

ÉTUDE DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DU SOL D'UN CHAMP D'ÉPANDAGE D'EAUX USÉES (ZEMAMRA, MAROC)

Khadija El Falaki et El Kébir Lhadi*

*Université Chouaïb Doukkali, Faculté des sciences, laboratoire de l'eau et de l'environnement

La **daya Z3** est un champ d'une dizaine d'hectares soumis à l'épandage des eaux usées brutes de la ville de Zemamra (Maroc). Ceci constitue un risque potentiel pour le sol et la nappe phréatique. Des caractérisations du sol ont été effectuées au cours de l'année 1995/96. Le sol d'épandage ne recevait à cette époque, marquée par une sécheresse, que les eaux usées de la ville. Les eaux usées de la ville de Zemamra sont un mélange d'eau usée domestique, d'une partie des rejets d'une sucrerie, des eaux pluviales et des eaux d'un abattoir.

L'effluent apporte une charge polluante importante au niveau de la **daya Z3**; soit 512 kg/j en DCO, 207 kg/j en DBO5, 227 kg/j en MES, 55,8 kg/j en NTK et 14,3 kg/j en Pt. Ces charges augmentent particulièrement pendant la campagne sucrière (du début mai à la mi-juillet). En effet l'égout de la ville reçoit en cette période une partie des rejets de la sucrerie.

En comparant la qualité physico-chimique du sol de la **daya Z3** à celle d'un sol témoin (sol situé à proximité du champ d'épandage et qui ne reçoit pas les eaux usées) et d'autres sols non contaminés, on constate que les teneurs en sels et en métaux lourds sont plus élevées dans le sol de la **daya**. Ceci est dû à une accumulation de sels et de métaux suite à l'épandage continu des eaux usées brutes. D'ailleurs, la conductivité électrique (CE) du sol de la **daya Z3** accuse des valeurs élevées allant de 7,7 à 8,1 ms/cm, ce qui peut qualifier ces sols de salins. La CE du sol pris comme témoin ne dépasse pas 1,2 ms/cm.

INTRODUCTION

L'épandage des eaux usées directement sur le sol est une pratique très utilisée au Maroc, dont l'impact sur l'environnement est important. Les eaux usées sont par la suite perdues par évaporation ou par infiltration dans le sol.

L'épandage sans traitement préalable peut avoir plusieurs effets indésirables aussi bien sur le sol, la nappe d'eau sou-

The Zemamra wastewater is a mixture of domestic, from sugar refinery's waste and slaughterhouse one. In 1990, a natural lagoon treatment system was established. However, this system was not efficient because of the increasing wastewater volume as a result of the demographic expansion and the economic growth. As a matter of fact the system was useless and so system was abandoned and all wastewater is evacuated in open waste-pipe established in south west of the town where this wastewater is speeded without any control in a sewage farm of 10 ha superficies (called **daya Z3**). The sewage brings a cost not negligible pollution to the level of the **daya Z3**.

The influent bring a important pollution load to **daya Z3**: 512 kg/day in COD (chemical oxygen demand), 227 kg/j in SS, 55,8 kg/day in TKN (total kjeldhal nitrogen) and 14,3 kg/day in TP (total phosphorus). These costs increase particularly during the countryside sugar refinery. Indeed the sewer of the city receives in this period a part of rejets of the sugar refinery.

In order to evaluate the impact of spreading of the Zemamra wastewater relatively to **daya**, we have relied on such physicochemical quality of soil.

The comparison physicochemical quality of the soil of **daya Z3** to a witness soil (soil situated near the **daya Z3** and that does not receive used waters) and others soil not contaminated, the salts and the heavy metals are more raised in the soil of the **daya Z3**. The electrical conductivity of the soil of the **daya Z3** accused raised values going from 7.7 to 8,1 ms/cm, what can qualify these soil of saline. The electrical conductivity of twin soil does not exceed 1,2 ms/cm. The results show that this uncontrolled spreading of this wastewater caused first some problems to human being bay the smell and disease, second for the soil by accumulation of salts and heavy metals and last

terrine que sur la santé humaine. Les eaux résiduaires sont généralement riches en sels, et provoquent une accumulation de ces sels solubles dans le sol (salinisation). Le principal risque encouru par le sol lors d'un épandage des eaux usées brutes est le colmatage. En général, il n'affecte que la partie superficielle du sol, mais certains sols légers peuvent être colmatés en profondeur. Ces zones représentent des risques sanitaires pour les habitants avoisinants.

