

Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda: canal principal et Oued Bounaïm

Mounia ABOUELOUFA¹*, Hassan EL HALOUANI¹,
Mohammed KHARBOUA¹ & Abdelbasset BERRICHI¹

(Reçu le 03/12/2001 ; Accepté le 07/10/2002)

المميزات الفيزيو-مائية لمياه المعملة لمدينة ودة: اقناة ارثية و واد وعيم
ينت الميل افيزو-مائية لمياه المعملة الجار ة أر اقنوات بمدينة و دة (اقناة ارثية و واد
و عيم) أن ذه المياه ر ة ن الحياد و ذات لو ة عدة قارب 1,8 غ/ل و رن الملح. ل و ال الموثن
مادة ضوئية و و اد اقة المو ادة بمياه امين اقنابن ضيلة باقيا مع عدل ريز مائي المياه المعملة
لمى اصعيد او ني. و الإضلة إلى ذك هي لاتحو ي إلى لالة ناصر يماو ة عدة ملة ي الحد
و اذك و المنغيز كميات لاعدى الحد الأقصى المعار ف لميه ي ياه اقي. مياه و دة المعملة نمي
إلى صنف C4S2 الخاص بالمياه ذات الجو دة اغير اكاية لاعمال ار ة. يث ينت تحايلها اكير ة
أن دد الجر ايم اغائطية المو ادة هار فع فوق الحد الأقصى المنصو ص لميه ن رف المنظمة اعالمية
لصمة (OMS) صوص المياه المو هة لمقي اغير المشروط.
الكلمات المفاتيح: المياه المعملة - يز و يمياء - تحايل كبيرة - و دة

Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes de la ville d'Oujda: canal principal et Oued Bounaïm

Les eaux usées drainées par les principaux collecteurs de la ville d'Oujda (canal principal et Oued Bounaïm) ont des pH proches de la neutralité et sont moyennement salines avec une teneur en sel de l'ordre de 1,8 g/l. La charge polluante générée par les deux effluents est comprise entre 181 mg/l et 280 mg/l pour la DBO₅, 313 mg/l et 514 mg/l pour la DCO et entre 144 mg/l et 275 mg/l pour les matières en suspension. Ces paramètres de pollution sont relativement faibles par rapport à la moyenne des concentrations habituelles des eaux usées urbaines marocaines. Parmi les éléments chimiques à l'état de traces susceptibles d'être véhiculés par les rejets, seulement trois éléments Fe, Zn et Mn ont été décelés dans les deux effluents à des teneurs n'excédant pas les concentrations maximales recommandées pour les eaux d'irrigation. Les valeurs du SAR (Sodium Adsorption Ratio) et de la conductivité ont montré que les rejets des deux effluents appartiennent à la classe C₄S₂, caractérisée par une qualité d'eau limitant leur réutilisation directe. L'analyse bactériologique des eaux usées du canal principal et d'Oued Bounaïm a montré que les concentrations en coliformes fécaux et streptocoques fécaux sont très élevées et dépassent largement les directives de l'OMS concernant les eaux destinées à une irrigation non restrictive.

Mots clés: Eaux usées - Physico-chimie - Bactériologie - Oujda

Physico-chemical and bacteriological characterisation of wastewater in Oujda city: the main sewer and Oued Bounaïm

The analysis of the physico-chemical quality of wastewater drained by Oujda's main sewers (the main sewer and Oued Bounaïm) showed that it is nearly pH neutral and averagely saline with a salinity of about 1.8 g/l. The polluting charges generated by the effluent (sewers) are between 181 mg/l and 280 mg/l for the DBO₅, between 313 mg/l and 514 mg/l for DCO and between 144 mg/l and 275 mg/l for suspended matters. These values of pollution parameters are relatively weak compared to the usual average concentrations in Moroccan urban wastewater's. Among the chemical elements at the state of traces likely to be conveyed by rejected waters, only three elements: Fe, Zn and Mn were detected in the two effluents with amounts that do not exceed the maximum concentrations recommended for irrigation waters. The SAR and conductivity values show that the wastewater of the two effluents belong to the C₄S₂ class characterised by a water quality limiting its direct reuse. The bacteriological analysis of the main sewer's and Oued Bounaïm's wastewater showed very high concentration of faecal coliforms and faecal streptocoques largely exceeding the WHO norms concerning non restrictive irrigation waters.

