



Original Paper

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Etude de la salinité des eaux usées utilisées dans l'irrigation dans le périmètre maraîcher de Sebkh, Nouakchott

Abdoulaye Demba N'DIAYE^{1*}, Mohamed Ould Sid' Ahmed Ould KANKOU²
et Baidy LO¹

¹Laboratoire de Chimie de l'Eau, Institut National de Recherches en Santé Publique de Nouakchott, BP 690, Tél. (222) 525 31 75, Mauritanie.

²Laboratoire de Chimie de l'Eau et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Nouakchott- BP 5026, Tél. (222) 525 13 82, Mauritanie.

*Auteur correspondant ; E-mail : abdouldemba@yahoo.fr

RESUME

L'étude de la salinité des eaux usées irriguées au niveau du périmètre maraîcher de Sebkh s'est déroulée au cours du mois de mars et avril 2009. A partir du Rapport d'Adsorption du Sodium et de la Conductivité électrique, nous avons pu montrer que les eaux usées irriguées au niveau du périmètre maraîcher de Sebkh sont dans la classe C₄S₁ (très forte salinité et faible danger d'alcalinisation). Parmi les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux destinées à l'irrigation, nous avons déterminé les résidus sec, la pression osmotique et la salinité potentielle qui présentent des valeurs maximales respectives de 3720 mg/litre, 1,91 atm et 46,51 méq/litre. L'application de l'ACP sur ces résultats nous renseigne l'existence d'une relation étroite entre la conductivité électrique et la composition ionique de ces eaux usées d'irrigation.

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Salinité, SAR, Sebkh, Nouakchott, Mauritanie.

INTRODUCTION

De nombreuses études ont été conduites au niveau du périmètre maraîcher de Sebkh. Des analyses microbiologiques des eaux et des sols, les études hydrogéologiques et l'impact sanitaire de l'utilisation des eaux usées (Schneider et Gagneux, 1997 ; Azandosessi et al., 1999 ; Gagneux et al., 1999 ; Cissé et Tanner, 2000). La présente étude se propose d'évaluer la salinité des effluents de la ville de Nouakchott irrigués dans le périmètre maraîcher de Sebkh sur la base des procédés analytiques, c'est-à-dire le suivi des paramètres physico-chimiques choisis et leurs évolutions et statistiques

(l'application de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)). Une salinité excessive des eaux d'irrigation peut provoquer des dommages vis-à-vis des sols et des plantes (Faby et Brissaud, 1997). Il est donc impératif d'étudier la composition chimique des eaux destinées à l'irrigation car l'aptitude de l'eau à l'irrigation en dépend.

MATERIELS ET METHODES

Milieu d'étude

La ville de Nouakchott (Figure 1) est une ville côtière, située à 18° 07 de latitude Nord et 16° 01 de longitude Ouest. Nouakchott se situe dans la partie méridionale

© 2010 International Formulae Group. All rights reserved.

de la sebkha de NDRAMCHA où se localise une nappe sub-affleurante et son niveau est en relation directe avec celui de l'océan (Mint El Bezeid, 2007). Le site du prélèvement est la STEP (Station de Traitement des Eaux Polluées) où l'ensemble des eaux usées brutes drainées par certains quartiers de la ville de Nouakchott et de quelques unités industrielles connectées aussi à la STEP telle que la Société de mise en bouteille et une société de pêche.

Méthodes d'analyses

Des prélèvements hebdomadaires ont été effectués au niveau de la STEP au cours du mois de mars et avril 2009 : le 1^{er}, 8, 15, 22, 29 mars, le 5^{ème}, 12, 19 et 26 avril. Les analyses ont lieu immédiatement après prélèvement, au laboratoire de chimie de l'eau de l'INRSP (Institut National de Recherches en Santé Publique) de Nouakchott. Les paramètres physico-chimiques étudiés sont: la température, le pH, la conductivité électrique des ions chlorures, calcium, magnésium, sodium, potassium, ammonium, orthophosphates et sulfates.

