

Devenir des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires dans un canal à ciel ouvert alimenté par les eaux usées de Marrakech

Fate of helminth eggs and protozoan cysts in an open channel receiving raw wastewater from Marrakech

K. BOUHOUM¹, O. AMAHMID¹, KH. HABBARI¹ et J. SCHWARTZBROD²

Reçu le 4 avril 1996, accepté le 17 février 1997*.

SUMMARY

The use of wastewater in agriculture in what is called "sewage farming" is becoming more widespread, particularly in countries with a severe shortage of water resources. Wastewater from the city of Marrakech is used for irrigation without any treatment. Nevertheless, the wastewater runs into an open channel of 2 km before being used. Thus, the fate of helminth eggs and protozoan cysts in this channel is of great importance for the public health. The effluent studied carries wastewater from highly populated residential area (Sidi Youssef Ben Ali, la Médina...). The primary channel originating from this effluent runs for 2 km with a variable width of 0.7 to 5.5 m in a clay soil. Secondary ramifications on the channel are used for irrigation. Water and sediments samples were collected at different locations on the channel twice monthly for five months (April-August). One litre wastewater samples and 10 g sediments samples were collected, at all stations on the channel. The samples were analysed using the concentration method of Telean-Rivas as modified by Bailenger (1962) because of its reliability and low cost. Then helminth eggs were counted on Mac Master cell after addition of saccharose saturated solution to the samples. Protozoan cysts were quantified using a Thoma cell after addition of lugol solution to the samples. Results of water are expressed as the number of cysts or eggs per liter of wastewater and results of sediments expressed as the number of cysts or eggs per gramme of dry matter.

• Wastewater samples from the effluent contained helminths as well as protozoa. All wastewater samples contained protozoan cysts. Among three species of protozoa identified, two were pathogenic: *Entamoeba histolytica*, *Giardia sp.* and one saprophytic *Entamoeba coli*. All water samples contained helminth eggs. Analyses for helminth egg revealed the presence of Nematodes (*Ascaris*, *Trichuris*, *Enterobius*) and Cestodes (*Hymenolepis*, *Moniezia*). This results

1. Département de Biologie, Faculté des Sciences Sémialia, B.P. S15, Marrakech, Maroc.

2. Département de Microbiologie, WHO Collaborating Centre, Faculté de Pharmacie, 5 rue Albert Lebrun, 54000 Nancy, France.

* Les commentaires seront reçus jusqu'au 31 décembre 1997.

mainly from *Ascaris* eggs that were encountered in all water samples. The concentration of helminth eggs in the sewage was much less than the protozoan cysts. In term of densities, protozoan cysts were in the range 6.9×10^4 to 2.0×10^5 cysts / L with an average of 1.6×10^5 cysts/L. Pathogenic protozoa represented 49.2% of total cysts. The wastewater at the beginning of the channel, contained from 102 to 238 helminth eggs/L with an average of 145 helminth eggs/L. Nematode eggs represented 72% of total helminth eggs. *Ascaris* eggs dominated in the water samples with 75.6 eggs/L representing 51.7% of total helminth eggs. The densities of protozoan cysts as well as helminth eggs in wastewater samples decreased dramatically along the open channel. Protozoan cysts dropped from 1.6×10^5 cysts/L at the beginning of the channel to 2.7×10^4 cysts/L at a distance 2 km in the open channel. Pathogenic protozoa decreased from 8.1×10^4 cysts/L to 1.0×10^4 cysts/L for the same distance. The average of helminth eggs also dropped from 145 eggs/L to 33.4 eggs/L. *Ascaris* eggs showed the highest decrease from 75.6 eggs/L to 11.6 eggs/L. The genus *Trichuris* showed the lowest decrease from 10,8 eggs/L to 6,8 eggs/L.

• Analyses of sediment samples revealed the presence of all protozoan cysts and helminth eggs. Contrary to water samples, sediments samples showed an increase of all eggs and cysts concentrations along the open channel. Protozoan cysts progressively increased from 1.7×10^4 cysts/g at 80 m in the open channel to 1.4×10^5 cysts/g at 2 km distance in the channel. Helminth parasites also increased from 9.6 eggs/g to 78.1 eggs/g for the same distance. This increase of helminth eggs and protozoan cysts resulted from the decrease of water flow velocity which caused their sedimentation. Parasites settle down because of their own weight and because they adsorb to particles accelerating their settling. Among all parasites *Ascaris* eggs settle down first before all other nematode eggs. *Ascaris* eggs were detected at 80 m in the open channel while *Enterobius* eggs were not observed until 560 m in the channel. *Trichuris* eggs were not observed in any sediment sample. *Trichuris* eggs are more easily carried by the water flow because of their hydrodynamic fusiform shape which may explain their absence in sediments samples. In conclusion, the parasitic quality of a domestic wastewater in Marrakech showed significant improvement after 2 km in an open channel. Both helminth eggs and protozoan cysts showed significant removal percentage of 77.1% and 83.4% after 2 km running in the open channel. The best percent removal of protozoan cysts was observed for pathogenic protozoa with 88.3% for *Entamoeba histolytica* and 87.1% for *Giardia* sp. For helminth eggs, *Ascaris* eggs showed the highest removal percentage with 84.7% while *Trichuris* showed the lowest with 37%. However, the concentration of helminth eggs and protozoan cysts, after the sewage flows during 2 km in the open channel, are still higher than the guidelines of the W.H.O. (1989) for the use of wastewater in agriculture (less than one nematode egg per litre). These wastewater require further treatment before they can be used for irrigation.

Key-words: wastewater channel, helminth eggs, protozoan cysts, wastewater, sediment, removal percentage.

RÉSUMÉ

Dans la région de Marrakech, les eaux usées sont utilisées pour l'irrigation sans aucun traitement. Par ailleurs ces eaux usées ruissellent dans des canaux à ciel ouvert sur des distances supérieures à 2 km. Nous avons étudié le devenir des kystes de protozoaires et des œufs d'helminthes sur le parcours d'un canal alimenté par un émissaire d'eau usée non traitée (E₂). L'analyse parasitologique des eaux usées a montré que ces eaux contiennent plusieurs types de parasites. En effet, nous avons observé la présence des kystes de protozoaires (*Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli*, *Giardia* sp.) et des œufs d'helminthes pathogènes (*Ascaris*, *Trichuris*, *Enterobius*, *Hymenolepis*...). L'étude de la

charge parasitaire le long du cours d'eau usée montre une diminution du nombre de parasites dans l'eau usée en allant de l'embouchure S_0 vers l'aval de l'émissaire E_2 . Avec des concentrations moyennes de $1,6.10^5$ kystes/L et 145 œufs/L à S_0 , alors qu'à 2 km de S_0 (S_v) il n'est plus retrouvé que $2,7.10^4$ kystes/L et 33,4 œufs/L. La charge parasitaire dans le sédiment du cours d'eau, contrairement à l'eau, augmente en s'éloignant de l'embouchure S_0 . Ainsi, les concentrations moyennes de kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes sont respectivement de $1,7.10^4$ kystes/g et de 9,6 œufs/g à 80 m de S_0 et atteignent, $1,4.10^5$ kystes/g et 78,1 œufs/g à 2 km de S_0 . Le ruissellement d'eaux usées brutes sur un parcours de 2 km, à ciel ouvert, montre des taux d'abattement importants des parasites. En effet, plus de 83 % des kystes de protozoaires et plus de 77 % des œufs d'helminthes sont éliminés de l'effluent. Mais ces abattements restent insuffisants pour satisfaire les directives de l'OMS (1989) en matière de réutilisation des eaux usées en agriculture.

