

# Essais d'épuration des eaux usées de Marrakech par la jacinthe d'eau (Charges organique, bactérienne et parasitologique)

Marrakesh wastewater purification experiment utilizing water hyacinths (Organic, bacterial and parasitological loads)

L. MANDI<sup>1</sup>, J. DARLEY<sup>1</sup>, J. BARBE<sup>2</sup>, B. BALEUX<sup>3</sup>

Reçu le 9 avril 1991, accepté pour publication le 25 novembre 1991\*.

## SUMMARY

The aim of the present study is to experimentally test the capacities of the water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in order to purify wastewater under Marrakesh climatic conditions.

The experiment was carried at wastewater spreading zone of Marrakesh pretreatment.

The experiment's installation is made of two lined water hyacinth ponds that receive domestic wastewater.

The proposed process is a continuous system with a constant flow rate of 10 l/mn. The theoretical retention time was estimated to 7 days. The allowed load is 40 g COD/m<sup>2</sup>/day. Macrophytic biomass was observed for both ponds during the experimental period (March, 1986 – February, 1987). Parameters of organic, bacterial and parasitological loads are studied in order to determine the system efficiency under arid climate.

Obtained results show the water hyacinth ability to adapt to Marrakesh climatic conditions. The number of plants doubled at 12 days, this is coherent with results obtained by PENFOUND (1956), BOCK (1969), WESTLAKE (1963, 1975) and SCULTHORPE (1967). Maximum biomass level and productivity were achieved during the summer period: 40 kg WW/m<sup>2</sup>/day and 38,6 g DW/m<sup>2</sup>/day respectively. Biomass and productivity obtained under arid climate are similar to results obtained by WOOTEN and DODD (1976), and by DINGES (1976) under subtropical conditions, and higher than those obtained by JOHN (1985) under temperate climate. The growth period of water hyacinth is estimated to 9 months at Marrakesh, 10 months at subtropical climate (WOLVERTON and MC DONALD, 1976) and limited to 6 months under cold climate

1. Département de Biologie, Faculté des Sciences, BPS 15-Marrakech (Maroc).
2. CEMAGREF, Laboratoire d'Hydrobiologie, 3 quai Chauveau, 69009 Lyon (France).
3. Laboratoire d'Hydrobiologie marine, USTL, place E. Bataillon, 34060 Montpellier cedex (France).

\* Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 mars 1993.

(COPELLI *et al.*, 1982 ; DUBOIS, 1983 ; SAUZE, 1983 ; DE CASABIANCA, 1985). Temperature is considered as a limited growth factor of water yacynth. According to FRANCOIS *et al.* (1977), the water hyacinth growth was stoped when the temperature is lower than 10 °C. Under Marrakesh arid climate, the temperature is always higher than 10 °C. It was also found that the water hyacinth survive all a year around in the arid climate of Marrakesh.

Domestic sewage purification by water hyacinth leads to satisfactory efficiency during the summer concerning reduction of COD : 87 % and TSS : 95 %. This phenomenon may be jointed to the retention time wich was lengthed (9,4 days) in the summer, and the higher biomass density of water hyacinths in this one. The purifying action of floating macrophytes (*Eichhornia crassipes*) is physical and biological. The root system stabilizes the medium thus favoring sedimentation of TSS and particulate COD both on the bottom of the tank and by trapping in the root hairs. Elimination of COD is realized by means of the action of bacteria which are present, by sedimentation of particulate COD and root filtration.

The biological action of the plants is not an important mechanism for COD elimination. The system efficiency is low at the winter and the reduction of COD and TSS have not exceed 60 % and 82 % respectively because the degenerating of the water hyacinths.

From sanitary point of view, bacterial load reduction expressed by control faecal contamination bacteria achieved 2 log Units for a short theoretical retention time (7 days). This is higher than the result obtained by DUBOIS (1985). Two hypothesis are given to explain reduction of bacterial load by water hyacinths : 1) the bacteria are sedimented or trapped in the root hairs of the water hyacinths with TSS. 2) Water hyacinths may have a capacity to secrete a chemical substance which could have bactericid or bacteriostatic effect. The improvement of retention time and the addition of one or two supplementary ponds will probably lead to better results. Moreover, this process had also reduced parasitical helminth eggs to undetectable levels (100 %). The parasitical helminth eggs distinguished at domestic sewage received by the experimental installation, are *Taenia*, *Hymenolepis*, *Trichuris* and *Ascaris* genus. Their total number vary from 0 to 120 eggs/l with a mean of 32. Other types of eggs could be encountered generally in waste water as : *Toxocara*, *Oxyure*, *Capillaria* and *Toxoascaris* (FOX and FITZGERALD, 1976) but was not detected by our technique. No helminth eggs were found in purified wastewater descended through water hyacinth ponds. This phenomenon is explained by supposing that the helminth eggs are present in the effluent but it was the detection limit of the employed technique (Baitenger method), or there is no eggs really at the effluent because of their higher specific weight. *Ascaris*, *Taenia* and *Trichuris* eggs have a sedimentation rate of 0,65 m/h, 0,26 m/h and 1,5 m/h respectively (FEACHEM *et al.*, 1983). The eggs sedimented rapidly in the water hyacinths ponds involving a transfer of the effluent pollution to the sediment. Several authors affirmed that the stabilization ponds are an effective means to reduce parasitical helminth eggs of the wastewaters (GLOYNA, 1972 ; KOWAL, 1985). Hence, if the parasitical risk could be controlled in the purified water (effluent), particular attention should be given to sediments. It is also important to point out, that no parasitical nematode is found at the influent. Nematofauna associated to wastewater and roots of water hyacinth, was represented by bacteria consumer nematode. The abundance of nematode is definite by the existence of bacterial food in the wastewaters (CALAWAY, 1963 ; SHIEMER, 1976). The principal genus determined are *Rhabditis* sp., *Plectus* sp., and *Mononchoides* sp. It appears that *Rhabditis* genus, is dominant in the first pond (94,7 %) of the nematode population). However, the two genus *Rhabditis* sp. and *Plectus* sp. are dominant in the second one and represent 50 % and 49 % respectively. The presence of Plectidae in the second basin indicates

that is less loaded (ZULLINI, 1976). However, under the arid climate conditions of Marrakesh, the process based on water hyacinth for wastewater purification, is faced with two major problems: first, the water loss by evapotranspiration reaches 60 % during the summer time under arid climate of Marrakesh. The development of Mousquito particularly in the summer, constitutes the second problem of our proposed process. Moreover, from economical point of view, the water hyacinths show a good productivity in the summer under arid climate and could be exploited in several field.

**Key-words :** water hyacinth, domestic sewage, purification, nematode helminth eggs, arid climate.

## RÉSUMÉ

Cette étude est destinée à tester expérimentalement les capacités d'épuration des eaux usées par lagunage à macrophytes (jacinthe d'eau : *Eichhornia crassipes*), sous les conditions climatiques de Marrakech.

L'installation fonctionne en continu avec un débit constant à l'entrée de 10 l/min. La charge admise est de 40 g DCO/M<sup>2</sup>/j.

Sous l'aspect de la production de biomasse végétale, les effluents domestiques constituent un bon substrat nutritionnel. Les taux de croissance et les productions obtenues montrent dans l'ensemble une excellente adaptation d'*Eichhornia crassipes* à ce milieu. Le maximum de biomasse et de productivité ont été obtenus en période estivale et sont respectivement de : 40 kg MF/m<sup>2</sup> et 38,6 MS/m<sup>2</sup>/j. Il s'est avéré également que la jacinthe d'eau est persistante toute l'année sous le climat méditerranéen aride de Marrakech.

