.)		% terre fine			
	A	LF	LG	SF	SG	Ca CO ₃ total	actif	pH	E.C.	C	N	C/N	P ₂ O ₅ ass
0-20cm	13.6	6.0	5.8	60.0	14.3	20.0	3.7	7.8	0.89	8.0	0.80	10.0	0.21
20-40cm	15.1	3.9	5.1	61.7	14.3	19.0	3.5	7.6	0.96	7.1	0.65	10.7	0.21

A : Argile (0-2 μ)

L : limon fin (1-20 μ)

LG : limon grossier (20-50 μ)

SF : sable fin (50-200 μ)

SG : sable grossier (200-200 μ)

P.S. : extrait de pâte saturée

E.C. : conductivité électrique

(mmhos/cm à 25° C)

L'analyse des caractéristiques chimiques montre que le sol est riche en carbonate de calcium, pauvre en calcium, en azote et a une teneur moyenne en phosphore assimilable. La composition de l'extrait de pâte saturée indique que ces sols ne sont pas chargés en sels, ce qui peut s'expliquer par leur texture sableuse, leur concentration en éléments traces présentés dans la suite du texte, sont moyennes, la séquence trouvée dans le sol est :

Mn > Zn > Pb > Ni > Cu ≈ Cr > Co > Cd

3. Protocole expérimental

Les expérimentations réalisées consistent à comparer les effets d'apports d'eau usée traitée, de boue résiduelle et d'une fertilisation minérale.

Le protocole expérimental comporte 3 traitements :

A : Irrigation avec l'eau usée traitée

B : Irrigation avec l'eau usée traitée + boue

C : Irrigation avec l'eau usée traitée + fertilisation minérale

Le dispositif en blocs randomisés complets comporte 6 répétitions par traitement sous forme de parcelles de 100 m² destinés à recevoir des cultures expérimentales (sorgho fourrager et piment).

Les volumes d'eau apportés, durant les deux campagnes 1984 et 1985, ont été respectivement 640 mm et 610 mm pour le piment et 1350 et 630 mm pour le sorgho.

Les quantités de boues épandues chaque année pour le traitement B, en début de campagne, sont égales à 40 t/ha, soit 30 t MS/ha environ. Ces apports, au nombre de 2, ont été effectués durant les deux années.

La fertilisation minérale (traitement C) a été la suivante :

— en 1984, 85 unités d'azote sous forme de nitrate d'ammonium, 90 unités de P₂O₅ sous forme de superphosphate, 100 unités de K₂O sous forme de sulfate de potassium ;

— en 1985, on a apporté 70 unités N, 110 unités de P₂O₅, 100 unités de K₂O, les formes utilisées étant les mêmes que celles mises en œuvre en 1984.

4. Mesures effectuées

On a analysé les eaux usées traitées, les boues et les sols. Les prélèvements d'échantillons ont été effectués, à la Soukra, au début (S₁) et à la fin de l'expérimentation. Parallèlement, des eaux provenant d'un puits situé dans la station expérimentale ont été analysées et comparées aux eaux usées traitées.

Une filtration préalable des eaux a été effectuée pour la détermination des matières en suspension, du résidu sec, des différentes formes de l'azote et du phosphore et des anions et cations.

Les paramètres suivants ont été mesurés : humidité (105°), pH, conductivité électrique (25°), carbone organique (méthode Anne et Carmbograph), azote total (méthode Kjeldahl), NH₄⁺ (distillation ou bleu d'indophénol), NO₃⁻ (réduction sur colone Cd amalgame Hg), NO₂⁻ (diazotation de la sulfanilamide), phosphore total (minéralisation Na₂S₂O₈ - H₂SO₄, dosage selon Murphy et Riley, 1962), phosphore assimilable (méthode Joret-Hébert, 1955, dosage selon Duval, 1964), éléments majeurs sur extrait de pâte saturée dans les sols, après minéralisation acide (HNO₃) dans les boues ; éléments traces (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn), dosage par absorption atomique (Perkin Elmer 2380 + four graphite HGA 400), directement dans les eaux (milieu acide HNO₃), après minéralisation diacide (HF-HClO₄) dans les sols et les boues.