Mots clés : cours d'eau usée, œufs d'helminthes, kystes de protozoaires, eaux usées, sédiment, abattement.

1 – INTRODUCTION

Les eaux usées urbaines sont susceptibles de renfermer et de véhiculer une grande variété d'agents pathogènes pour l'homme (virus, bactéries et parasites). Les organismes pathogènes présents dans les eaux usées d'une collectivité, en reflètent l'état sanitaire (SHUVAL *et al.*, 1986). Ainsi, le nombre et la variété de parasites retrouvés dans les eaux usées sont liés au niveau d'infestation de la population humaine et /ou animale desservies car la plupart des parasites sont excrétés dans le milieu extérieur sous forme de kystes ou d'œufs éliminés avec les matières fécales. Dans la région de Marrakech, les eaux usées sont utilisées en irrigation de terrains agricoles sans aucun traitement préalable. Les cultures pratiquées sont surtout l'arboriculture (palmier-dattier, olivier, orange, grenadier...), des cultures céréalières (maïs, blé, orge, sorgho) et des cultures fourragères (luzerne...). Les cultures maraîchères (pomme de terre, aubergine, piment, navet, courgette, carotte, artichaut...) sont également pratiquées à un degré moindre, malgré leur interdiction par la législation marocaine. Ces eaux usées ruissellent dans des canalisations en terre à ciel ouvert (séguias) sur des distances variables suivant les émissaires. L'objectif de ce travail est de suivre l'évolution et le devenir des parasites dans ces canalisations avant leur réutilisation en irrigation.

2 – MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Prélèvements

Lieux de prélèvements

L'émissaire E_2 draine les eaux usées essentiellement domestiques des quartiers à haute densité de population (Sidi Youssef Ben Ali, la Médina et l'extrémité

Nord de la ville). Il se déverse dans une séguia qui se prolonge sur une distance de 2 km. La largeur de cette séguia est variable (0,7 m à 5,5 m), et elle présente plusieurs dérivations qui servent pour l'irrigation des terrains avoisinants. Six stations de prélèvement (S_0 à S_V) ont été choisies le long de l'émissaire domestique E_2 à des distances variables de l'embouchure. S_0 est situé au point 0, S_I à 80 m, S_{II} à 320 m, S_{III} à 560 m, S_{IV} à 1400 m et S_V à 2 000 m.

Types de prélèvements

Deux types d'échantillons ont été prélevés : eaux usées et sédiments.

– Les prélèvements d'eau usée sont réalisés à quelques centimètres de la surface (BONTOUX, 1983). Un volume de un litre est prélevé dans un flacon en plastique stérile et rapporté au laboratoire à des fins d'analyse. La totalité de l'échantillon est analysé.

– Les prélèvements de sédiment sont effectués le long du cours d'eau au niveau des stations S_I à S_V à la station S_0 il n'y avait pas de sédiment. Le volume du sédiment recueilli (300 à 500 g) a été mécaniquement homogénéisé. Ensuite, trois échantillons de 10 ml chacun sont prélevés et soumis à l'analyse parasitologique.

Rythme de prélèvements

La périodicité des prélèvements des eaux usées et du sédiment, le long de la séguia, a été bimensuelle. Les prélèvements ont été effectués le matin entre 9 et 10 heures. L'expérience a duré cinq mois (avril-août).

Méthode de concentration

Des études antérieures (BOUHOUM et SCHWARTZBROD, 1989) ayant montré la fiabilité et le coût raisonnable de la technique de concentration de Teleman-Rivas modifiée par BAILENGER (1962). Cette méthode a été utilisée pour l'analyse des échantillons d'eau usée et de sédiment. Pour la recherche des œufs d'helminthes, le culot de centrifugation est additionné d'une solution saturée de saccharose pour permettre aux œufs d'adhérer à la lamelle de la cellule de Mac Master et faciliter ainsi leur comptage. Pour la recherche des kystes de protozoaires, une coloration au lugol est pratiquée après la méthode de concentration et le dénombrement réalisé avec une cellule de Thoma. Les résultats sont présentés en nombre d'œufs ou de kystes par litre d'eau et en nombre d'œufs ou de kystes par gramme de sédiment exprimé en matière sèche. La viabilité des œufs et des kystes n'a pas été étudiée.

3 – RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Niveau de contamination parasitaire des eaux usées brutes à l'embouchure (S_0) de l'émissaire E_2

Les prélèvements d'eaux usées effectués à la station S_0 révèlent toujours la présence des kystes de protozoaires et des œufs d'helminthes parasites.

3.1.1 Kystes de protozoaires

Les 10 échantillons d'eaux usées prélevés à la station S_0 renfermaient tous des kystes de protozoaires à des concentrations s'échelonnant de $5,6 \cdot 10^4$ à $1,9 \cdot 10^5$ kystes/L, avec une concentration moyenne de l'ordre de $1,3 \cdot 10^5$ kystes/L. Trois espèces de protozoaires ont été identifiées : deux sont pathogènes pour l'homme : *Entamoeba histolytica* et *Giardia* sp et une espèce saprophyte : *Entamoeba coli*. La figure 1 montre que la concentration moyenne des kystes d'*Entamoeba coli* est la plus élevée avec $4,8 \cdot 10^4$ kystes/L. Par fréquence décroissante sont retrouvés les kystes de *Giardia* à raison de $4,3 \cdot 10^4$ kystes/L, puis ceux d'*Entamoeba histolytica* avec une concentration moyenne de $3,7 \cdot 10^4$ kystes/L.

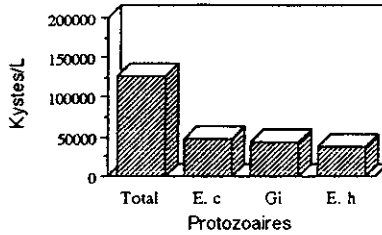


Figure 1 Concentration des différents kystes de protozoaires dans les eaux usées à la station S_0 – E.c. : *Entamoeba coli*, Gi : *Giardia*, E.h. : *Entamoeba histolytica*.