L'épuration des eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes aboutit à des rendements satisfaisants surtout en période estivale où on obtient un abattement de 87 % de la DCO et une réduction de 95 % des MEST.

Sur le plan sanitaire, l'abattement de la charge bactérienne exprimée par les bactéries témoins de contamination fécale peut atteindre jusqu'à 2ULog pour un temps de séjour théorique très court (7 jours).

Ce système a par ailleurs fourni des abattements de 100 % des œufs d'helminthes parasites au niveau de l'eau épurée.

**Mots clés :** jacinthe d'eau, eaux usées domestiques, épuration, œufs d'helminthes, nématodes.

## INTRODUCTION

Depuis 1970 la jacinthe d'eau a été utilisée avec le double objectif d'épurer les eaux polluées responsables de l'eutrophisation et d'exploiter la biomasse très abondante ainsi produite (SAUZE, 1983).

Des recherches menées par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et le NSTL (National Space Technology Laboratories) ont permis de mettre en évidence les remarquables propriétés de ces végétaux (WOLVERTON et MC DONALD, 1976, 1978 ; WOLVERTON et MC KOWN, 1976).

De nombreux essais sur des stations expérimentales ont pris le relais des expérimentations pilotes et ont permis des investigations sur des rejets de communes de plusieurs milliers d'habitants. Très vite la jacinthe d'eau, parfaitement adaptée aux conditions climatiques régionales (climat tropical) et sujette à des développements explosifs, fut particulièrement prometteuse (DINGES, 1976, WOLVERTON et MC DONALD, 1976 ; CORNWELL *et al.*, 1977).

Des recherches effectuées dans les différentes régions du globe qui utilisent la jacinthe d'eau, avec le double objectif de phyto-épuration et la production de biomasse, nous ont incités à tester ce macrophyte flottant sous les conditions du climat méditerranéen aride de Marrakech où les eaux usées représentent une source en eau pérenne.

L'expérience a pour objectif de déterminer le pouvoir épurateur des jacinthes d'eau dans un système extensif d'épuration des eaux résiduaires et d'évaluer la productivité en biomasse de ce macrophyte flottant sous le climat méditerranéen aride.

## MATÉRIELS ET MÉTHODES

L'expérience est effectuée dans la région d'El Azzouzia, zone où l'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech est fait sans aucun traitement préalable.

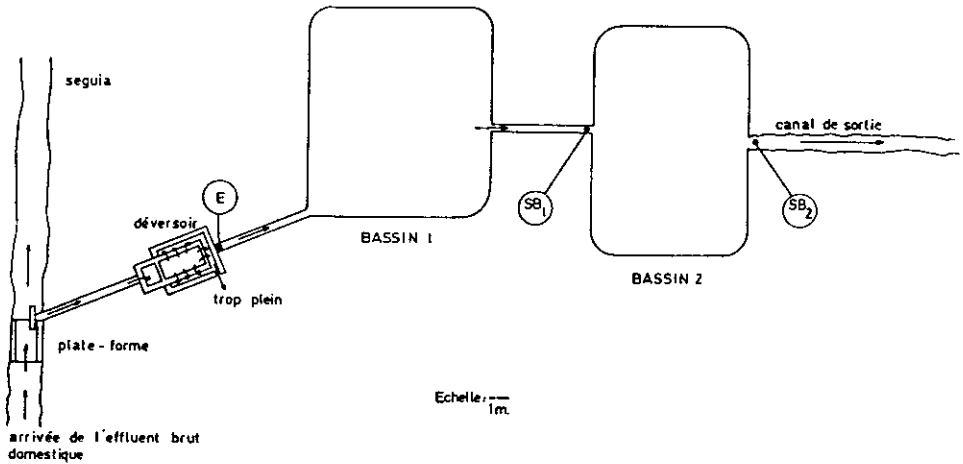
L'installation expérimentale est formée de deux bassins disposés en série dont les dimensions sont indiquées sur le tableau 1. Les bassins sont alimentés par un canal à ciel ouvert (segua) d'une longueur de 1 500 m et qui draine une partie des eaux usées domestiques.

Tableau 1 Caractéristiques des bassins expérimentaux.

Table 1 Dimensions of experimental basins.

	Surface d'eau libre (m <sup>2</sup> )	Surface du fond (m <sup>2</sup> )	Hauteur d'eau moyenne (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
Bassin 1	80	26,5	0,7	37
Bassin 2	80	26,5	0,8	43

Après avoir subi un dégrillage, l'eau usée passe dans le premier bassin à macrophytes (*fig. 1*). Gravitairement, l'eau du bassin 1 qui passe à travers une buse dans le bassin 2, est évacuée par le même principe vers le canal de sortie. En raison de la perméabilité du sol et de la proximité de la nappe phréatique, le fond des bassins a été recouvert d'un film de polyéthylène de 180 µm d'épaisseur.



**Figure 1** Schéma de l'installation d'expérimentation.  
*Experimental installation.*

Le débit à l'entrée est constant (10 l/min) et le temps de séjour moyen théorique est estimé à 7 jours.

Dès la mise en eau, les deux bassins ont étéensemencés en plants de ajacintes d'eau provenant du jardin de la municipalité de Marrakech (les jacinthes d'eau ont été introduites au Maroc comme plantes ornementales).

La biomasse macrophytes a été suivies pour les deux bassins expérimentaux durant toute la période d'étude (de mars 1986 jusqu'en février 1987). Chaque quinzaine, la biomasse couvrant une surface de un m<sup>2</sup> a été délimitée en plaçant un cadre métallique dans chaque bassin et on a récolté les plants qui se trouvent à l'intérieur. Etant donné que la couverture végétale est régulière au niveau des deux bassins, un seul quadrat a été utilisé pour réaliser les mesures de biomasse. Les plantes ont été mises dans des sacs plastiques et amenées au laboratoire où elles ont été lavées à l'eau de robinet, puis égoutées pendant 5 minutes. La partie aérienne a été séparée de la partie racinaire. La quantité de matière a été pesée pour en déterminer le poids frais (MF), puis séchée à 70 °C pendant 48 heures pour en déterminer le poids sec.

Parallèlement, des prélèvements d'eau ont été effectués à des fins d'analyse tous les quinze jours vers 10 h du matin, au niveau de trois stations :

- E (arrivée de l'effluent brut),
- SB1 (sortie de l'effluent du bassin 1),
- SB2 (sortie de l'effluent du bassin 2).

Les analyses ont porté sur des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et parasitologiques.

### Paramètres physico-chimiques

Température de l'eau, conductivité, pH et oxygène dissous sont mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde multiparamètre HORIBA (Model U7).

La demande chimique en oxygène (DCO) est déterminée selon la méthode AFNOR T 90-101.

Les matières en suspension totales (MEST) sont déterminées selon la norme AFNOR T 90-105.

### Paramètres bactériologiques

Les prélèvements sont effectués dans les bouteilles en verre stérilisées transportées dans des glacières. L'analyse des échantillons porte sur les germes tests de contamination fécale : coliformes fécaux et streptocoques fécaux.

Le dénombrement des coliformes fécaux est réalisé sur le milieu de Chapman modifié par Buttiaux « gélose lactosée au Tergitol et TTC » à 44,5 °C (AFNOR, 1983).

Les streptocoques fécaux sont dénombrés sur milieu D. Cocosel de Biomerieux à 37 °C.

### Paramètres parasitologiques

#### *Les œufs d'helminthes*

Leur dénombrement et leur identification ont été effectués en utilisant la technique de Bailenger. C'est une méthode diphasique qui consiste en une concentration des parasites, le culot est remis en suspension dans une solution saturée de saccharose. Cette opération a pour but de permettre la flottation des éléments parasitaires afin de faciliter leur comptage par la lame de Mac Master (BOUREE, 1983).