Les analyses ont porté sur 30 à 55 échantillons pour les eaux usées, et les eaux de puits de la Soukra. Celles des eaux de puits de Nabeul ont été effectuées sur une quinzaine d'échantillons.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

L'étude de la composition chimique des eaux, des boues et des sols a porté sur la détermination de leur teneur en sels, en éléments fertilisants et en éléments traces.

A) Les eaux

Les résultats d'analyse (Tableau II) montrent que les eaux usées traitées présentent les caractéristiques d'un effluent de qualité relativement bonne. Elles contiennent en effet, peu de matières en suspension (MES ≈ 15 mg/l) et leurs demandes chimiques (DCO) et biochimique en oxygène (DBO₅) sont respectivement comprises entre 50-70 mg/l et 18-20 mg/l.

Par ailleurs, les eaux sont caractérisées par un pH proche de la neutralité et par une salinité moyenne à élevée ; leur conductivité électrique varie entre 2.5 et 4 mmhos/cm et la valeur du résidu sec (R.S.) est de 2 mg/l.

Tableau II : Caractéristiques moyennes des eaux usées traitées (EU) et des eaux de puits (EP) utilisées en irrigation (en mg/l)

Average characteristics of treated wastewaters (EU) and well waters (EP) used in irrigation (in mg/l).

PARAMETRE	SOUKRA		NABEUL	
	E.U.	E.P.	E.U.	E.P.
pH	7.6	7.6	7.7	7.9
E.C.	2.97	2.61	3.65	2.24
R.S.	1.82	1.71	2.24	1.43
M.E.S.	13.4	4.3	13.5	2.89
D.C.O.	51	-	69	-
HCO ₃ ⁻	370.0	228.5	578.5	390.0
SO ₄ ⁼	363.0	87.5	417.5	269.5
Cl ⁻	554.0	648.0	687.5	376.5
Ca ⁺⁺	154.5	249.0	131.5	140.5
Mg ⁺⁺	56.5	48.5	73.5	66.0
Na ⁺	366.0	214.0	487.5	211.0
K ⁺	36.5	3.0	58.0	9.0
N _t	31.5	21.0	54.5	15.0
P _t	4.1	0.02	2.5	0.02
(S.A.R.)	6.4	3.2	8.4	3.7

E.C. : mmhos/cm à 25°C

R.S. : mg/l

(S.A.R.) : Indice d'adsorption du sodium

Comparées aux eaux de puits, les eaux usées traitées présentent une charge saline plus forte d'adsorption du sodium (SAR) plus élevé.

Les compositions cationiques et anioniques (en méq/l) sont telles que :

- dans les eaux usées : $Na^+ \gg Ca^{++} > Mg^{++} > K^+$
 $Cl^- > SO_4^{=} \approx HCO_3^-$
- dans les eaux de pluie : $Ca^{++} \approx Na^+ \gg Mg^{++} > K^+$
 $Cl^- \gg HCO_3^- \text{ et } SO_4^{=}$

Le faciès des eaux usées est donc chloruré-sodique ; celui des eaux de puits est chloruré-calcique et sodique.

Concernant les éléments fertilisants, les eaux usées traitées se distinguent des eaux de puits par leur teneur relativement élevée en N, P, K. Les concentrations mesurées varient d'une station à l'autre.

Les concentrations en azote total des eaux usées traitées de Nabeul sont plus élevées que celles de la Soukra. Ces concentrations varient dans un rapport égal

UTILISATION DES EAUX USEES ET DES BOUES RESIDUAIRES EN TUNISIE

à 2 entre l'hiver et l'été (20 - 40 mg/l) à la Soukra (35 à 70 mg/l) à Nabeul. L'azote est présent essentiellement sous forme de sels ammoniacaux pendant la période hivernale et de nitrates pendant la saison estivale. Les nitrites sont présents en faible concentration. Dans les eaux de puits, l'azote est présent sous forme de nitrates.

On note l'absence de phosphore dans les eaux de puits.