L'objectif de ce travail est d'étudier la qualité physico-chimique du sol du milieu récepteur des eaux usées de la ville de Zemamra. Le champ d'épandage appelé la daya Z3 est un milieu fermé d'une dizaine d'hectare situé à proximité d'une école primaire et au milieu de quelques habitations rurales.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Présentation du site d'étude

La région de Zemamra est une région à vocation agricole. Elle appartient à l'étage semi-aride. La moyenne annuelle des précipitations est de 326 mm. La population urbaine est estimée à 10 000 habitants.

La commune est équipée d'un réseau de collecte de type unitaire. En 1990, la ville de Zemamra a amélioré son système d'assainissement en installant une station de dépollution (lagunage naturel). La mauvaise gestion de ce système, l'expansion démographique et le développement économique qu'a connu la région l'ont rendu sous-dimensionné et inefficace. De ce fait, il a été abandonné et les rejets sont évacués dans un canal à ciel ouvert (de 4 km de longueur) vers le sud ouest de la ville où ils sont épandus dans la daya Z3.

Paramètres étudiés et méthodes d'analyses

Les analyses de l'eau usée ont porté principalement sur la détermination du pH, de la température, de la conductivité (CE), de la demande chimique en oxygène (DCO), de la demande biologique en oxygène (DBO₅), de l'azote total (NTK), du phosphore total (Pt), de la concentration des matières en suspension (MES). À chaque prélèvement, la température, la CE et le pH sont mesurés sur le terrain. Toutes les analyses sont effectuées selon les normes Afnor en vigueur.

Trois campagnes de prélèvements de sol ont été effectuées à différents horizons pour évaluer la qualité physico-chimique du sol de la daya Z3 au niveau de 4 horizons (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm et 60-80 cm). Les prélèvements sont effectués à différents points de la daya (à raison de 3

points suivant le diamètre de la daya : un au milieu et 2 prélèvements aux 2 bords). Les prélèvements ont été effectués par carottage. Nous avons aussi effectué le prélèvement d'un sol qui se situe à proximité de la daya Z3 mais qui ne reçoit pas les eaux usées de la ville.

Le sol prélevé est préparé conformément à la norme Afnor NF X31-901. Il est séché à 110 °C et broyé; la fraction inférieure à 2 mm obtenue par tamisage sert pour les analyses.

Les paramètres suivants ont été déterminés selon les normes Afnor: pH, azote ammoniacal (NH₄⁺), nitrates (NO₃⁻), azote total Kjeldahl (NTK), chlorures (Cl⁻), calcium (Ca²⁺), magnésium (Mg²⁺), phosphore assimilable (P₂O₅), métaux lourds du sol. La conductivité électrique est déterminée sur l'extrait de la pâte saturée par un conductimètre HI 8633. Le sodium (Na⁺) et le potassium (K⁺) sont dosés par un spectrophotomètre à flamme de type FP 90. La méthode utilisée pour déterminer la granulométrie est celle de la pipette Robinson.

RÉSULTATS

Les rejets de la ville de Zemamra dont les caractéristiques physico-chimiques sont illustrées dans le tableau 1 sont évacués sans aucun traitement préalable dans un canal à ciel ouvert vers la daya Z3. Ce champ d'épandage se trouve au milieu d'un douar (un ensemble d'habitations rurales). Les riverains dérangés par les nuisances de cet épandage (mauvaises odeurs, mouches et moustiques) ont détruit le canal qui amène les eaux usées vers la daya. De ce fait ces rejets sont déviés vers des bassins de stockage (lagunage naturel).

Cet effluent apporte une charge polluante moyenne très importante au niveau de la daya Z₃ : soit 512 kg/j en DCO, 207 kg/j en DBO₅, 227 kg/j en MES, 55,8 kg/j en NTK et 14,3 kg/j en Pt. Ces charges augmentent particulièrement pendant la campagne sucrière (du début mai à la mi-juillet). En effet l'égout de la ville reçoit en cette période une partie des rejets de la sucrerie (voir tableau 1).

Des suivis de la qualité physico-chimique du sol du champ d'épandage ont été effectués au cours de l'année 1995/96. La daya Z3 ne recevait à cette époque, marquée par une sécheresse, que les eaux usées de la ville. Les résultats moyens des différents prélèvements, sont reportés dans le tableau 2. On note des effets négatifs sur le sol qui se traduisent par une augmentation de la salinité (tableau 2) de celui-ci, suite à un enrichissement en chlorures, sodium et calcium (par rapport au sol témoin) rejetés en grandes quantités dans les eaux usées.