Key words: Wastewater - Physico-chemical - Bacteriological analysis - Oujda

¹ UFR des Sciences de l'Environnement en milieu aride et semi-aride, Département de biologie, Faculté des Sciences Oujda

* Auteure correspondante

INTRODUCTION

Les changements climatiques que subit la région orientale du Maroc ces dernières années, l'accroissement démographique et le développement de l'urbanisation ont conduit à une importante baisse des réserves en eau mobilisable pour les usages domestiques et agricoles. Ce déficit, entre disponibilité et besoin en eau, ne fera que s'accroître avec l'augmentation des besoins des secteurs consommateurs d'eau. Face à cette situation, le recours à la réutilisation des eaux usées, essentiellement en agriculture, en tant que ressource non conventionnelle est inévitable, surtout que les rejets déversés annuellement par la ville d'Oujda sont estimés à environ 10 millions de m³ (Cadillon, 1992). Ceci représente 2% du volume total d'eau usée rejeté à l'échelle nationale (CSEC, 1994). Ces eaux sont réutilisées en totalité à l'état brut pour irriguer plus de 500 ha de terrain cultivable situé à proximité de la ville. Cette pratique est adoptée par les agriculteurs de manière anarchique sans tenir compte des risques que peut entraîner l'utilisation de ces eaux pour la santé de l'Homme ainsi que pour la qualité de la plante et du sol. De ce fait, si beaucoup de composants des eaux usées (micro-organismes pathogènes, métaux lourds, micropolluants organiques, etc.) sont sources d'inconvénients, d'autres constituants (matière organique, azote, phosphore, potassium, ...) contribuent à la fertilisation des sols. Chaque projet de réutilisation doit faire l'objet d'une étude et doit tenir compte de la qualité de l'eau utilisée et du contexte de sa réutilisation.

Ce travail a pour objectif l'évaluation de la charge polluante des eaux usées brutes de la ville d'Oujda afin de montrer la nécessité de leur traitement avant toute réutilisation en agriculture.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Site d'étude

La ville d'Oujda est située dans la plaine des Angad à une altitude moyenne de 459 m, de longitude 1°56' et de latitude 34°48'. Elle est caractérisée par un climat aride à semi-aride. La température moyenne est 12,5°C en hiver et 25°C en été. La pluviométrie moyenne annuelle (de 1998 à 2001) est de l'ordre de 238 mm.

Les ressources en eau conventionnelles de la région sont principalement souterraines. Les ressources en eau superficielles sont inexistantes.

Le réseau d'assainissement est de type unitaire adapté à la topographie, réparti en un collecteur principal (Cp) évacuant plus de 60%, un collecteur secondaire (Cs) et l'Oued Bounaïm drainant une quantité des eaux usées de la ville d'Oujda (habitations riveraines et excès du Cs) (Cadillon *et al.*, 1993). Le débit total des deux effluents est de 300 l/s. Les eaux usées rejetées par les différents collecteurs sont réutilisées totalement pour l'irrigation de différentes cultures maraîchères sur une superficie de 518 ha (El Halouani, 1995).

2. Protocole expérimental

2.1. Analyses physico-chimiques

Des prélèvements bimensuels des eaux usées ont été effectués au niveau du canal principal et de l'Oued Bounaïm durant un cycle annuel. Les analyses ont porté sur les principaux paramètres susceptibles de caractériser ces eaux. Les matières en suspension sont déterminées selon la norme AFNOR T90-105, la demande biochimique en oxygène selon la méthode manométrique à l'aide d'un DBO-mètre de type BMS, l'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates selon la norme AFNOR T90-015, les orthophosphates selon la norme AFNOR T90-023, le calcium selon la norme AFNOR T90-016, le magnésium selon la norme AFNOR T90-003, les chlorures selon la norme AFNOR T90-014. Le sodium et le potassium sont analysés à l'aide d'un spectromètre à flamme. Les métaux lourds sont dosés par spectrométrie d'absorption atomique (à émission de flamme). Le pH et la conductivité sont déterminés à l'aide d'un multianalyseur de type Consort P407.

2.2. Analyse bactériologique

L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur la quantification des paramètres d'origine fécale: coliformes fécaux (CF), coliformes totaux (CT) et streptocoques fécaux (SF). Les prélèvements ont été effectués avec une fréquence mensuelle. Le dénombrement des CF et SF a été effectué selon la méthode indirecte de fermentation en tube multiple dans un bouillon lactosé; le nombre a été ensuite déduit statistiquement suivant la méthode du nombre le plus probable (Rodier, 1984). Concernant les germes pathogènes, seuls les salmonelles et les staphylocoques ont été déterminés, étant donné le risque épidémiologique associé à leur présence dans l'eau destinée à être réutilisée. Le dénombrement des staphylocoques a été réalisé sur milieu Chapman. La recherche des salmonelles a été effectuée selon la méthode

simple de préenrichissement sur bouillon nutritif, suivi d'un enrichissement sur un bouillon au sélénite. L'isolement a été ensuite effectué sur de la gélose au désoxycholate citrate lactosée (DCLS) (Rodier, 1984). Les colonies typiques ou suspectes ont été identifiées par les tests biochimiques.

RÉSULTATS

1. Variation du pH

L'évolution du pH des rejets de la ville d'Oujda durant toute la période d'étude (novembre 1999 à décembre 2000) a montré que les eaux usées du collecteur principal sont relativement neutres avec une valeur moyenne de 7,1 et des valeurs extrêmes de 6,3 à 8,05. Pour l'Oued Bounaïm les valeurs du pH varient de 5,4 à 7,12 (Tableau 1).