La comparaison entre les éléments fertilisants dans les eaux usées traitées montre que le phosphore serait apporté en faible quantité par rapport à l'azote : le rapport N/P₂O₅/K₂O est de 1/0.1/1.3 à Nabeul (N = 1).

Pour ce qui est des éléments traces, les concentrations mesurées dans les eaux usées traitées sont faibles (Tableau III). Elles sont toutes inférieures aux valeurs seuils fixées par la FAO (AYERS et WESTCOT, 1985). Les séquences trouvées sont les suivantes :

Soukra : Fe > Pb > Zn > Ni > Co ≈ Mn > Cu > Cr > Cd

Nabeul : Fe >> Pb > Mn > Zn > Co ≈ Ni > Cu > Cr > Cd

Dans les eaux de puits, la séquence des éléments traces est différente et leurs concentrations sont moindres.

Tableau III : Teneur moyenne en éléments traces des eaux usées traitées (EU) et des eaux de puits (EP) utilisées en irrigation (en mg/l)

Average trace elements content in treated wastewaters (EU) and well waters (EP) used in irrigation (in mg/l).

PARAMETRE	SOUKRA		NABEUL		Valeurs limites F.A.O (1)
	E.U.	E.P.	E.U.	E.P.	
Cd	traces	traces	traces	traces	0.0.1
Co	min	0.00	0.00	0.00	0.05
	m	0.05	0.04	0.04	
	max	0.14	0.09	0.09	
Cr	min	0.00	-	0.00	0.1
	m	0.02	-	0.01	
	max	0.06	-	0.03	
Cu	min	0.00	0.00	0.00	0.1
	m	0.03	0.02	0.02	
	max	0.08	0.05	0.07	
Fe	min	0.03	0.05	0.04	5
	m	0.33	0.11	0.29	
	max	1.7	0.29	0.78	
Mn	min	0.00	0.00	0.01	0.2
	m	0.05	0.01	0.06	
	max	0.11	0.04	0.10	
Ni	min	0.00	0.01	0.00	0.2
	m	0.06	0.05	0.04	
	max	0.14	0.09	0.11	
Pb	min	0.07	0.10	0.01	5
	m	0.19	0.16	0.07	
	max	0.30	0.19	0.13	
Zn	min	0.00	0.00	0.00	2
	m	0.12	0.04	0.05	
	max	0.46	0.11	0.21	

min : minimum

m : moyenne

max : maximum

B) Les boues

L'analyse des échantillons de boues prélevés, lors des épandages, sur les deux sites de Soukra et de Nabeul (Tableau IV), montre que leur humidité comprise entre 25 et 50 %, varie largement d'une station d'épuration à l'autre et dans la même station au cours du temps (le coefficient de variation est compris entre 10 et 40 %). Leur pH est voisin de la neutralité et leur conductivité électrique traduit une salinité excessive.

La détermination des teneurs totales en éléments majeurs met en évidence une teneur élevée en Ca, moyenne en Mg et faible en K et Na. Cette pauvreté en K est liée à la grande solubilité des composés potassiques éliminés lors du traitement des eaux.

La teneur en matière organique des boues comprise entre 20 et 40 % reflète leur origine urbaine. La concentration en azote fluctue entre 1 et 2.5 % ; le rapport C/N, de l'ordre de 8, indique que ces boues ont été correctement stabilisées et traduit leur aptitude à libérer de l'azote (CHAUSSOD et al., 1981).

Les boues étudiées présentent l'avantage d'être riches en phosphore total (0,15 - 1 %) et en phosphore présumé assimilable (0,15 - 0,5 %). Elles sont donc suffisamment pourvues en phosphore pour présenter un certain intérêt agricole.