Concentration of different protozoan cysts in wastewater at the beginning of the open channel (S_0) – E.c. : Entamoeba coli, Gi : Giardia, E.h. : Entamoeba histolytica.

Les données bibliographiques montrent que la concentration en kystes de protozoaires dans les eaux usées est très variable selon les régions (tabl. 1).

Tableau 1 Concentrations en kystes de protozoaires dans les eaux usées : données bibliographiques.

Table 1 Concentrations of protozoan cysts in wastewater : bibliographic data.

Pays	Type de protozoaires	Concentrations (kystes/L)	Auteurs
Caraïbes (Grand Cayman)	<i>Giardia</i>	$2,8 \cdot 10^3$	ELLIS <i>et al.</i> (1993)
Inde	<i>Giardia</i> <i>E. histolytica</i>	$1,2 \cdot 10^2 - 1,8 \cdot 10^2$ $9,0 \cdot 10^1 - 6,0 \cdot 10^2$	PANICKER et KRISHNAMOORTHY (1981)
Kenya	<i>Giardia</i>	$2,1 \cdot 10^2 - 6,2 \cdot 10^3$	GRIMASON <i>et al.</i> (1993)
France	<i>Giardia</i>	$3,2 \cdot 10^1 - 2,4 \cdot 10^4$	SCHWARTZBROD et STRAUSS (1989)
	<i>Giardia</i>	$1,5 \cdot 10^4 - 9,5 \cdot 10^4$	GASSMANN et SCHWARTZBROD (1991)
	<i>Giardia</i>	$2,3 \cdot 10^2 - 2,5 \cdot 10^4$	WIANDT <i>et al.</i> (1995)
Maroc	Kystes de protozoaires	$3,5 \cdot 10^2 - 2,7 \cdot 10^3$	RHALLABI <i>et al.</i> (1990)
	<i>E. histolytica</i>	$1 \cdot 10^1 - 7,0 \cdot 10^2$	EL MAAROUFY (1992)
U.S.A.	<i>Giardia</i>	$8,2 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^3$	CASSON <i>et al.</i> (1990)
	<i>Giardia</i>	$9,6 \cdot 10^3 - 2,4 \cdot 10^5$	JAKUBOWSKI et ERIKSEN (1979)
Tunisie	<i>Giardia</i>	$3 \cdot 10^2 - 1,7 \cdot 10^3$	ALOUINI (1993)

Ainsi nos valeurs sont supérieures à celles rapportées par RHALLABI *et al.* (1990) à Rabat avec des concentrations de $3,5 \cdot 10^2$ à $2,7 \cdot 10^3$ kystes/L d'eaux brutes, par ALOUINI (1993) en Tunisie avec des valeurs qui s'échelonnent de $3 \cdot 10^2$ à $1,7 \cdot 10^3$ kystes/L, ou encore celles de CASSON *et al.* (1990) aux USA qui retrouvent $8,2 \cdot 10^2$ à $3 \cdot 10^3$ kystes/L. Elles sont en revanche comparables aux données de GASSMANN et SCHWARTZBROD en France qui indiquent des concentrations de $1,5$ à $9,5 \cdot 10^4$ kystes/L. Au niveau des abondances des espèces retrouvées, ce sont les kystes de *Giardia* qui sont majoritairement détectés dans les diverses études.

3.1.2 Oeufs d'helminthes

Globalement tous les échantillons d'eaux usées analysées renferment des œufs d'helminthes à des concentrations variant de 102 à 238 œufs/L, soit une concentration moyenne de 145 œufs/L. Ces œufs appartiennent soit à la famille des nématodes avec comme représentant *Ascaris*, *Trichuris* et *Enterobius* soit à la famille des cestodes avec comme représentant *Hymenolepis* et *Moniezia*. La répartition des différents types d'œufs présentée dans la figure 2 montre la prédominance des nématodes par rapport aux cestodes.

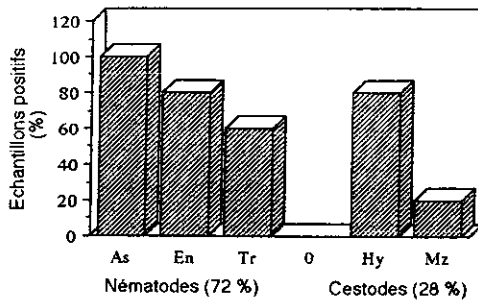


Figure 2 Pourcentages d'échantillons positifs des différents œufs d'helminthes dans les eaux usées, à la station S_0 . As : *Ascaris*, En : *Enterobius*, Hy : *Hymenolepis*, Mz : *Moniezia*, Tr : *Trichuris*.

*Percentage of different helminth eggs in wastewater at the beginning of the open channel (S_0). As : *Ascaris*, En : *Enterobius*, Hy : *Hymenolepis*, Mz : *Moniezia*, Tr : *Trichuris*.*

Il faut aussi noter l'omniprésence des œufs d'*Ascaris* retrouvés dans tous les échantillons d'eau usée analysés. Ensuite, par ordre décroissant sont observés des œufs d'*Enterobius* et *Hymenolepis* (80 % d'échantillons positifs) puis les œufs de *Trichuris* (60 % d'échantillons positifs), enfin seulement 20 % de prélèvements renferment des œufs appartenant au genre *Moniezia* (fig. 2). Sur le plan quantitatif, les œufs de nématodes sont majoritaires avec 104,8 œufs/L. Les œufs de cestodes ne représentent que 40,2 œufs/L. Cette prédominance des nématodes par rapport aux autres helminthes a été également observée en France (STIEN et SCHWARTZBROD, 1987), en Tunisie (ALOUINI, 1993) et au Maroc (GUESSAB *et al.*, 1993 et BOUHOUM *et al.*, 1994).

La figure 3 indique les concentrations moyennes des différents genres d'œufs d'helminthes dans les eaux usées de la station S_0 . Parmi les nématodes, le genre

Ascaris est le plus fréquemment rencontré avec une concentration moyenne de 75,6 œufs/L, soit 52,1 % de la concentration totale en œufs d'helminthes parasites. La concentration moyenne des œufs d'*Enterobius* est de l'ordre de 18,4 œufs/L, soit seulement 12,6 % de la concentration totale. Enfin, les œufs de *Trichuris* ne représentent que 7,5 % avec une concentration moyenne de 10,8 œufs/L. Concernant les cestodes, les œufs d'*Hymenolepis* sont les plus représentés avec 20,4 % et une concentration moyenne de 29,2 œufs/L, suivis du genre *Moniezia* avec 7,4 % avec une concentration moyenne de 11 œufs/L.

