

# THÈSE de DOCTORAT d'ETAT

présentée à

L'U.F.R. DES SCIENCES EXACTES  
ET APPLIQUÉES DE L'UNIVERSITÉ  
DE OUAGADOUGOU

pour obtenir le

**GRADE DE DOCTEUR D'ETAT es Sciences Physiques**

**Spécialité : Sciences et techniques de l'environnement**

*Epuration des eaux usées par lagunage  
expérimental en climat tropical :  
Etude comparative de lagunages à microphytes et à  
macrophytes - Valorisation des sous produits.*

par

**Mahaman Sani LAOUALI**

Docteur es sciences de l'Université de Montpellier II

Soutenu le 17 juin 2003

Après avis de :

**Rapporteurs**

M. ALMOU Maître de Conférences Université de Niamey (Niger)  
M. SEIDL Docteur es-sciences - Chercheur au Cereve-ENPC Paris (France)  
J. PIRO Docteur es-sciences - Université de Ouagadougou (Burkina Faso)

devant la Commission d'Examen :

**Présidente**

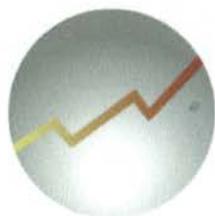
Y. B.DUPANLOUP Professeur Université de Lyon 1

**Directeur de thèse  
Codirecteur de thèse**

J. KOULIDIATI Maître de Conférences Université de Ouagadougou (Burkina Faso)  
J. B. LEGMA Professeur Université de Ouagadougou (Burkina Faso)  
J. C. GOUDEAU Professeur Associé Université de Ouagadougou (Burkina Faso)  
F. ZOUGMORE Maître de Conférences Université de Ouagadougou (Burkina Faso)

**Invité**

A. OUEDRAOGO Ingénieur, Office National de l'Eau et de l'Assainissement (Burkina Faso)



ONG AQUADEV



# UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

**Président** : Monsieur le Professeur Alfred. S. TRAORE

**Vices Présidents** : Pr. S. GUINKO, Pr. J. PARE, Pr. F.R. TALL.

## U.F.R. DES SCIENCES EXACTES ET APPLIQUEES

### DIRECTEUR

Pr. Jean Boukary LEGMA, Chimie

### DIRECTEUR ADJOINT

Pr. Gerard SEGDA, Physique

### PROFESSEUR HONORAIRE

Pr. Yembila TOGUIENI

### PROFESSEURS TITULAIRES

NACRO Mouhousseine	: Chimie	KOULIBALY Akry	: Mathématiques
OUEDRAOGO Guy Venace	: Chimie	TOURE Hamidou	: Mathématiques
LEGMA Jean Boukary	: Chimie	OUATTARA Moussa	: Mathématiques

### MAITRES DE CONFERENCES

BARY Aboudramane	: Chimie	SEGDA Gerard	: Physique
BONZI/COULIBALY Yvonne	: Chimie	SIE Oumarou	: Informatique
KOUDA/FONAFOS Marie	: Chimie	SOME Blaise	: Mathématiques
KOULIDIATI Jean	: Physique	TAPSOBA I.M.Théodore	: Mathématiques
OUEDRAOGO Raguilnaaba	: Chimie	OUEDRAOGO Alioune	: Physique
SABA Adama	: Chimie	ZOUGMORE François	: Physique

### MAITRES ASSISTANTS

BATIOBO Joseph	: Physique	OUEDRAOGO Gontibo	: Physique
BAYO Kalifa	: Chimie	OUEDRAOGO Alioune	: Physique
BONKIAN.S.Marcel	: Probabilité	PILABRE Boukary	: Mathématiques
BONOU Lucien	: Chimie	SOME Longin	: Mathématiques
BONZIK. Bernard	: Mathématiques	SOUGOTI Moussa	: Physique
GADIAGA Dembo	: Probabilité/Statistique	TRAORE Kalifa	: Mathématiques
GUEL Boubié	: Chimie	TRAORE Karfa	: Chimie
KIENTEGA Gerard	: Mathématiques	TOURE Alfred	: Mathématiques
KIENOU Florent	: Physique	AMIDOU Boubacar Yobi	: Mathématiques
KOALGA Zacharie	: Physique	ZONGO O. Michel	: Physique
CISSE Ousmane	: Physique	SEYNOU Aboubacar	: Mathématiques
GUIGUEMDE Issiaka	: Chimie	KAFANDO Pétronille	: Physique

### ASSISTANTS

BERE Come	: Mathématiques	OUEDRAOGO. M. Françoise	: Mathématiques
BERE Antoine	: Physique	PALE Eloi	: Chimie
TAPSOBA Edouard	: Chimie	Mme BAYO	: Chimie
OUARO Stanislas	: Mathématiques	SAWADOGO Aboubakar	: Physique

**Secrétaire Principal** : DA. D. Auguste

**Responsable de la scolarité** : KOURAOGO B. Sidiki

**Chef du Service Administratif et Financier** : OUEDRAOGO. Marc

A ma famille à Tessaoua  
A ma famille à Niamey  
A tous ceux qui me sont chers

## **Remerciements :**

Ce travail a été possible grâce au soutien financier de la Commission Européenne et du Ministère Français de l'environnement dans le cadre du programme pS-Eau avec la collaboration de l'ONG AQUADEV. Qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma reconnaissance.

Que Monsieur Jean PIRO qui est à l'origine de mes premiers pas vers la chimie de l'eau et de l'environnement et qui m'a toujours conseillé et encouragé dans mes activités de recherches, trouve ici le témoignage de ma profonde gratitude.

Les mots me manquent pour témoigner aux Professeurs Jean KOULIDIATI et Jean Boukary LEGMA, toute ma reconnaissance et tous mes remerciements pour m'avoir accepté dans leur laboratoire et avoir accepté de diriger ce travail. Qu'il me soit permis ici, de leurs rendre un hommage mérité pour les efforts qu'ils fournissent pour la formation des jeunes nigériens.

Je remercie très sincèrement le Professeur Alfred. S. TRAORE, président de l'Université de Ouagadougou pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury malgré ses multiples occupations.

Je suis particulièrement sensible à la présence dans le jury, du Professeur Y. BOUVET DUPANLOUP, directrice de l'Institut du Génie de l'Environnement Eco-développement (IGEE) de l'Université Claude Bernard de Lyon I (UCBL1) et chargée de mission de l'UNESCO pour créer et animer l'Université Internationale du Développement Durable (UIDD).

Il m'est agréable de remercier infiniment le Professeur Jean Claude GOUDEAU, professeur associé de l'université de Ouagadougou pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de siéger dans le jury..

Que Monsieur François ZOUGMORE Maître de conférences à l'université de Ouagadougou trouve ici l'expression de toute ma reconnaissance pour sa présence dans le jury.

Mes remerciements vont également à Monsieur A. OUEDRAOGO de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement du Burkina Faso pour avoir accepté de faire partie du jury.

C'est pour moi ici, l'occasion d'exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à Monsieur ALMOU Mamane, maître de conférences à l'université Abdou Moumouni de Niamey pour l'honneur qu'il me fait d'être le rapporteur de cette thèse.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur Martin SEIDL, enseignant chercheur, ingénieur agronome de l'université Wageningen Pays-Bas, Docteur es sciences de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées de Paris, pour son aide, ses sages conseils et la sympathie qu'il n'a jamais cessé de me témoigner. Qu'il soit assuré de toute ma reconnaissance et toute mon amitié.

Je remercie sincèrement mes collègues du département de chimie et ceux de la faculté des sciences de Niamey en général, avec en leur tête Monsieur le Doyen, pour le soutien qu'ils m'ont apporté.

J'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur le Ministre des enseignements secondaire et supérieur de la république du Niger pour le soutien qu'il m'a accordé dans la finalisation de ce travail.

J'aimerais adresser une motion spéciale à mes collaborateurs : Messieurs ZAKI Ousmane, ALI Nouhou, Soumaïla SOULEY, ALI Garba et Sahabi GADO dit Bagoudou, pour les efforts qu'ils ont fourni tout au long de ce travail. J'ai eu du plaisir à partager du temps agréable aussi bien sur le plan du travail que sur le plan social avec cette formidable équipe à qui j'adresse tous mes remerciements et un hommage mérité.

A tous ceux qui, de près ou de loin m'ont apporté leur soutien et ont contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce travail, grand merci.

*LACINA Mahaman Sami*

## Résumé :

Pour des raisons imputables d'une part à l'accroissement démographique et d'autre part aux mauvaises habitudes, la situation de l'assainissement en Afrique est très préoccupante. Dans la plupart des quartiers des villes africaines, les systèmes de collecte et de traitement des eaux usées sont très peu développés voire inexistantes. De ce fait, d'importantes quantités d'eaux usées sont quotidiennement déversées dans la nature sans aucun traitement.

Pourtant la plupart des états africains ont compris la nécessité de traiter leurs eaux usées, mais se heurtent au choix technologique par ce que les stations conventionnelles qui leurs avaient été proposées se sont révélées inadaptées à leur environnement socio-économique.

Des scientifiques africains, aidés par leurs collègues des pays du nord, se sont penchés sur la question en vue de trouver des alternatives à ce type de technologie. Ils ont vite compris la nécessité d'utiliser des technologies naturelles en particulier le lagunage.

En matière de lagunage, différentes études ont été menées au Sahel, mais la plupart ont été menées de façon isolée et ne permettent pas de ce point de vue une comparaison objective des différents types de lagunages.

Depuis plus de vingt ans que le lagunage a été introduit en Afrique de l'Ouest, actuellement seuls trois centres de recherches sont opérationnels : le centre de recherche de Dakar, celui de l'EIER de Ouagadougou et le centre de Niamey.

La station expérimentale de Niamey, créée en 1998, en partenariat avec l'ONG AQUADEV, sur financement de la commission européenne, a pour objectif la recherche d'une filière de traitement des eaux usées aussi complète que possible pour les régions sahéliennes et parfaitement adaptée au contexte local.

Pour atteindre cet objectif, plusieurs expériences ont été menées qui consistent à comparer systématiquement et dans les mêmes conditions plusieurs filières d'épuration fonctionnant sur le principe du lagunage naturel.

Toutes les variantes du lagunage sont testées sur le site : le lagunage à microphytes, le lagunage à macrophytes flottants, le lagunage à macrophytes enracinés et le lagunage anaérobie.

Au sein d'une filière, seul les agencements des bassins diffèrent. C'est la seule des trois stations expérimentales de la sous région qui offre une telle possibilité.

Quatre filières ont été testées simultanément :

- La filière F\_mac, composée de deux bassins à jacinthes d'eau et un bassin contenant du gravier planté de bourgou ;
- La filière F\_lem, composée de trois bassins à lentilles d'eau ;
- La filière F\_lemte, composée de six bassins dont trois à microphytes en tête et les trois derniers à macrophytes.
- La filière F\_ref, qui un lagunage naturel à microphytes, qui fait office de filière de référence.

Les performances des quatre filières testées sont évaluées sur la base de comparaison des résultats.

La filière F\_mac, s'est révélée être la plus performante aussi bien sur le plan physico-chimique que sur le plan bactériologique ; avec 95% d'abattement sur les MES, 94% sur les orthophosphates, 85% sur la DCO, 80% sur la DBO5 et 99,99% sur les coliformes.

Les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives sur le plan physico-chimique, entre les filières à lentilles d'eau et la filière à lagunage naturel à microphytes.

Alors qu'une station d'épuration intensive se contente simplement d'épurer, le lagunage offre l'immense avantage de générer des sous produits directement valorisables. Sur le site de Niamey, plusieurs activités de valorisation des sous produits ont été développées :

- L'irrigation des plantes forestières a montré que les eaux usées permettent d'obtenir une production en biomasse plus importante que celle avec les eaux claires de la ville. On peut obtenir jusqu'à 9,2 tonnes de matière fraîche à l'hectare sur le *Moringa Oleifera*.

- La production de lentilles d'eau, de l'ordre de 700 Kg de matière fraîche par hectare et par jour, a permis une production de Tilapia d'environ 500 Kg/ha/jour.

- Les panneaux agglomérés à base de la jacinthe d'eau est une innovation qui confère à la plante une image autre que celle d'une plante ennemie pour l'homme.

Il est à noter que la maîtrise de ces productions en est à ses balbutiements. Il convient d'accroître la recherche – développement dans ces domaines. Le cite pilote de Niamey est idéal pour ces travaux.

## Table des matières

INTRODUCTION	1
<u>Chapitre 1:</u>	4
EPURATION DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE : ETAT DES LIEUX DES SITES EXPERIMENTAUX EN AFRIQUE DE L'OUEST	
1.1 LE TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE :	5
1.1.1 Les lagunes anaérobies :	5
1.1.2 les lagunes aérobies	6
1.1.3 les lagunes facultatives	7
1.1.4 Edifice biologique : composition et rôle dans l'épuration :	8
1.1.5 les lagunes à macrophytes	11
1.2 LES STATIONS EXPERIMENTALES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE EN AFRIQUE DE L' OUEST :	13
1.2.1 L'expérience de la Côte d'Ivoire :	13
1.2.2 L'expérience du Sénégal	14
1.2.3 La station d'épuration de l'EIER :	15
1.2.4 La station d'épuration pilote de Niamey :	16
<u>Chapitre 2:</u>	19
DISPOSITIF EXPERIMENTAL	
2.1. LA STATION D'EPURATION PILOTE DE NIAMEY :	21
2.1.1. Les systèmes et filières expérimentés :	23

2.1.1.1	Expérience n°1 : du 10/6/99 au 27/10/99	23
2.1.1.2	Expérience n°2 : du 03/02/2000 au 02/08/2000	23
2.1.1.3	Expérience n°3 : du 01/03/2002 au 29/06/2003	25
2.2	METHODES D'ANALYSE ET D'ECHANTILLONNAGE :	25
2.3	FACTEURS CLIMATIQUES SUR NIAMEY :	29
<u>Chapitre 3 :</u>		32
	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DES SYSTEMES TESTÉS EN TETE DE FILIERE	
	INTRODUCTION	33
3.1.	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DU SYSTEME ANAEROBIE EN TETE DE FILIERE	34
3.1.1	Généralités sur le lagunage anaérobie :	34
3.1.2	Paramètres physiques à la sortie du bassin anaérobie :	36
3.1.2.1	Evolution de la température :	36
3.1.2.2	Evolution du pH	38
3.1.2.3	Etat d'oxygénation du bassin	39
3.1.2.4	Evolution de la conductivité	39
3.1.3	Performances du bassin anaérobie vis à vis des charges organiques	40
3.1.3.1	les matières en suspension (MES) :	40
3.1.3.2	La demande chimique en oxygène (DCO):	41
3.1.3.3	La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5) :	43

3.1.4	Evolution des composés azotés dans le bassin anaérobie :	45
3.1.4.1	Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)	45
3.1.4.2	Evolution de l'azote ammoniacal	47
3.1.5	Evolution des orthophosphates dans le bassin anaérobie :	48
3.2	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DE LA JACINTHE D'EAU EN TETE DE FILIERE :	49
3.2.1	La jacinthe d'eau dans le traitement des eaux usées:	49
3.2.2	Paramètres physiques dans le bassin à jacinthes en tête de filière :	52
3.2.2.1	Evolution de la température :	52
3.2.2.2	Evolution du pH	54
3.2.2.3	Etat d'oxygénation du bassin	55
3.2.2.4	Evolution de la conductivité	56
3.2.3	Performances du bassin à jacinthes vis à vis des charges organiques	57
3.2.3.1	Les matières en suspension (MES) :	57
3.2.3.2	La demande chimique en oxygène (DCO):	58
3.2.3.3	La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	60
3.2.4	Evolution des composés azotés dans le bassin à jacinthes	61
3.2.4.1	Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)	61
3.2.4.2	Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )	63
3.2.5	Evolution des orthophosphates dans le bassin à jacinthes	64