Tableau IV : Composition chimique moyenne des boues résiduaires
Average chemical composition of the sewage sludge

PARAMETRE		SOUKRA			NABEUL	
		1984 JUIN	1985 AVRIL DECEMBRE		1984 JUIN	1985 DECEMBRE
H %		25.0	23.3	32.0	25.0	48.6
pH		7.4 (P.S.)	7.9 (1/5)	7.7 (1/5)	7.2 (P.S.)	7.4 (1/5)
E.C.		15.9 (P.S.)	4.0 (1/5)	3.8 (1/5)	11.5 (P.S.)	7.1 (1/5)
CaCO _{3t} %		25.0	17.8	20.1	13.2	20.4
%	M.V.	30.2	22.8	17.5	33.4	27.1
	C orga.	10.2	13.4	10.2	19.6	15.3
	N _k	1.48	2.02	1.03	2.27	2.28
	C/N	7	6.6	9.9	8.5	6.7
	P _t	0.66	0.76	0.54	0.65	0.95
	Ca	11.43	6.98	5.10	6.46	7.58
	Mg	0.43	0.11	0.45	0.60	0.30
	K	0.23	0.17	0.26	0.31	0.20
	Na	0.17	0.14	0.21	0.41	0.14
	M.S.					

P.S. : extrait de pâte saturée

1/5 : extrait au 1/5

E.C. : conductivité électrique en mmhos/cm à 25°C

CaCO_{3t} : calcaire total

M.S. : matière sèche

M.V. : matières volatiles

Concernant les éléments traces, les teneurs totales trouvées (Fig. 1) sont inférieures aux limites fixées par la norme AFNOR (NF U 44 - 041 (1985)) et subissent des fluctuations notables au cours du temps. Les différents éléments s'organisent selon la séquence suivante :

Fe >> Zn > Pb > Cu > Mn > Cr > Ni > Co > Cd > Hg

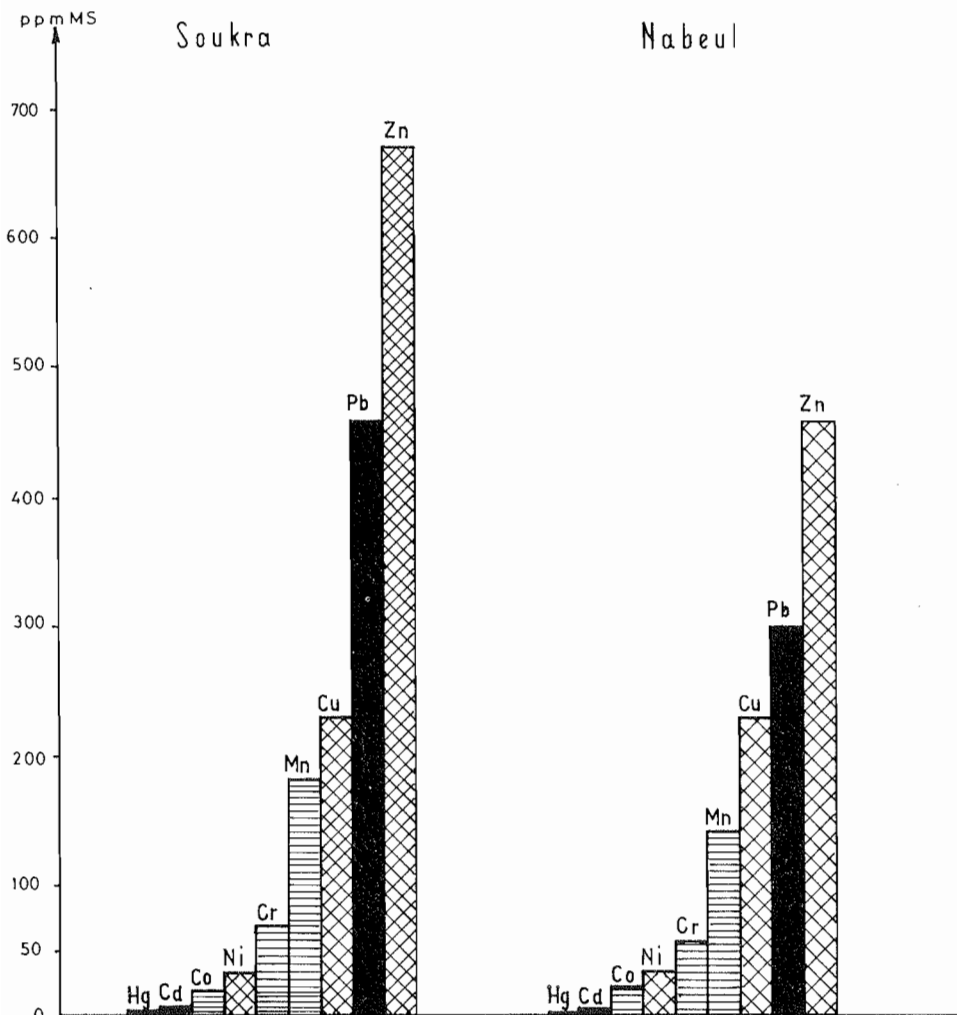


Figure 1 : Teneurs en éléments traces des boues résiduaires
Trace elements content of the sewage sludge.