Le pH et la température ont été déterminés par un pH-mètre de type Hanna muni d'une sonde mesurant la température. La conductivité a été mesurée par un conductimètre de type Hanna. Les chlorures sont mesurés par méthode de Mohr. Les ions calcium et magnésium sont dosés par complexométrie à l'aide d'une solution de sel disodique d'acide éthylènediamine tétracétique (EDTA) (Rodier, 1996). Les ions ammonium, ortho phosphates et sulfates sont analysés par des méthodes colorimétriques à l'aide d'un spectrophotomètre UV Visible modèle 722 S Beijing. Les ions ammonium par le réactif Nessler à une longueur d'onde de 420 nm. Pour le dosage des ortho phosphates on a utilisé un réactif molybdique susceptible d'un dosage colorimétrique à une

longueur d'onde de 700 nm. Les ions sulfates sont précipités en milieu aqueux par le baryum en présence de thymol et de gélatine à une longueur d'onde de 530 nm. Pour les ions sodium et potassium, nous avons utilisé un photomètre à émission atomique à flamme modèle Corning.

L'étude statistique a été basée sur l'ACP. Les matrices de corrélations intermédiaires, les corrélations entre les variables et les axes et la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2 ont été obtenues avec un Logiciel XLSTAT 2010.

RESULTATS

Evolution des paramètres physico-chimiques

Les résultats détaillés des analyses physico-chimiques des effluents de la ville de Nouakchott irrigués dans le périmètre maraîcher de Sebkha sont présentés par les Tableaux 1 et 2 qui donnent les valeurs maximales, minimales, moyennes et écart types des paramètres physico-chimiques étudiés au cours du mois de mars et avril 2009.

Application de l'Analyse en Composantes Principales

Le traitement des données des 9 paramètres physico-chimiques par l'analyse en composantes principales, en utilisant comme variables la conductivité, les ions chlorures, calcium, magnésium, sodium, potassium, ammonium, orthophosphates et sulfates et comme individus les 27 prélèvements effectués au cours du mois de mars et avril 2009. Le Tableau 3 donne les coefficients de corrélations entre les variables et les deux premiers axes F1 et F2. Les matrices de corrélations intermédiaires sont données par le Tableau 4. La Figure 2 nous révèle la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2.

Tableau 1 : Résultats des paramètres physico-chimiques étudiés.

Paramètres	Unités	Max.	Min.	Moy.	Ecart Types
Température	°C	26,3	23	24,7	1,06
pH		7,76	6,91	7,4	0,32
CE	mS/cm	5,5	2,1	3,6	1,04
Résidu sec	mg/litre	3710	1470	2578	769,92
π	atm	1,91	0,76	1,27	0,37

Tableau 2 : Résultats des paramètres physico-chimiques étudiés.

Paramètres	Unités	Max.	Min.	Moy.	Ecart Types
Cl ⁻	mg/litre	1633	397,6	954,4	333,64
Na ⁺	mg/litre	390	191	290,7	70,18
K ⁺	mg/litre	39	26	31,83	4,41
Ca ²⁺	mg/litre	218,04	67,11	133,23	63,98
Mg ²⁺	mg/litre	94,28	11,10	58,8	32,95
SO ₄ ²⁻	mg/litre	53,29	30,64	43,85	6,54
NH ₄ ⁺	mg/litre	292,05	119,14	212,5	61,86
PO ₄ ³⁻	mg/litre	39,15	22,78	28,16	4,35
SAR		6,3	5,6	5,9	1,16
Sp	méq/litre	46,51	11,67	27,19	5,21

Tableau 3 : Corrélations entre les variables et les axes principaux.