3.3	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DES LENTILLES D'EAU EN TETE DE FILIERE :	66
3.3.1	Les lentilles d'eau dans l'épuration des eaux usées	66
3.3.2	Paramètres physiques dans le bassin à lentilles :	68
3.3.2.1	Evolution de la température :	68
3.3.2.2	Evolution du pH	70
3.3.2.3	Etat d'oxygénation du bassin	71
3.3.2.4	Evolution de la conductivité	73
3.3.3	Performances du bassin à lentilles vis à vis des charges organiques	73
3.3.3.1	les matières en suspension (MES) :	73
3.3.3.2	La demande chimique en oxygène (DCO):	74
3.3.3.3	La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	76
3.3.4	Evolution des composés azotés dans le bassin à lentilles :	78
3.3.4.1	Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)	78
3.3.4.2	Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )	80
3.3.5	Evolution des orthophosphates dans le bassin à lentilles :	81
3.4	COMPARAISON DES SYSTEMES TESTES EN TETE DE FILIERE	83
3.4.1	Comparaison des moyennes des DCO brutes:	84
3.4.2	Comparaison des moyennes des MES :	86
3.4.3	Comparaison des moyennes des DBO brutes:	87
3.4.4	Comparaison des moyennes des NTK bruts :	89

3.4.5	Comparaison des moyennes des $\text{NH}_4$ :	91
3.4.6	Comparaison des moyennes des $\text{PO}_4$ :	92
	CONCLUSION :	94
	<u>Chapitre 4 :</u>	95
	PERFORMENCES DES FILIÈRES EXPÉRIMENTÉES	
	INTRODUCTION :	95
4.1	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE : Jacinthes + Jacinthes + Bourgou ( F_mac ).	97
4.1.1	Paramètres physiques sortie filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F_mac ). :	98
4.1.1.1	Evolution de la température :	98
4.1.1.2	Evolution du pH	99
4.1.1.3	Etat d'oxygénation du bassin	99
4.1.1.4	Evolution de la conductivité	100
4.1.2	Performances de la filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F_mac ) vis à vis des charges organiques	101
4.1.2.1	les matières en suspension (MES) :	101
4.1.2.2	La demande chimique en oxygène (DCO):	102
4.1.2.3	La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	104
4.1.3	Evolution des composés azotés sortie filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F_mac ). :	107
4.1.3.1	Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)	107
4.1.3.2	Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )	108

4.1.4	Evolution des orthophosphates sortie filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F_mac ). :	109
4.1.5	Performance de la filière F_mac vis à vis de la charge microbiologique :	110
4.2	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE : Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F_lem ).	113
4.2.1	Paramètres physiques sortie filière Lentilles + Lentilles + Microphytes (F_lem ):	113
4.2.1.1	Evolution de la température :	113
4.2.1.2	Evolution du pH	114
4.2.1.3	Etat d'oxygénation du bassin	115
4.2.1.4	Evolution de la conductivité :	115
4.2.2	Performances de la filière Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F_lem ) vis à vis des charges organiques :	116
4.2.2.1	les matières en suspension (MES) :	116
4.2.2.2	La demande chimique en oxygène (DCO):	117
4.2.2.3	La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	119
4.2.3	Evolution des composés azotés sortie filière Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F_lem ) :	121
4.2.3.1	Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)	121
4.2.3.2	Evolution de l'azote ammoniacal ( NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	123
4.2.4	Evolution des orthophosphates sortie filière Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F_lem ) :	124
4.2.5	Performance de la filière F_lem vis à vis de la charge microbiologique :	125

4.3	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE : ( F_lemte ) Microphytes + Microphytes + Microphytes +Lentilles + Lentilles +Lentilles.	127
4.3.1	Paramètres physiques sortie filière F_lemte :	127
4.3.1.1	Evolution de la température :	127
4.3.1.2	Evolution du pH	128
4.3.1.3	Etat d'oxygénation du bassin	129
4.3.1.4	Evolution de la conductivité	130
4.3.2	Performances de la filière F_lemte vis à vis des charges organiques :	131
4.3.2.1	les matières en suspension (MES) :	131
4.3.2.2	La demande chimique en oxygène (DCO):	132
4.3.2.3	La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	134
4.3.3	Evolution des composés azotés sortie F_lemte	136
4.3.3.1	Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)	136
4.3.3.2	Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )	138
4.3.4	Evolution des orthophosphates sortie filière F_lemte :	139
4.3.5	Performance de la filière F_lemte vis à vis de la charge microbiologique :	140
4.4	FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE :Anaérobie + Microphytes + Microphytes ( F_ref ).	142
4.4.1	Paramètres physiques sortie filière F_ref :	142
4.4.1.1	Evolution de la température :	142
4.4.1.2	Evolution du pH	143
4.4.1.3	Etat d'oxygénation du bassin	144

4.4.1.4	Evolution de la conductivité	145
4.4.2	Performances de la filière (F_ref) vis à vis des charges organiques :	146
4.4.2.1	les matières en suspension (MES) :	146
4.4.2.2	La demande chimique en oxygène (DCO):	147
4.4.3	Evolution des composés azotés sortie filière F_ref :	148
4.4.3.1	Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)	148
4.4.3.2	Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )	150
4.4.4	Evolution des orthophosphates sortie filière F_ref :	150
4.5	COMPARAISON DES PERFORMANCES EPURATOIRES DES DIFFERENTES FILIERES TESTEES.	152
4.5.1	Comparaison des moyennes des MES:	153
4.5.2	Comparaison des moyennes des DCO brutes:	155
4.5.3	Comparaison des moyennes des DBO5 brutes:	157
4.5.4	Comparaison des moyennes des NTK bruts:	158
4.5.5	Comparaison des moyennes des $\text{NH}_4$ :	160
4.5.6	Comparaison des moyennes des $\text{PO}_4$ :	161
	CONCLUSION :	162
	<u>Chapitre 5:</u>	163
	VALORISATION DES EFFLUENTS ÉPURÉS ET DE LA BIOMASSE PRODUITE	
5.1	UTILISATION DES EAUX EPUREES POUR L'IRRIGATION DES PLANTES FORESTIERES	164

INTRODUCTION	164
5.1.1 Etat actuel de la réutilisation des eaux usées dans la ville de Niamey	165
5.1.2 Description des espèces utilisées :	166
5.1.2.1 Le Leptadenia Hastata :	166
5.1.2.2 Le Moringa Oleifera :	168
5.1.3 Qualité des eaux utilisées	169
5.1.4 Irrigation	169
5.1.4.1 Traitements	170
5.1.5 Paramètres mesurés	171
5.1.6 Résultats expérimentaux :	171
5.1.6.1 Suivi de la croissance en diamètres.	172
5.1.6.2 Suivi de la croissance en hauteur	173
5.1.6.3 Suivi de la croissance en nombre de feuilles	174
CONCLUSION :	176
5.2 LENTILLES D'EAU ET TILAPIA : un mode de valorisation intégrée des sous produits de l'épuration.	177
5.2.1 Quelques données biologiques sur le Tilapia	178
5.2.2 Les lentilles d'eau dans l'alimentation des animaux:	180
5.2.3 Matériel et méthodes	181
5.2.3.1 La pisciculture:	181
5.2.3.2 Récolte des lentilles d'eau :	182

5.2.4	Résultats expérimentaux	184
5.2.4.1	Evolution de la température :	184
5.2.4.2	Evolution de l'oxygène dissous :	185
5.2.4.3	Evolution du pH :	186
5.2.4.4	Evolution du $\text{NH}_4$ :	187
5.2.4.5	Evolution du poids moyen individuel :	188
5.2.4.6	La production des lentilles d'eau dans les bassins d'épuration :	189
5.2.4.7.	CONCLUSION :	189
5.3	LA JACINTHE D'EAU DANS LA FABRICATION DU PANNEAU AGGLOMERE.	190
	INTRODUCTION :	190
5.3.1	Productivité de la jacinthe dans les bassins d'épuration	192
5.3.2	Principe de fabrication du panneau aggloméré:	193
5.3.3	Principales étapes de fabrication du panneau aggloméré:	193
	CONCLUSION :	194
	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES :	195
	ANNEXES	

## INTRODUCTION

L'accroissement démographique qui caractérise les pays en voie de développement fait que les grandes villes africaines sont aujourd'hui soumises à de nombreux défis à relever dont le problème crucial de l'assainissement.

D'importantes quantités d'eaux usées sont ainsi produites chaque jour et leur élimination insuffisante a un effet désastreux sur l'aspect esthétique de la ville, sur la santé de la population et sur les ressources en eaux.

Pourtant la plupart des états africains ont compris la nécessité de traiter ces eaux et ont même adopté des schémas directeurs dans le domaine de l'assainissement.

Aujourd'hui ces états se heurtent à un choix technologique parce que les stations d'épuration conventionnelles qui leur avaient été proposées se sont révélées inadaptées au contexte socio-économique et à l'environnement de leurs pays.

Sur 155 stations d'épuration recensées en 1993, 75% étaient des boues activées et seulement 25% d'entre elles fonctionnent plus ou moins bien. **[Morel M. 1998]**.

De ce point de vue, la nécessité de trouver des alternatives à ce type de technologie d'épuration devient une impérative.

Depuis un peu plus d'une vingtaine d'année, est apparu dans les pays en voie de développement, en Afrique de l'ouest en particulier, un système d'épuration qualifié de moins coûteux et doté d'une simplicité d'exploitation. C'est la technologie du lagunage naturel. Il offre en plus la possibilité de générer des sous produits que l'on peut rentabiliser.

Deux types de lagunage sont actuellement en expérimentation en Afrique de l'Ouest.

- le lagunage à microphytes, utilisant des bassins dont la tranche d'eau varie de 0,8 à 1,5m de profondeur, où prolifèrent du phytoplancton, du zooplancton et des bactéries. Il ne requiert que de l'énergie solaire pour fonctionner. Un temps de séjour suffisant combiné aux effets de pH et des rayons U.V. assurent l'élimination des germes pathogènes. Il est doté d'une grande souplesse dans l'exploitation et la gestion. Il s'intègre parfaitement dans le contexte des pays africains. D'où l'intérêt que les décideurs politiques lui ont accordé.

- Le lagunage à macrophytes flottants dont le premier à base de *Pistia Stratiotes* ( laitue d'eau) a été mis au point par Y. CHARBONNEL et a fait l'objet d'un brevet déposé à l'OAPI (Organisation Africaine de la Propreté Intellectuelle ) en 1986. Plusieurs autres types de végétaux sont actuellement utilisés dans l'épuration des eaux usées.

Les études ont montré que tout en étant performant, le système à macrophytes présente beaucoup moins de risques de dysfonctionnement que le lagunage à microphytes. De plus les plantes aquatiques poussent toute l'année ce qui offre beaucoup plus de possibilités de valorisation.

Plusieurs études ont été réalisées sur le fonctionnement du lagunage dans des conditions africaines. Non seulement très peu de données sont publiées sur les résultats acquis, mais aussi et surtout ces études ont été effectuées soit dans des régions différentes, soit à des périodes différentes de l'année et avec des effluents différents. Ce qui ne permet pas de faire une comparaison systématique et objective des différentes techniques de lagunage.

Le présent travail est le premier du genre en Afrique de l'ouest, qui a réalisé un suivi sur le fonctionnement de systèmes à microphytes et à macrophytes, sur le même site, dans la même période, dans les mêmes conditions climatiques et avec les mêmes charges hydrauliques et polluantes.

L'objectif de notre étude, est la recherche d'une filière de traitement des eaux usées pour les régions tropicales, aussi complète que possible, performante, fiable, aisément maîtrisable et réalisable dans des conditions socio-économiques de nos régions.

Pour cela, nous nous sommes donnés comme tâche, de recueillir un ensemble de données utiles qui permettraient de comprendre le fonctionnement des bassins d'épuration à microphytes et à macrophytes, et de situer la hiérarchie de chaque système dans la filière de traitement.

Les performances des filières ainsi reconstituées, sont analysés par rapport aux rendements épuratoires de la pollution organique, azotée et bactérienne.

Dans l'optique de réduire les coûts d'entretien des ouvrages, nous avons testé plusieurs possibilités de valorisation :

- L'utilisation des eaux épurées pour l'élevage des poissons. En effet les qualités physico-chimiques et bactériologiques des eaux issues d'une épuration par lagunage s'y prêtent bien à une telle activité. De plus le poisson est un aliment très riche en protéine recherché en Afrique.
- L'utilisation des eaux épurées pour l'irrigation des plantes couramment consommées en Afrique de l'ouest. L'eau est une denrée très rare dans notre sous région. De plus les déficits très fréquents de la pluviométrie, font de cette possibilité, une activité intéressante et très prometteuse.
- L'utilisation des macrophytes dans l'alimentation des animaux (poissons, volaille, ruminants), surtout que le fourrage fait défaut plusieurs mois dans l'année.
- La fabrication de panneaux agglomérés sous forme de « contre-plaqué » à partir de certains macrophytes comme la jacinthe d'eau. En effet la jacinthe d'eau a la même composition qualitative que le bois, à savoir la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Elle peut donc, dans certains cas être substituée à du bois.

Chapitre 1:

EPURATION DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE :  
ETAT DES LIEUX DES SITES EXPERIMENTAUX  
EN AFRIQUE DE L'OUEST

## **1.1 Le traitement des eaux usées par lagunage :**

Le lagunage est un procédé de traitement des eaux usées, rustique et extensif, qui comme tout système biologique, dépend fortement de plusieurs paramètres dont la charge organique, la charge hydraulique, le temps de séjour et les conditions climatiques.

Le lagunage était connu depuis plusieurs siècles et notamment par les Romains. A cette époque, ils stockaient les eaux usées dans des bassins ou des étangs et ils laissaient "faire la nature".

Ces bassins étaient désignés par les termes de bassins ou étangs de stabilisation ou d'oxydation et aussi sous l'appellation d'étangs à poissons parce qu'on y élevait des poissons.

Le terme "lagoon" était utilisé pour la première fois par les Américains puis traduit en français par le terme lagune. Depuis le procédé est devenu lagunage.

Actuellement le procédé est répandu dans le monde entier.

Comme toute épuration biologique, le lagunage consiste à faire proliférer au détriment de la matière organique contenue dans les eaux usées, des organismes vivants du règne animal ou végétal en présence d'oxygène ou non.

Ce procédé très peu onéreux combine les processus anaérobies avec les processus aérobies, conduisant à l'élimination des matières organiques biodégradables, à la production de biomasse et de composés minéraux.

Selon les organismes présents et les processus d'épuration mis en jeu, on distingue plusieurs types de lagunes : les lagunes anaérobies ; les lagunes aérobies et les lagunes facultatives. Selon la nature des végétaux, on distingue les lagunes à microphytes et les lagunes à macrophytes.

### **1.1.1 Les lagunes anaérobies :**

Les bassins anaérobies sont utilisés principalement en tant que pré traitement surtout pour les eaux usées très chargées et où la température est relativement élevée.

Pour maintenir les conditions d'anaérobiose, il faut que la charge en DBO5 soit supérieure à la production d'oxygène par photosynthèse. La photosynthèse peut être réduite en diminuant la surface et en augmentant la profondeur (> 2 m). La pénétration de la lumière est alors réduite et les algues ne se développent pas.

La dégradation anaérobie se fait en deux étapes :

- la fermentation acide
- la fermentation méthanique.

La fermentation méthanique est fortement influencée par la température. Il a été démontré qu'une petite élévation de température peut avoir une forte influence sur le mécanisme d'épuration anaérobie. Quant aux basses températures, elles entraînent un fort ralentissement de la fermentation.

### **Avantages et contraintes du lagunage anaérobie :**

#### **• Avantages :**

- surface requise faible
- Production de boue plus faible par voie anaérobie que par voie aérobie
- Procédé ne nécessitant pas de prétraitement

#### **• Contraintes :**

- risque de dégagement d'odeur. Cette contrainte peut être limitée en couvrant le bassin
- profondeur des bassins importante. Ce qui peut limiter l'application du procédé dans les régions où la nappe d'eau est très proche.