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques des eaux usées domestiques de la ville d'Oujda (canal principal (Cp) et Oued Bounaïm (OB))

Paramètres	Effluents.....					
	Canal principal			Oued Bounaïm		
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
Température (°C)	17	19,5	28	15	22	29
pH	6,3	7,1	8,05	5,4	6,55	7,12
Conductivité (µS/cm)	1730	2630	3600	1710	2740	3200
DBO ₅ (mg/l)	140	280	370	100	181	230
DCO (mg/l)	329	514	625	208	313	448
MES (mg/l)	135	275	651	33	144	342
NH ₄ (mg/l)	6,13	11,76	23,48	7,67	16,47	35,93
NO ₂ (mg/l)	0	0,02	0,22	0	0,06	0,37
NO ₃ (mg/l)	0	0,48	0,96	0	0,54	0,81
PO ₄ (mg/l)	2,88	5,43	8,44	2,49	8,15	16,55
P ₁ (mg/l)	7,38	9,97	11,53	9,16	15,94	19,94
Ca (mg/l)	50	100	130	70	94	120
Mg (mg/l)	24,3	54,7	72,9	60,8	76,6	91,2
Na (mg/l)	131,1	339,3	469,2	142,6	287	579,6
K (mg/l)	16	22,8	35,2	24,2	33	43
Cl (mg/l)	248	541	781	319	460	870
SO ₄ (mg/l)	24	54,1	86	19,2	47,3	86,4
CO ₃ (mg/l)	0	0	0	0	0	0
HCO ₃ (mg/l)	366	619,2	915	366	613	854
SAR (meq/l)	2,55	6,80	9,73	2,77	5,21	11,27

2. Matières organiques et matières en suspension

Les principaux paramètres de qualité habituellement étudiés pour évaluer de façon indirecte la charge organique globale contenue dans une eau usée sont la demande biochimique en oxygène (DBO₅) représentant la quantité de matière organique biodégradable, la demande

chimique en oxygène (DCO) qui rend compte de la quantité des principaux éléments carbonés biodégradables ou non, susceptibles d'être oxydés chimiquement dans le milieu récepteur, et enfin les matières en suspension (MES) qui représentent les particules minérales et organiques contenues dans l'effluent. Ainsi, pour le canal principal et durant la période d'étude les valeurs de la DBO₅ enregistrées sont comprises entre 140 et 370 mg/l avec une valeur moyenne de 280 mg/l. Ces valeurs sont de 100 à 230 mg/l avec une moyenne de 181 mg/l au niveau des eaux usées de l'Oued Bounaïm (Figure 1). Quant à la DCO, les valeurs sont de 329 à 625 mg/l avec une moyenne de 514 mg/l pour le canal principal et de 208 à 448 mg/l avec une moyenne de 313 mg/l pour l'Oued Bounaïm (Figure 2). Par ailleurs, les valeurs moyennes en MES sont de 275 mg/l au niveau du canal principal et de 144 mg/l pour l'Oued Bounaïm (Tableau 1, Figure 3).

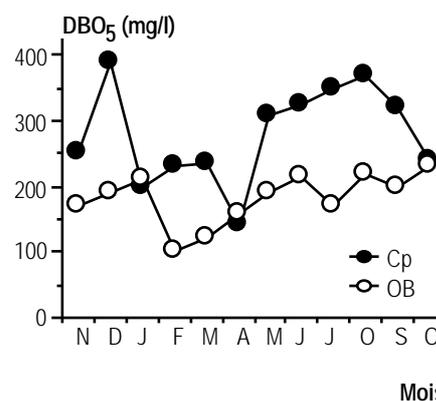


Figure 1. Variation mensuelle de la teneur en DBO₅ dans les eaux usées du Canal principal (Cp) et de l'Oued Bounaïm (OB)

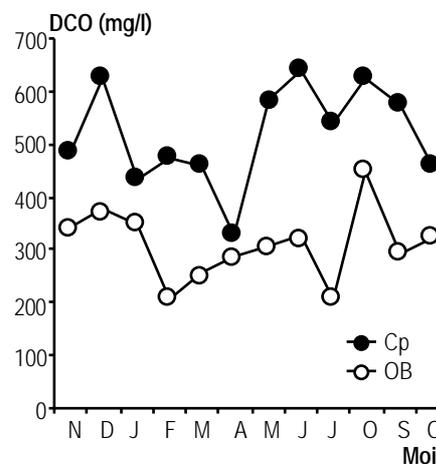


Figure 2. Variation mensuelle de la teneur en DCO dans les eaux usées du Canal principal (Cp) et de l'Oued Bounaïm (OB)