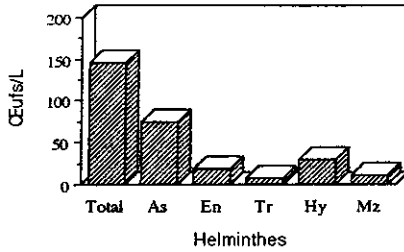


Figure 3 Concentrations différents œufs d'helminthes dans les eaux usées, à l'embouchure de la station S_0 .

Concentration helminth eggs in wastewater at the begining of the open channel (S_0).

Les valeurs de la concentration d'œufs d'helminthes dans les eaux usées rapportées dans la littérature sont très dispersées. (BOUHOUM, 1987). Les concentrations et les variétés d'œufs retrouvées dans les eaux usées sont fonction de divers facteurs climatiques, socio-économiques et démographiques. Aux États-Unis (Chicago), FOX et FITZGERALD (1977) ont rapporté une concentration moyenne de l'ordre de 2 330 œufs/L d'eau usée. À Moscou SHEPHARD (1971) a rapporté une valeur de 1933 œufs/L d'eau usée. En Syrie, une concentration moyenne des œufs d'helminthes de 2 950 œufs/L d'eau usée a été révélée par BRADLEY et HADIDY (1981). Au Brésil, une concentration de 1490 œufs/L d'eau usée est observée par MARA et SILVA (1986). Des concentrations beaucoup plus faibles sont observées dans plusieurs autres parties du monde. Ainsi, en Jordanie AL-SALEM et LUMBERS (1987) ont trouvé une concentration moyenne de 362 œufs/L d'eau usée. A Denver (U.S.A.), WANG et DUNLOP (1954) ont rapporté une concentration moyenne de 30 œufs/L d'eau-usée. Enfin, en France, STIEN et SCHWARTZBROD (1987) indiquent une concentration de 8 œufs/L. Ces variations de concentration d'œufs d'helminthes sont aussi observées au sein d'un même pays, d'une ville à l'autre. Par exemple au Maroc, CHALABI (1993) a rapporté des valeurs de 3 et 37 œufs/L respectivement dans les eaux usées de Khouribga et Rabat. À Ouarzazate, des concentrations de 20 et 18 œufs/L ont été mentionnées respectivement par EL MAAROUFY (1992) et CHALABI *et al.* (1991). À Marrakech, des concentrations de 11,7 et 18 œufs/L ont été retrouvées par BOUHOUM et HIMMI (1986) et SCHWARTZBROD *et al.* (1989). À Agadir, des concentrations moyennes de 4 010 œufs/L et de 214,4 œufs/L ont été observées respectivement par STIEN et SCHWARTZBROD (1987) et par GUESSAB *et al.* (1993). Enfin, à Nador MRABET et AGOUMI (1991) ont signalé une concentration de 29 œufs/L d'eau usées.

3.2 Évolution de la contamination parasitaire sur le parcours des eaux usées dans un canal à ciel ouvert

3.2.1 Kystes de protozoaires

Eaux usées

Quelle que soit la station de prélèvement considérée, on remarque que les 60 prélèvements d'eau usée analysés sont positifs. Cependant, il faut souligner que selon le type de kystes les pourcentages de positivité sont variables dans les prélèvements situés au-delà de l'embouchure S_0 (fig. 4).

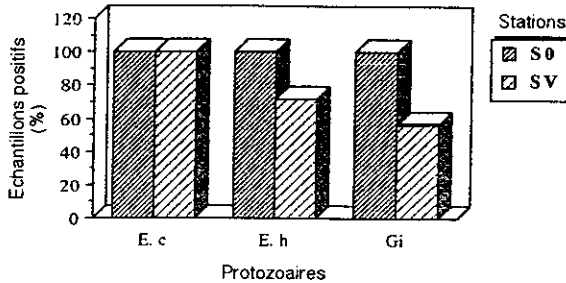


Figure 4 Pourcentages d'échantillons positifs pour les différents kystes de protozoaires dans les eaux usées à l'embouchure de l'émissaire E_2 (S_0) et à la station S_V .

Percentage of different protozoan cysts in wastewater at the beginning of the open channel (S_0) and at S_V .

Ainsi, les kystes d'*E. coli* sont présents dans tous les prélèvements alors que pour *E. histolytica*, il n'y a plus que 71,4 % d'échantillons positifs au point de prélèvement S_V . Pour les kystes de *Giardia* sp., le pourcentage d'échantillons positifs chute encore plus fortement avec seulement 57,1 % au point de prélèvement S_V .

En ce qui concerne la concentration moyenne des eaux usées en kystes de protozoaires, la figure 5 montre une diminution en allant de l'amont (S_0) vers l'aval (S_V) du cours d'eau.

Cette concentration passe de $1,6 \cdot 10^5$ kystes/L à S_0 à une concentration six fois plus faible à 2 km de l'embouchure ($2,7 \cdot 10^4$ kystes/L). Ce sont les kystes d'*E. histolytica* qui présentent la plus forte décroissance avec une concentration moyenne de $3,7 \cdot 10^4$ kystes/L au niveau de S_0 et seulement de $0,4 \cdot 10^4$ kystes/L à S_V . De même, la concentration moyenne des kystes de *Giardia* chute fortement puisqu'elle passe de $4,3 \cdot 10^4$ kystes/L à l'embouchure de l'émissaire S_0 à $0,6 \cdot 10^4$ kystes/L plus en aval (S_V). La concentration d'*E. coli* présente une diminution plus faible que les kystes pathogènes déjà cités avec une concentration moyenne de ce protozoaire passant de $4,8 \cdot 10^4$ kystes/L d'eau usée à S_0 à $1,2 \cdot 10^4$ kystes/L au point de prélèvement S_V .