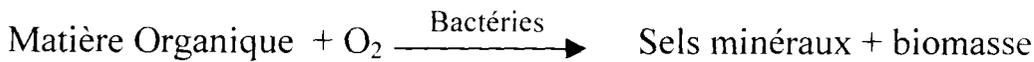
### **1.1.2 les lagunes aérobies**

Ce sont des bassins dont la profondeur est très faible, en général inférieure à 90 cm. La lumière peut de ce point de vue pénétrer jusqu'au fond du bassin.

Dans ces bassins vivent des bactéries aérobies et des algues microscopiques. Chacune de ces espèces est le siège d'un processus biochimique complexe qui peut se schématiser comme suit :

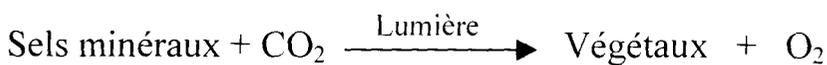
- Bactéries : respiration endogène et synthèse

Dès l'arrivée de l'effluent dans le bassin , la matière organique est attaquée et dégradée par les bactéries présentes selon l'équation :



- Algues: processus de photosynthèse

Les éléments minéraux sont ensuite utilisés par les végétaux chlorophylliens en présence de la lumière.



Le bilan de cette biodégradation se solde donc par une production de biomasse et de phytoplancton. Ce dernier est ensuite soit évacué, soit consommé par le zooplancton.

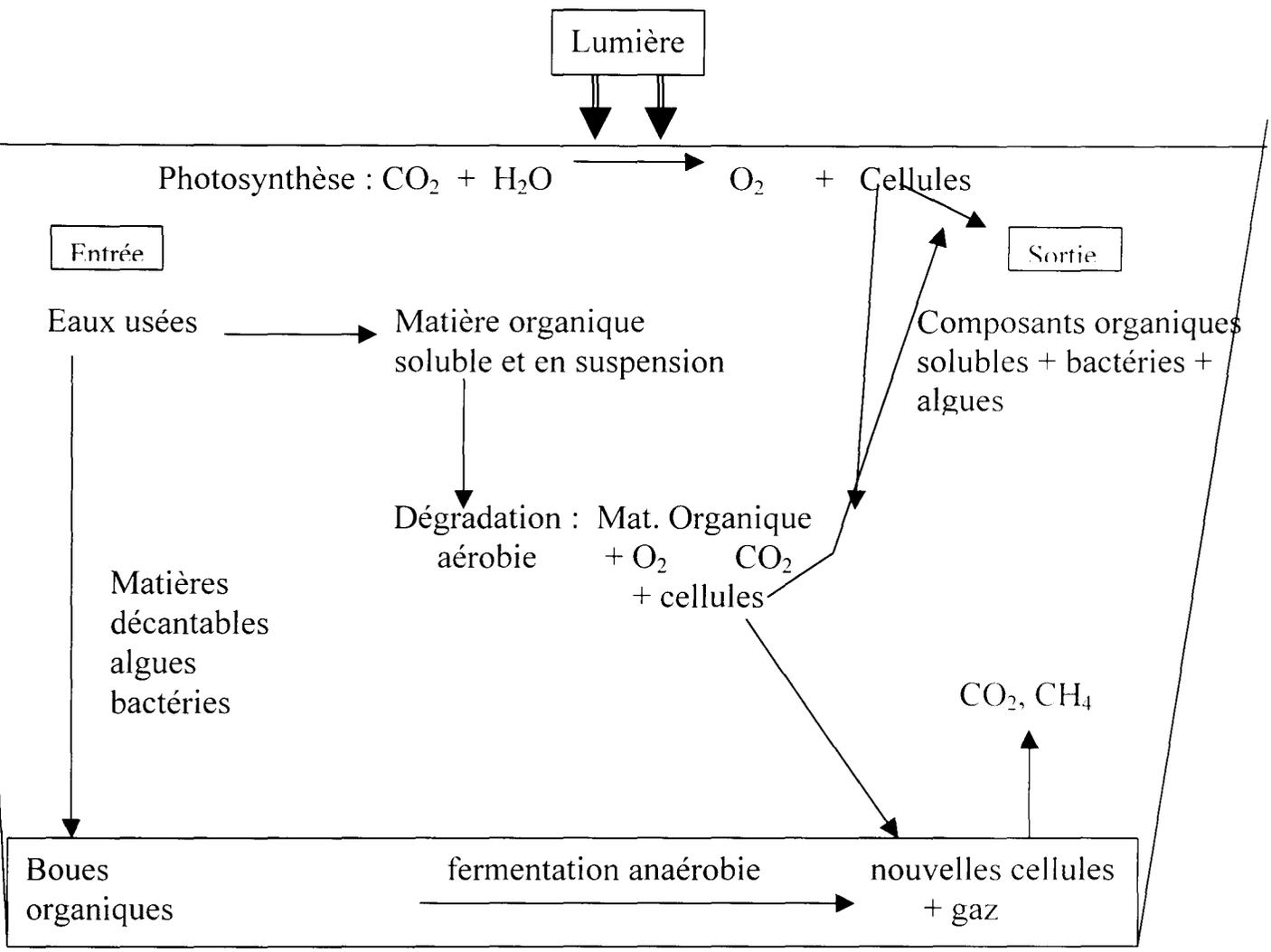
Le phénomène de photosynthèse ne se produit que dans la journée grâce à l'énergie solaire. Pendant la nuit, les bactéries et les algues sont en compétition pour l'utilisation de l'oxygène dissous. Ce qui entraîne une différence de concentration en oxygène dissous entre le jour et la nuit.

### 1.1.3 les lagunes facultatives

C'est le type de lagune le plus répandu. Au sein de la lagune, se superposent les processus de décantation et d'oxydation.

Dans une lagune facultative, on distingue trois zones : une zone aérobie, une zone facultative et une zone anaérobie.

- Dans la partie anaérobie, située au fond du bassin, Les matières en suspension décantent et se rassemblent au fond du bassin. Une catégorie de microorganismes dégradent la matière organique selon les processus classiques de la fermentation anaérobie.
- Dans la partie supérieure du bassin, l'aérobiose est généralisée et les bactéries aérobies minéralisent la matière organique . Le métabolisme de ces bactéries implique un apport important d'oxygène provenant de la photosynthèse des algues qui se développent dans un milieu riche en éléments nutritifs.



**Mécanisme de dégradation de la matière organique**  
**Dans un bassin facultatif.**

- Dans la zone facultative, située dans la partie intermédiaire du bassin, l'oxygène dissous n'est pas nécessaire tout le temps. Dans la journée, cette zone est aérobie et dans la nuit elle est anaérobie.

**1.1.4 Edifice biologique : composition et rôle dans l'épuration :**

**\* Les bactéries :**

Les bactéries sont des organismes très importants qualitativement et quantitativement dans le système de traitement par lagunage.

Elles assurent pratiquement à elles seules la dégradation de la matière organique contenue dans l'effluent.

Les principales bactéries responsables de la dégradation de la matière organique sont les bactéries du types hétérotrophes aérobies.

A coté du travail de ces bactéries aérobies, a également lieu une dégradation anaérobie de la matière organique sédimentée.

Le lagunage, qui constitue en quelque sorte une vaste culture bactérienne, estensemencé grâce aux microorganismes contenus dans les eaux usées domestiques.

Les espèces les mieux adaptées à utiliser le contenu nutritif des eaux, prennent rapidement le pas sur les autres espèces grâce à leur vitesse de croissance plus importante.

Dans les systèmes de lagunage extensif, la colonie bactérienne se régule naturellement en fonction de la richesse de l'effluent et des conditions physico-chimiques du milieu.

Cette régulation est un équilibre entre la croissance de la colonie et les sorties par l'eau épurée, par mort naturelle ou par prédation.

### **\* Les microphytes :**

Les microphytes sont des organismes planctoniques dispersés dans l'eau appelés phytoplanctons qui se développent dans les lagunes. Dans certaines conditions, il peut y avoir développement de certains microphytes en surface, sur le fond sous forme de film aux interfaces ou sur des supports immergés.

Ils ont un rôle fondamental dans le processus d'épuration par lagunage aérobie. Ce sont eux en effet qui fournissent en grande partie l'oxygène nécessaire à l'action des bactéries.

En plus de ce rôle, les microphytes assimilent certains composés azotés et phosphorés provenant de la minéralisation de la matière organique. Ils contribuent également aux variations du pH qu'ils élèvent par absorption du CO<sub>2</sub>.

Les principaux groupes présents dans les lagunes sont :

- les algues vertes ou chlorophycées,
- les algues brunes ou chrysophycées,
- les algues bleues ou cyanophycées,
- les euglènes.

Certains groupes tels les euglènes, peuvent utiliser à la fois les substances minérales et organiques.

Le déterminisme du développement de tel ou tel groupe plutôt qu'un autre n'est pas vraiment très bien connu; on sait seulement qu'il y a compétition entre espèces ou groupes pour coloniser le milieu. Les microphytes les mieux adaptés se développent au détriment des autres.

Les microphytes ont une durée de vie très courte; après leur mort ( pour la partie non consommée ), ils sédimentent et se décomposent en profondeur.

### **\* La faune :**

Ce sont aussi les organismes unicellulaires et pluricellulaires appelés zooplancton participant au mécanisme de l'épuration avec les organismes unicellulaires précédemment cités.

Leur importance dans la bonne marche d'un lagunage est le plus souvent sous-estimée.

Ils contribuent à l'épuration de plusieurs manières. Directement par élimination de bactéries et en particulier les bactéries libres; contribuant ainsi à la floculation. Ou indirectement par le contrôle qu'ils exercent sur la population algale.

Les plus importants sont:

- Les protozoaires: essentiellement ciliés, ce sont de grands consommateurs de bactéries. Leur présence indique un effluent peu dégradé.

- Les rotifères : ce sont de grands consommateurs de phytoplancton et de bactéries. Ils peuvent en consommer jusqu'à 10 fois leur poids en une journée.

- Les copépodes : comme les précédents, ils consomment essentiellement du phytoplancton et des bactéries. Leur présence nécessite des eaux oxygénées et épurées. Leur présence indique une épuration avancée.

- Les daphnies : elles filtrent l'eau à l'aide de "peignes" microscopiques dont sont dotées certaines pièces buccales. Une daphnie peut filtrer jusqu'à 0,1 litre d'eau par jour. Ainsi une eau verdie par le phytoplancton est rapidement éclaircie par les daphnies.

### **1.1.5 les lagunes à macrophytes**

Il s'agit essentiellement dans la lagune de végétaux supérieurs. Ils peuvent être fixés ou flottants. Les macrophytes présentent divers avantages : Ils augmentent la diversité de l'habitat. Ils jouent un rôle très important de support pour d'autres organismes permettant ainsi l'établissement d'une culture fixée très active pour l'épuration.

#### **● Les formes fixes :**

Les plus connus sont :

- Les Scirpes qui peuvent tenir dans des milieux dont la profondeur peut atteindre 2 m.
- Les roseaux ou phragmites aquatiques ou semi-aquatiques. Ils s'accommodent parfaitement d'une submersion temporaire mais peuvent aussi se développer dans une tranche d'eau permanente et de profondeur moyenne ( autour de un mètre).
- Les Typhas ou massettes qui s'accommodent surtout aux eaux peu profondes ( autour de 30 cm).

● Les formes libres :

Ce sont le plus souvent des végétaux à croissance très rapide surtout sous climat tropical. Ils ont une très grande capacité d'assimilation de l'azote et du phosphore.

Les végétaux aquatiques flottants les plus utilisés en épuration des eaux usées sont : la jacinthe d'eau ( *Eichhornia crassipes*), la laitue d'eau ( *Pistia stratiotes* ), les fougères d'eau ( *Salvinia*) et les lentilles d'eau ( *Lemnas* ).

Ces végétaux ont une croissance très rapide et se multiplient encore plus rapidement dans les régions tropicales chaudes.

La jacinthe d'eau, fort de ses caractéristiques intrinsèques a été la principale plante qui a été utilisée dans les bassins d'épuration.

La recherche sur l'utilisation des végétaux aquatiques s'est surtout développée aux Etats-Unis depuis les années 1960 et a pris son essor entre les années 1970 et 1980 avec les travaux de la NASA [**Wolverton, 1987**].

L'utilisation des plantes aquatiques flottantes pour éliminer la pollution des eaux et lutter contre l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs a été une des raisons qui a motivé la recherche.

L'élimination de la pollution dans les bassins à macrophytes est basée sur une relation symbiotique entre les plantes et bactéries dans laquelle les bactéries utilisent l'oxygène fourni au milieu par les plantes pour dégrader la matière organique. En retour, les sous produits de cette réaction tels que le  $\text{NH}_4$  et le  $\text{CO}_2$  sont utilisés par les plantes.

Les bassins à macrophytes flottants comprennent trois zones dans lesquelles s'effectue la biodégradation :

- La première zone, qui est la rhizosphère, est le lieu où se déroule la dégradation aérobie. La quantité d'oxygène fournie est fonction de la plante. Pour les macrophytes flottants, il a été démontré que les jeunes plantes ont un taux de production d'oxygène plus élevé que les plantes âgées [**Reddy, 1984**].
- La deuxième zone est comprise entre la rhizosphère et les sédiments. C'est souvent la zone la plus importante en volume. Elle est le siège des bactéries anaérobies facultatives.
- La troisième zone se situe dans les sédiments et est le siège des réactions strictement anaérobies.

Les mécanismes réactionnels dans les bassins à macrophytes flottants sont fortement influencé par les paramètres physico-chimiques du milieu. La matière organique particulaire par exemple est retenue par filtration au niveau des racines et une partie décante au fond du bassin avant d'être dégradée par les bactéries aérobies et anaérobies. L'oxygène étant fournit par les racines de la plante.

Les sels nutritifs tels que les composés azotés et les composés phosphorés, sont surtout utilisés par les plantes pour leur croissance.

## **1.2 LES STATIONS EXPERIMENTALES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR LAGUNAGE EN AFRIQUE DE L' OUEST :**

Les premiers essais de traitement des eaux usées par lagunage en Afrique de l'Ouest ont commencé au Sénégal vers les années 1976, puis au Burkina Faso et en Côte d'Ivoire entre les années 1985 et les années 1988. Dix ans plus tard, c'est à dire en 1998, a vu le jour la station d'épuration pilote de Niamey au Niger.

### **1.2.1 L'expérience de la Côte d'Ivoire :**

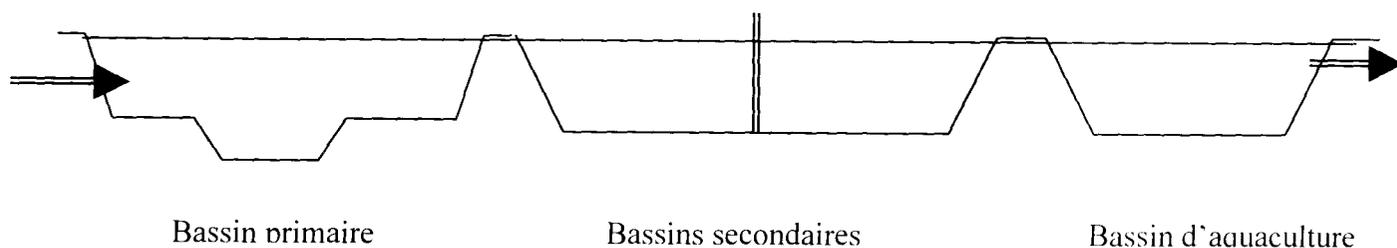
L'expérience de la Côte d'Ivoire a consisté dans un premier temps à équiper trois établissements scolaires avec internat de station d'épuration par lagunage [D. KONE, 2002]. Ces établissements ont été choisis dans les villes de San Pedro au sud du pays, Gagnoa au centre et Odiénné au nord pour dégager des critères de dimensionnement dans les zones climatiques représentatives de la Côte d'Ivoire.

Ces stations conçues pour traiter un rejet d'eaux usées d'un internat de 800 élèves étaient composées de trois bassins dont deux en parallèles placés en tête de station et recevant chacun une charge organique estimée à 300 Kg DB0/ha/j.