### La nématofaune

Deux types de prélèvement ont été effectués : dans l'eau et au niveau du chevelu racinaire pouvant piéger ces animaux.

D'un point de vue quantitatif, la nématofaune a été extraite selon la méthode de Jenkins (centrifugation – flottaison) (JENKINS, 1964) puis comptée à la lame de Peters.

La détermination des nématodes a été effectuée par le Laboratoire de Nématologie de l'INRA d'Antibes (France).

## RÉSULTATS

### Facteurs atmosphériques

Nous avons utilisé les données climatiques de la station météorologiques Marrakech-Ménara, proche de la zone d'étude.

Le climat est caractérisé par une pluviométrie faible et irrégulière, ainsi que des températures moyennes élevées avec des écarts saisonniers et journaliers de grande amplitude, caractéristiques du climat méditerranéen (tableau 2).

Tableau 2 Données climatiques (janvier 86-février 87).

Table 2 Climatic data (january 86-february 87).

Paramètres	Mois													
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F
M (°C)	18,2	18,8	21,2	22,5	30,3	28,5	37,9	37,1	32,7	26,8	22,4	19,6	20,3	19,5
m (°C)	6,6	8,2	9,4	9,9	15,7	16,4	21,0	21,0	19,7	15,4	10,2	7,2	8,1	9,3
(M + m) / 2	12,4	13,5	15,3	16,2	23	22,5	29,4	29,1	26,2	21,1	16,3	13,4	14,2	14,4
P (mm)	24,1	30,4	14,3	5,4	31,2	45,1	traces	0,0	2,4	5,1	40,4	0,0	22,5	36,3

M : moyenne des températures maximales  
m : moyenne des températures minimales  
P : précipitations mensuelles

M : average high temperatures  
m : average low temperatures  
P : monthly precipitation

### Caractéristiques physico-chimiques

La température de l'eau dans les trois sites de prélèvement évolue de la même manière que la température de l'air (fig. 2). La valeur minimum enregistrée pendant la période d'étude en décembre 1986 à la sortie du deuxième bassin a été de 10 °C.

L'évolution spatiale indique que la température de l'effluent brut se refroidit en allant de E vers SB2. Ceci peut être dû à l'impact du couvert végétal qui constitue un écran limitant la pénétration du rayonnement solaire.

Le pH de l'eau dans le système se situe entre deux limites extrêmes 6,9-8,3 durant toute la période d'étude.

La teneur en oxygène dissous de l'eau de surface, dans les deux bassins, reste faible et oscille entre 0,5 et 4,3 mg/l. Cela ne peut être dû qu'à l'effet du couvert végétal ainsi qu'à la qualité de l'eau dans les bassins.

### Production de biomasse

La biomasse des jacinthes d'eau suit un cycle saisonnier avec les productions les plus élevées en été et les plus faibles en hiver (fig. 3).

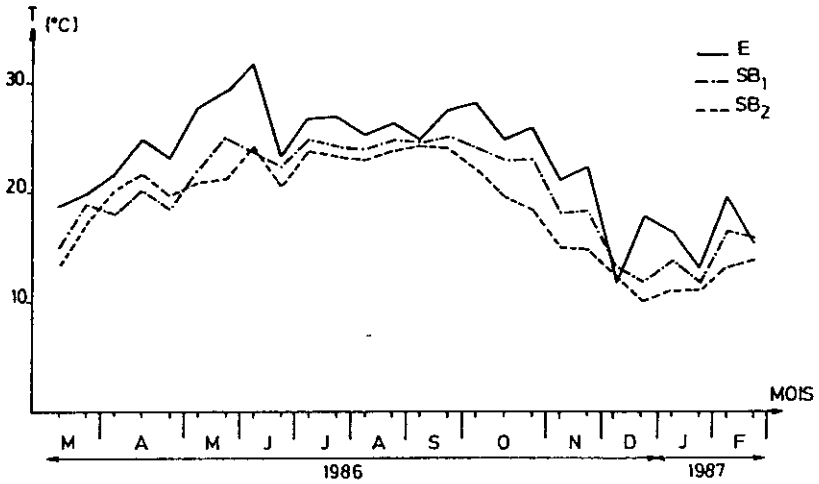


Figure 2 Evolution de la température de l'eau.  
Water temperature variations.

### Bassin 1

Une forte production macrophytique a été observée pendant le mois de juillet (fig. 3) : 43 kg de matière fraîche (MF) par m<sup>2</sup> (3,4 kg de matières sèches (MS) par m<sup>2</sup>). Pendant ce mois la température de l'eau est de 24,7 °C, le rayonnement solaire est de 23,6 MJoules/m<sup>2</sup>.

La productivité maximale a été obtenue également pendant ce mois : 38,6 g MS/m<sup>2</sup>/j.

La biomasse moyenne annuelle calculée sur toute la période d'étude est de 21 kg MF/m<sup>2</sup> correspondant à 1,6 kg MS/m<sup>2</sup>.

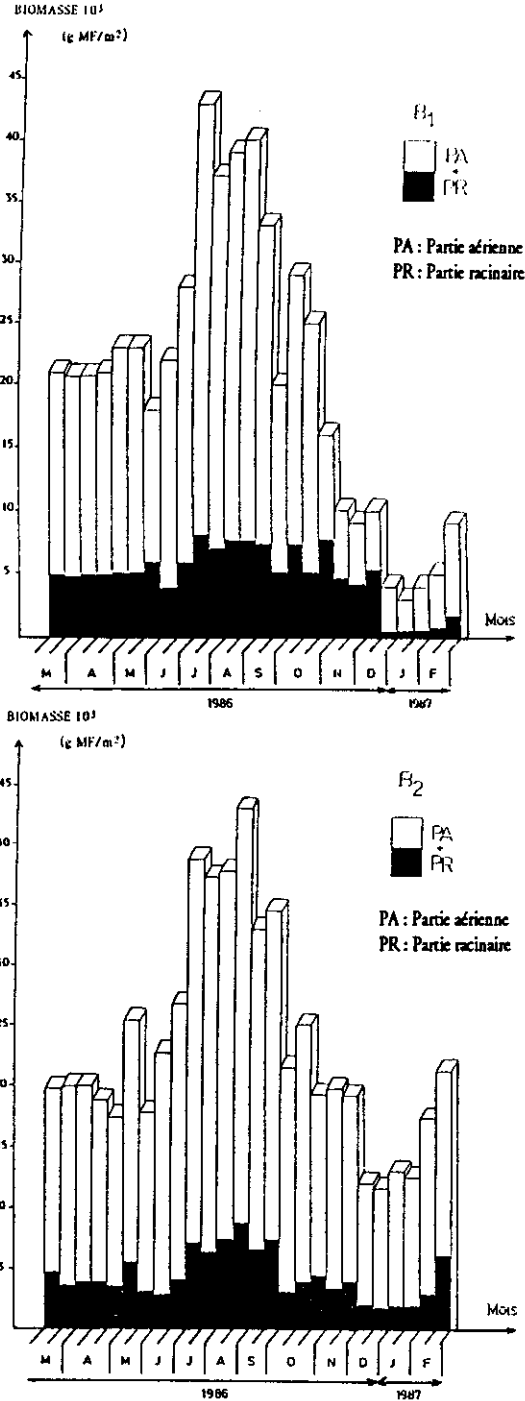
La productivité moyenne annuelle, calculée en ne tenant compte que des mois où la productivité est représentée par des taux positifs, est de 13 g MS/m<sup>2</sup>/j.