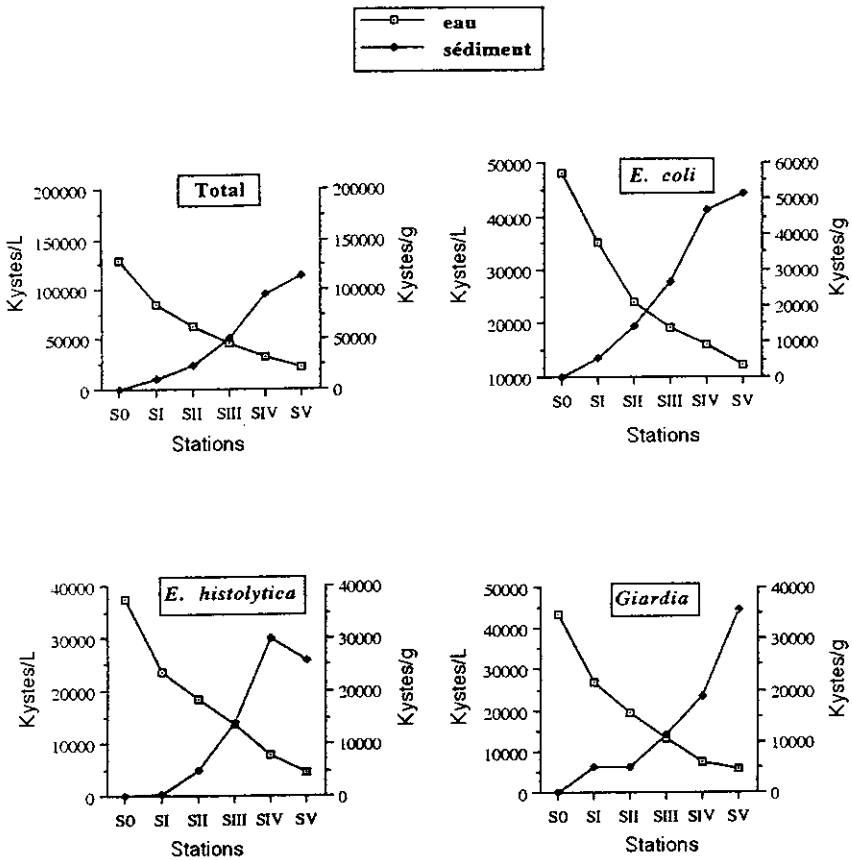


Figure 5 Evolution spatiale de la concentration moyenne des kystes de protozoaires dans l'eau usée et le sédiment, le long du canal à ciel ouvert alimenté par l'émissaire E₂.

Average concentration of protozoan cysts in wastewater and sediment along the open channel receiving raw wastewater.

Sédiment

L'étude du sédiment déposé le long de la séguia d'eau usée, a montré que 72,4 % des 50 échantillons étudiés sont positifs. Tous les types de kystes de protozoaires rencontrés dans les eaux usées sont retrouvés dans le sédiment. Contrairement à ce qui a été observé au niveau de l'eau usée, on constate dans le sédiment un enrichissement en kystes de protozoaires, en allant de l'amont vers l'aval de la séguia (fig. 5).

Les prélèvements du sédiment montrent que le plus faible pourcentage d'échantillons positifs en kystes de protozoaires est observé au niveau de la station S₁ situé à 80 m de l'embouchure de l'émissaire E₂ avec 28,6 % pour les kystes de *Giardia* et d'*E. coli* et 14,3 % pour ceux d'*E. histolytica*. Ces pourcentages augmentent pour atteindre leur maxima au niveau de la station S_{IV} et ceci quels

que soient les kystes de protozoaires considérés (85,7 % pour *E. histolytica* et 100 % pour *E. coli* et *Giardia*).

D'un point de vue quantitatif, le sédiment prélevé à 80 m de l'embouchure S_0 , présente la concentration moyenne en kystes de protozoaires la plus faible de l'ordre de $1,7 \cdot 10^4$ kystes/g. Cette concentration s'accroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure S_0 pour atteindre une concentration maximale de $1,4 \cdot 10^5$ kystes/g au niveau du point de prélèvement le plus éloigné la station S_{IV} , soit une augmentation de la concentration moyenne de plus de huit fois (fig. 5). Concernant les kystes de protozoaires pathogènes, *E. histolytica* présente un pic à la station S_{IV} avec une concentration moyenne de l'ordre de $3 \cdot 10^4$ kystes/g, soit une concentration 15 fois supérieure à celle du sédiment de la station S_I . Quant aux kystes de *Giardia*, les valeurs les plus élevées sont observées à la station S_V avec une concentration moyenne de $3,6 \cdot 10^4$ kystes/g de sédiment, soit plus de sept fois supérieure à celle mesurée en S_I ($0,5 \cdot 10^4$ kystes/g). La concentration des kystes d'*E. coli* dans le sédiment de l'émissaire d'eau usée E_2 est de $0,5 \cdot 10^4$ kystes/g à la station S_I située à 80 m de S_0 , et atteint sa valeur maximale à la station S_V avec $5,1 \cdot 10^4$ kystes/g de sédiment (fig. 5).

3.2.2 Oeufs d'helminthes

Eaux usées

Quelle que soit la station de prélèvement considérée, on remarque que tous les prélèvements d'eau usée renferment des œufs d'helminthes. La concentration moyenne des œufs d'helminthes passe de 145 œufs/L en amont de la séguia (S_0) à 33,4 œufs/L à 2 km plus en aval (S_V). Les types d'œufs retrouvés appartiennent à la classe des nématodes (*Ascaris*, *Trichuris*, *Enterobius*) et à la classe des cestodes (*Hymenolepis*, *Moniezia*).

Chez les nématodes les œufs du genre *Ascaris* présentent un pourcentage d'échantillons positifs de 100 % à la station S_0 , et de 80 % à 2 km de l'embouchure S_0 . Pour les œufs du genre *Trichuris*, le pourcentage passe de 60 % à S_0 à 40 % au niveau du point de prélèvement de S_V . Le pourcentage d'échantillons positifs pour les œufs d'*Enterobius* diminue aussi le long du cours d'eau usée pour atteindre 40 % en aval à S_V . Quant aux cestodes, le pourcentage d'échantillons positifs passe de 100 % au niveau de S_0 à 60 % à S_V (fig. 6).

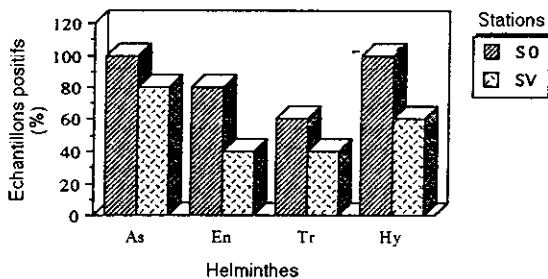


Figure 6 Pourcentages d'échantillons positifs en différents œufs d'helminthes dans les eaux usées, à l'embouchure de l'émissaire E_2 (S_0) et à la station S_V .

Percentage of different helminth eggs in wastewater at the beginning of the open channel (S_0) and at S_V .