C) Interactions eaux-sols-boues

Les modifications de la composition chimique du sol de la Soukra, suite à l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduaires, concernant essentiellement la teneur en sels, en matière organique et en éléments traces (Tableau V).

1. Effet de la salinité des eaux usées et des boues

La salinité moyenne a élevée enregistrée dans les eaux (Tableau II) et les boues (Tableau IV) se traduit après épandage par une augmentation de la salinité des sols. La conductivité électrique croît notamment dans le traitement qui reçoit des apports de boue. On note également un enrichissement en ions sodium, chlorure et sulfate qui s'exprime par un changement du faciès chimique de la solution du sol. Celui-ci évolue du faciès bicarbonaté-calcique vers un faciès chloruré-sulfaté-sodique comme celui des eaux usées. L'indice d'adsorption du sodium augmente de même pour l'ensemble des traitements.

Tableau V : Composition chimique du sol avant (S_I) et après traitement (A, B, C)
Soil chemical composition before (S_I) and after treatment (A, B, C).

		% terre fine				Extrait de pâte saturée											
		C	N	C/N	P ₂ O ₅ ass.	pH	E.C.	meq/l								Cl ⁻	(SAR)
								Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼				
S _I	(1)	8.0	0.80	10.0	0.21	7.8	0.89	5.5	2.3	0.2	1.9	4.4	3.1	2.4	0.96		
	(2)	7.1	0.65	10.7	0.21	7.6	0.96	4.7	2.5	0.1	2.2	2.9	3.5	3.2	1.16		
A	(1)	10.3	0.82	12.6	0.21	7.8	1.98	5.1	2.8	0.3	12.7	2.8	8.5	9.5	6.4		
	(2)	8.8	0.72	12.2	0.21	7.9	1.84	5.4	1.9	0.1	12.7	2.6	8.0	9.1	6.6		
B	(1)	12.0	0.97	12.4	0.36	7.9	2.30	7.5	2.7	0.2	14.0	3.3	11.0	11.1	6.2		
	(2)	10.1	0.81	12.5	0.36	7.8	2.20	5.6	3.5	0.1	14.7	2.8	11.0	10.8	6.9		
C	(1)	11.8	0.90	13.1	0.28	7.8	2.07	6.5	1.5	0.6	12.7	3.3	8.5	9.6	6.4		
	(2)	11.2	0.81	13.8	0.23	7.8	1.98	4.8	3.1	0.1	13.1	2.9	10.0	9.3	6.6		

S.A.R. : Indice d'adsorption du sodium

(2) : 20-40 cm

E.C. : mmhos/cm à 25°C

(1) : 0-20 cm

		Cd	Co	Cr	Cu	Hp	Mn	Ni	Pb	Zn
S _I	(1)	0.27	15.5	25.8	26	0.40	218	34	39	44
	(2)	0.15	16.3	27	25	-	211	32	35	40
A	(1)	0.27	17	31	24	0.32	248	35	45	45.3
	(2)	0.23	17	28	25	0.30	243	36	45	46.4
B	(1)	0.30	18.5	31	29	-	250	34	57	63.4
	(2)	0.27	21	32	25	-	252	34	63	48.7
C	(1)	0.29	19.5	32.5	27	-	252	34	50	50.8
	(2)	0.27	21	42	32	-	254	42	-	50.8

2. Evolution des teneurs du sol en C, N, P

Par rapport à la composition initiale du sol, les traitements (A, B, C) entraînent une augmentation des taux de carbone, d'azote et de phosphore assimilable. Les teneurs, les plus élevées, sont enregistrées dans le traitement qui reçoit des apports de boue.