### Bassin 2

La production en biomasse des jacinthes d'eau varie dans le même sens que pour le premier bassin. La production maximale est obtenue pendant le mois d'août (fig 3) 43 Kg MF/ m<sup>2</sup> pour une température moyenne de l'eau de 23,4°C et un rayonnement solaire moyen de 22,5 MJ/m<sup>2</sup>/J.

La productivité maximale a été observée pendant le mois de juillet : 27,6 g MS/m<sup>2</sup>/j ; pour une température de l'eau de 23,7°C et un rayonnement solaire de 23,6 MJ/m<sup>2</sup>. La biomasse annuelle est d'environ 23 Kg MF/m<sup>2</sup> et 1,7 Kg MS/m<sup>2</sup> avec une productivité moyenne d'environ 12 g MS/m<sup>2</sup>/j.





**Figure 3** Evolution de la biomasse des jacinthes d'eau dans les bassins 1 et 2 (KgMF/m<sup>2</sup>).  
*Water hyacinth biomass variations in basin 1 and 2 (KgWW/m<sup>2</sup>).*

## Evolution de la matière organique

### Evolution spatio-temporelle

A l'arrivée de l'effluent brut, les teneurs en MEST sont variables dans le temps (fig 4) et présentent plusieurs maxima : le plus élevé est en juillet-août. Par contre à la sortie des deux bassins expérimentaux les teneurs en MEST sont stables et restent à des valeurs très faibles sauf en octobre et en novembre où elles augmentent.

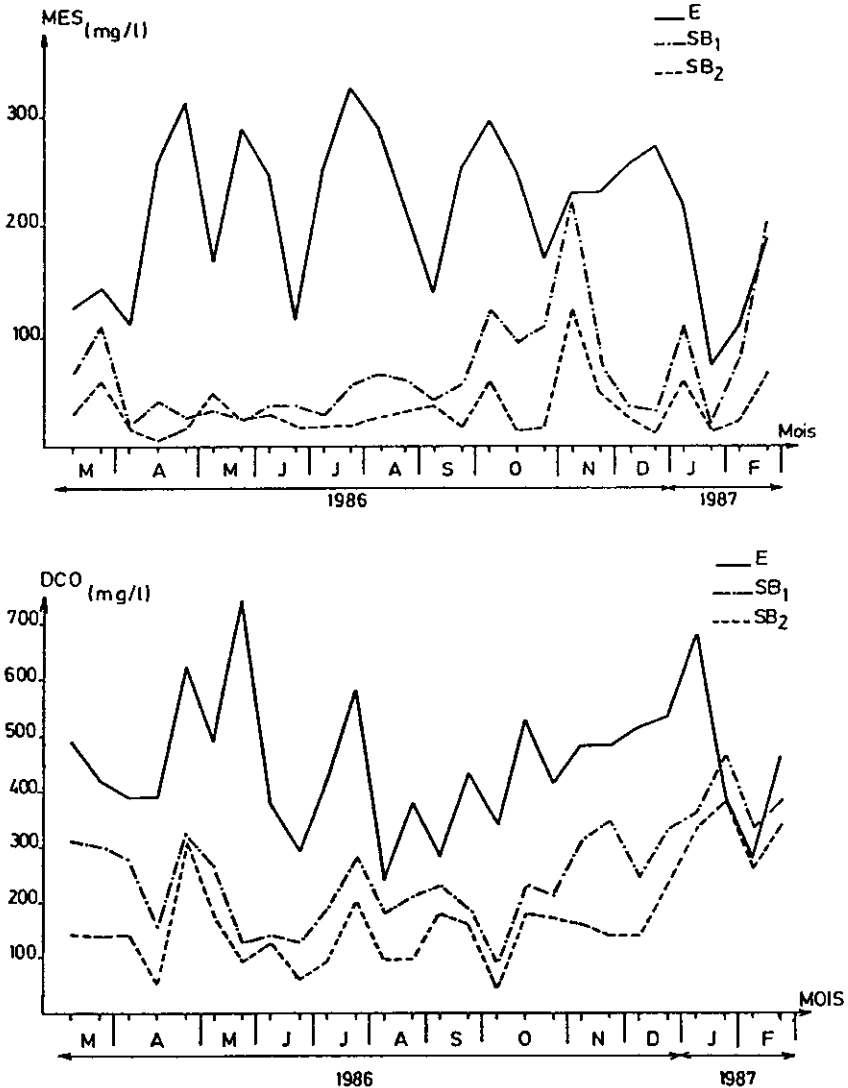


Figure 4 Evolution des matières en suspension totales et de la demande chimique en oxygène.

*Total suspended solids and chemical oxygen demand variations.*

La demande chimique en oxygène (DCO) qui constitue une mesure globale d'appréciation de la pollution organique est très variable dans le temps (fig 4). Les écarts entre l'entrée et les sorties des bassins (SB1 et GB2) sont faibles en été ce qui se traduit par un abattement plus faible en DCO. L'écart est important entre E, SBI et SB2 pour le reste de l'année bien que les valeurs de DCO soient toujours élevées en E. A partir de mi-janvier, cet écart se réduit.

### *Rendements épuratoires*

Les rendements annuels ou saisonniers sont exprimés en flux.

L'élimination de la charge organique et des matières en suspension est meilleure en période estivale (avril à octobre). L'abattement de la DCO y atteint 87 % et celui des MEST 95 %. Les rendements sont plus faibles en période hivernale (novembre à février) : 62 % en DCO et 82 % en MEST.

Le rendement moyen annuel est de 78 % pour la DCO et de 90 % pour les MEST.

### **Etude bactériologique**

La figure 5 montre que la hiérarchie coliformes fécaux > streptocoques fécaux (CF > SF) est maintenue au cours de toute la période d'étude. Ce résultat confirme ceux obtenus avec le lagunage à microphytes (BALEUX et TROUSSELIER, 1983 ; LEGENDRE *et al.*, 1984 ; MONFORT et BALEUX, 1990).

L'abondance de ces bactéries témoins de contamination fécale est très variable au cours du temps. Toutefois, l'abattement de cette abondance bactérienne en allant de E vers SB2 est bien marqué et montre qu'il existe un abattement de la charge bactérienne.

### *Rendements épuratoires*

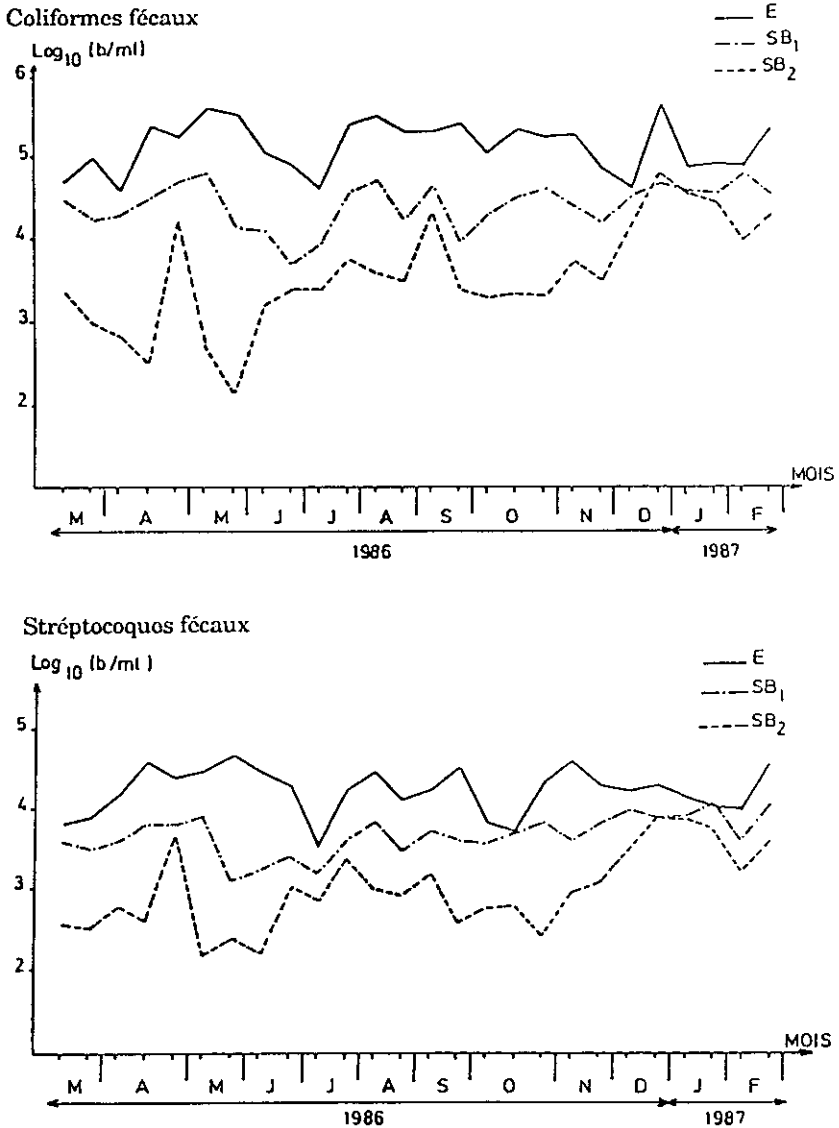
Les taux de décontamination sont calculés à partir de la moyenne des nombres de bactéries par ml.