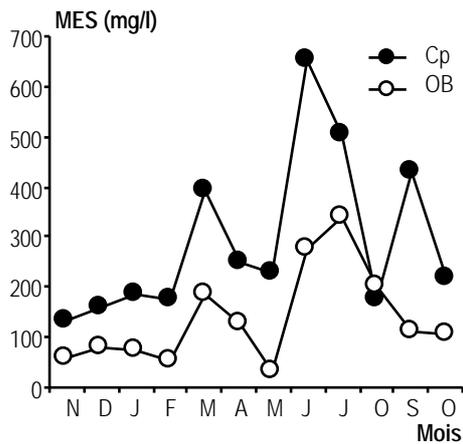


Figure 3. Variation mensuelle des concentrations en matières en suspension dans les eaux usées du Canal principal (Cp) et de l'Oued Bounaïm (OB)

Le rapport moyen DCO/DBO₅ est de 1,84 pour le canal principal et de 0,98 pour l'Oued Bounaïm. Le rapport moyen MES/DBO₅ est de 1,73 pour le canal principal et de 0,80 pour l'Oued Bounaïm

3. Nutriments

3.1. Azote

La concentration moyenne obtenue en ion ammonium dans le canal principal est de 11,76 mg/l avec des valeurs extrêmes de 6,13 et 23,48 mg/l. Elle est de l'ordre de 16,47 mg/l avec des valeurs extrêmes de 7,67 et 35,93 mg/l pour l'Oued Bounaïm (Figure 4). Quant aux formes oxydées (nitrites et nitrates), les analyses indiquent une concentration moyenne en nitrites de l'ordre de 0,02 mg/l dans le canal principal et de 0,06 mg/l dans l'Oued Bounaïm. Mais pour les nitrates, les concentrations sont plus significatives avec des valeurs moyennes de 0,48 mg/l pour le canal principal et de 0,54 mg/l pour l'Oued Bounaïm (Tableau 1)

3.2. Phosphore

L'évolution mensuelle des concentrations en orthophosphate dans les deux effluents a montré que les rejets de l'Oued Bounaïm sont plus concentrés avec une teneur moyenne de 8,15 mg/l et des valeurs extrêmes de 2,49 à 16,55 mg/l. Les concentrations en orthophosphate dans le canal principal sont en moyenne de 5,43 mg/l avec des valeurs extrêmes de 2,88 à 8,44 mg/l (Tableau 1, Figure 5). En ce qui concerne l'évolution du phosphate total, les concentrations mensuelles présentent des fluctuations plus prononcées au niveau de l'Oued Bounaïm par rapport au canal

principal. Les valeurs notées présentent une certaine homogénéité autour d'une moyenne de l'ordre de 15,94 mg/l pour l'Oued Bounaïm et de 10 mg/l pour le canal principal (Tableau 1).

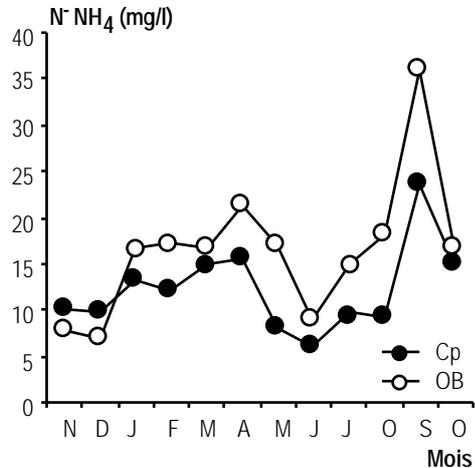


Figure 4. Évolution mensuelle de la concentration en ammonium dans les eaux usées du Canal principal (Cp) et de l'Oued Bounaïm (OB)

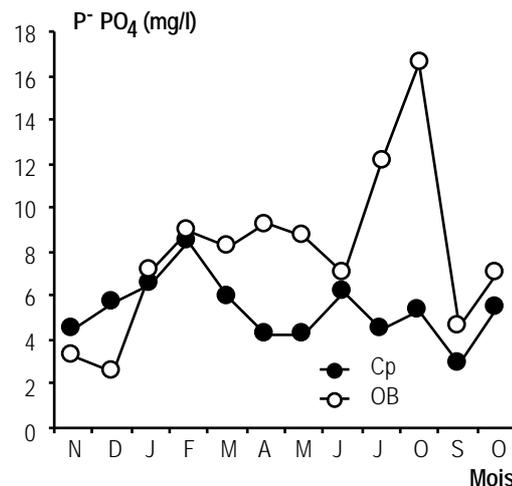


Figure 5. Évolution mensuelle de la concentration en phosphore au niveau des eaux usées du Canal principal (Cp) et de l'Oued Bounaïm (OB)

3.3. Potassium

Le potassium est présent dans les eaux usées brutes des deux effluents à des teneurs moyennes de l'ordre de 33 mg/l pour l'Oued Bounaïm et de 22,8 mg/l pour le canal principal (Tableau 1). L'apport moyen en potassium des deux effluents est de 510 kg/ha.an.