Ces stations ont toutefois été abandonnées à cause de l'infiltration importante d'eau constatée dans les bassins.

En 1988 a vu le jour la station pilote de Dabou au sud du pays qui a fait l'objet d'un suivi scientifique. La station est implantée dans le site du lycée et collège de Dabou où logent 2400 élèves en internat. Elle traite environ 200 m<sup>3</sup> par jour. Le temps de séjour hydraulique des effluents est d'environ 30 jours.

## LAGUNAGE DE DABOU : Coupe des bassins



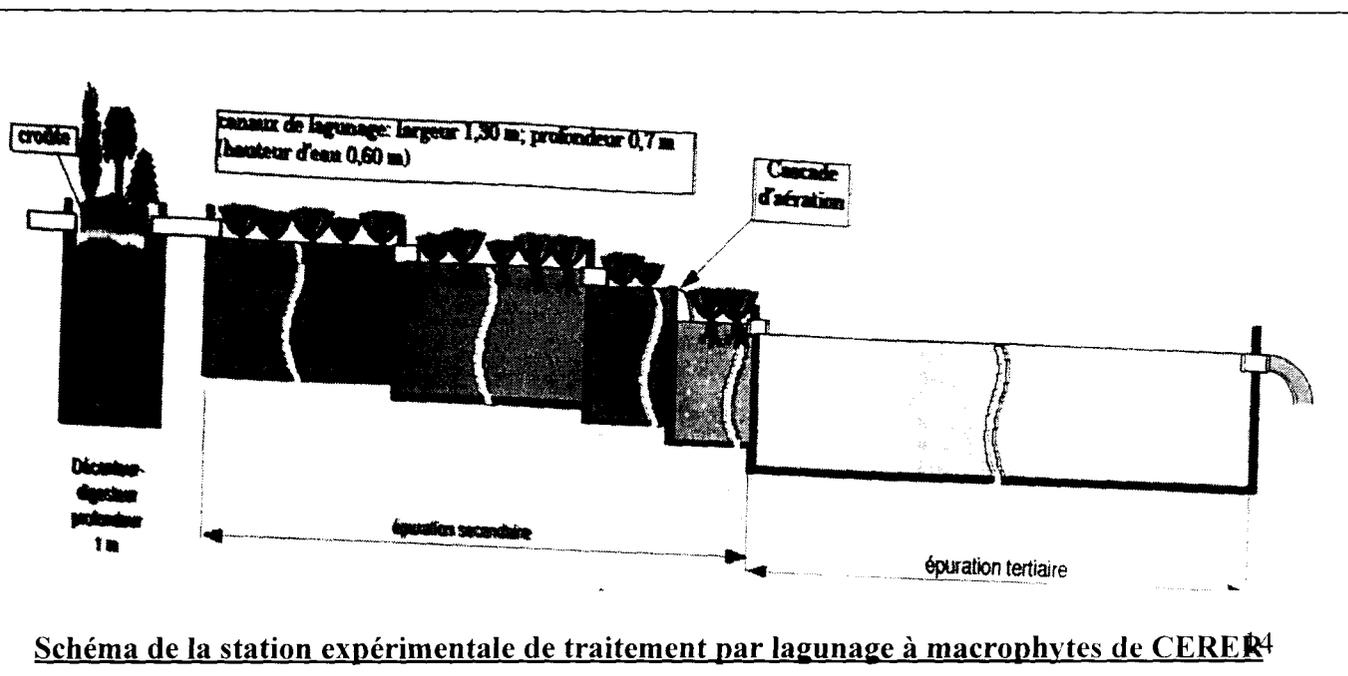
L'installation comprend :

- un ouvrage de dégrillage
- un bassin primaire d'une superficie de 2 000 m<sup>2</sup> avec une tranche d'eau de 1,3 m. Il comporte une fosse de 2,5 m de profondeur.
- deux bassins secondaires en série de 1 000 m<sup>2</sup> et d'une profondeur de 1,25 m.
- quatre bassins d'aquaculture de 400 m<sup>2</sup> chacun où sont élevés des tilapias.

### 1.2.2 L'expérience du Sénégal

Le Sénégal, en plus des stations de traitement des eaux usées, dispose de sites d'expérimentation dans le domaine :

- la station expérimentale du Centre d'Etude et de Recherches sur les Energies Renouvelables de Dakar (CERER) :



**Schéma de la station expérimentale de traitement par lagunage à macrophytes de CERER<sup>4</sup>**

Il s'agit d'une station d'épuration à l'image de celle de CHARBONNEL, qui comprend deux phases : une décantation-digestion anaérobie et un lagunage à macrophytes avec des laitues d'eau.

La station d'épuration a fait l'objet de deux séries d'expériences de 1993 à 1995. La première expérimentation a traité des eaux usées domestiques d'une douche et de deux WC. La deuxième expérience a étudié le traitement des eaux de latrines [M.A. Morel et al, 1998].

La capacité de traitement est de 1,5 m<sup>3</sup> d'eau par jour.

- **La station expérimentale de Cambérene-Dakar**

Il s'agit d'une station miniaturisée calquée sur le modèle de la station expérimentale de Vivile en Belgique. La station comprend 18 bassins miniatures organisés en plusieurs filières de traitement avec des volumes d'eaux usées traités par filière inférieurs à 1 m<sup>3</sup>/jour [Niang et al, 1996].

### 1.2.3 La station d'épuration de l'EIER :

C'est la plus ancienne station de recherche en Afrique de l'Ouest. Elle a été mis en service en 1988 grâce à la collaboration entre l'EPFL( Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne ) et l'EIER ( Ecole Inter-Etat d'Ingénieurs de l'Equipement Rural) de Ouagadougou.

La station est située dans l'enceinte de l'établissement et traite la totalité des eaux usées de l'école. On estime à environ 220 équivalent-habitants la charge polluante traitée pendant la période scolaire. Ce qui correspond à 35-40 m<sup>3</sup> d'eau par jour [Kone D. 2002].

Les ouvrages d'épuration comprennent 4 filières:

- La filière F1 qui comprend deux lagunes dont un bassin facultatif et un bassin de maturation. Les berges de cette filière sont stabilisées avec un mélange de ciment et de latérite.
- La filière F2, identique à la filière F1 sauf que les berges des bassins sont stabilisées à l'aide de bâches en plastique noir.
- La filière F3 composé d'un lit bactérien rectangulaire, suivi d'un décanteur secondaire et d'un bassin de maturation.

- La filière F4 est un lagunage à macrophytes utilisant les laitues d'eau. Elle a été construite en 1998 pour étudier les performances épuratoires des laitues d'eau sous climat tropical. Elle a fait l'objet d'une thèse de doctorat présentée en 2002.

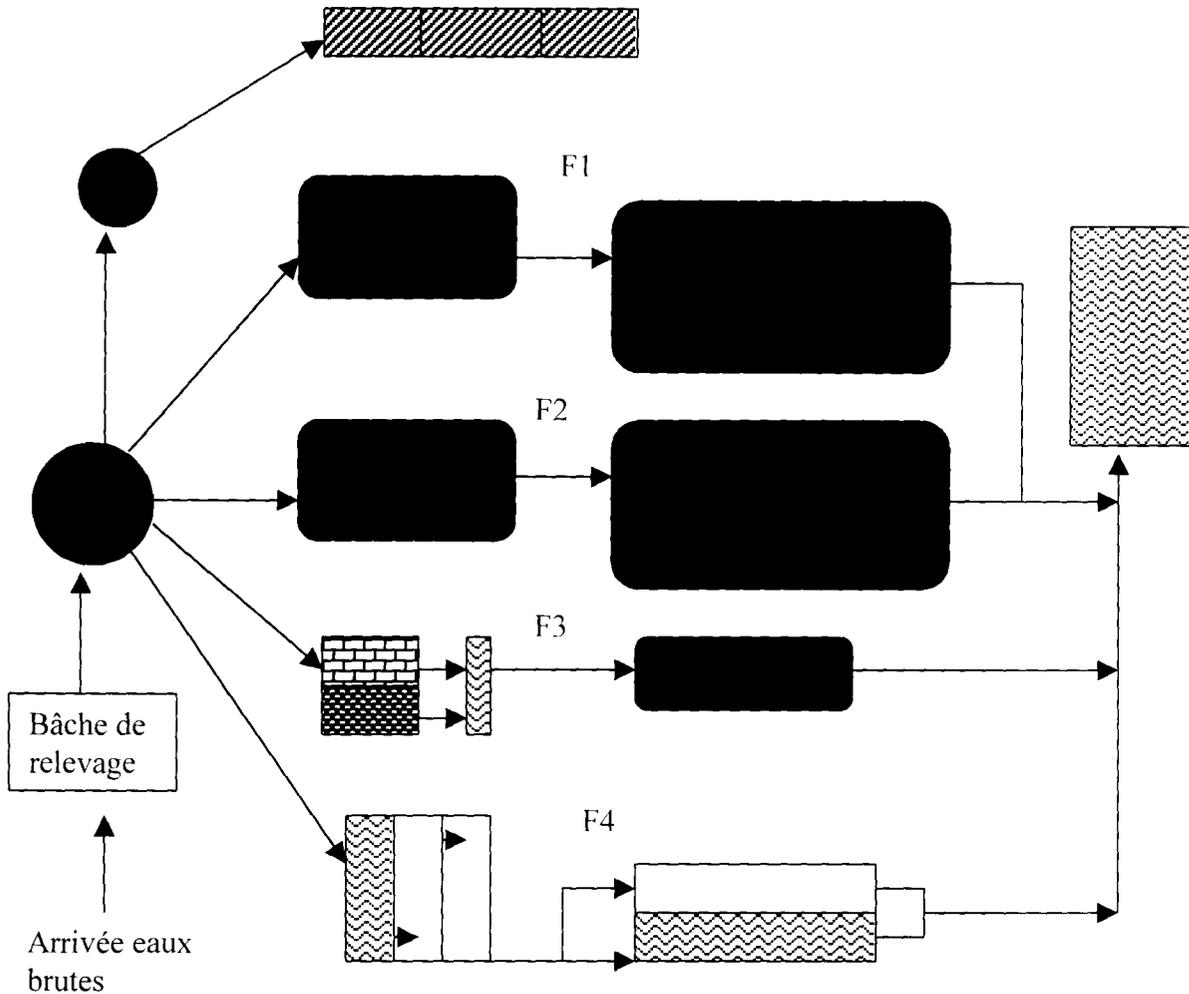


Schéma de la station d'épuration de l'EIER

#### 1.2.4 La station d'épuration pilote de Niamey :

La station d'épuration pilote de Niamey a été mise en eau en mars 1999. Elle est le fruit d'un projet commun entre l'Université de Niamey et l'ONG Belge AQUADEV. Elle a été financée par la commission européenne.

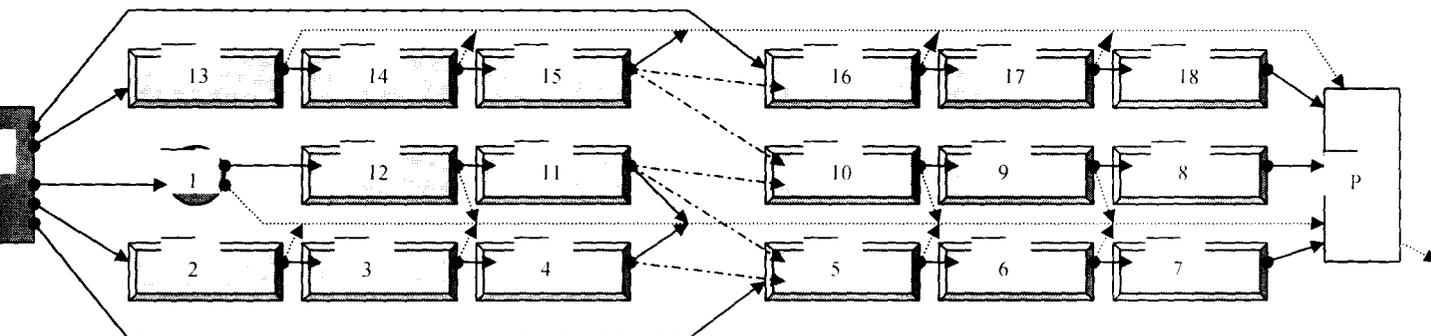
L'objectif principal du projet est la recherche d'une filière de traitement des eaux usées aussi complète que possible pour les régions sahéliennes,

aisément maîtrisable, économiquement réalisable et tenant compte des conditions climatiques et socio-économiques de ces régions.

Les objectifs spécifiques sont de deux ordres :

- Améliorer les connaissances scientifiques de l'écosystème épuratoire des eaux usées des régions sahéliennes.
- Mettre à la disposition de l'Université de Niamey un outil de travail dans le domaine du traitement des eaux usées lui permettant d'assurer une formation adéquate des étudiants et stagiaires de la sous région.

### Schéma de la station expérimentale de Niamey.



#### **LEGENDE :**

**Bassin 0 :** Bâche de réception des effluents depuis le regard.

**Bassin 1 :** Fosse anaérobie

**Bassins de 2 à 18 :** Bassins en liner prévus pour l'installation de microphytes, macrophytes flottantes ou plantées les bassins 12 et 13 peuvent être équipés en haut rendement algal.

**Bassin P :** Bassin de réception des eaux de sorties.

→ : Alimentation des filières et passages entre bassins dans la configuration 6 filières.

⋯→ : By-pass vers le bassin P.

→ : Alimentation de la bâche de réception depuis le regard en eau usée.

→ : Raccordement éventuel des filières 3 bassins entre elles.

Pour atteindre ces objectifs, une série d'expériences sont menées au sein de la station qui est implantée dans la résidence des étudiants de l'université. Elle est alimentée par les eaux usées de cette cité qui comprend les dortoirs et l'administration.

Les expériences consistent à comparer systématiquement six filières d'épuration composées chacune de trois bassins en série fonctionnant sur le principe du lagunage naturel.

Quatre types de systèmes sont testés simultanément : le système à microphytes, le système à macrophytes flottants avec la jacinthe d'eau et les lentilles d'eau, le système à macrophytes enracinés avec le bourgou et le système anaérobie.

La station offre la possibilité de comparer simultanément et dans les mêmes conditions plusieurs filières différentes, avec la possibilité d'interconnexions entre les filières. Ce qui fait de la station de Niamey, une plate forme unique dans la sous région.

De ces centres d'expérimentation sur les eaux usées, seuls les centres de Dakar, Ouagadougou et Niamey ont fait l'objet de suivis scientifiques avec des travaux qui ont fait l'objet de publication ou de soutenances de thèse de doctorat.

Le tableau suivant présente les résultats de quelques essais des trois centres de recherche.