En considérant toute la période d'étude du 6/3/86 au 19/2/87, les taux de réduction moyens annuels sont de 1,23 ULog (94,17 %) pour les coliformes fécaux et de 1,13 ULog (92,58 %) pour les streptocoques fécaux. Si l'on considère uniquement la période du 6 mars 86 au 27 avril 86, où les plantes ne sont pas encore dégradées, les abattements sont meilleurs : 1,72 ULog (98,1 %) pour les coliformes fécaux et 1,5 ULog (96,63 %) pour les streptocoques fécaux. Etant donné qu'il n'y a que deux bassins en série et un temps de séjour court, l'abattement des abondances bactériennes reste faible.

### **Etude parasitologique**

#### *Oeufs d'helminthes*

Ils n'ont été observés qu'au niveau de l'effluent brut (E). Qualitativement, les oeufs d'helminthes parasites rencontrés dans l'effluent brut sont représentés par les genres suivants : *Hymenolepis*, *Trichuris*, *Ascaris* et *Taenia*.



**Figure 5** Evolution du nombre des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux.  
*Fecal coliforms and streptococcus number variations.*

Le nombre d'œufs d'helminthes parasites varie en fonction du temps (fig 6) et des fluctuations de la charge de l'effluent : 0 à 120 œufs par litre d'eau usée brute au niveau de l'effluent brut avec une valeur moyenne annuelle de 32 œufs par litre. Les œufs d'*Hymenolepis* sont les plus fréquemment retrouvés (21 %), suivis selon une fréquence décroissante par les œufs de *Trichuris* (19 %) et d'*Ascaris* (15 %).

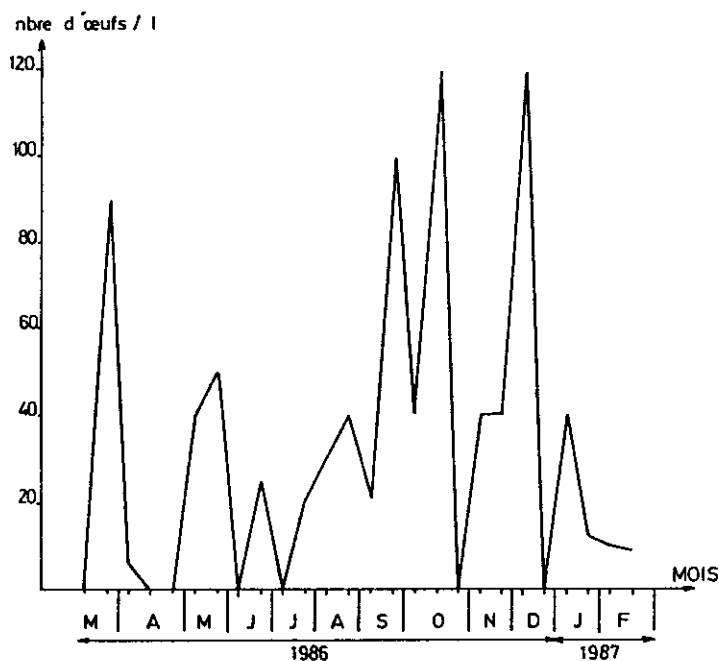


Figure 6 Evolution du nombre des œufs d'helminthes parasites au niveau de l'eau usée brute (E).

*Parasitical helminth eggs number variations of the influent (E).*

## Nématofaune

La nématofaune associée au chevelu racinaire de la jacinthe d'eau dans les bassins expérimentaux est représentée surtout par des nématodes bactériophages alors que les phytopathogènes et les zoopathogènes sont absents. Sur le plan sanitaire, cette observation est importante pour une réutilisation agricole éventuelle des effluents. Des nématodes bactériophages sont également présents dans l'effluent brut domestique.

## Statut taxonomique des trois genres rencontrés

- Ordre des Rhabditida, S/ordre des Rhabditina
- Superfamille des Diplogasteridea      Famille des Diplogasteridae  
Genre : *Mononchoides* sp
- Superfamille des rhabditoidea      Famille des Rhabditoitidae  
Genre : *Rhabditis* sp.
- Ordre des Araeolaimida
- Superfamille des Plectoidea      Famille des Plectidae  
Genre : *Plectus* sp.

La population nématologique au niveau de l'eau de l'effluent brut (station E) varie beaucoup en fonction du temps (fig. 7), le nombre de nématodes est très élevé. A la sortie des deux bassins le nombre de nématodes dans l'eau est plus faible, voire nul car le chevelu racinaire des jacinthes d'eau constitue un piège empêchant la sortie des nématodes.

Connaissant le nombre de nématodes présents au niveau du chevelu racinaire des jacinthes, dans chaque bassin nous avons pu faire une estimation de la biomasse nématofaunistique en appliquant la formule d'Andrassy (1956) :

$$10^6 \text{ nématodes} = 200 \text{ mg .}$$

Il apparait que le genre *Rhabditis* sp. est dominant (94,7 % du peuplement) (fig.8) et qu'il influence l'évolution de la nématofaune totale au niveau du bassin 1. Alors que les deux autres genres *Mononchoides* sp. et *Plectus* sp. sont rares (1,6 % et 3,7 % respectivement) et présentent peu de variations au cours du temps.