Concernant la teneur du sol en carbone organique, on constate une augmentation, faible dans le traitement A, et presque équivalente dans les deux autres traitements. Pour l'azote, on note un effet modéré des boues qui confirme toutefois leur action en tant que fumure azotée.

Le rapport C/N augmente légèrement après traitement ; cependant, les valeurs trouvées dénotent une bonne minéralisation de la matière organique apportée. L'étude du rythme de minéralisation de cette matière organique en vue d'une meilleure adéquation des apports, par rapport aux besoins, présente un intérêt certain.

En ce qui concerne la fertilité phosphorique des sols, les valeurs présentées dans le (Tableau V), montrent une augmentation marquée des taux de phosphore assimilable dans le traitement B et laissent supposer une disponibilité plus importante des ions phosphates pour la plante. La valeur phosphatée des boues est ainsi confirmée.

3. Incidences des apports de boues sur la composition du sol en éléments traces

L'apport des boues tend à accroître la concentration des éléments traces. Les concentrations mesurées dans le sol notamment pour le zinc, le plomb et le cuivre sont en rapport avec celles trouvées dans les boues et dénote un pouvoir fixateur important du sol. Ces résultats sont similaires à ceux de SPOSITO et al. (1982) qui montrent que les taux de Zn, Pb et Cu, enregistrés dans les sols, sont en relation directe avec les doses de boues épandues.

L'accumulation du zinc, du plomb et du cuivre dans les horizons de surface suggère une intervention possible de la matière organique jouant le rôle de piège géochimique pour ces éléments traces. Leur association avec les composés humiques se ferait sous forme de complexes organiques de stabilité variable (GUILLET et al., 1980). D'autre part, la charge carbonatée des sols et des boues peut être aussi à l'origine d'une immobilisation des éléments traces, notamment du zinc (EMMERICH et al., 1982).

D) Valeur fertilisante et charge polluante des eaux usées et des boues résiduaires

L'étude de l'évolution de la composition chimique du sol suite à l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduaires soulève le problème des avantages et des risques présentés par leur utilisation en agriculture. Il importe donc d'évaluer la valeur fertilisante, la charge polluante de ces deux milieux et leurs limites d'utilisation.

Compte tenu des exportations en N, P₂O₅ et K₂O par le sorgho qui ont été respectivement de 100, 30 et 140 kg/ha/an (REJEB, 1987), on remarque donc que les unités fertilisantes apportées par les eaux usées traitées peuvent être en excès. Si des doses importantes de phosphore et de potassium ne sont pas un obstacle pour leur utilisation, des apports d'azote, supérieurs aux besoins, pourraient présenter des risques vis-à-vis de la pollution des nappes ou de l'accumulation dans les plantes.

Quant aux boues, si les doses apportées en N et P₂O₅ sont excédentaires, celles de K sont, par contre, déficitaires ; un complément en engrais potassique serait, dans certains cas, souhaitable. L'utilisation conjuguée des eaux usées traitées et des boues résiduaires permettrait ainsi d'obtenir une composition équilibrée. En effet, l'utilisation des eaux usées traitées a permis d'obtenir de bons rendements.

Cependant, la question du devenir et de l'efficacité de ces unités fertilisantes dans le sol se pose. Si 20 à 40 % de l'azote des boues était minéralisé pendant l'année qui suit l'épandage (NF U 44-041 (1985)) et 50 % du phosphore total utilisé par les végétaux (COLIN, 1979), les doses apportées par 30 t MS/ha/an seraient équivalentes à celles, habituellement, apportées sous forme d'engrais minéraux.

Par ailleurs, l'épandage des eaux et des boues est également conditionné par leur teneur en éléments traces. Etant donné les faibles quantités apportées à l'hectare par les eaux usées traitées, les risques de pollution des sols et des nappes sont réduits. L'utilisation de boue doit par contre obéir à certaines normes. Afin de protéger les sols d'une éventuelle pollution, nous nous sommes référés à la norme AFNOR (1985). Le calcul du nombre maximum d'années d'épandage des boues en

tenant compte du stock initial en éléments traces du sol de la Soukra conduit aux valeurs suivantes (Tableau VII).