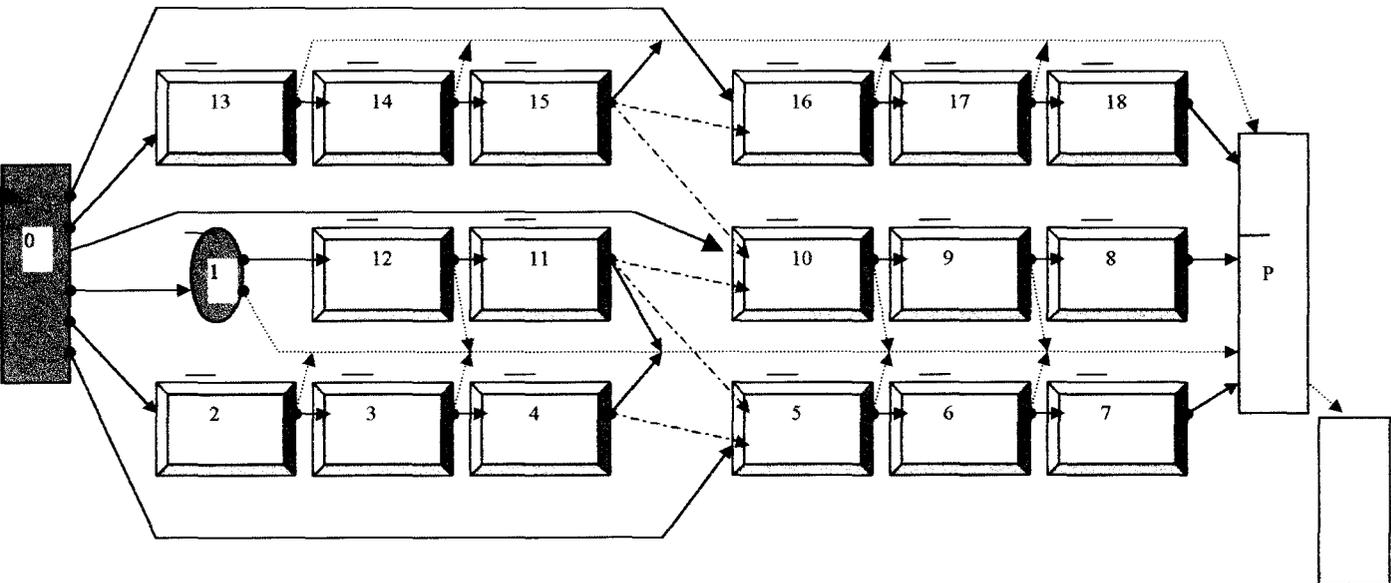
Paramètres	Dakar [Niang et al, 1996]	Niamey [Laouali et al 2003]	Ouagadougou [Koné et al 2002]
Configuration	BF + 2 bassins à pistia	2 bassins à jacinthes + bassin à bourgou	BF+2 bassins à pistia
Surface	1 m <sup>2</sup> /bassin	15 m <sup>2</sup> /bassin	24 m <sup>2</sup> /bassin
Temps de séjour	26 jours	13 jours	18 jours
Abattement DCO	82%	90 %	73 %
Abattement DBO	-	80 %	91%
Abattement MES	93%	95 %	68%
Abattement NTK	70%	62%	30%

Chapitre 2:

DISPOSITIF EXPERIMENTAL



LA STATION D'EPURATION  
PILOTE DE NIAMEY



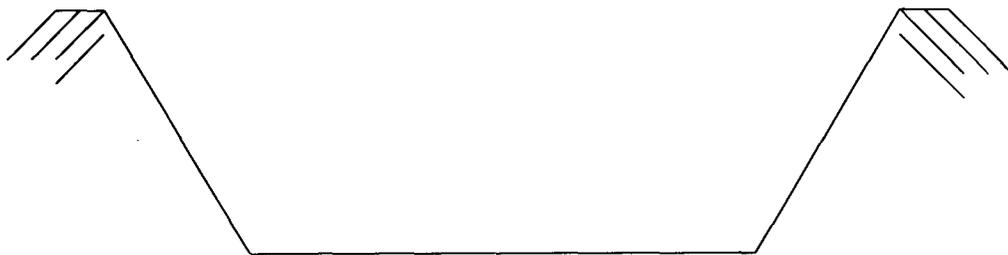
## 2.1. LA STATION D'EPURATION PILOTE DE NIAMEY :

Depuis 1999, sur financement de la Commission Européenne, l'Université Abdou Moumouni de Niamey et l'ONG AQUADEV mènent conjointement une étude sur l'épuration des eaux usées dans les conditions Africaines.

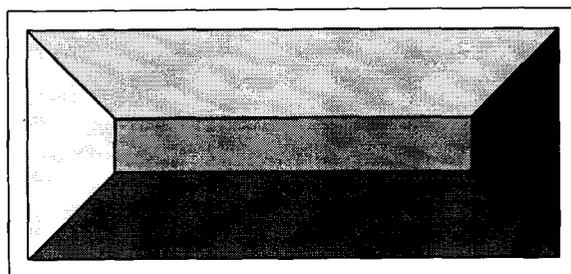
L'objectif principal de l'étude est la recherche d'une filière de traitement des eaux usées aussi complète que possible pour les régions sahéliennes, aisément maîtrisable, économiquement réalisable et tenant compte des conditions climatiques et socio-économiques de ces régions.

La station expérimentale est implantée sur le campus de l'Université de Niamey. Elle reçoit les eaux usées de la population estudiantine de cette université, caractéristique d'une eau usée urbaine. La station est composée de :

- 17 bassins identiques de forme conique numérotés de 2 à 18 ; dont la profondeur varie entre 0,7 m et 1 m. La surface du plan d'eau varie entre 13,5 m<sup>2</sup> et 15,5 m<sup>2</sup>. La pente des bassins est de 45°. Les bassins sont stabilisés au moyen d'argile compactée, leur étanchéité est assurée par une géo-membrane en PVC renforcée par une trame en polyéthylène haute densité.



**Coupe verticale d'un bassin**



**Bassin vue de dessus**

Tableau N° : Les dimensions des bassins

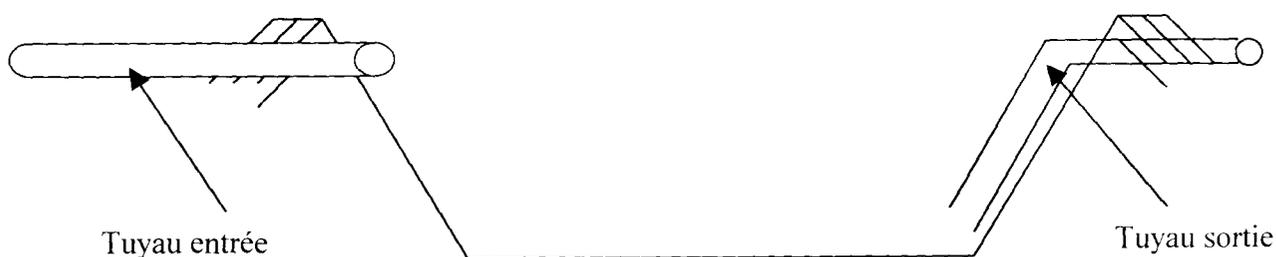
N° bassin	Longueur (m)	Largeur(m)	Profondeur(m)	Surface (m <sup>2</sup> )
B2	5,8	2,65	1,05	15,37
B3	5,7	2,65	1	15,1
B4	5,5	2,6		14,3
B5	5,5	2,75	0,97	15,12
B6	5,55	2,6	1	14,4
B7	5,85	2,65	1	15,5
B8	5,5	2,6	1	14,3
B9	5,4	2,5	0,97	13,5
B10	5,65	2,75	1,05	15,5
B11	5,6	2,7	1	15,1
B12	5,65	2,65	0,74	15
B13	5,55	2,45	0,71	13,6
B14	5,8	2,45	1,08	14,2
B15	5,5	2,6	1	14,3
B16	5,6	2,65	1	14,8
B17	5,75	2,55	0,97	14,7
B18	5,4	2,8	1,1	15,1

- une fosse anaérobie souterraine dont les parois sont en béton armé de 10 cm d'épaisseur. La profondeur est de 2,85m pour un diamètre de 1m.
- une cuve d'homogénéisation en béton armé d'un volume de 8 m<sup>3</sup> qui répartit les eaux dans les différentes filières.

Les eaux épurées à la sortie des bassins, sont collectées dans un bassin nommé P qui sert aussi de bassin de stockage des poissons.

Les bassins sont groupés par 3 formant ainsi 6 filières de 3 bassins chacune.

La jonction entre deux bassins est faite à l'aide d'un tuyau PVC de 2 cm de diamètre interne. L'alimentation est faite par le haut et la sortie par le bas du bassin. Selon le schéma ci dessous.



Le système offre la possibilité de jonction entre 2 filières de 3 bassins pour en faire une filière de 6 bassins. C'est le cas de la filière lemna qui regroupe les bassins N° 13, 14, 15, 16, 17 et 18.

### 2.1.1. Les systèmes et filières expérimentés :

Les expériences consistent à tester systématiquement six filières d'épuration composées chacune de trois bassins en série fonctionnant sur le principe du lagunage naturel. Nous avons testé quatre systèmes différents :

- le système à microphytes, où prolifèrent le phytoplancton et les zooplanctons dans le bassin ;
- le système à macrophytes flottants avec la jacinthe d'eau et les lentilles d'eau ;
- le système à macrophytes enracinés avec le Bourgou
- le système anaérobie fonctionnant comme lagunage facultatif.

Trois séries d'expériences ont été menées :

#### 2.1.1.1 Expérience n°1 : du 10/6/99 au 27/10/99

Au cours de cette expérience, 4 filières de trois bassins chacune ont été testées. Il s'agit de la combinaison de plusieurs systèmes avec variation d'emplacement. Une cinquième filière comportant uniquement des microphytes a servi de filière de comparaison. Chaque filière a reçu 1,5 m<sup>3</sup> d'eau par jour en trois alimentations.

- Filière 1 : Anaérobie + jacinthes + microphytes
- Filière 2 : microphytes + microphytes + macrophytes enracinées
- Filière 4 : microphytes + microphytes + microphytes
- Filière 5 : jacinthes + jacinthes + microphytes

Cette expérience nous a permis de tester l'efficacité des microphytes, des jacinthes et du système anaérobie en tête de filière. Nous avons également testé l'efficacité du bassin à jacinthe selon son emplacement dans la filière à trois bassins.

#### 2.1.1.2 Expérience n°2 : du 03/02/2000 au 02/08/2000

Après analyse des résultats de la première expérience, nous avons constaté que les abattements bactériologiques sont relativement proches des résultats théoriques obtenus à l'aide de la formule de Marais. Cependant, des valeurs



d'abattement situées en deçà de 2 unités log sont insuffisantes si l'on veut envisager de réutiliser sans risque les eaux en maraîchage, qui représente un objectif surtout au Niger où l'eau est un bien précieux.

Pour améliorer les performances épuratoires, outre la nécessité de lutter contre la stratification, nous avons deux possibilités : nous pouvons (1) augmenter le temps de séjour ou bien (2) multiplier le nombre de bassins par filière. La solution (2) est la meilleure d'autant plus que la station a été conçue pour pouvoir étudier l'effet du « compartimentage ». De ce fait, la décision de connecter en série 6 bassins a été prise.

Ainsi, les bassins 1, 12, 11, 10, 9 et 8 sont en série c'est-à-dire que l'on a en tête la fosse anaérobie (ce qui est toujours une bonne chose surtout sous un tel climat) suivie de 5 bassins à microphytes.

Nous alimentons la filière à raison de  $1,5 \text{ m}^3 / \text{j}$  de sorte que le TSH par bassin reste de 5 jours et le TSH sur la filière est donc de 26 jours (car 1 seul jour pour la fosse anaérobie et 5 pour les 5 autres bassins).

Dans la filière 2, nous continuons à tester le Rock Filter avec macrophytes enracinés. Dans un premier temps, il a été précédé de 2 bassins à microphytes qui ont ensuite été remplacés par des bassins à macrophytes flottants (ceci pour éviter un colmatage trop rapide du rock filter).

Nous avons connecté cette filière 2 sur la filière 4. Celle-ci est composée des bassins 5, 6 et 7, tous trois à microphytes. Comme pour la filière 1 en série avec la filière 5, l'alimentation de la filière 2 est faite 3 fois par jour avec un total de  $1,5 \text{ m}^3 / \text{j}$ .

La filière 3 nous sert à suivre des bassins de stockage d'un point de vue essentiellement de leur microbiologie mais la physico-chimie n'est pas négligée pour autant. Le suivi de la teneur en  $\text{N-NO}_3$  (par exemple) après différentes durées de stockage devrait nous permettre de dégager des informations quant à la réutilisation potentielle de l'eau obtenue eu égard à ses caractéristiques.

La filière 3 est composée des bassins 13, 14 et 15. Le bassin 13 doit servir de décanteur primaire tandis que B 14 et B 15 sont des bassins de stockage, on peut dire aussi de maturation. Le mode d'alimentation de cette filière est un peu particulier. La tête de filière, c'est-à-dire B 13, est alimentée 1 voire 2 fois par semaine. Les 3 bassins sont néanmoins connectés. L'alimentation sert uniquement à compenser les pertes par évaporation des bassins de stockage.

La filière 6 nous sert de filière de référence en d'autres mots c'est une filière témoin. Les bassins qui la composent, à savoir B 16, B 17 et B 18, sont donc tous trois à microphytes. L'alimentation s'y effectue comme dans les filières 1 et 2 c'est-à-dire trois fois par jour soit à raison d'un total de  $1,5 \text{ m}^3 / \text{jour}$ .

### 2.1.1.3 Expérience n°3 : du 01/03/2002 au 29/06/2002

L'expérience N°3 s'est appuyée sur les résultats des deux expériences précédentes. Nous avons testé quatre filière qui sont décrites dans le chapitre 4.

## 2.2 Méthodes d'analyse et d'échantillonnage :

Les performances épuratoires des différents systèmes et filières sont évaluées sur la base des résultats des analyses physico-chimiques, biochimiques et micro biologiques.

Les paramètres physico-chimiques analysés sont : le pH, la température, l'oxygène dissous et la conductivité. Ils sont mesurés deux fois par jour à savoir le matin à 7 heures et au zénith à 15 heures. Les mesures ont été effectuées dans un premier temps tous les jours de la semaine à l'exception des dimanches et jours fériés. A partir du 12/03/02, après examen et analyse des résultats obtenus, les mesures de ces paramètres ont été ramenées à deux fois par semaine.

Tous les paramètres physico-chimiques sont mesurés in situ, à environ 10 cm de la surface de l'eau, après une légère agitation de l'électrode et une stabilisation de l'affichage sur l'appareil de mesure.

L'appareil de mesure est un multi-paramètre Multiline P4 WTW capable de mesurer le pH, la température, l'oxygène dissous et la conductivité . Les électrodes utilisées sont les suivantes :

**La température** : La température de l'eau est un paramètre très important en raison de son influence sur les réactions chimiques (cinétique) et sur la vie aquatique (notamment la vie bactérienne: les t° optimales pour l'activité bactérienne sont dans la fourchette de 25 à 35°C).

La température est mesurée à l'aide de l'électrode combinée de pH avec sonde de température SenTix 97/T.

**PH**: Le pH d'une eau, qui représente son acidité ou son alcalinité, est un paramètre qualitatif très important que ce soit pour une eau naturelle ou pour une eau usée. La gamme des pH pour le développement d'une vie aquatique est fonction des espèces.

Le pH est mesuré à l'aide de l'électrode combinée de pH avec sonde de température SenTix 97/T.

**Oxygène dissous** : L'oxygène dissous est mesuré avec la sonde à oxygène dissous Cellox 325.

**Conductivité** : la conductivité est mesurée avec la Cellule de conductivité standard TeraCon 325

Les paramètres qui caractérisent la pollution organique et les sels nutritifs sont mesurés une fois par semaine sur des prélèvements ponctuels réalisés à la sortie de chaque bassin. Ces prélèvements sont réalisés dans des flacons en PVC entre 7 heures et 8 heures le matin. Les analyses sont effectuées dans les 12 heures qui suivent les prélèvements.

A l'entrée de la filière, en plus des prélèvements ponctuels, un échantillonnage est réalisé à chaque cuvée tous les jours de la semaine à l'exception du dimanche et les jours fériés. Les 5 échantillons des différentes cuvées sont ensuite mélangés en vue de faire les mesures de la DCO brute et filtrée, du NTK brut et filtré et de  $\text{NH}_4$ .

Les paramètres analysés et les méthodes utilisées sont :

**La DBO5** : C'est le paramètre le plus utilisé pour caractériser la pollution organique d'une eau. La mesure se fait sur 5 jours et on parle donc de  $\text{DBO}_5$ . Cette mesure consiste en fait à déterminer la quantité d'oxygène dissoute utilisée par les micro-organismes présents dans l'échantillon pour réaliser une oxydation biochimique de la matière organique.

La méthode utilisée est la méthode manométrique avec des manomètres OxiTop à affichage numérique LED qui se fixe directement sur le flacon de DBO.

Un certain volume d'échantillon est introduit dans le flacon. La consommation d'oxygène induit une production de  $\text{CO}_2$  absorbé par un piège à soude créant ainsi une dépression enregistrée par le manomètre. Cette dépression est liée par corrélation à la DBO en fonction du volume de l'échantillon.