L'épandage des eaux usées fait intervenir des processus physiques de filtration et d'adsorption. Au fur et à mesure que les eaux usées migrent dans le sol, les matières en suspension sont retenues par filtration. Les propriétés physiques du sol ont une influence sur la vitesse de ces processus.

Tableau 1 : Qualité physico-chimique du rejet de Zemamra durant la période d'étude (juillet 1995 à octobre 1996)

	CE (ms/cm)	Débit (m ³ /j)	MES (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	NTK (mg/l)	Pt (mg/l)
Juillet 1995	-	1300	-	-	-	-	-
Août 1995	2,7	1200	110	360	114	40	18
Sept 1995	2,9	1200	153	310	175	43	12
Octobre 1995	2,6	1200	156	298	140	50	12,8
Novembre 1995	2,5	1200	120	210	88	38	8,3
Décembre 1995	2,9	1200	150	180	80	37	7,5
Février 1996	1,7	1400	100	300	125	43	11
Mars 1996	2,1	1400	115	410	250	40	10
Avril 1996	2,4	1400	82	350	140	45	7,5
Mai 1996	4,7	1831	650	1200	340	39	7
Août 1996	2,3	1200	112	350	110	46	13
Octobre 1996	2,55	1250	152	316	170	47	15
Moyenne	2,66	1316	172,7	389,4	157,4	42,4	10,9

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques moyennes du sol de la daya Z3 et du sol témoin

	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	Sol témoin
Texture	Argileuse	Argilo-sableuse	Argileuse	Argileuse	Argilo-sableuse
pH	7,7	7,8	8,1	8	7,3
C. E (ms/cm)	7,2	3,6	8,69	8,7	1,24
K ⁺ (mg/100 g)	18,5	3	39	40	9
Na ⁺ (mg/100 g)	172	111	184	188	40
Mg ²⁺ (mg/100 g)	9,6	6,5	9,3	9,7	5
Ca ²⁺ (mg/100 g)	37	37,5	65	70	30
Cl ⁻ (mg/100 g)	958	450	972	986	250
NTK (mg/100 g)	450	525	190	196	130
NH ₄ ⁺ (mg/100 g)	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅ (mg/1000 g)	137	133	140	154	85
Pb (mg/100 g)	3,6	3,3	3	3	1
Cu (mg/100 g)	0,7	2	2	2,3	0,4
Zn (mg/100 g)	19	22	31	30	10
Fe (mg/100 g)	1440	500	2940	3000	450
Ni (mg/100 g)	2,8	2,5	3,2	3,1	0,9

DISCUSSION

Les analyses granulométriques montrent que la texture du sol de la daya Z3 est argileuse pour les horizons de surface et du fond par contre elle est de nature argilo-sableuse pour l'horizon du milieu (20-40 cm). La percolation de l'eau est plus lente et sa rétention ainsi que la sorption des solutés est plus forte dans ce type de sol que dans ceux à texture grossière^[10].

On note une faible variation du pH dans les trois horizons. Il varie de 7,8 à 8,1 ; ce qui qualifie ce sol de moyennement basique^[12].

Le suivi de la salinité a été approché par la mesure de la conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte saturée. Les horizons analysés présentent une conductivité électrique allant de 7,8 ms/cm en surface (0-20 cm) à 8,7 ms/cm en profondeur (20-40 cm), passant par un horizon moins concentré en sels (20-40 cm) avec une CE de 3,6 ms/cm. Les horizons 40-60 et 60-80 cm présentent la conductivité électrique la plus élevée; ceci est dû à une migration des sels vers la profondeur. D'après les normes de Richards (1954)^[11] (tableau 3), le sol de la daya Z3 est salin. La salinité du sol témoin est faible (1,24 ms/cm) donc on peut dire que les sels s'y accumulent à la suite de l'épandage continu des eaux usées urbaines de la ville de Zemamra.

Tableau 3 : Distribution des sols par classe de salinité Normes de Richards, 1954

Classe de salinité	CE (ms/cm)	Non salés	< 4
Peu salés	4-8	Salés	8-16
Fortement salés	16-32	Très fortement salés	> 32

Le sol de la daya Z3 est très riche en chlorures. Les chlorures dans le sol à des teneurs élevées, peuvent causer une toxicité pour les cultures^[11].