	F1 (57,74 %)	F2 (21,78 %)
CE	0,962	0,034
Cl ⁻	0,348	0,309
NH ₄ ⁺	0,525	-0,842
PO ₄ ³⁻	0,232	-0,238
SO ₄ ²⁻	0,708	0,470
Na ⁺	0,998	0,045
K ⁺	0,996	-0,087
Ca ²⁺	0,931	0,353
Mg ²⁺	0,949	0,305

Tableau 4 : Matrice des corrélations inter-élémentaires.

Variables	CE	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
CE	1								
Cl ⁻	0,586	1							
NH ₄ ⁺	0,510	0,033	1						
PO ₄ ³⁻	-0,041	-0,827	0,204	1					
SO ₄ ²⁻	0,554	-0,074	-0,090	0,550	1				
Na ⁺	0,950	0,323	0,481	0,262	0,751	1			
K ⁺	0,951	0,307	0,594	0,265	0,672	0,991	1		
Ca ²⁺	0,932	0,514	0,203	0,047	0,777	0,941	0,896	1	
Mg ²⁺	0,946	0,500	0,251	0,068	0,771	0,957	0,917	0,999	1

Corrélations significatives (p < 0,05) en gras et CE : Conductivité électrique.



Figure 1 : Carte de localisation de la ville de Nouakchott.

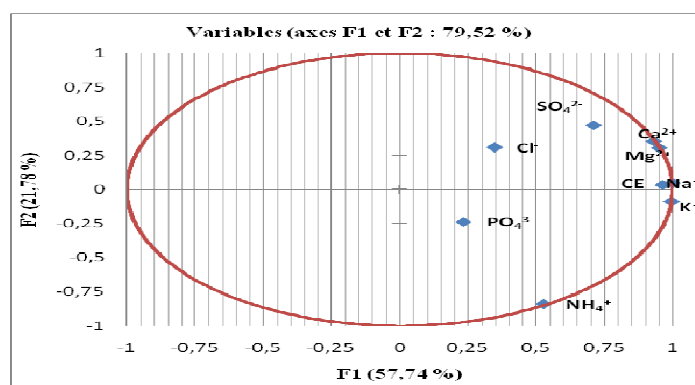


Figure 2 : Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2.

DISCUSSION

La température enregistrée au niveau des effluents de la ville de Nouakchott varie de 23 °C à 26,3 °C (Tableau1). Les

températures enregistrées sont inférieures à 35 °C considérée comme valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur (Ministère de

l'Environnement du Maroc, 2002). Le pH oscille entre 6,91 et 7,76 (Tableau 1).

La conductivité électrique montre une large variation de la composition des effluents de la STEP, elle varie entre 2,1 mS/cm et 5,5 mS/cm (Tableau 1). Les valeurs de la conductivité enregistrées sont supérieures à celles qui sont rencontrées sur le lac de Fouarat à Kenitra au Maroc par EL Gouamri et Belghyti (2006), mais sensiblement proches à celles trouvées à Chabat Roba, Messdour et Wadi Z'ommor en Algérie par Lynda et al. (2008). Les valeurs de la conductivité enregistrées au niveau de l'effluent de la ville de Nouakchott dépassent 2 mS/cm (Journal Officiel de la République Algérienne, 2003). L'effet primordial de la salinité totale est de réduire la croissance des cultures et leur production. La salinité totale est généralement exprimée par la minéralisation globale ou par la conductivité électrique. Cette dernière est liée au résidu sec (RS) et à la pression osmotique (π par les formules suivantes : RS (mg/litre) = 0,7CE (μ S/cm) et π (atmosphères) = 0,00036CE (Rouabhia et Djabri, 2010). Les eaux usées irriguées dans le périmètre maraîcher de Sebkhia sont caractérisées par des valeurs du résidu sec et de la pression osmotique variant respectivement de 1470 mg/litre à 3740 mg/litre (Tableau 1) et de 0,76 atm à 1,91 atm (Tableau 1). Les valeurs de la pression osmotique et du résidu sec enregistrées au niveau des eaux irriguées dans le périmètre maraîcher de Sebkhia sont largement supérieures à celles trouvées par Rouabhia et Djabri (2010) dans les eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abid.