L'étude quantitative des œufs d'helminthes en fonction des stations de prélèvement, montre une diminution du nombre d'œufs dans l'eau usée en allant de l'embouchure S_0 vers l'aval de l'émissaire E_2 (fig. 6). Les valeurs des vitesses d'écoulement mesurées dans les différentes stations varient dans le même sens. En effet, la vitesse d'écoulement de 70 cm/s à S_0 n'est plus que de 3 cm/s à la station S_V . Si on considère les différents genres d'œufs séparément, on constate que les œufs d'*Ascaris* présentent la plus forte diminution de la concentration en allant de l'amont vers l'aval. Ainsi, la concentration passe de 75,6 œufs/L à l'embouchure de l'émissaire E_2 à 11,6 œufs/L seulement à 2 km ; pour les œufs d'*Hymenolepis*, la concentration chute de 29,2 œufs/L à S_0 à 5,8 œufs/L à S_V . Pour les genres *Trichuris* et *Enterobius*, la diminution du nombre d'œufs est plus faible en allant de l'amont vers l'aval du cours d'eau. Ceci pourrait être dû à leur forme plus allongée facilitant leur transport par le courant.

Sédiment

L'étude du sédiment déposé le long de la séguia d'eau usée, a montré que 92 % des 50 échantillons étudiés sont positifs. L'analyse du sédiment le long du transect étudié a montré que le pourcentage d'échantillons positifs augmente en allant de l'amont vers l'aval du cours d'eau. La présence de tous les œufs rencontrés fréquemment dans les eaux usées est constatée à l'exception des œufs du genre *Trichuris*. Au niveau de l'embouchure S_0 il n'y a pas de sédiment vu la turbulence de l'eau à ce niveau. L'évolution de la charge parasitaire des œufs d'helminthes en fonction des stations de prélèvement est présentée sur la figure 7.

On remarque que la charge parasitaire en œufs d'helminthes dans le sédiment, contrairement à l'eau, augmente en s'éloignant de l'embouchure S_0 . Elle est en moyenne de 9,6 œufs/g de sédiment à la station S_I située à 80 m de S_0 et atteint 78,1 œufs/g à la station S_V . La diminution de la vitesse d'écoulement en s'éloignant de l'embouchure S_0 provoque certainement la sédimentation des œufs d'helminthes qui passent en grande partie de l'eau usée au sédiment. Cet enrichissement du sédiment en œufs d'helminthes résulte d'une part de leur sédimentation sous leur propre poids et d'autre part, de leur sédimentation par adsorption aux matières en suspension. En effet, plusieurs auteurs ont montré la grande capacité que possède ces œufs à sédimenter (LIEBMAN, 1965 ; SHUVAL, 1977 ; BOUHOM et HIMMI, 1986). Cette sédimentation dépend de plusieurs facteurs physiques tels que la densité spécifique des œufs et la turbulence du système.

L'étude des différents genres d'œufs montre que les œufs d'*Ascaris* commencent à sédimenter plus tôt que les autres nématodes. On remarque que ces œufs sont retrouvés dans le sédiment dès la première station S_I située à 80 m de S_0 (1,6 œufs/g) ; mais le maximum de sédimentation a lieu au niveau de la station S_V située à 2 km de S_0 avec 35,2 œufs/g de sédiment. Les œufs du genre *Hymenolepis* sont détectés dans le sédiment dès la station S_I avec une concentration maximale de l'ordre de 11 œufs/g au point de prélèvement S_V . Pour les œufs d'*Enterobius*, la sédimentation n'a lieu qu'à partir de 560 m de l'embouchure S_0 à la station S_{III} . Les œufs de *Trichuris* n'ont jamais été décelés dans les échantillons de sédiment quelle que soit la station de prélèvement.

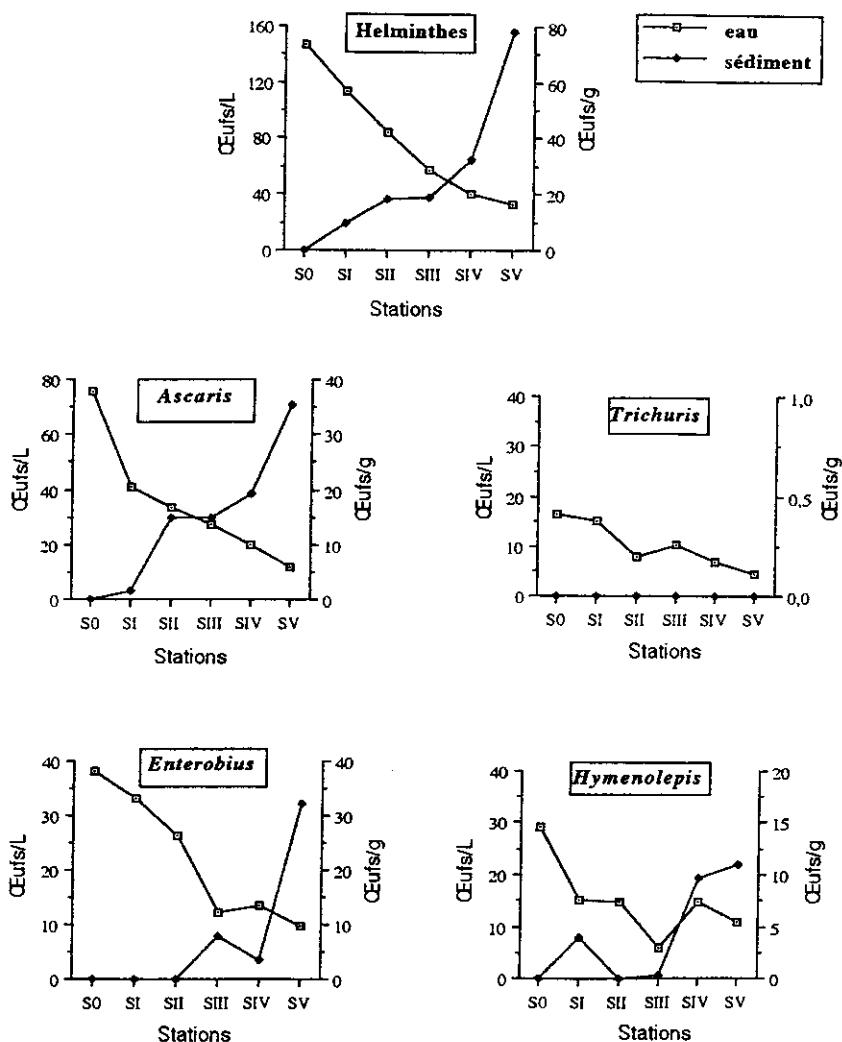


Figure 7 Évolution spatiale de la concentration moyenne des œufs d'helminthes dans l'eau usée et le sédiment, le long du canal à ciel ouvert alimenté par l'émissaire E₂.

Average concentration of helminth eggs in wastewater and sediment along the open channel receiving raw wastewater.

3.3 Rendements autoépurationnaires

3.3.1 Kystes de protozoaires

Le tableau 2 montre que sur la distance de 2 km, le rendement auto-épurationnaire global est important. Si on considère les kystes de protozoaires séparément, on constate que les meilleurs rendements sont observés pour les kystes de pro-

tozoaires pathogènes avec 88,3 % pour *E. histolytica* et 87,1 % pour *Giardia*. Pour les kystes de *E. coli*, 74,6 % seulement sont éliminés le long du parcours des eaux usées.