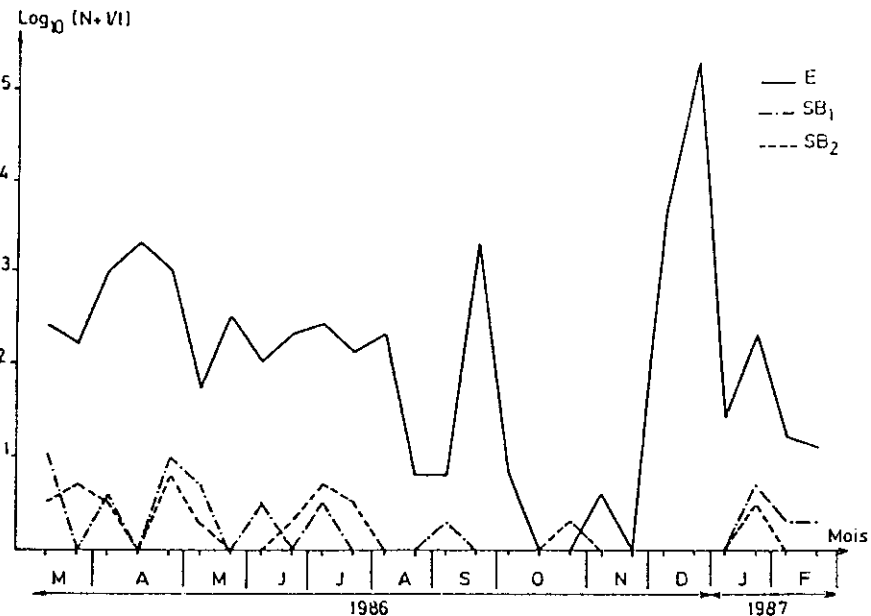


Figure 7 Evolution du nombre des nématodes (N) au niveau de l'eau usée brute (E) et de l'eau en sortie de bassin.

*Nematodes number variations of the influent (E) and the effluent.*

Par contre au niveau du deuxième bassin, les deux genres *Rhabditis* sp. et *Plectus* sp. dominent (fig. 8) et représentent respectivement 50 % et 49 % de la nématofaune totale.

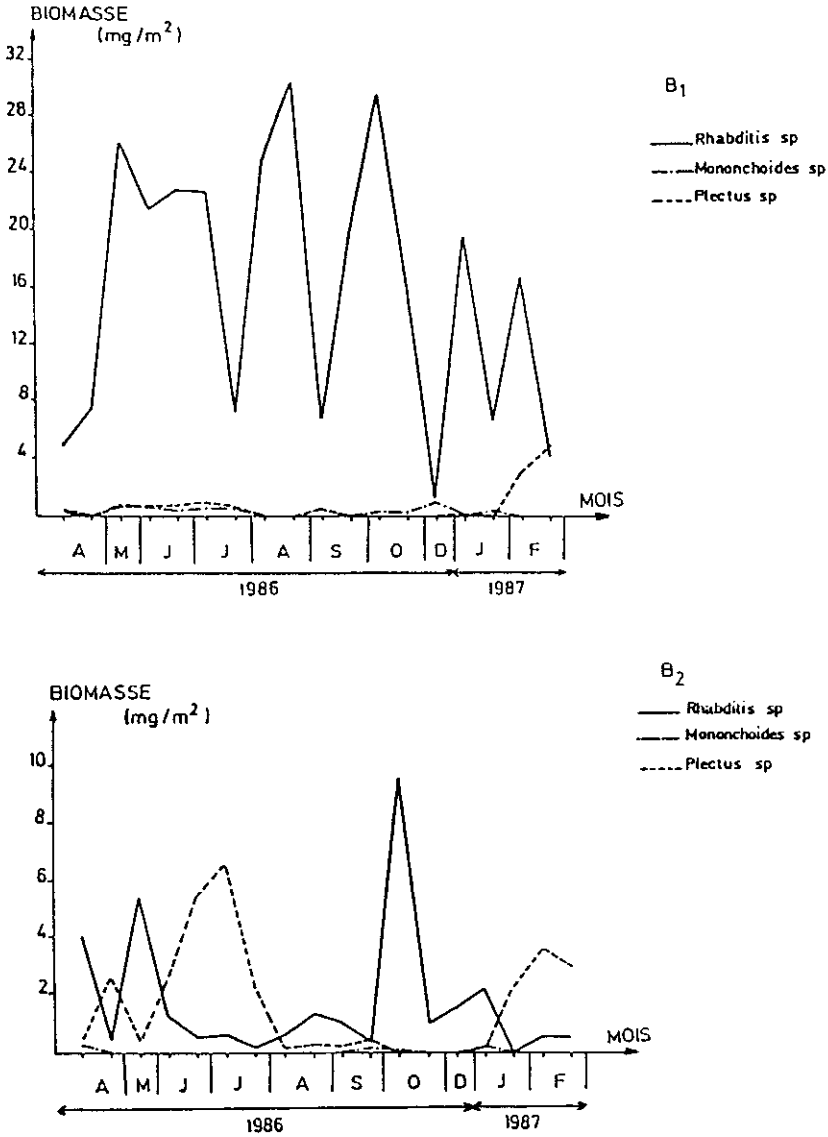


Figure 8 Evolution de la biomasse des nématodes dans le chevelu racinaire de jacinthes d'eau.

*Nematodes biomass variations in water hyacinths roots.*

## DISCUSSION

### Biomasse macrophytique

Plusieurs facteurs influencent les rendements en biomasse : la charge polluante, le temps de séjour, la programmation des récoltes, la disponibilité du terrain, la possibilité d'utilisation de la biomasse et finalement les conditions climatiques (GHETTI, 1982 ; SAUZE, 1984).

Sous l'aspect de la production macrophytique, les eaux résiduaires domestiques constituent un bon substrat nutritionnel pour *Eichhornia crassipes*. Les productions obtenues montrent dans l'ensemble une bonne adaptation de cette plante au climat méditerranéen aride.

Au début de l'expérience le nombre de plants a doublé en 12 jours ce qui est tout à fait cohérent avec les données de PENFOUND (1956), BOCK (1969) WESTLAKE (1963,1975) et SCULTHORPE (1967).

Les biomasses des jacinthes d'eau obtenues à Marrakech en période estivale sont comparables à ceux trouvées par WOOTEN et DODD (1976) : 2962 gMS/m<sup>2</sup> et par DINGES (1976) : 3184 gMS/m<sup>2</sup> sur effluents domestiques.

REDDY et TUCKER (1983) ont obtenu une productivité de jacinthes d'eau sur eaux usées, comprise entre 40-88 tonnes MS/ha/an. Les productivités moyennes relevées à Marrakech se trouvent incluses dans cette gamme avec 47 t MS/ha/an et 42 t MS/ha/an dans les bassins B1 et B2 respectivement.

Par contre nos rendements en biomasse sont supérieurs à ceux estimés en Malaisie (0,5 t MS/ha/an) par JOHN (1985).

Sous le climat aride de Marrakech, la période de croissance des jacinthes d'eau a duré 9 mois alors qu'elle a été de 10 mois sous climat subtropical (WOLVERTON et MC DONALD, 1979) . Cette durée est très courte sous climat froid et ne dépasse pas 6 mois (COPELLI *et al.*, 1982 ; DUBOIS 1983 ; SAUZE, 1983 ; DE CASABIANCA, 1985). En effet c'est la température qui représente un facteur limitant de la croissance des jacinthes d'eau. L'accroissement des jacinthes s'arrête à une température inférieure à 10 °C (FRANÇOIS, 1979 ; GOPAL, 1987) Cependant dans les bassins expérimentaux sous climat aride la température de l'eau a été toujours supérieure à 10 °C même en période hivernale.

### Rendements épuratoires

#### Charge organique

Les meilleurs rendements obtenus sont observés pendant la période estivale (d'avril à octobre ) et sont caractérisés par une élimination de 87 % de la DCO et 95 % des MEST contre respectivement 62 % et 82 % en hiver. Ce phénomène peut être lié d'une part à l'allongement du temps de séjour pendant cette période (9,4 jours) et d'autre part , à la forte densité de biomasse des jacinthes d'eau en été (27 Kg MF/m<sup>2</sup> en moyenne).

Une part importante du rôle épurateur des jacinthes d'eau réside dans le piégeage des matières en suspension donc incluant une fraction de la



pollution chimique, selon deux processus : filtration - absorption par le système racinaire et sédimentation en empêchant les mouvements horizontaux des matières en suspension (DINGES, 1981 ; SAUZE, 1984).