3.4. Calcium et magnésium

Le tableau 1 illustre une évolution similaire du calcium et du magnésium dans les deux rejets. Les

teneurs moyennes en magnésium sont de l'ordre de 54,7 mg/l pour le canal principal et 76,6 mg/l pour l'Oued Bounaïm. Le calcium atteint 100 mg/l dans le canal principal et 94 mg/l dans l'Oued Bounaïm. Les apports moyens en calcium sont de l'ordre de 1770 kg/ha.an contre 1200 kg/ha.an pour le magnésium. Ces apports considérables couvrent amplement les besoins de toutes sortes de cultures, même les plus exigeantes.

4. Conductivité électrique - salinité

Les niveaux de salinité, exprimés en conductivité électrique moyennes sont de 2630 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour le canal principal et de 2740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'Oued Bounaïm (Tableau 1). Le sel dominant dans les deux effluents est le chlorure de sodium en raison de la forte concentration de sodium et du chlore dans le milieu étudié. Les valeurs du SAR (Sodium Adsorption Ratio), déterminées à partir des valeurs moyennes, relatives aux deux effluents sont de 6,80 pour le canal principal et de 5,21 pour l'Oued Bounaïm.

5. Métaux lourds

L'analyse des eaux usées du canal principal et de l'Oued Bounaïm a révélé l'absence des métaux lourds suivants: Pb, Cu, Cd, Cr, Ni et Ag (Figure 6), mais elle a décelé la présence de fer, zinc et manganèse. Le fer est le principal métal à l'état de traces dans les eaux usées de la ville d'Oujda avec des teneurs moyennes de l'ordre de 0,95 mg/l dans le canal principal et de 0,47 mg/l dans l'Oued Bounaïm. Le zinc est présent dans le canal principal à raison de 0,22 mg/l et dans l'Oued Bounaïm à raison de 0,11 mg/l. Ces valeurs sont

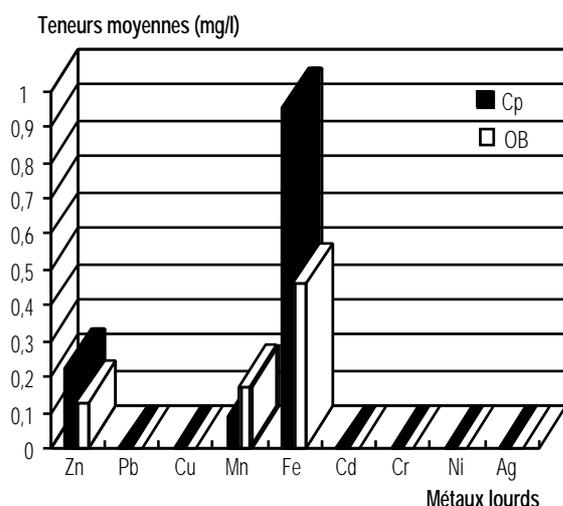


Figure 6. Teneurs moyennes en métaux lourds dans les eaux usées du Canal principal (Cp) et de l'Oued Bounaïm (OB)

proches des concentrations limites recommandées. En outre, les teneurs en Mn s'inscrivent dans les normes avec des valeurs moyennes de 0,1 mg/l dans le canal principal et de 0,17 mg/l dans l'Oued Bounaïm.

6. Analyse bactériologique

Les résultats des analyses mensuelles (compagne 2000) des eaux usées des deux collecteurs révèlent la présence des germes indicateurs de contamination fécale ainsi que certains germes pathogènes.

La charge moyenne en coliformes totaux (CT) est de $2,6 \cdot 10^8$ germes/100 ml dans le canal principal et de $3,4 \cdot 10^7$ germes/100 ml pour l'Oued Bounaïm. En terme de charge bactérienne, le canal principal est légèrement plus concentré que l'Oued Bounaïm.

Pour les coliformes fécaux, les valeurs moyennes sont de $2,7 \cdot 10^7$ germes/100 ml dans le canal principal et de $1,8 \cdot 10^7$ germes/100 ml dans l'Oued Bounaïm. Les staphylocoques fécaux (SF) représentent $4,2 \cdot 10^6$ germes/100 ml dans le canal principal et $1,7 \cdot 10^6$ germes/100 ml dans l'Oued Bounaïm.

Le rapport CF/SF pour les deux effluents est supérieur à 1, ce qui signifie que la pollution fécale est d'origine humaine.

Quant aux germes pathogènes, à partir de 8 cultures suspectées d'être des salmonelles, l'analyse biochimique a permis d'identifier 5 *Salmonella*. Leur sérotypage a permis l'identification de 5 *Salmonella typhi* et une *Salmonella paratyphi*. Par ailleurs, la présence des staphylocoques a été décelée avec une fréquence de 75% pour les deux effluents.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les valeurs moyennes du pH obtenues dans les deux effluents Cp et OB sont proches de la neutralité et acceptables pour l'irrigation. Ces résultats sont en accord avec ceux qui sont rapportés par Ouazzani (1987) et El Halouani (1995). Toutefois, il est à signaler que des valeurs de pH inférieures à 5 ou supérieures à 8,5 affectent la croissance et la survie des micro-organismes (Mara, 1980).