Tableau VI : Quantités d'éléments fertilisants et d'éléments traces (en kg/ha) apportés par les eaux (60 mm) et les boues (30 t/ha/an) sur les sols de la station expérimentale de la Soukra.

Fertilizing and trace elements amounts (in kg/ha) brought by waters (600 mm) and sludge (30 t MS/ha/year) on Soukra soils.

MILIEU PARAMETRE	EAUX		BOUES
	E.P.	E.U.	
M.S.	-	-	30:350
C	-	-	3.588
N	126	189	532
P ₂ O ₅	0.3	56.4	494
K ₂ O	23.2	262.2	73
Cd	traces	traces	0.17
Co	0.24	0.30	0.53
Cr	-	0.12	1.96
Cu	0.12	0.18	6.34
Fe	0.66	1.98	375
Hg	-	-	0.06
Mn	0.06	0.30	4.49
Ni	0.30	0.36	0.86
Pb	0.96	1.14	11.87
Zn	0.24	0.72	20.55

Tableau VII : Nombre maximum d'années d'épandage des boues (30 t/MS/ha/an) sur les sols de la Soukra.

Maximum years number of sludge application (30 t DM/ha/year) on Soukra soils.

Eléments	Stock initial du sol en kg/ha	Stock maximal admissible dans le sol en kg/ha	Nbre max.années à la dose de 30t MS/ha/an
Cd	0.81	6	27
Cr	77.4	450	183
Cu	78	300	33
Hg	1.2	3	45
Ni	102	150	48
Pb	117	300	13
Zn	132	900	54

Le sol, soumis à des apports successifs de 30 t/MS/ha/an de boues, atteint donc rapidement des valeurs seuils en particulier pour le plomb. Il est par conséquent nécessaire de réaliser des simulations afin de définir les doses et les fréquences d'apport en relation avec les pratiques agricoles.

CONCLUSION

L'utilisation des eaux usées traitées et des boues résiduares comme ressources additionnelles en agriculture s'avère intéressante dans les zones arides et semi-arides.

Les premiers résultats obtenus, en Tunisie, au cours de nos essais se rapportent à l'étude de la composition chimique des eaux, des boues et de leurs effets sur le sol.

L'évaluation de la valeur fertilisante et de la charge polluante de ces deux composantes, montre que :

— les eaux usées traitées et les boues présentent une charge saline moyenne à élevée sans toutefois présenter des risques d'alcalinisation ;

— la fraction solide des effluents constitue un potentiel de matières organique et minérale fertilisantes. Ce potentiel subit toutefois des variations spatio-temporelles notables ;

— l'apport conjoint des eaux usées traitées et des boues permet d'obtenir une composition équilibrée en éléments fertilisants mais cependant excédentaire dont il faudra tenir compte ;

— les différents traitements expérimentaux se traduisent par des modifications importantes de la composition chimique du sol. On observe une augmentation de la conductivité électrique et une évolution du faciès géochimique de la solution du sol (bicarbonaté-calcique → chloruré-sodique). Parallèlement, on note une augmentation modérée des taux de C, N et de phosphore assimilable dans le sol. Les éléments traces se concentrent dans les horizons de surface, notamment Zn, Pb et Cu mais ils ne représentent pas à court terme un risque de charge polluante.

— la détermination de la durée maximale d'épandage des boues montre que leur utilisation rationnelle nécessite l'élaboration de normes fixant les concentrations limites en éléments traces pour les boues et les sols dans nos conditions spécifiques.

Reçu pour publication : Février 1987

Accepté pour publication : Novembre 1987

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient P. LE PIMPEC (CEMAGREF, Lyon) et S. RIAHI (INRAT, Tunis) pour leur précieuse collaboration.

EFFECT OF TREATED WASTEWATERS AND SEWAGE SLUDGE APPLICATIONS ON THE CHARACTERISTICS OF A SANDY SOIL OF TUNISIA

Treated wastewaters and sewage sludge applied two years on a sandy soil in Tunisia resulted in important changes of the soil chemical composition.