Tableau 2 Pourcentage d'élimination des kystes de protozoaires et des œufs d'helminthes dans les eaux usées de l'émissaire E₂.

Table 2 Percent removal of protozoan cysts and helminth eggs in wastewater in the open channel.

Kystes de protozoaires	Total	<i>E. histolytica</i>	<i>Giardia</i>	<i>E. coli</i>
Abattement (%)	83,4	88,3	87,1	74,6

Oeufs d'helminthes	Total	<i>Ascaris</i>	<i>Trichuris</i>	<i>Enterobius</i>	<i>Hymenolepis</i>
Abattement (%)	77,1	84,6	37,0	47,8	80,1

3.3.2 Oeufs d'helminthes parasites

Pendant le ruissellement des eaux usées dans la séguia étudiée, l'abattement global des œufs d'helminthes est assez important à 2 km de S₀. Si les œufs d'*Ascaris* et ceux d'*Hymenolepis* sont éliminés respectivement à raison de 84,6 % et 80,1 % (tabl. 2), les œufs d'*Enterobius* et *Trichuris* présentent des abattements plus faibles avec respectivement 47,8 % et 37 %. Cette différence de comportement pourrait s'expliquer par leur forme particulièrement allongée qui favoriserait leur transport par le courant d'eau usée et empêcherait leur sédimentation, particulièrement les œufs du genre *Trichuris*. En effet, aucun œuf de *Trichuris* n'a été décelé dans le sédiment du cours d'eau étudié.

CONCLUSION

Les eaux usées de l'émissaire E₂ à prédominance domestique contiennent une grande variété de parasites tels que les kystes de protozoaires représentés par *E. coli*, *E. histolytica* et *Giardia* sp et les œufs d'helminthes représentés par les genres *Ascaris*, *Trichuris*, *Enterobius*, *Hymenolepis* et *Moniezia*. Le genre *Ascaris*, très connu pour sa forte résistance dans l'environnement, est prédominant.

L'écoulement des eaux usées sur un parcours de 2 km, à ciel ouvert, montre une diminution de la charge parasitaire de l'effluent en allant de l'embouchure S₀ vers l'aval de l'émissaire E₂. Ainsi, la concentration moyenne des eaux usées en kystes de protozoaires passe de 1,6.10⁵ kystes/L à la station S₀ à 2,7.10⁴ kystes/L au point de prélèvement S_V. Quant aux œufs d'helminthes, la concentration moyenne, passe de 145 œufs/L en amont de la séguia (S₀) à 33,4 œufs/L à 2 km plus en aval. Les rendements autoépuratoires sont importants vis-à-vis de l'élimination des parasites. En effet, plus de 83 % des kystes de protozoaires et plus de 77 % des œufs d'helminthes sont éliminés de l'effluent. Cependant il faut souli-

gner que dans cette étude, les données recueillies sont exclusivement quantitatives, le paramètre viabilité n'a pas été pris en compte. Or, pour les kystes de protozoaires comme pour les œufs d'helminthes les travaux de SHUVAL *et al.* (1986) soulignent l'influence des conditions environnementales sur leur survie. Ainsi pour les kystes de protozoaires, il est signalé l'importance des phénomènes de prédation. En revanche, pour les œufs d'helminthes il est insisté sur leur grande résistance vis-à-vis de différentes conditions environnementales comme la température, les rayonnements U.V., la prédation.

Parallèlement à cette diminution de la concentration des kystes de protozoaires et des œufs d'helminthes dans les eaux usées, on assiste à un enrichissement du sédiment en kystes et en œufs de parasites, en allant de l'amont vers l'aval du cours d'eau par le phénomène de sédimentation. Le sédiment prélevé à 80 m de l'embouchure S_0 (S_1), présente une concentration moyenne en kystes de protozoaires qui est de l'ordre de $1,7 \cdot 10^4$ kystes/g. Cette concentration s'accroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'embouchure S_0 pour atteindre une concentration maximale de $1,4 \cdot 10^5$ kystes/g au niveau du point de prélèvement le plus éloigné S_v . Quant aux œufs d'helminthes, leur concentration moyenne de 9,6 œufs/g de sédiment à la station S_1 atteint 78,1 œufs/g à la station S_v . On constate donc le passage de la pollution parasitaire de la fraction liquide (eau usée) à la fraction solide (sédiment) par sédimentation. Cependant, les œufs de *Trichuris* présentent un comportement différent des autres œufs d'helminthes dans le cours d'eau. Ces œufs n'ont pas été décelés dans le sédiment du cours d'eau ce qui pourrait être dû, entre autre, à leur transport plus facile par le courant d'eau vu leur forme qui ne favoriserait pas leur sédimentation.