Au terme des suivis effectués sur les rejets de la ville d'Oujda, les résultats de l'étude physico-

chimique montrent que le canal principal est caractérisé par une charge polluante plus importante que l'Oued Bounaïm dans la majeure partie de la période d'étude. Cette différence de charge peut s'interpréter par le fait que l'Oued Bounaïm est un canal à ciel ouvert et à faible débit permettant le développement d'algues qui libèrent par le biais de la photosynthèse l'oxygène responsable de l'oxydation biochimique de la matière organique. En effet, la teneur en chlorophylle dans les eaux de l'Oued Bounaïm est de 0,7 mg/l alors qu'elle est totalement absente dans les eaux usées du canal principal (Abouelouafa, 1997). L'examen des résultats montre également que les paramètres de pollution au niveau des eaux usées de la ville d'Oujda présentent des valeurs comparables à celles de la ville d'Ouarzazate (Projet Mor 018/86, 1998), mais relativement faibles par rapport à la moyenne des concentrations habituelles des eaux usées urbaines marocaines (ONEP-GTZ, 1998). Des valeurs nettement supérieures ont été obtenues à l'issue des études similaires réalisées à Méknès (El Jaziri, 1999), à Sidi Bennour (El Krati, 2000) et à Agadir (Burgear, 1991).

L'évaluation des paramètres physico-chimiques relatifs aux eaux usées de la ville d'Oujda a permis de dégager un ensemble de renseignements quant à leur réutilisation en agriculture.

La présence des matières en suspension dans les effluents en quantité dépassant la norme recommandée par l'OMS (30 mg/l) peut entraîner le colmatage du sol dont les conséquences sont néfastes pour les cultures. En revanche, la présence de matière organique dans les eaux usées ne constitue pas un obstacle à la réutilisation de ces eaux, bien au contraire, elle contribue à la fertilité des sols. Le rapport DCO/DBO₅ rend compte de la fraction des matières facilement biodégradables parmi toute la matière oxydable: les valeurs obtenues sont nettement inférieures à 2,5. Ce résultat permet de conclure que les deux effluents sont à caractère dominant domestique (Bechac *et al.*, 1987). En outre, les valeurs du rapport MES/DBO₅ obtenues pour les deux effluents sont faibles en comparaison avec celle du rapport habituel et qui sont comprises entre 1,2 à 1,5 (ONEP, 1999). Ces valeurs faibles pourraient être expliquées par le fait que les matières en suspension sédimentent rapidement à l'amont des points de rejets provoquant ainsi une diminution de leur teneur dans l'effluent, cette diminution est d'autant plus grande que le débit du rejet est faible. Cependant, le maintien d'une concentration

importante en matière organique dans les eaux usées gêne considérablement l'efficacité des traitements destinés à éliminer les germes pathogènes (Faby *et al.*, 1997).

Si les normes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation fixent une valeur limite pour les matières en suspension (Ratel *et al.*, 1986; OMS, 1987), il n'en est pas de même pour la DBO₅ et la DCO pour lesquelles aucune valeur limite n'est mentionnée (OMS, 1987).

Vu la qualité médiocre des eaux usées brutes, leur utilisation directe pour l'irrigation en agriculture pourrait affecter le milieu récepteur et engendrer au niveau du sol le phénomène de colmatage physico-chimique et biologique dû essentiellement à la présence des matières en suspension, à la précipitation des sels et à la croissance des algues à la surface du sol irrigué (Landerau, 1987; Ratel *et al.*, 1986).

Pour les substances azotées, l'azote ammoniacal présente une teneur très élevée par rapport aux autres formes oxydées. Les nitrites et les nitrates existent dans les deux effluents en très faible quantité et parfois en proportions quasiment négligeables avec généralement des teneurs ne dépassant guère 1 mg/l comme rapportés par Ratel *et al.* (1986), Bechac *et al.* (1987), El Halouani (1995), Landreau (1987), Soulemane (1985). Les concentrations moyennes en ion ammonium obtenues pour les eaux usées étudiées sont proches de celles données par El Halouani, (1995) et très inférieures à celles qui sont rapportées par El Hamouri *et al.* (1987), Cornier *et al.* (1994), Bouhoum *et al.* (1995), Ouazzani *et al.* (1996), Projet Mor 018/ 86 (1998).

Ceci permet de classer ainsi les eaux usées de la ville d'Oujda parmi les effluents les plus faiblement chargés en azote ammoniacal. En termes de valeurs moyennes, les rejets de l'Oued Bounaïm sont plus concentrés en ammonium que ceux du canal principal. Ceci pourrait être expliqué par l'oxydation de la matière organique entraînant par conséquent une augmentation de l'azote ammoniacal.