La valeur maximale en chlorures enregistrée au niveau de la STEP est de 1633 mg/litre et la valeur minimale est de 397,6 mg/litre (Tableau 2). Les concentrations enregistrées dépassent largement la concentration limite de rejet direct dans le milieu récepteur (50 mg/litre) (Ministère de

l'Environnement du Maroc, 2002). Les concentrations maximales et minimales en sulfates obtenues au niveau des effluents de Nouakchott oscillent respectivement de 53,29 mg/litre et 30,64 mg/litre (Tableau 2). La salinité du sol est constituée par tous les sels de chlorures de sodium et des sulfates de magnésium, par conséquent la salinité potentielle (S_p) pourrait être estimée par Doneen (1962) : $S_p = Cl^- + \frac{1}{2} SO_4^{2-}$ où tous les termes sont exprimés en milliequivalent par litre. Les eaux usées irriguées dans le périmètre maraîcher de Sebkhia sont caractérisées par des valeurs de la salinité potentielle variant entre 11,67 méq/litre et 46,51 méq/litre (Tableau 2). Les valeurs de la salinité potentielle enregistrées sont largement supérieures à celles trouvées par Rouabhia et Djabri (2010) dans les eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma El Abid.

Les concentrations maximales et minimales en sodium obtenues au niveau des effluents de la ville de Nouakchott sont respectivement de 390 mg/litre et de 191 mg/litre (Tableau 2). Les teneurs en calcium et en magnésium enregistrées varient respectivement de 67,11 mg/litre à 218,04 mg/litre (Tableau 2) et 11,10 mg/litre à 94,28 mg/litre (Tableau 2). En ce qui concerne le sodium, il a été reconnu que sa concentration dans les eaux d'irrigation a une influence sur la perméabilité et l'infiltration des sols. La présence des ions Na^+ a des effets néfastes sur la structure des sols par défloculation de l'argile (Rouabhia et Djabri, 2010). Le sodium exerce une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol (Todd, 1980).

Les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le Sodium Adsorption Ratio (SAR) qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux et la conductivité des effluents irrigués au niveau du périmètre maraîcher de Sebkhia.

Le SAR utilisé par Jiménez et Chavez (1997) est défini par la relation suivante : $SAR = [Na^{2+}] / [\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}]$, les concentrations des ions Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en milliéquivalent par litre. Les valeurs du SAR ont été comparées à celles du diagramme de l'US Salinity Laboratory (1954), lequel, à partir des valeurs du SAR et de la conductivité, classe les eaux d'irrigation en fonction des risques de sodisation et de la sédimentation (Faby et Brissaud, 1997). Les valeurs du SAR enregistrées au niveau des eaux usées irriguées dans le périmètre maraîcher de Sebkha varient entre 5,6 et 6,3 (Tableau 2). La totalité des prélèvements ont un rapport d'adsorption de sodium inférieur à 10 donc un risque minimal d'accumulation du sodium (Goula et al., 2007). Les valeurs du SAR enregistrées sont supérieures à celles trouvées par Rouabhia et Djabri (2010).

Le report des résultats de nos analyses à l'échelle établie par l'US Salinity Laboratory (1954) nous permet de dire que les eaux usées irriguées au niveau du périmètre maraîcher de Sebkha sont dans la classe C_4S_1 c'est-à-dire que ces eaux usées appartiennent à la classe C_4 des conductivités, qui est la classe des eaux à très forte salinité et à la classe S_1 des eaux à faibles dangers d'alcalinisation.