Le sol de la daya Z3 accuse des taux d'azote total Kjeldahl (tableau 1) allant de 0,19 à 0,525 %, ces résultats qualifient ce sol de riche en azote (Tableau 4). La décomposition de l'azote organique en ions ammonium et nitrates dépend des conditions de température, d'aération et du pH du sol. La physico-chimie du sol de la daya Z3 semble être défavorable à cette minéralisation^[10]. L'azote ammoniacal et l'azote nitrique sont présents en faible quantité dans ces sols. La période d'étude a été précédée par plusieurs années de sécheresse et le sol est devenu très sec et compact. Ces conditions défavorables limitent l'activité des micro-organismes responsables de la minéralisation de l'azote organique.

Lors de la filtration dans le sol, le phosphore est éliminé par deux mécanismes physico-chimiques, qui sont l'adsorption et la précipitation. Le phosphore est adsorbé sur les surfaces des constituants du sol avec une réaction initiale rapide, suivie d'une réaction beaucoup plus lente^[2]. L'adsorption est liée à la surface spécifique et à la capacité d'échange cationique des différents sols^[8]. Elle dépend fortement du pH et du potentiel d'oxydo-réduction. L'adsorption est d'une manière générale, d'autant plus forte que le pH est élevé et le potentiel rédox est faible^[5].

Les phosphates sont aussi susceptibles de réagir avec divers constituants chimiques (Fe³⁺, Al³⁺, Ca²⁺...), présents dans l'effluent et de précipiter lors de la percolation^[3,5].

Selon certains auteurs, le phosphore ne peut présenter un risque de pollution pour les aquifères que dans des cas très rares^[8].

Tableau 4 : Normes de fertilité des sols (d'après la Direction de l'équipement rural, Maroc)

	Azote (%)	Phosphore (%) total assimilable		Potassium (%) total assimilable	
Très riche	+ de 0,3	+ de 3	+ de 0,8	+ de 8	+ 0,9
Riche	0,15 à 0,3	1,5 à 3	0,3 à 0,8	4 à 8	0,3 à 0,9
Moyennement pourvu	0,1 à 0,15	0,5 à 1,5	0,1 à 0,3	2 à 4	0,15 à 0,3
Pauvre	0,05 à 0,1	0,02 à 0,5	0,05 à 0,1	1 à 2	0,05 à 0,15
Très pauvre	- de 0,05	- de 0,02	- de 0,05	- de 1	- de 0,05

Le taux du phosphore varie entre 0,13 et 0,15 % (tableau 5) comparés aux normes de fertilité des sols, le sol de la daya Z3 est moyennement pourvu en phosphore (tableau 3).

Ces teneurs élevées en azote et en phosphore par rapport au sol témoin, peuvent être expliquées par l'épandage des eaux usées et le lessivage des sols cultivés situés à proximité de la daya Z3. En effet, les charges moyennes en azote et phosphore envoyées vers le champ sont très importantes^[7].

Dans le sol, plusieurs processus participent à l'élimina-

Tableau 5 : Comparaison des moyennes en métaux lourds de la daya Z3 à celles d'un sol non contaminé (Ontario Ministry of Environment., 1981)

Métal	Moyennes trouvées dans le sol de la daya Z3	Moyennes trouvées pour le sol témoin	Moyenne pour des sols non contaminés
Cadmium (mg/kg sol)	-	-	0,8
Zinc (mg/kg sol)	228,6	100	55
Cuivre (mg/kg sol)	36,4	4	25
Nickel (mg/kg sol)	27,6	9	16
Plomb (mg/kg sol)	46,5	10	15

tion des métaux en solution soit par formation des complexes insolubles, par précipitation sous forme de minéraux insolubles soit par adsorption.

Les métaux lourds ont tendance à être fortement retenus par le sol; d'après des estimations, leur temps de séjour varie de 300 à 3 000 ans^[4]. Il est peu probable que le lessivage des métaux cause un problème sauf si les sols devenus anaérobies, sont ensuite drainés rapidement. Les conditions réductrices d'un sol anaérobie augmentent la solubilité et la mobilité des métaux par dissolution des oxydes de fer et de manganèse et la formation de complexes organométalliques solubles.

On note que l'élément le plus dominant dans le sol de la daya Z3 est le fer. Celui-ci est un métal naturellement présent en forte concentration dans le sol sous forme d'oxydes et d'hydroxydes insolubles. Il s'agit d'un élément rejeté en grandes quantités au cours de la campagne sucrière^[7].