Toutefois, l'apport moyen d'azote des deux effluents (calculé sur la base d'un débit de 300 l/s, d'une surface irriguée par les eaux usées de 518 ha et une concentration moyenne de 14,15 mg/l en azote) est de 395 kg/ha.an, ce qui dépasse largement les besoins naturels des cultures qui est

de 80 kg/ha.an (El Halouani, 1995). La quantité d'azote excédentaire peut avoir des impacts néfastes sur l'environnement. En effet, l'azote en quantité excessive peut, d'une part, provoquer dans un sol très perméable la contamination des eaux souterraines et, d'autre part, retarder la maturation de certaines cultures et accentuer la tendance à la verse pour les céréales (Faby *et al.*, 1997).

Pour ce qui est du phosphore, les concentrations moyennes en orthophosphates et en phosphate total sont en accord avec celles qui sont rapportées par El Halouani (1995) et Picot *et al.* (1991) et entrent dans la gamme des valeurs relatives aux eaux usées marocaines (Bentaleb, 1986; ONEP, 1999).

L'augmentation de la concentration des orthophosphates au niveau de l'Oued Bounaïm est due à une minéralisation très poussée de la matière organique.

En agriculture, le phosphore est un constituant indispensable à l'activité fonctionnelle de la plante qui l'assimile sous forme d'orthophosphate (Vilain, 1989). Ainsi, la quantité de phosphore véhiculée par les eaux usées des deux effluents (Cp et OB) avoisine 124 kg P/ha.an. Cet apport est supérieur au besoin maximal des plantes estimé à 80 kg/ha.an (El Halouani, 1995).

Le potassium est un élément essentiel pour la croissance des plantes, mais à des concentrations élevées, il peut affecter l'absorption d'autres cations comme le magnésium. Les quantités en potassium dans les deux effluents dépassent largement les besoins des cultures qui sont de 60 à 300 kg/ha.an (Ratel *et al.*, 1986; El Halouani, 1995).

L'analyse physico-chimique montre que les eaux usées étudiées sont moyennement salines avec une prédominance du chlorure de sodium. En comparant les valeurs de ces deux éléments aux normes de la FAO, on remarque qu'elles sont supérieures à 10 meq/l (valeur limite), ce qui engendre un risque élevé de toxicité et donc une restriction de ces eaux usées pour l'irrigation gravitaire (Ayers & Westcot, 1988).

La projection des valeurs du SAR et de la conductivité sur l'échelle de Riverside (Richards, 1969) permet de classer les eaux usées du canal principal et de l'Oued Bounaïm dans la classe C4-S2, c'est à dire de qualité mauvaise dont l'utilisation devrait être effectuée avec précaution.

En ce qui concerne les métaux lourds, certains éléments tels que le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène sont reconnus nécessaires, en très faibles quantités, au développement des végétaux (EL Halouani, 1995). L'irrigation, à partir des eaux usées, peut véhiculer d'autres éléments indésirables pour la plante tels que le plomb, le mercure, le nickel, le chrome. Le fer, le zinc et le manganèse sont présents à des teneurs moyennes ne dépassant pas les concentrations maximales recommandées pour les eaux d'irrigation (Ayers & Westcot, 1985). L'analyse des résultats montre que les concentrations en éléments traces dans les eaux usées de la ville d'Oujda ne constituent pas un facteur limitant pour la réutilisation de ces eaux dans l'irrigation.

Du point de vue microbiologique, le résultat du dénombrement des germes de contaminations fécales est en bon accord avec les données bibliographiques relatives à l'état de contamination bactérienne des effluents urbains (Baylet & Mandin, 1978; Boutin, 1982; ONEP, 1999), mais il dépasse largement la norme fixée par l'organisation mondiale de santé à 1000 CF/100 ml (OMS, 1989).

De ce fait, les eaux usées étudiées, vu leur charge physico-chimique et bactériologique, ne doivent pas être réutilisées directement. Un traitement préalable à toute irrigation devrait être envisagée pour améliorer leur qualité selon les normes requises et répondre aux attentes des consommateurs et des pouvoirs publics en matière de protection de l'environnement et de la santé humaine. Dans cette optique, un procédé opératoire par lagunage facultatif ou, le cas échéant, par lagunage à haut rendement pourrait constituer une alternative à la réutilisation de ces eaux à l'état brut.

REMERCIEMENTS

Nos vifs remerciements sont adressés au Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique pour l'appui financier de ce travail dans le cadre du Projet PARS Agro 91.