**La DCO** : La méthode utilisée est la norme française AFNOR NF T 90-101.

L'échantillon à analyser est chauffé à  $150^\circ\text{C}$  pendant 2 heures en présence d'une quantité connue de dichromate de potassium et d'un mélange acide sulfurique –sulfate d'argent. Après refroidissement, l'excès de dichromate est mesuré par titration avec une solution standard de sulfate de fer et d'ammonium.

**Les MES** : La méthode utilisée est la norme française AFNOR NF T 90-105.

Un certain volume d'échantillon est filtré sur du filtre GF/C. le poids des matières retenues est déterminé par pesée différentielle du filtre après passage à l'étuve à 105°C pendant 2 heures.

**Le NTK** : L'expression de NTK regroupe l'azote organique et l'azote ammoniacal. Il est déterminé à l'aide de la norme française AFNOR NF T 90-110.

L'échantillon à analyser est minéralisé à 350°C pendant 2 heures en milieu acide sulfurique en présence de sélénium comme catalyseur. Après refroidissement, l'azote ammoniacal obtenu est déplacé par une solution de soude et entraîné par la vapeur d'eau puis dosé par volumétrie.

**Les ions  $\text{NH}_4^+$** : La méthode utilisée est la norme française AFNOR NF T 90-015.

Les ions ammoniums forment en milieu alcalin un composé bleu par réaction avec le phénol et l'hypochlorite en présence de nitroprussiate comme catalyseur. L'intensité de la coloration est mesurée au spectrocolorimètre à la longueur d'onde de 630 nm.

**Les ions  $\text{PO}_4^{3-}$**  : Ils sont déterminés par la méthode de la norme Française AFNOR NF T 90-033.

Les orthophosphates contenus dans un certain volume d'échantillon filtré donnent un complexe phosphomolibdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue, mesurée par colorimétrie à 880 nm.

**Les ions  $\text{NO}_2^-$**  : La méthode utilisée est la norme française AFNOR NF T 90-013.

L'échantillon filtré est traité par le réactif de diazotation. Il forme un complexe de couleur rose qu'on mesure au spectrocolorimètre à la longueur d'onde de 540 nm.

### **Récolte des macrophytes :**

Les lentilles sont récoltées une fois tous les deux jours dans chaque bassin. Les récoltes sont faites à l'aide des tamis de 0,8 à 1 mm de diamètre. L'estimation de la densité au  $\text{m}^2$  est faite à l'aide d'un carré fabriqué sur place à l'aide d'un tuyau en PVC.

On récolte d'abord les lentilles par bassin puis on homogénéise le milieu et on effectue la récolte par  $\text{m}^2$ .

Les jacinthes sont récoltées tous les 10 à 11 jours. A chaque fois on récolte la moitié de la surface du bassin.

Les analyses bactériologiques sont faites selon deux méthodes :

- Technique d'isolement par étalement

Cette technique est destinée à l'isolement de colonies à partir d'une eau supposée riche en bactéries, par exemple l'eau brute à l'entrée de la station.

A proximité immédiate de la flamme du Bunsen (ne pas dépasser 50 cm autour de celle-ci) et à l'aide d'une micro pipette réglée sur 100 µl (et donc munie d'un embout stérile de cette capacité), on prélève cette quantité d'eau d'une dilution donnée que l'on dépose à la surface de l'Agar du milieu choisi dans les grandes boîtes. Ensuite on procède à l'étalement de cette goutte sur toute la surface du gel à l'aide d'un étaloir passé préalablement à la flamme.

On place alors les boîtes inoculées à l'envers sur les clayettes de l'incubateur pré-réglé à 37°C pour les Streptocoques du groupe D, et 44°C pour les Coliformes thermotolérants.

- Technique d'isolement par filtration sur membrane

Cette technique est destinée à l'isolement de colonies à partir d'une eau qui a déjà subi une épuration plus ou moins poussée. Les bactéries à rechercher y sont donc plus rares; il faut dès lors une méthode assez sensible ce qui est le cas de la présente technique.

La technique par filtration nécessite un matériel plus sophistiqué que la méthode précédente. Nous avons en effet besoin d'une rampe de filtration à 3 postes en inox. Ce matériel est autoclavable à 121°C pendant 20 minutes et c'est ce qu'il convient de faire avant chaque utilisation. La filtration nécessite également une pompe à vide qui sera raccordée à la rampe par un tuyau en silicone (c'est un matériau souple et résistant) sans oublier de placer un flacon intermédiaire type Erlenmeyer à vide. Nous avons également besoin de filtres en cellulose d'un diamètre de 45 mm et de taille de pores de 0,45 µm, porosité laissant passer l'eau mais retenant les bactéries. Ces filtres sont conditionnés stérilement. En outre, nous utilisons des filtres quadrillés ce qui facilite beaucoup le comptage des colonies. Comme on l'a déjà dit plus haut, on utilise des boîtes de Pétri de 55 mm de diamètre.

On procède alors de la sorte: à l'aide d'une pince préalablement flambée à la flamme du Bunsen placé à proximité, une membrane filtrante est déposée sur le filtre de la rampe; puis on fixe par-dessus le récepteur des échantillons. Ensuite, on verse le contenu du tube de la dilution choisie en répartissant bien le liquide sur toute la surface de la membrane pour éviter les agglomérats de bactéries ce qui rendrait le comptage des colonies difficile. Ensuite, pour la mise en culture, on décroche le récepteur de la rampe et on enlève la membrane filtrante chargée avec la pince passée à la flamme. On la dépose, face supérieure

vers le haut , dans la boîte de Pétri à la surface du gel. On placera la boîte à l'envers dans l'incubateur.

Le dénombrement est fait par comptage des colonies.

Par convention, chaque colonie est considérée comme ayant été engendrée par un micro-organisme. On appliquera les formules suivantes respectivement pour la technique par étalement (1) et pour la technique par filtration sur membrane (2).

$$n \times (10^x) \times 10 \times 100 \text{ bactéries} / 100 \text{ ml d'échantillon} \quad (1)$$

$$n \times (10^x) \times 10 \quad \text{bactéries} / 100 \text{ ml d'échantillon} \quad (2)$$

avec: **n** le nombre de colonies dénombrées et **x** la dilution.

Pour la formule (1), le facteur 10 ramène les 100 µl à 1 ml, le facteur 100 ramène le nombre de colonies à 100 ml d'échantillon.

Pour la formule (2), le facteur 10 ramène les 10 ml filtrés à 100 ml d'échantillon.

On prendra en compte les nombres de colonies supérieurs ou égaux à 6 et inférieurs ou égaux à 60, valeurs qui, en termes statistiques, assurent le maximum de confiance; en clair, cela veut dire que c'est dans cette fourchette 6-60 que le nombre **n** trouvé a le plus de chance d'être le nombre réel de bactéries par 100 ml d'échantillon).

### 2.3 Facteurs climatiques sur Niamey :

Les facteurs climatiques jouent un rôle essentiel, surtout dans les processus d'épuration par lagunage : les durées d'ensoleillement et les températures conditionnent directement les vitesses de dégradation des charges organique et microbienne.

- la température : Le rendement épuratoire augmente en été et diminue en hiver, les températures estivales favorisant la croissance des algues, vecteur indispensable de ce type d'épuration.
- L'évaporation : Elle diminue la quantité des effluents à traiter et augmente donc la charge à l'ha. Conjugée à une infiltration importante, elle peut être néfaste et doit donc être prise en compte lors des calculs de dimensionnement des différents bassins. Pour gérer les temps de séjour hydraulique, il faut faire varier le niveau d'eau dans les bassins de manière à modifier la charge.
- La pluviométrie : Elle devra également être connue pour le calcul de la hauteur des digues afin d'éviter tout risque éventuel d'inondation. On doit aussi en tenir compte dans le calcul du temps de séjour des effluents dans les bassins.

Les tableaux suivants donnent les valeurs de quelques paramètres au niveau de Niamey aéroport.

## TEMPERATURE MAXIMUM (°C) POUR NIAMEY AERO

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	MOY
1991	32.5	37.5	38.7	40.8	36.4	36.3	33.5	32.5	36.8	37.9	36.1	31.6	35.9
1992	29.7	34.0	37.7	40.4	39.2	37.4	33.8	32.1	34.7	38.1	34.4	33.2	35.4
1993	29.4	35.1	38.9	41.5	41.6	38.2	34.0	33.1	35.3	38.9	38.0	32.4	36.4
1994	31.8	34.7	39.8	41.1	40.4	37.2	34.0	31.2	33.8	36.0	35.5	30.9	35.5
1995	30.3	33.3	39.9	40.6	40.9	38.1	34.5	32.5	34.9	38.3	35.9	34.9	36.2
1996	35.2	37.2	39.6	41.0	41.0	36.6	35.5	32.7	34.1	37.6	35.0	34.7	36.7
1997	34.3	32.6	36.6	40.6	39.2	37.3	35.1	35.0	36.1	38.9	38.1	33.9	36.5
1998	32.8	37.1	37.1	42.5	40.9	37.5	34.3	31.8	33.4	37.8	37.4	34.0	36.4
1999	33.0	34.9	41.1	41.6	41.1	39.8	34.3	31.6	33.5	37.1	37.0	33.1	36.5
2000	34.7	32.2	38.0	42.9	41.8	38.3	33.7	33.0	36.1	37.6	37.3	32.8	36.5
2001	32.4	33.6	39.9	41.7	40.8	37.9	34.0	32.6	34.6	38.2	36.8	35.1	36.5
MOY	32.4	34.7	38.8	41.3	40.3	37.7	34.2	32.6	34.8	37.9	36.5	33.3	36.2

## TEMPERATURE MINIMUM (°C) POUR NIAMEY AERO

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	MOY
1991	17.8	21.6	24.5	28.2	27.1	26.0	24.4	23.8	25.6	25.3	20.6	17.4	23.5
1992	17.1	19.7	23.9	27.1	27.9	25.8	24.3	23.2	24.7	25.5	20.7	16.9	23.1
1993	16.2	20.1	23.8	26.0	29.6	26.7	24.0	23.7	24.3	25.0	21.1	17.6	23.2
1994	17.1	18.9	24.1	27.3	28.6	26.2	24.4	23.1	24.3	24.9	19.7	15.9	22.9
1995	14.3	17.1	24.1	27.7	29.4	27.1	25.1	23.6	24.8	25.7	20.3	18.2	23.1
1996	17.4	20.3	24.4	26.7	28.5	26.1	25.1	23.5	23.9	24.6	18.5	17.0	23.0
1997	17.7	18.5	24.0	27.0	27.7	26.0	25.0	25.1	25.3	26.7	22.3	17.1	23.5
1998	16.7	20.7	22.1	28.5	29.2	26.6	24.7	23.4	23.6	26.5	20.7	17.8	23.4
1999	17.2	19.4	24.5	27.5	28.7	28.0	24.4	23.3	23.5	23.9	20.4	16.5	23.1
2000	19.4	16.0	21.6	27.4	29.3	26.1	24.2	23.7	25.3	25.0	19.4	16.5	22.8
2001	14.8	17.5	21.6	28.0	29.4	26.4	24.4	23.7	24.2	24.4	19.2	17.9	22.6
MOY	16.9	19.1	23.5	27.4	28.7	26.5	24.5	23.6	24.5	25.2	20.3	17.2	23.1

PLUVIOMETRIE (mm) POUR NIAMEY AERO

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	TOTAL
1991	0.0	0.0	0.2	10.0	72.1	69.6	49.0	188.0	24.4	24.0	0.0	0.0	437.3
1992	0.0	0.0	0.0	16.2	41.2	147.3	198.0	202.3	65.8	0.9	0.0	0.0	671.7
1993	0.0	0.0	0.0	1.5	9.1	89.9	141.4	126.8	54.5	3.3	0.0	0.0	426.5
1994	0.0	0.0	0.0	29.9	5.7	54.0	223.0	296.3	70.7	27.5	0.0	0.0	707.1
1995	0.0	0.0	0.0	25.1	5.4	87.9	121.3	211.5	89.6	0.0	0.0	0.0	540.8
1996	0.0	0.0	0.0	8.6	3.4	109.6	113.9	220.5	80.1	12.2	0.0	0.0	548.3
1997	0.0	0.0	2.0	1.7	54.0	62.5	95.1	91.2	56.5	48.6	0.0	0.0	411.6
1998	0.0	0.0	0.0	32.7	26.8	89.1	176.7	281.9	207.8	1.6	0.0	0.0	816.6
1999	0.0	0.0	0.0	4.8	27.8	44.9	219.2	150.6	188.7	5.8	0.0	0.0	641.8
2000	0.0	0.0	0.0	9.4	5.4	82.5	166.0	144.9	50.2	0.0	0.0	0.0	458.4
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	107.8	211.6	121.9	152.8	0.2	0.0	0.0	606.5
2002	0.0	0.0	0.0	0.3	10.5	110.1	134.0	119.2	79.0	32.4	0.0	0.0	485.5
MOY	0.0	0.0	0.2	11.7	22.8	87.9	154.1	179.6	93.3	13.0	0.0	0.0	562.7

EVAPORATION BAC (mm) POUR NIAMEY AERO

Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	TOTAL
1991	364.6	364.8	448.3	429.2	297.8	271.2	200.5	164.8	259.0	322.7	337.1	335.9	3795.9
1992	348.2	425.6	490.7	476.7	388.2	306.6	216.9	176.7	204.6	316.1	323.5	317.6	3991.4
1993	354.6	370.9	463.8	474.5	458.2	311.1	251.7	207.8	233.8	314.2	340.4	338.0	4119.0
1994	340.2	340.3	394.0	431.8	402.8	322.2	263.7	141.7	171.8	221.7	312.2	330.7	3673.1
1995	321.7	331.7	457.7	410.2	438.4	338.4	261.9	173.0	206.7	301.9	312.7	331.0	3885.3
1996	353.0	372.5	472.8	408.2	442.5	308.3	218.7	177.4	206.7	310.3	337.1	335.4	3942.9
1997	390.2	397.7	406.1	442.5	387.0	322.3	285.7	253.0	240.3	316.5	357.2	340.7	4139.2
1998	364.2	377.2	493.7	480.0	402.4	314.6	240.0	147.8	157.0	302.1	301.6	289.6	3870.2
1999	290.4	274.9	395.9	386.3	408.3	372.6	228.7	184.4	157.4	263.7	293.9	304.0	3527.5
2000	361.3	363.0	459.4	423.6	429.8	**	227.3	177.6	238.8	279.9	294.3	348.0	3553.0*
2001	337.5	334.2	402.7	451.4	439.0	340.2	241.0	170.2	197.9	275.0	306.1	305.2	3800.9
MOY	347.8	359.3	444.1	437.7	408.6	320.7*	239.4	176.8	206.7	293.1	319.6	320.6	3874.5*

Chapitre 3 :

**FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DES  
SYSTEMES TESTÉS EN TETE DE FILIERE**

## **INTRODUCTION :**

Le premier bassin d'une station d'épuration joue un rôle très important dans la filière de traitement des eaux usées. C'est ce bassin qui reçoit directement les effluents bruts à traiter. Le système qu'il doit abriter, qu'il soit à macrophytes ou à microphytes, doit de ce fait être capable de supporter la charge entrante brute. Le travail d'épuration effectué dans ce bassin doit faciliter celui des bassins suivants.

En vue de faciliter le choix du système à placer en tête de station d'épuration, nous avons testé dans trois bassins différents, alimentés dans les mêmes conditions de charge hydraulique et de charge polluante, trois systèmes différents. Ces trois bassins sont les suivants :

- Un bassin anaérobie, jouant plutôt le rôle de bassin facultatif de par la charge appliquée,
- Un bassin où sont cultivées des jacinthes d'eau
- Un bassin où sont cultivées des lentilles d'eau

Ces bassins ont été alimentés par les mêmes effluents bruts, en raison de 1,5 m<sup>3</sup> par jour et par bassin. L'alimentation est répartie en 5 cuvées dans la journée : Une cuvée le matin à 7 heures, une cuvée à 10 heures, une cuvée à 13 heures, une cuvée à 16 heures et une cuvée à 19 heures.