Les ions ammonium proviennent de la dégradation des protéines animales (cycle de l'azote), des effluents domestiques (urée) et des ruissellements urbains (Erickson et al., 2002 ; Bonté et al., 2008). La valeur moyenne maximale atteinte en ammonium est de 292,05 mg/litre et la valeur moyenne minimale est de 119,14 mg/litre (Tableau 2). La grande partie du phosphore organique provient des déchets du métabolisme des protéines et de son élimination sous forme de phosphates dans les urines par l'homme (Du Chaufour, 1997). Les teneurs en orthophosphates oscillant entre 20,78 mg/litre et 39,15 mg/litre (Tableau 2). La concentration maximale en potassium enregistrée est de 39 mg/litre et la

concentration minimale est de 26 mg/litre (Tableau 2).

L'ACP est un outil d'analyse de données qui permet d'expliquer la structure des corrélations ou des covariances en utilisant des combinaisons linéaires des données originelles. Son utilisation permet de réduire et d'interpréter les données sur un espace réduit (Lagarde, 1995 ; Maliki, 2000). L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 79,52 % sont exprimés. L'analyse dans ce plan est donc acceptable (Athamena, 2006). L'axe F1 est exprimé par son pôle positif par la conductivité, les ions chlorures, calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfates, orthophosphates et ammonium (Tableau 3 et Figure 2). Nous observons l'existence de corrélations positives significatives entre la conductivité électrique et les ions calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfates, chlorures et ammonium (Tableau 4). Nous pouvons dire que ces ions participent à l'augmentation de la conductivité électrique. Les eaux usées irriguées dans le périmètre maraîcher de Sebkha sont caractérisées par des valeurs très élevées en conductivité électrique résultant de la présence des teneurs très importantes en ions.

Le SAR utilisé par Jiménez et Chavez (1997) nous renseigne mathématiquement que l'augmentation du SAR dépend de l'augmentation des teneurs en sodium et la diminution des teneurs en calcium et en magnésium. Des corrélations positives significatives observées entre les ions sodium-calcium, sodium-magnésium et Calcium-magnésium (Tableau 4) montrent que lorsque les teneurs en sodium croissent, les teneurs en calcium et en magnésium augmentent aussi et inversement, confirmant ainsi les faibles valeurs du SAR. Par contre les valeurs du SAR trouvées par Goula et al. (2007) au niveau des effluents d'une usine agroalimentaire située à Abidjan sont très élevées (entre 13,82 et 33,38) s'expliquant par

les faibles concentrations en calcium et en magnésium et fortes teneurs en sodium.

Conclusion

L'étude par des moyens statistiques de la salinité des effluents de la ville de Nouakchott a démontré l'existence d'une pollution se traduisant par une forte salinité pouvant avoir un impact négatif sur les sols et les cultures au niveau du périmètre maraîcher de Sebkha. Dans des travaux antérieurs on a constaté que la salinité des eaux usées constitue un handicap majeur pour les eaux réutilisées en agriculture. Les campagnes d'analyses physico-chimiques réalisées au cours du mois de mars et avril 2009, ont démontré que les effluents de la ville de Nouakchott irrigués au niveau du périmètre maraîcher de Sebkha appartiennent à la classe C4 des conductivités, qui est la classe des eaux à très forte salinité et à la classe S₁ à faibles dangers d'alcalinisation. L'application de l'ACP sur ces résultats nous renseigne l'existence d'une relation étroite entre la conductivité électrique et la composition ionique des effluents de la ville de Nouakchott.