RÉFÉRENCES CITÉES

Abouelouafa M (1997) Réutilisation des eaux usées de la ville d'Oujda en agriculture : étude de l'aspect physico-chimique. Écotoxicologie de l'aluminium net de l'ammoniaque chez un poisson dulcicole *Gambusia Affinis*. Mémoire de CEA, Faculté des Sciences, Fès

- Ayers R & Wetscot D (1985) Water quality for agriculture FAO irrigation and drainage paper (29), FAO (Rome)
- Ayer RS & Westcot DW (1988) Qualité de l'eau d'irrigation et de drainage. *Bull FAO*, N°29, Rome, 174 p.
- Baylet R & Mandin G (1978) Lagunage et virologie des eaux usées. *La technique de l'eau et de l'assainissement*, (383) : 19-22
- Bechac JP, Boutin P, Mercier B & Nuer P (1987) Traitement des eaux usées, Ed. Eyrolles, (Paris). 280 p.
- Bentaleb A (1986) Réutilisation des eaux usées brutes au Maroc. Mémoire de 3^{ème} cycle (génie rural – option environnement) IAV Hassan II
- Bouhoum K, Ouazzani N, Mandi L, Aboufirassi M, Bouarab L, Bontoux J & Schwartzbrod J (1995b) Purification abilities of four extensive wastewater treatment plant under arid climat of Marrakech. IAWQ 2nd international symposium on wastewater reclamation and reuse, 17-20 octobre, Iraklio, Crete, Greece 221-232
- Boutin P (1982) Implication sanitaire de l'assainissement des petites collectivités et l'assainissement autonome. XVI^{ème} journée de l'hydraulique, (Nantes), 14-15 et 16
- Burgear P (1991) Bilan de fonctionnement de la station de Bensergao
- Cadillon M (1992) Le traitement et valorisation des eaux usées d'Oujda. Rapport préliminaire du programme de coopération Franco-Marocaine, collectivités locales
- Cadillon M, Reaumaux & Bize J (1993) *Le traitement et valorisation des eaux usées d'Oujda*. Rapport préliminaire du programme de coopération Franco-marocaine, collectivités locales
- Cornier JC, Fayoux C, Lesouff A & Vellessot D (1994) Les nouvelles contraintes d'exploitation des usines d'épuration. T.S.M.- *L'Eau* (7/8): 392-406
- CSEC (1994) Conseil supérieur de l'eau et du climat (Maroc). Réutilisation des eaux usées en agriculture. 8^{ème} session
- El Halouani H (1995) Réutilisation des eaux usées en agriculture et leur impact sur l'environnement : cas de la ville d'Oujda. Thèse d'État, Faculté des Sciences, Oujda
- El Hamouri B, Bouchabchoub A, Rhallabi N, Maraghich M, Khallaayoune K & Ettalibi M (1987) Traitement des eaux usées domestiques dans le chenal algal à haut rendement. *Actes Inst Agron Vet (Maroc)* 7 (3 & 4): 5-15
- El Jaziri M (1999) Exploitation des matériaux naturels pour la dépollution des eaux usées de la ville de Meknès. Thèse de 3^{ème} cycle, Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat
- El Krati M (2000) État de l'environnement de la ville d'El Jadida. Étude de la traitabilité des rejets liquides de textile. Thèse d'État, Faculté des Sciences, Université Chouaïb Doukkali, El Jadida
- Faby JA & François B (1997) Office international de l'eau, direction de la documentation et des données (France)
- Landreau A (1987) Séminaire sur les eaux usées et milieu récepteur. Casablanca, 9-11 avril, chap. 5, 1-13
- Mara D (1980) Sewage treatment in hotclimate. Ed. John Willey & sons.
- ONEP-GTZ (1998) Approche de la typologie des eaux usées urbaines au Maroc
- ONEP (1999) Caractérisation quantitative et qualitative des eaux usées (Maroc)
- OMS (1987) Wastewater stabilization ponds. Principal planning and practice. Chap.1.WHO/FMRO technical publication 10. Alexandria
- OMS (1989) Utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture. Série de rapport technique 778
- Ouazzani N (1987) Lagunage expérimental sous climat aride. Variation des paramètres physico-chimiques. Thèse de 3^{ème} cycle Fac. Sc. Marrakech
- Ouazzani N, Boussettaj K & Abbas Y (1996) Reuse of waste water treated by infiltration percolation. *Wast Sci Tech* 33 (10/11): 401-408
- Picot B, El Halouani H, Casellas C, Moersidik S & Bontoux J (1991) Nutrient removal by high rate pond system on a mediteranean climate (France) *Wat Sci Tech* (Kyoto) 23 :1535- 1541
- Projet Mor 86/018 (1998) PNUD / FAO / OMS Épuration et réutilisation des eaux usées à des fins agricoles. Ministère de l'agriculture, du développement rural et de pêches maritimes
- Ratel C, Nejjar A & Bentaleb M (1986) Séminaire sur les technologies appropriées pour l'eau et l'assainissement en zones arides, Rabat, 24-28 novembre
- Richards LA (1969) Diagonisis and improvement of saline and alkali soils. U.S. salinity laboratory stoff, Agr. Handbooks (60)
- Soulemane B (1985) Évolution des nutriments dans une station de lagunage. Thèse de 3^{ème} cycle Université de Rennes I (France)
- Vilain M (1989) La production végétale. Vol. 2 : la maîtrise de technique de la production Ed. Lavoisier, Paris (France)