Un suivi des paramètres de pollution a été effectué à l'entrée et à la sortie de chaque bassin. Ce qui nous a permis d'apprécier les performances épuratoires de chaque système une fois placé en tête de filière c'est à dire recevant directement des eaux usées brutes.

Une étude comparative sur la base de comparaisons statistiques des moyennes, nous a permis de classer les systèmes par ordre de performances épuratoires sur les principaux paramètres de pollution.

### **3.1. FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DU SYSTEME ANAEROBIE EN TETE DE FILIERE**

#### **3.1.1 Généralités sur le lagunage anaérobie :**

La lagune anaérobie est un bassin profond de 2 à 5 mètres où l'effluent est maintenu pendant un temps relativement court, à l'abri de l'air et de la lumière. La photosynthèse est quasi inexistante du fait de la turbidité importante et de la profondeur. Les échanges d'oxygène avec l'atmosphère à l'interface air-eau sont limités sur une couche très superficielle.

C'est un système généralement placé en tête de filière de traitement des eaux usées. Il peut jouer le rôle de décanteur primaire et de digesteur anaérobie des boues. Il est capable de traiter des effluents à forte charge organique.

La matière organique contenue dans l'effluent est soit sous forme particulaire soit sous forme dissoute. La forme particulaire décante au fond du bassin.

Par leur processus métabolique, les bactéries convertissent la matière organique en matière minérale. On distingue actuellement trois étapes principales dans le processus de dégradation de la matière organique par voie anaérobie [F. EDLINE ].

La première étape hydrolyse et solubilise la matière organique, puis la fermente en acide gras notamment l'acide acétique. C'est l'acidogénèse.

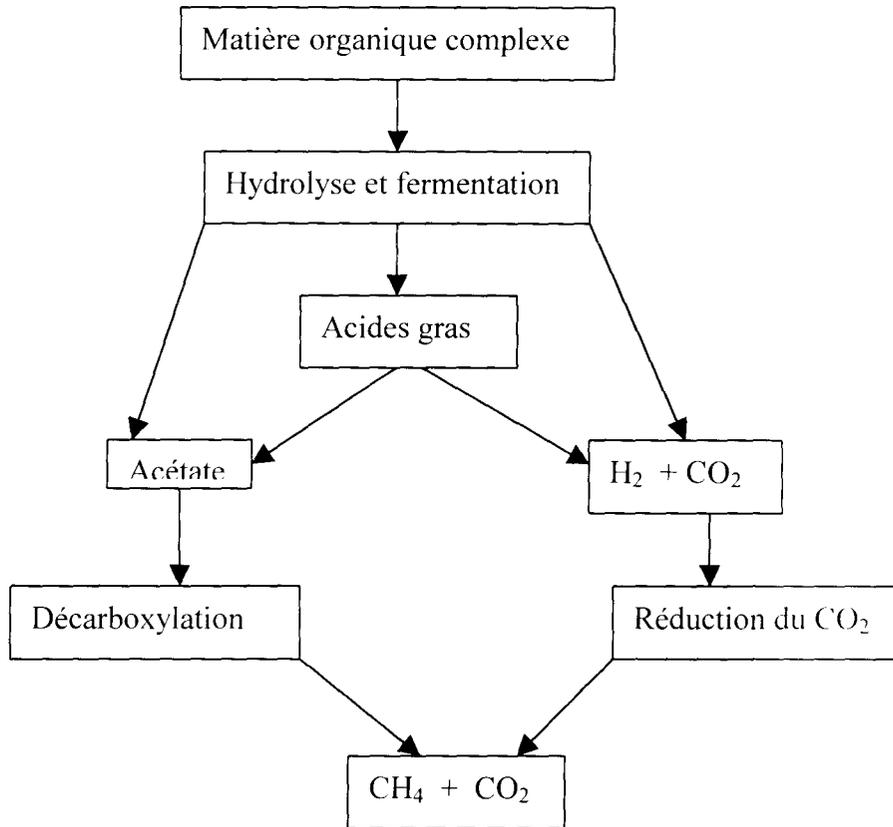
Le deuxième groupe de bactéries dégrade les produits de la phase acidogénèse pour donner des acétates , de l'hydrogène et du dioxyde de carbone. C'est l'acétogénèse.

La troisième étape est l'œuvre des bactéries méthanogènes. Ce sont des bactéries anaérobies strictes qui produisent du méthane et du dioxyde de carbone à partir des produits terminaux des deux premières étapes.

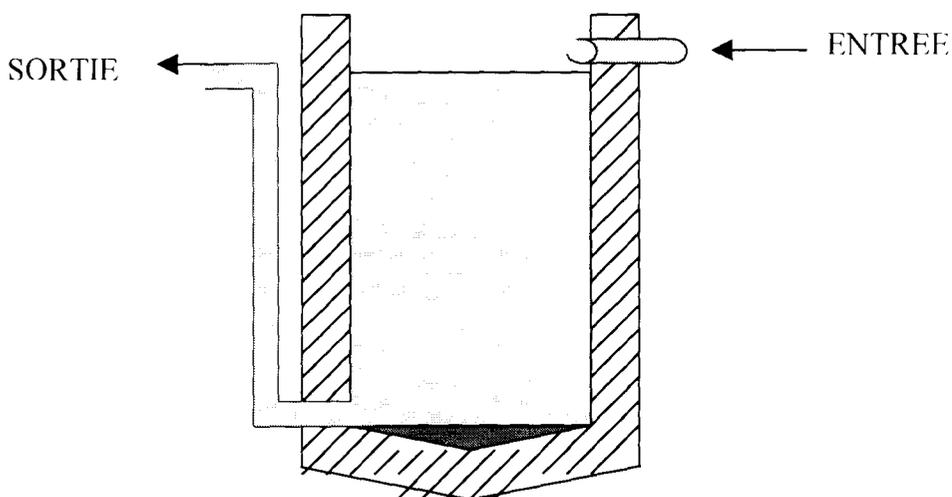
La fermentation méthanique peut se produire dans tous les biotopes où la matière organique peut être décomposée en l'absence d'accepteurs d'électrons comme  $O_2$ ,  $NO_3$ ,  $SO_4$ .

Comme toute réaction biologique, la fermentation anaérobie comporte trois types de réactions principales :

- Les réactions entraînant la production de la biomasse : la biosynthèse
- Les réactions liées au maintien en vie des cellules : la maintenance
- Les réactions de production de métabolites : le métabolisme.



Au cours de notre expérience, nous avons utilisé une fosse de 1 m de diamètre pour une profondeur utile de 2,85 m.



**Coupe verticale du bassin anaérobie**

C'est une fosse souterraine dont les parois sont en béton armé d'une épaisseur de 10 cm. L'eau rentre par le haut et ressort par le bas. Le temps de séjour hydraulique varie de 1 à 2 jours.

### 3.1.2 Paramètres physiques à la sortie du bassin anaérobie :

Les paramètres suivis sont le pH, la température l'oxygène dissous et la conductivité à la sortie du bassin. Les mesures sont effectuées d'une part à 7 heures du matin avant le levé du soleil et la première cuvée et d'autre part à 15 heures dans la journée ce qui correspond au zénith. Les mesures sont effectuées tous les jours de la semaine à l'exception des dimanches et jours fériés.

En plus des mesures journalières, des campagnes de profils des mêmes paramètres sont réalisées une fois par mois.

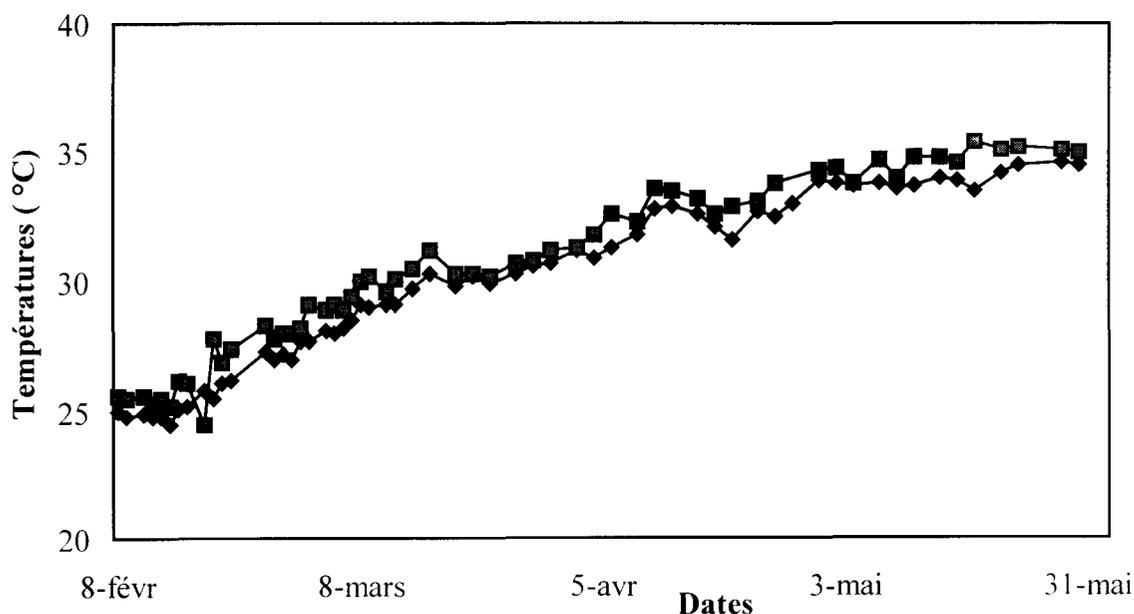
#### 3.1.2.1 Evolution de la température :

La température est un paramètre non contrôlé qui présente un intérêt dans le fonctionnement d'un bassin de lagunage, en particulier le lagunage anaérobie. Elle joue un rôle important dans les processus physico-chimiques, chimiques et biologiques. Elle exerce une influence directe ou indirecte sur la cinétique des réactions chimiques et biochimiques.

Les températures de l'eau à la sortie de l'anaérobie représentées sur la fig1, reflètent l'évolution saisonnière de ce paramètre.

**Fig 1: Température sortie bassin anaérobie (B1)**

—◆— T° 7h  
—■— T° 15h



Les températures en période froide ( février et mars ) varient de 25°C à 30°C en moyenne. En période chaude, ces températures atteignent jusqu'à 35°C. Par contre quel que soit la période considérée, l'écart de température entre le jour et la nuit reste relativement faible ( inférieur à 1°C) comparé à celui des autres systèmes.

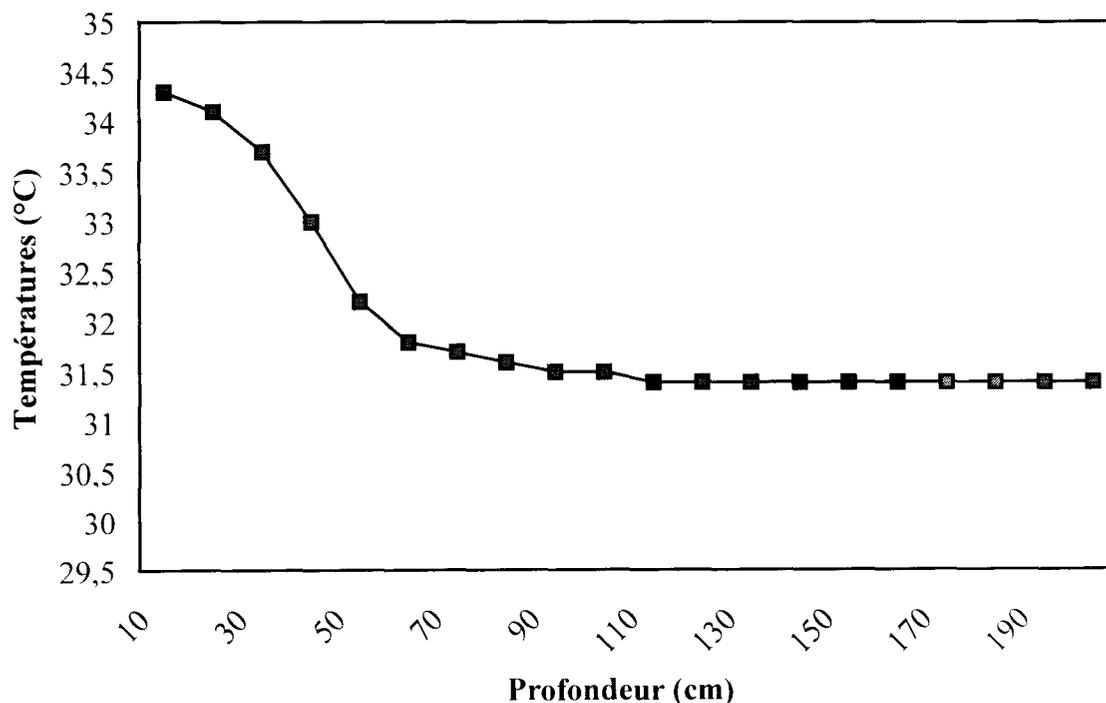
Les valeurs moyennes mensuelles ainsi que les minima et maxima sont consignées dans le tableau N°1.

**Tableau N°1 : Températures extrêmes et moyennes dans le bassin anaérobie :**

	Février		Mars		Avril		Mai	
	à 7 h	à 15 h	à 7 h	à 15 h	à 7 h	à 15 h	à 7 h	à 15 h
T° maxi (°C)	27,3	28,3	30,7	31,2	33,9	34,3	34,6	35,4
T° moyenne (°C)	25,7	26,5	29,2	29,9	32,3	32,9	34,0	34,7
T° mini (°C)	24,5	24,5	27,7	28,2	30,9	31,3	33,5	33,8

Ces températures indiquent bien que nous sommes dans la zone des bactéries mésophyles. Elles se situent dans l'optimum de la dégradation de la matière organique.

**Fig 2: Profil de température bassin anaérobie (B1)**



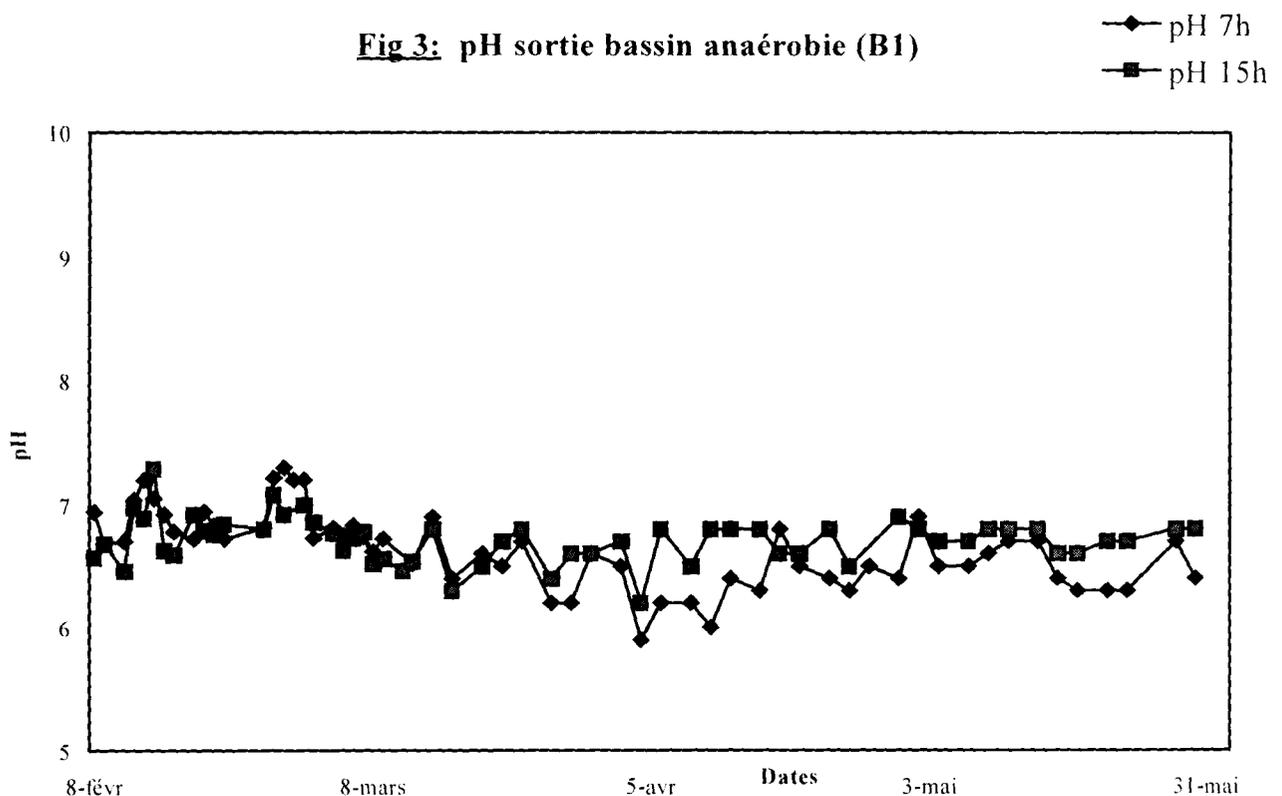
La figure 2 qui représente le profil des températures en fonction de la profondeur, montre que les fluctuations de ce paramètre sont enregistrées seulement sur une colonne d'eau d'un mètre à partir de la surface du bassin. Au-delà de cette colonne d'eau la température reste constante.