Le ruissellement des eaux usées dans le canal étudié à ciel ouvert, sur une distance de 2 km améliore donc la qualité parasitologique des eaux usées. Des observations similaires ont été constatées à Mexico où les eaux usées s'écoulent dans des canaux à ciel ouvert sur 60 km avant d'être réutilisées (O.M.S., 1989). Malgré les bons abattements des parasites dans les eaux usées le long du cours d'eau, leurs concentrations restent encore trop fortes pour satisfaire les directives de l'O.M.S. en matière de réutilisation des eaux usées en agriculture (< 1 œuf de nématodes/L). En effet, la concentration des eaux usées en œufs de nématodes après un ruissellement à ciel ouvert sur près de 2 km est de l'ordre de 18,4 œufs de nématodes/L. Ces eaux usées ne peuvent donc être utilisées en irrigation sans traitement préalable pour éviter tout risque sanitaire pour la population.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier monsieur A. Boussaid, maître de conférences à la faculté des sciences Sémilalia de Marrakech, pour sa participation à ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALOUINI, Z., (1993). Flux de la charge parasitaire dans cinq stations d'épuration en Tunisie. *Rev. Sci. de l'Eau*, 6, 453-463.
- AL-SALEM, S., LUMBERS, J.P. (1987). An initial evaluation of Al-Sumra wast stabilization ponds (Jordan). *Wat. Sci. Tech.*, 19, 33-37.
- BAILENGER, J. (1962). Valeur comparée des méthodes d'enrichissement en coprologie parasitaire. *Le Pharm. Biol.*, 3, 249-259.
- BONTOUX, J. (1983). Introduction à l'étude des eaux douces. Eaux naturelles. Eaux usées. Eaux de boisson. Fac. Pharm. Montpellier, 63 p.
- BOUHOUM, K., HIMMI, H. (1986). Contribution à l'étude parasitologique dans un système de lagunage, 1^{er} Colloque Inter-universitaire Maroc-Français sur les eaux continentales : Ressources et Assainissement, 45.
- BOUHOUM, K. (1987). Devenir des œufs d'helminthes au cours d'un traitement expérimental d'épuration par bassin de stabilisation. Thèse de 3^e cycle, Fac. Sci. Sémiatia, Marrakech, 161 p.
- BOUHOUM, K., SCHWARTZBROD, J. (1989). Quantification of helminth eggs in wastewater. *Zbl. Hyg.*, 188, 322-330.
- BOUHOUM, K., AMAHMID, O., ASMAMA, S., SCHWARTZBROD, J. (1994). Elimination des kystes de protozoaires pathogènes et des œufs d'helminthes parasites par différents systèmes de traitement des eaux usées : lagunage, boues activées, rose-lière et sur-irrigation drainage. 4^e Conférence Internationale des Limnologues d'Expression Française, Marrakech.
- BRADLEY, R.M., HADIDY, S. (1981). Parasitic infection on the use of untreated sewage for irrigation of vegetable with particular reference to Aleppo, Syria. *Publ. Health Eng.*, 9, 154-157.
- CASSON, L. W., SORBER, C.A., SYKORA, J.L., GAVAGHAN, P.D., SHAPIRO, M.A., JAKUBOWSKI, W. (1990). *Giardia* in wastewater - effect of treatment. *Journal WPCF*, 62, 670-675.
- CHALABI, M., KHALLAYOUNE, K., EL HAMMOURI, B. (1991). Oeufs d'helminthes dans les eaux usées après traitement dans un chenal algal à haut rendement. VII^e Journées de la Société Marocaine de Parasitologie, Marrakech.
- CHALABI, M. (1993). Performance d'élimination des œufs d'helminthes et étude de leur viabilité dans le chenal algal à haut rendement. Thèse 3^e cycle Fac. Sci., Marrakech.
- ELLIS, K.V., RODRIGUES, P.C., GOMEZ, C.L. (1993). Parasite ova and cysts in water stabilization ponds. *Wat. Res.*, 27, 1455-1460.
- EL MAAROUFY, M. (1992). Traitement des eaux usées dans les bassins de stabilisation de Ouarzazate et leur réutilisation en agriculture, aspect parasitologique. Thèse de 3^e cycle, Fac. Sci. Meknès.
- FOX, J.C. et FITZGERALD, P.R. (1977). Parasitic content of municipal wastes from the Chicago area. *J. Parasitol.*, 63, 68-69.
- GASSMANN, L., SCHWARTZBROD, J. (1991). Wastewater and *Giardia* cysts. *Wat. Sci. Technol.*, 24, 183-186.
- GRIMASON, A.M., SMITH, H.V., THITAI, W. N., SMITH, P.G., JACKSON, M.H., GIRDWOOD, R. (1993). Occurrence and removal of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in Kenyan waste stabilization ponds. *Wat. Sci. Technol.*, 27, 97-104.
- GUESSAB, M., BIZE, J., SCHWARTZBROD, J., MAUL, A., MORLOT, M., NIVAUULT, N., SCHWARTZBROD, L. (1993). Wastewater treatment dry infiltration percolation on sand: results in Ben Sergao Morocco. *Wat. Sci. Technol.*, 27, 91-95.
- JAKUBOWSKI, W., ERICKSEN, H. (1979). Methods for detection of *Giardia* cysts in water supplies waterborne transmission of giardiasis. *EPA 600/9 - 79 - 001*, 193-210.
- LIEBMANN, H. (1965). Parasites in sewage and the possibilities of their extinction. Advances in water pollution research. Proceedings of Second International Conferences, Tokyo, Pergamon, 2, 269-279.
- MARA, D., SILVA, S.A. (1986). Removal of intestinal nematode eggs in tropical waste stabilization ponds. *J. Trop. Med. Hyg.*, 89, 71-74.
- MRABET, T.K., AGOUMI, A. (1991). Oeufs d'helminthes parasites dans les eaux

- usées de Nador VII^e Journées de la Société Marocaine de Parasitologie, Marrakech, 15-16.
- O.M.S. (1989). L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à visées sanitaires. Rapp. tech., n° 778, Genève.
- PANICKER, P.V.R.C., KRISHNAMOORTHY, H.P. (1981). Parasites eggs and cysts reduction in oxidation ditches and aerated lagoon. *Journal W. P.C.F.*, 53, 1413-1419.
- RHALLABI, N., MOUNDIB, R., MAAROUFY, M., MARGHICH, M., KHALAAYOUNE, Kh., BOUZOUBAA, Kh., AGOUMI, A., ETTALIBI, M., BERDAI, H., JELLAL, N., TOUZANI, M., MEKRANE, M., HANDOUF, A., BENCHOKROUM, T., EL HAMOURI, B. (1990). Effets des irrigations avec des eaux usées brutes et épurées sur le sol, le rendement d'une culture de tomate et la qualité hygiénique de la récolte. *Actes Inst. Agron. Vet.*, 10, 57-66.
- SCHWARTZBROD, J., STIEN, J.L., BOUHOUM, K., BALEUX, B. (1989). Impact of wastewater treatment on helminth eggs. *Wat. Sci. Tech.*, 21, 295-297.
- SCHWARTZBROD, J., STRAUSS, S. (1989). Devenir des kystes de *Giardia* au cours d'un cycle d'épuration. *T.S.M.*, 6, 331-334.
- SCHWARTZBROD, J., BOUHOUM, K., BALEUX, B. (1987). Effect of lagoon treatment on helminth eggs. *Wat. Sci. Tech.*, 19, 369-371.
- SHEPARD M.R.N. (1971). The role of sewage treatment in the control of human helminthiasis. *Helminth Abst.*, 40, 1-16.
- SHUVAL, H.I. (1977). Water renovation and reuse. Academic Press, New York.
- SHUVAL, H.I., ADIN, A., FATTAL, B., RAWITZ, E., YEKUTIEL, P. (1986). Wastewater irrigation in developing countries, health effects. World Bank Technical paper n° 6.
- STIEN, J.L., SCHWARTZBROD, J. (1987). Devenir des œufs d'helminthes au cours d'un cycle d'épuration des eaux usées urbaines. *Rev. Int. Sci. Eau*, 3, 77-82.
- WANG, W.L., DUNLOP, S.G. (1954). Animal parasites in sewage and irrigation water. *Serv. Ind. Wastes*, 26, 1020-1032.
- WIANDT, S., BALEUX, B., CASELLA, S.B., BONTOUX, J. (1995). Occurrence of *Giardia* sp cysts during a wastewater treatment by a stabilization pond in the south of France. *Wat. Sci. Tech.*, 31, 257-265.