REFERENCES

- Athamena M. 2006. Etude des ressources thermales de l'ensemble allochtone au Sétifien. Thèse de Magister, Option : mobilisation des ressources hydriques, Département de l'hydraulique, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Université de Batna, 131 p.
- Azadosessi A, Ould Selmane ML, Ould Baba L, Benzeroug EH, Cissé G, Tanner M. 1999. Projet de préservation de l'unique espace vert de Nouakchott : le site de Sebkha « Nouakchott El Khadra ». Document de projet. OMS, Nouakchott.
- Bonté SL, Pons M, Potier O, Rocklin P. 2008. Relation between conductivity and ion content in urban wastewater. *Journal of Water Science*, **21**(4): 429- 438.
- Cissé G, Tanner M. 2000. Analyse de la situation de l'agriculture à Nouakchott (Mauritanie) et à Ouagadougou (Burkina Faso). Conférence électronique RUAF.
- Doneen LD. 1962. The influence of crop and soil on percolating water. Proc. 1961 Biennial Conf. On groundwater recharge, P10.
- Du Chauffour P. 1997. Abrégé de pédologie: Sol, Végétation et Environnement (5^è édition) Masson.
- El Guamri Y, Belghyti D. 2006. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de la commune urbaine de Saknia, rejetées dans le lac Fourat (Kénitra, Maroc). *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, **1**: 53-60.
- Ericksson E, Auffarth K., Henze M, Ledin A. 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, **4**: 85- 104.
- Faby JA, Brissaud F. 1997. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Compte rendu d'étude de l'Office International de l'Eau, 82 p.
- Gagneux S, Schneider C, Matt P, Cissé G, Ould Selmane ML, Ould Cheikh D, Touré A, Tanner M. 1999. La diarrhée chez les agriculteurs urbains de Nouakchott en Mauritanie. *Médecine Tropicale*, **53**: 253-258.
- Goula BTN, Kouamé IK, Coulibaly L, Gnagne T, Savane I, Djoman PD. 2007. Caractérisation des effluents de boues activées d'une usine agroalimentaire en vue de son utilisation comme eau d'arrosage de pelouses en zone tropicale humide. *Revue des Sciences de l'Eau*, **20**(3): 299-307.
- Jiménez CB, Chavez MA. 1997. Treatment of Mexico for irrigation purposes. *Environ. Technol.*, **18**: 721-729.
- Journal Officiel de la République Algérienne. 2003. Normes de rejets dans le milieu récepteur. *Journal Officiel de la République Algérienne*, **46**: 7-12.

- Lagarde J. 1995. *Initiation à l'Analyse des Données*. Ed. Dunod : Paris; 157 p.
- Lynda S, Rachid R, Houria B, Mohammed-Reda D. 2008. Survey of the physico-chemical quality of the wastewaters of Biskra city rejected in Chabat Roba, Messdour and Wadi Z'ommor (Algeria). *African Journal of Environmental Science and Technology*, **2**(8): 231-238.
- Maliki AM. 2000. Etude hydrologique hydro chimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax (Tunisie). Thèse de Doctorat, Fac. Sci. Sfax, 301 p.
- Ministère de l'Environnement du Maroc. 2002. « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc », N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat.
- Mint El Bezeid F. 2007. Evaluation de risques Environnement qui menacent la zone côtière de Nouakchott et les solutions possibles (Mauritanie). Mémoire DESA Faculté des Sciences EL Jadida Université Chouaib Doukkali Maroc.
- Rodier J. 1996. *L'Analyse de l'Eau Naturelle, Eaux Résiduaires, Eau de Mer* (8^{ème} éd.). Denod : Paris ; 1383 p.
- Rouabhia A, Djabri L. 2010. L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère Miocène de la plaine d'El Ma El Aboid. *Larhyss Journal*, **8**: 55-67.
- Schneider C, Gagneux S. 1997. Impact sanitaire de l'utilisation d'eaux usées et polluées en agriculture urbaine: Cas du maraîchage à Nouakchott, République Islamique de Mauritanie. Travail de Diplôme, Institut Tropical Suisse, Université de Bâle.
- Todd K. 1980. *Groundwater Hydrology* (2nd Edition), Wiley j, Sons (eds). New York, USA.
- US Salinity Laboratory. 1954. Diagnosis and improvement of saline and Alkali soils. In *USDA Agriculture Handbook 60.*, US Gouvernement Printing Office: Washington DC; 10-50.