En période hivernale les rendements sont plus faibles surtout pour l'abatement de la DCO qui n'atteint que 60 %. En effet le pourrissement des plantes pendant l'hiver augmente la quantité de matières organiques dans les bassins en provoquant la production d'hydrogène sulfuré et d'odeurs désagréables : récoltes et aération sont des moyens efficaces pour éviter ces inconvénients selon HAUSER (1984).

En comparant à d'autres systèmes d'épuration étudiés il apparaît que les rendements épuratoires annuels obtenus sous climat aride sont meilleurs que ceux rencontrés dans des stations analogues en France (SAUZE, 1984) et sont aussi importants que ceux rencontrés dans une station au Texas (DINGES, 1981). Cela semble tout à fait normal compte tenu de l'ensoleillement et du régime des températures.

### *Charge bactérienne*

Comme pour la charge organique, les taux de réduction des abondances bactériennes sont plus importants en période estivale : 98,1 % pour les coliformes fécaux et 96,6 % pour les streptocoques fécaux.

Ces rendements sont supérieurs à ceux trouvés par DUBOIS (1983) : 96,5 % pour les coliformes fécaux. Les abattements de la charge bactérienne peuvent être améliorés en augmentant le temps de séjour (SAUZE, 1984).

Les mécanismes d'action de la jacinthe d'eau dans la décontamination des eaux sont encore mal connus. Toutefois, plusieurs hypothèses peuvent être émises :

- La jacinthe d'eau possède un système racinaire extensif lui permettant le piégeage des particules de toute nature en suspension (DINGES, 1981). Puisque ces particules en suspension représentent un support de choix pour la plupart des bactéries, ces dernières se trouvent donc éliminées par ce mécanisme .

- Le fait que les jacinthes d'eau empêchent les mouvements horizontaux de l'eau, aboutit à l'accélération de la vitesse de sédimentation des particules en suspension dans l'eau et, par conséquent, les bactéries qui y sont éventuellement fixées.

- Enfin, il est possible d'émettre l'hypothèse que la jacinthe d'eau serait capable de sécréter des substances chimiques qui pourraient avoir un effet bactériostatique ou bactéricide.

### *Charge parasitaire*

Les résultats obtenus montrent qu'il y a deux groupes d'œufs bien distincts : d'une part, les œufs d'helminthes parasites de l'homme ou des animaux, appartenant soit à la classe des Plathelminthes avec les genres *Taenia* et *Hymenolepis*, soit à la classe des Nématelminthes avec les genres *Trichuris* et *Ascaris* (BOURREE, 1983).

D'autres types d'œufs d'helminthes peuvent être rencontrés dans les eaux usées : *Toxocara*, *Oxyure*, *Capillaria* et *Toxascaris* (FOX et FITZGERALD, 1977).

Ces œufs d'helminthes n'ont donc été détectés qu'au niveau de l'effluent brut (E). Pour les autres stations, aucun œuf n'a été décelé par la technique de Bailenger, ce qui signifie un abattement de 100 % de la charge parasitologique. Deux hypothèses peuvent expliquer ce phénomène :

- Les œufs sont présents mais ils sont à la limite de détection par la méthode employée.

- Les œufs sont réellement absents au niveau de ces stations sachant que les œufs d'helminthes ont un poids spécifique élevé:

œufs d'*Ascaris* : densité 1,1

œufs de *Taenia* : densité 1, 1

œufs de *Trichuris* : densité 1,15

et de ce fait une grande aptitude à sédimenter. La vitesse de sédimentation est de 0,65 m/h pour *Ascaris* ; 0,26 m/h pour *Taenia* et de 1,5 m/h pour *Trichuris* (FEACHEM *et al.*, 1983).

Plusieurs auteurs affirment donc que le lagunage constitue un moyen très efficace pour éliminer les œufs d'helminthes à condition que certains paramètres comme le nombre de bassins et le temps de rétention soient respectés (GLOYNA, 1972 ; KOWAL, 1985).

Toutefois si au niveau de l'eau épurée, le risque parasitaire (œufs d'helminthes) est supprimé, une attention particulière devra être portée au niveau des sédiments lors d'une réutilisation agricole éventuelle.

### Nématofaune

Les résultats de cette étude montrent que la nématofaune associée à l'effluent domestique et au chevelu racinaire des jacinthes d'eau, est représentée par des nématodes bactériophages. L'abondance de ces derniers dans les effluents d'eaux usées, est surtout déterminée par l'existence de la nourriture bactérienne (CALAWAY, 1963 ; SHIEMER, 1976).

Dans le premier bassin, c'est le genre *Rhabditis sp.* qui domine au niveau du chevelu racinaire des jacinthes, alors que dans le second bassin les deux genres *Rhabditis sp.* et *Plectus sp.* se partagent le biotope. La présence des Plectidae dans le second bassin indique qu'il est nettement moins chargé (ZULLINI, 1976).

D'après ces résultats préliminaires, il apparaît que l'étude nématofaunistique dans un système épurateur peut révéler comme un bon outil d'étude bioécologique et les nématodes peuvent être utilisés comme indicateurs de la qualité de l'eau épurée par lagunage à macrophytes.

## CONCLUSION

Cette étude expérimentale a permis de montrer que la jacinthe d'eau *E. crassipes* est capable de croître sous le climat méditerranéen aride de Marrakech, et ce durant toute l'année.

Sous l'aspect de la production de la biomasse végétale, les effluents domestiques constituent un bon substrat nutritionnel. La productivité maximale obtenue en été est de 39 g MS/m<sup>2</sup>/j.

Les biomasses et les productivités obtenues sous climat aride sont proches de celles rencontrées sous climat subtropical et supérieures à celles trouvées sous climat tempéré.

Les rendements épuratoires sont satisfaisants en ce qui concerne l'abattement de la charge organique exprimée en DCO (87 % en période estivale). Ce système a par ailleurs fourni une bonne élimination des matières en suspension totale (95 %).

Sur le plan sanitaire, l'abattement de la charge bactérienne n'est pas négligeable, compte tenu du temps de séjour (7 jours) et de la présence de seulement deux bassins en série. Une amélioration du temps de séjour et un ou deux bassins supplémentaires donneraient probablement de meilleurs résultats. Par ailleurs, le système présente d'excellentes performances en ce qui concerne l'abattement de la charge parasitologique (100%). Mais on reste réduit aux hypothèses sur le devenir de cette charge !

Il est à noter aussi qu'aucun nématode parasite de vertébrés n'a été recensé dans le système. Toutefois, la nématofaune associée à l'effluent brut domestique et au chevelu racinaire des jacinthes d'eau, est représentée surtout par des nématodes consommateurs de bactéries. Les principaux genres déterminés sont: *Rhabditis*, *Plectus* et *Mononchoides*.

Cependant, sous le climat méditerranéen aride de Marrakech, deux problèmes majeurs se posent pour utiliser ce système épurateur à macrophyte : d'abord les pertes d'eau considérables par évapo-transpiration qui peuvent atteindre 60% en période estivale. Devant ce fait, l'utilisation de la jacinthe d'eau pour l'épuration des eaux usées domestiques pendant l'été dans le but de la réutilisation en agriculture, ne devrait pas être envisagée.

Le second problème est lié au fait que ce milieu est particulièrement favorable au développement du moustique, surtout en période estivale ; il devrait être résolu sans difficultés par les techniques actuelles (insecticides, prédateur de larves de moustiques...).

Toutefois, sur le plan économique, la jacinthe d'eau présente par ailleurs une très bonne productivité pendant l'été et pourrait être exploitée pour sa biomasse.

Des recherches plus poussées sont prévues dans le but d'optimiser le système de culture.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par l'action intégrée Maroco-Française n° 75 entre la Faculté des Sciences de Marrakech et l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc (France).