En comparant les teneurs en métaux lourds du sol de la daya Z3 avec le sol témoin et avec des moyennes pour des sols non contaminés^[10], on constate qu'elles sont plus élevées que celles d'un sol non contaminé (tableau 5). Les métaux lourds dans les eaux usées épandues dans la daya Z3, sont conformes aux normes pour un épandage^[7], cependant, les métaux lourds ajoutés aux sols, ne sont que légèrement solubles. Il y a donc une possibilité d'accumulation de ces ions métalliques au niveau du sol à la suite d'un épandage continu et non contrôlé.

Les eaux usées épandues dans le sol de la daya Z3 véhiculent des quantités importantes en sels, en matière organique et ions métalliques et constituent un risque de pollution de la nappe phréatique.

CONCLUSION

L'épandage des eaux usées de la ville de Zemamra sans aucun contrôle crée d'importantes nuisances pour le milieu récepteur (mauvaises odeurs, prolifération des moustiques, risques sanitaires pour la population en contact avec ces eaux usées...), entraînant des plaintes des riverains.

Nous avons suivi, les paramètres physico-chimiques du sol de la daya Z3. En comparant la qualité physico-chimique du sol de la daya Z3 à celle d'un sol témoin (sol situé à proximité de la daya Z3 et qui ne reçoit pas les eaux usées) ou d'autres sols non contaminés, on constate que les teneurs en sels et en métaux lourds sont plus élevées

dans le sol de la daya. Ceci est dû à une accumulation de sels et de métaux suite à l'épandage non contrôlé des eaux usées brutes. D'ailleurs, la conductivité électrique du sol de la daya Z3 accuse des valeurs élevées allant de 7,7 à 8,1 ms/cm, ce qui peut qualifier ces sols de salins alors que la CE du sol pris comme témoin ne dépasse pas 1,2 ms/cm.

* **Khadija El Falaki et El Kébir Lhadi,**

Université Choualb Doukkali - Faculté des sciences - Département de chimie - Laboratoire de l'eau et de l'environnement - BP 20 - El Jadida (Maroc)

Bibliographie

- [1] Ayers R. S et Wetscot D.W., 1985 : *Water quality for agriculture*, FAO, Irrigation and drainage paper n° 29 FAO, Rome, 174 p.
- [2] Bouma, 1982 : *Use of soil accept and treat domestic liquid waste*. 35 th Int. Conf. Cebedeau, Liège, 24-26, 159-170.
- [3] Bower et Chaney, 1974 : *Land treatment of wastewater*. *Advances in Agronomy*, 27: 133-176.
- [4] Bowen, 1975 : *Residence time of heavy metals in the environment*. Preceding international conference of heavy metals in the environment, vol. 1, 1-19, Toronto.
- [5] Gougoussis, 1982 : *Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques*. Thèse de 3^{ème} cycle I.N.P. de Lorraine, Nancy.
- [6] John Matt K., 1971 : *Soil properties affecting the retention of phosphorus from effluent*. *Canadian Journal of Soil Science*, 51, 3: 315-322.
- [7] Lhadi EK; EL Falaki K et El Krati M (1996) : *Étude d'impact de l'irrigation par les eaux usées sur l'environnement du périmètre bas service des Doukkala*. « Rejets de Sidi Bennour et Zemamra » Premier rapport annuel, 1995.
- [8] Miller et Wolf, 1975 : *Renovation of sewage effluents by soil*. N.S.F. First national conference. Ann. Arbor. Science: 89-117.
- [9] Ministère de l'Environnement Ontario, 1985 : *L'épandage des eaux usées traitées et des boues d'épuration d'origine urbaine*. Direction générale des programmes de l'environnement; guide SPE 6-EP-48-1.
- [10] Ontario Ministry of the Environment 1981 : *Guidelines for sewage sludge utilisation on agriculture and lands*, Ontario.
- [11] Richards (1954) : d'après Guessir H 1995. : *Étude de l'impact de l'irrigation par les eaux usées sur la qualité physico-chimique du sol et de la nappe dans la région de Sidi Bennour (Maroc)*. Thèse de 3^{ème} cycle Fac des Sciences El Jadida (Maroc).
- [12] Seen, Agr, Mara, (1992). : d'après Guessir H 1995. : *Étude de l'impact de l'irrigation par les eaux usées sur la qualité physico-chimique du sol et de la nappe dans la région de Sidi Bennour (Maroc)*. Thèse de 3^{ème} cycle Fac des Sciences El Jadida (Maroc).