The spreading of saline wastewaters and sludge lead to an increase of the soil salinity. The soil solution electrical conductivity increased more particularly in the treatment that received sewage sludge.

The combined effect of treated wastewaters and sludge allowed to obtain a balanced composition in fertilizing elements (N, P, K) but nevertheless in excess that has to be taken into account. With respect to the initial soil composition, the experimental

treatment resulted in an increase of carbon, nitrogen and available phosphorus amounts in soils.

The trace elements, kept in the sludge, concentrated after application in the soil surface horizons. Their accumulation, in direct relation with the sludge quantity applied, does not constitute, in the short term, a polluting load.

BIBLIOGRAPHIE

- AYERS R.S. et WESTCOT D.W., 1985. — Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper, N° 29, FAO, Rome, 174 p.
- BOUWER H., 1982. — Water Repuse, Ed. Joe Middlebrooks, Ann. Arbor Science. Publishers INC/The Butterworth Group. p. 137-180.
- CEE, 1979. — Treatment and use of sewage sludge. First European Symposium, Cadarache, 13-15 February 1979, 479 p.
- CEE, 1981. — Treatment and use of sewage sludge. Concerted Action, Final Report, May 1981, 649 p.
- CHAABOUNI Z., 1986. — Caractéristiques physiques des sols et leur évolution sous l'effet d'apports d'eaux usées traitées et de boues résiduaires. Cas des stations de la Soukra et Oued Souhil. Séminaire magrébin sur la réutilisation des eaux usées après traitement en agriculture, 23-26 avril 1986, Tunis, 28 p.
- CHAUSSOD R., GERMON J.C., CATROUX G., 1981. — Essai de détermination au laboratoire de l'aptitude à la minéralisation d'azote des boues résiduaires urbaines. C.R. Acad. Agri., 67, n° 9, p. 762-771.
- COLIN F., 1979. — Connaissances actuelles en matière d'utilisation agricole des boues résiduaires urbaines. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie. IRH, 177 p.
- COTTENIE A., VELGHE G., VERLOO M., KIEKENS L., 1982. — Biological and analytical aspects of soil pollution. Laboratory of Analytical and Agrochemistry - State University, Ghent, Belgium, I.W.O.N.L., Brussel, 53 p.
- EL AMAMI S., 1976. — Projets de Coopération Régionale en matière de recherche scientifique et technologique. Conférence des ministres des états arabes chargés de l'application de la science et de la technologie au développement, UNESCO, Rabat, 16-25 Août 1976, CASTARAB, 3, Cahiers du CRGR, n° 21, 13 p.
- EMMERICH W.E., LUND L.J., PAGE A.L., CHANG A.C., 1982. — Solid phase forms of heavy metals in sewage - sludge treated soils. J. Environ. Qual., Vol. 11, n° 2, p. 178-181.
- GUILET B., JEANROY E., ROUGIER C., SOUCHIER B., 1980. — Le cycle biogéochimique et la dynamique du comportement des éléments traces (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cr) dans les pédogenèses organiques acides. Rapport ATP « Formation et distribution des gisements ». Note Techn. et Sci. du Centre de Pédologie, Nancy, n° 27, 49 p.
- HENIN S., 1980. — Activités agricoles et Qualité des eaux, Ministère de l'Agriculture et Ministère de l'Environnement, Tome 1, 58 p., Tome 2, 294 p., Octobre 1980.
- INRA-SCP, 1979. — Possibilités d'épandage des eaux usées urbaines. Etude bibliographique. Agence de Bassin Rhône - Méditerranée - Corse, 371 p.
- JUSTE C., 1983. — Problèmes posés par l'évaluation de la disponibilité pour la plante des éléments traces du sol et de certains amendements organiques. Sci. Sol, n° 2, p. 109-122.
- POMMEL B., 1979. — La valorisation agricole des déchets : les boues résiduaires urbaines. INRA, 70 p.
- SPOSITO G., LUND L.J., and CHANG A.C., 1982. — Trace metal chemistry in arid - zone field soils amended with sewage sludge : I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Sci Soc. Am. J., Vol. 46, p. 260-264.