Nous tenons à remercier le Docteur B. BALEUX responsable de l'action intégrée du côté français, et Madame J. DARLEY responsable de l'action intégrée du côté marocain, pour leur collaboration à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier également, pour leur participation à ce travail, le Professeur J. SCHWARTZBROD (Faculté de Pharmacie, Nancy, France) et le Docteur SCOTTO LA MASEZE (INRA d'Antibes, France).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.F.N.O.R., 1983. Recueil des Normes Françaises : Eau. Méthodes d'essai. 2<sup>e</sup> édition. Paris.
- ANDRASSY I., 1956. The determination of the weight and volume of nematodes. *Acta Ecologica*. 2 (1-3), 1-15.
- BALEUX B., TROUSSELIER M., 1983. Evolution des bactéries témoins de contamination fécale et de *Pseudomonas aeruginosa* et *Aeromonas hydrophyla* dans un ouvrage d'épuration des eaux usées par lagunage (Mèze). Perpignan, 16-20 mai 1983, 63<sup>e</sup> congrès, rapport de Mèze, 82-83.
- BOCK J. H., 1969. Productivity of the water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Marti) Solms. *Ecology*. 50 (3), 460-4.
- BOUREE P., 1983. *Aide-mémoire de parasitologie et de pathologie tropicale*. Flammarion Médecine-Sciences, Paris, 281 p.
- CALAWAY W.T., 1963. Nematodes in wastewater treatment. *J. Water Pollut. Control Fed.* 35, 1006 - 1016.
- COPELLI M., GHETTI P.F. CORRADI M., 1981. *Eichhornia crassipes* cultivations on partially treated zootechnical wastewaters. Paper presented at the International Congress « Phytoepuration and use of the produced biomass », Parme, 15-16 mai, 57-70.
- CORNWEL D.A., EOLTEK J.Jr., PATRINELY C.D., FURMAN Th.de S., KIM J.I., 1977. Nutrient removal by water hyacinths. *J. Water Pollut. Control Fed.* 49, 57-65.
- DE CASABIANCA M.L.C., 1985. Production in repeated harvest systems (on waste water in the Languedoc region (France). *Biomass*. 7, 135-160.
- DINGES R., 1976. Who says, sewage treatment plant to be ugly ?. *Water and wastes Engineering*. 13 (14), 20-23.
- DINGES R., 1981. The employment of floating macrophytes for water depuration and biomass production. Conference University of Parma, Italy, May, 15-16.
- DUBOIS J.J. 1983. Epuration des eaux usées en lagunage expérimental à macrophytes : lentille d'eau, jacinthe d'eau et cresson de fontaine. Essais de Saint-Sauveur (Somme). Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Univ. de Picardie, U.E.R. Sciences d'Amiens.
- FEACHEM R.G., BRADLEY D.J., GARELICK H., MARA D.C., 1983. *Sanitation and disease Health aspects of excreta and waste water management*. John Wiley ed., 380-393
- FOX J.C., FITZGERALD P.R., 1977. Parasites content of municipal wastes from the Chicago area. *J. Parasit.* 63, 73-81.

- FRANCOIS J., 1979. La jacinthe d'eau, fléau aquatique ou hydrophyte d'avenir ?. *Annales de Gembloux*, 85, 73-81.
- GHETTI P.F., COPELLI M., CORRADI M., FARRUGIA G., VIAROLI P. 1982. Perspectives en phytoépuration par les macrophytes flottants dans les régions continentales. L'épuration par lagunage. *Communications Scientifiques, Montpellier*, 2-3-4 juin.
- GLOYNA E.F., 1972. Bassin de stabilisation des eaux usées, O.M.S., Genève, 187 p.
- GOPAL B., 1987. *Water hyacinth aquatic plant studies 1*. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, 471 p.
- HAUSER J.R. 1984. Use of water hyacinth aquatic treatment systems for ammonia control and effluent polishing. *J. Water Pollut. Control Fed.* 56 (3), 219-225.
- JENKINS W.R., 1964. A rapid centrifugal-fotation for separating nematodes from soil. *Plant disease reporter*, 48 (9), 692-693.
- JOHN GK., 1985. Treatment of agro-industrial wastes using water hyacinth. *Wat.Sci. Tech.*, Amsterdam, Vol. 17, 781-790.
- KOWAL N.E., 1985. Health effects of land application of municipal sludge. EPA 600/1. 85-015, p. 33-38.
- LEGENDRE P., BALEUX B., TROUSSELIER M., 1984. Dynamics of Pollution-Indicator and Heterotrophic Bacteria in Sewage Treatment Lagoons. *Appl. Environ. Microbiol.* 48 (3), 586-593.
- MONFORT P., BALEUX B., 1990. Dynamics of *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas solvia*, and *Aeromonas cavia* in a Sewage treatment pond. *Appl. Environ. Microbiol.* 56 (7), 1999-2006.
- PAWLOWSKI Z.S., SCHULTZBERG K., 1985. Ascariasis and sewage in Europe. In *Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge: knowledge and needs*, ed. Block J.C., Havelaar A.H. and l'Hermite P., 102 - 105 .
- PENFOUND W.T., 1956. Primary production of vascular aquatic plants. *Limmol. Oceanog.*, 1, 92-101.
- REDDY K.R., TUCKER J.C., 1983. Effect of nitrogen source on productivity and nutrient uptake of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Econ. Bot.*, 37, 236-246.
- RODIER K.R., 1984. L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 7<sup>e</sup> éd., Dunod, 1365 p.
- SAUZE F., 1983. Croissance de la jacinthe d'eau en eau résiduaire urbaine et effet épuratoire de la culture (1<sup>re</sup> partie). *Ecol. Med.* 9 (3-4), 55-77.
- SAUZE F., 1984. Croissance de la jacinthe d'eau en eau résiduaire urbaine et effet épuratoire de la culture (2<sup>e</sup> partie). *Ecol. Med.* 10 (3-4), 51-73.
- SCULTHORPE C.D., 1967. *The biology of aquatic vascular plants*. Edward Arnold Publ., London.
- SHIEMER F., 1976. Nematoda. Helminthological Abstracts, series B, 45 (3), 269-288.
- WESTLAKE D.F., 1963. Comparisons of plant productivity. *Biol. Rev.*, 38, 385-425.
- WESTLAKE DF., 1975. Primary production of freshwater macrophytes. In Cooper J.P (ed.): *Photosynthesis and productivity in different environments*. Cambridge, London, New York, Melbourne, 715 p.
- WOLVERTON B.C., MC DONALD R.C., 1976. Water hyacinths for upgrading lagoons to meet advanced waste-water treatment standards. Section I, Part.2. Technical Memorandum x-72730. Compiled data on the vascular aquatic plant : 1975-1977. NASA, 19-42.
- WOLVERTON R.C., MC KOWN, 1976. Application of vascular aquatic plant for pollution removal, energy and food. Production in a biological system. *Biological control of water pollution*. 141-149.
- WOLVERTON BC., MC DONALD R.C., 1978. Up Grading facultative waste stabilization ponds with vascular aquatic plants. Section I, part.I. ERL report (172). Compiled data on the vascular aquatic plant Program., 1975-1977, NASA, 1-18.
- WOLVERTON B.C., MC DONALD R.C., 1979. Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). Productivity and harvesting studies. *Econ. Bot.* 33 (1), 1-10.
- WOOTEN J.W., DODD J.D., 1976. Growth of water hyacinths in treated sewage effluent. *Econ. Bot.* 30 (1), 29-37.
- ZULLINI A., 1976. Nematodes as indicators of river pollution. *Nematol. medit.*, 4, 13-22.