On peut aussi remarquer que ces fluctuations restent très faibles (inférieures à 0,5°C tous les 10 cm) ce qui laisse penser que même les populations bactériennes les plus sensibles ne subissent pas de choc thermique lors de l'évolution graduelle de l'effluent dans le bassin anaérobie.

### 3.1.2.2 Evolution du pH

Les valeurs du pH à la sortie du bassin anaérobie oscillent entre 6,2 et 6,8 tout au long de la journée à l'exception du mois de février dues certainement aux valeurs relativement faibles des températures. Ces valeurs de pH témoignent d'un bon équilibre entre les différents types de bactéries qui coexistent dans le bassin anaérobie.

**Fig 3:** pH sortie bassin anaérobie (B1)



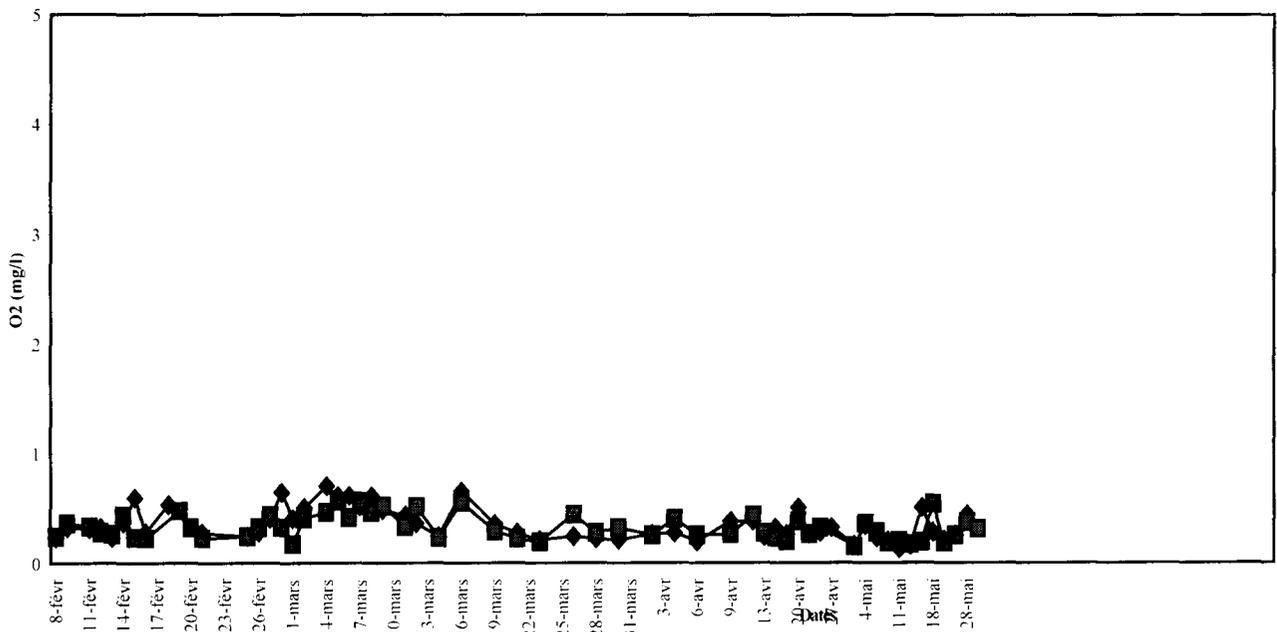
Les écarts de pH dans la journée sont assez faibles ( inférieur à 0,5 en moyenne ) c'est ce qui explique la superposition des courbes des pH enregistrés à 7 heures et à 15 heures ( Fig 3 ).

### 3.1.2.3 Etat d'oxygénation du bassin

Les mesures d'oxygène dissous réalisées à la sortie du bassin montrent à chaque fois une absence totale de ce paramètre. Cela confirme une fois de plus l'état d'anaérobiose du système. Ce pendant à la surface du bassin on enregistre des valeurs très faibles d'oxygène dues à la présence quasi permanente d'un film d'algues vertes. La figure 4 montre la présence d'oxygène dans les 20 premiers cm du bassin. Ces valeurs sont comprises entre 0,05 et 0,5 mg/l.

**Fig 4: Oxygène dissous dans les 20 premiers cm du bassin anaérobie (B1)**

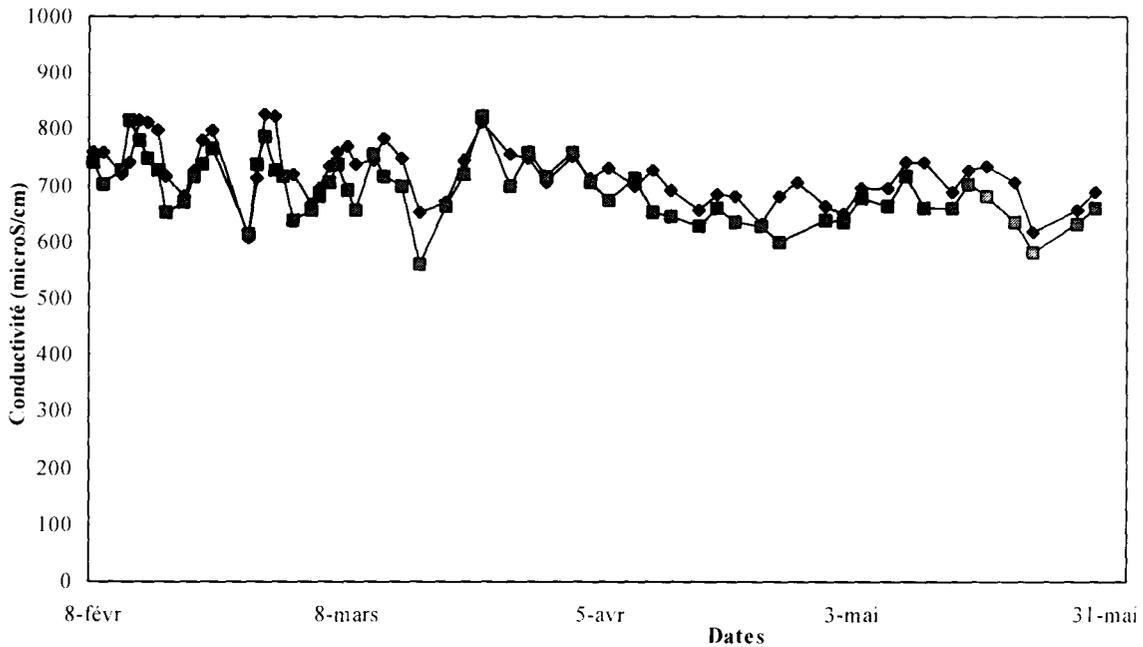
◆ O2 7h  
 ■ O2 15h



### 3.1.2.4 Evolution de la conductivité

La figure 5 donne l'évolution de la conductivité dans le bassin anaérobie. La valeur moyenne est de 700 mico siemens par centimètre. C'est la moyenne la plus élevée de tous les systèmes testés. Ce qui explique une bonne décomposition de la matière organique en éléments minéraux.

**Fig 5: Conductivité sortie bassin anaérobie (B1)** —◆— Conduct 7h  
—■— Conduct 15h



### 3.1.3 Performances du bassin anaérobie vis à vis des charges organiques

#### 3.1.3.1 les matières en suspension (MES) :

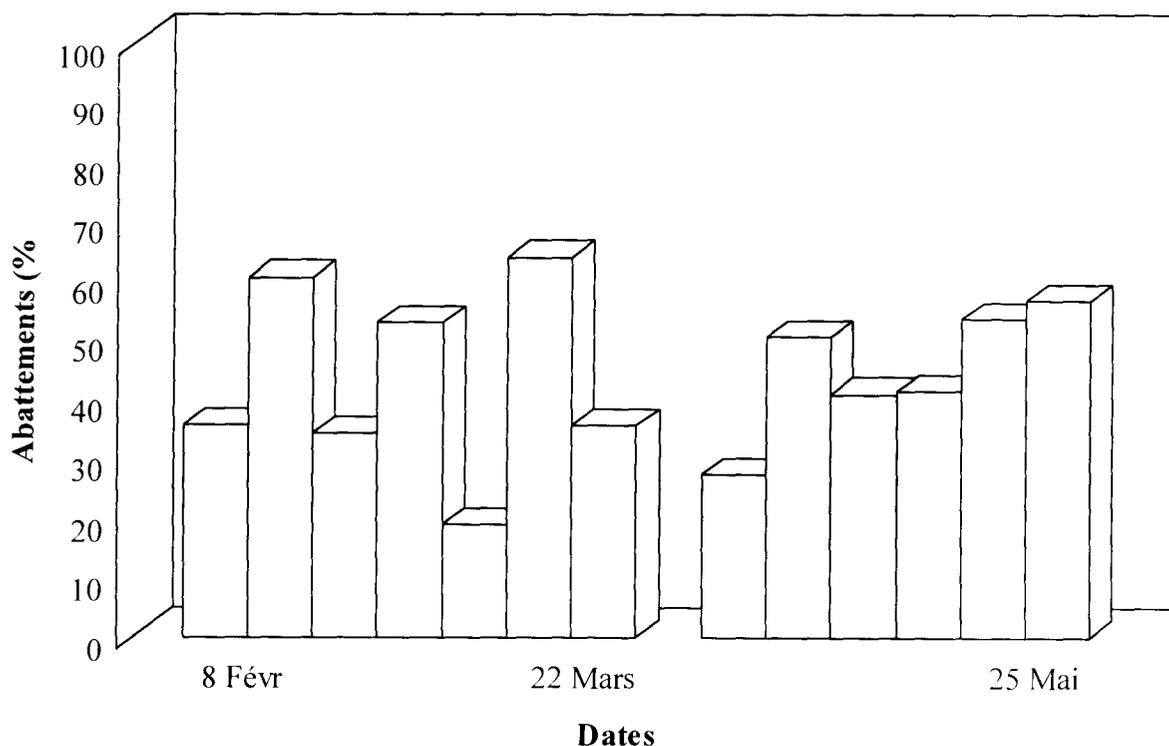
Dans les eaux brutes à l'entrée du bassin, les MES connaissent beaucoup de fluctuation par rapport aux eaux à la sortie comme le montre le tableau N°2.

Tableau N°2 : MES à l'entrée et à la sortie du bassin anaérobie

MES ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée bassin	474	150	238	103
Sortie bassin	207	89	129	35,3

Les rendements épuratoires sur les MES varient de 18,8% à 63,7% avec une moyenne de 43,8% (Fig 6). Ces performances sur les MES du système anaérobie résultent de la conjugaison de deux processus fondamentaux au sein du bassin : solubilisation et transformation de la matière organique particulaire et sédimentation d'une partie des particules.

**Fig 6: Abattelements MES bassin anaérobie (B1)**



Comparé à d'autres bassins de lagunage anaérobie cités dans la littérature, et dont le climat est voisin du notre, on peut noter une certaine similitude des performances. C'est le cas du bassin anaérobie de la station d'épuration de Marrakech au Maroc dont le rendement moyen est de 43% [BOUARAB,L, 1988].

### 3.1.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO):

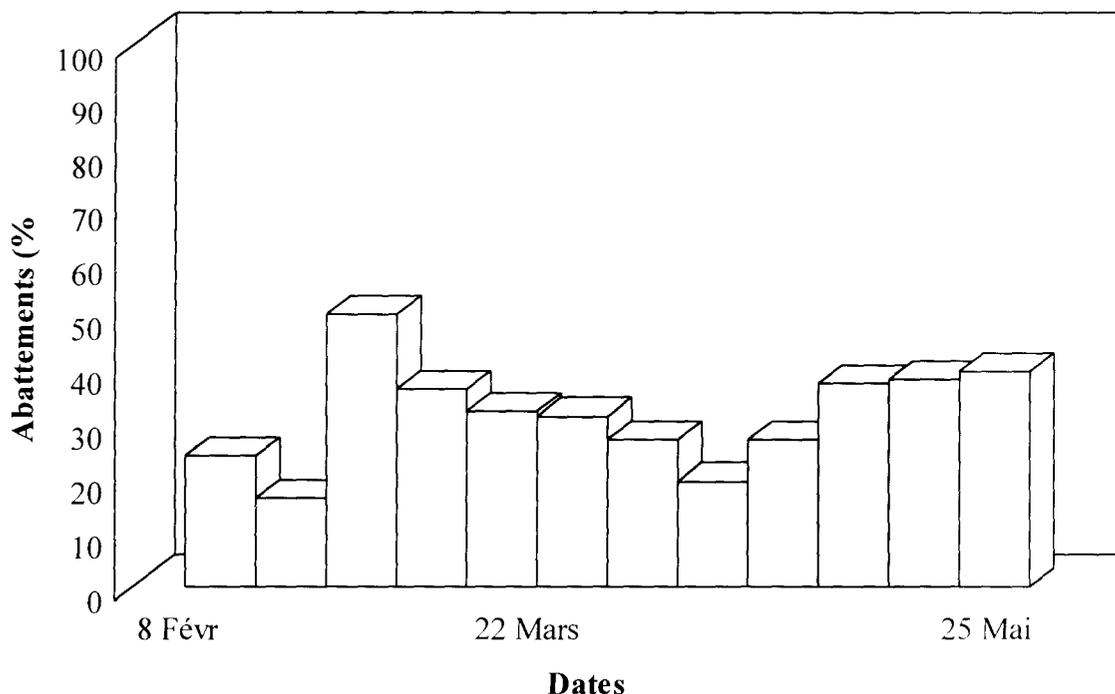
Les eaux brutes à l'entrée du bassin anaérobie présentent une très grande variation de DCO due aux activités variables de la population estudiantine. La valeur maximale enregistrée est de 823 mg/l pour un minimum de 496 mg/l. La moyenne tourne au tour de 581 mg/l ( $\pm 107,8$ ).

Tableau N°3 : DCO à l'entrée et à la sortie du bassin anaérobie

DCO ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée brute	823	496	581	107,8
Sortie brute	506	317	407	50,9
Entrée filtrée	300	227	258	23,7
Sortie filtrée	289	129	214	46

A la sortie du bassin anaérobie, la fluctuation de la DCO brute est considérablement réduite mais suit tout de même celle de la DCO à l'entrée du bassin. Les concentrations à la sortie de l'anaérobie sont en moyenne de 407 mg/l ( $\pm 50,9$ ) avec des maxima de 506 mg/l et minima de 317 mg/l .

**Fig 7: Abattements DCO brute bassin anaérobie (B1)**

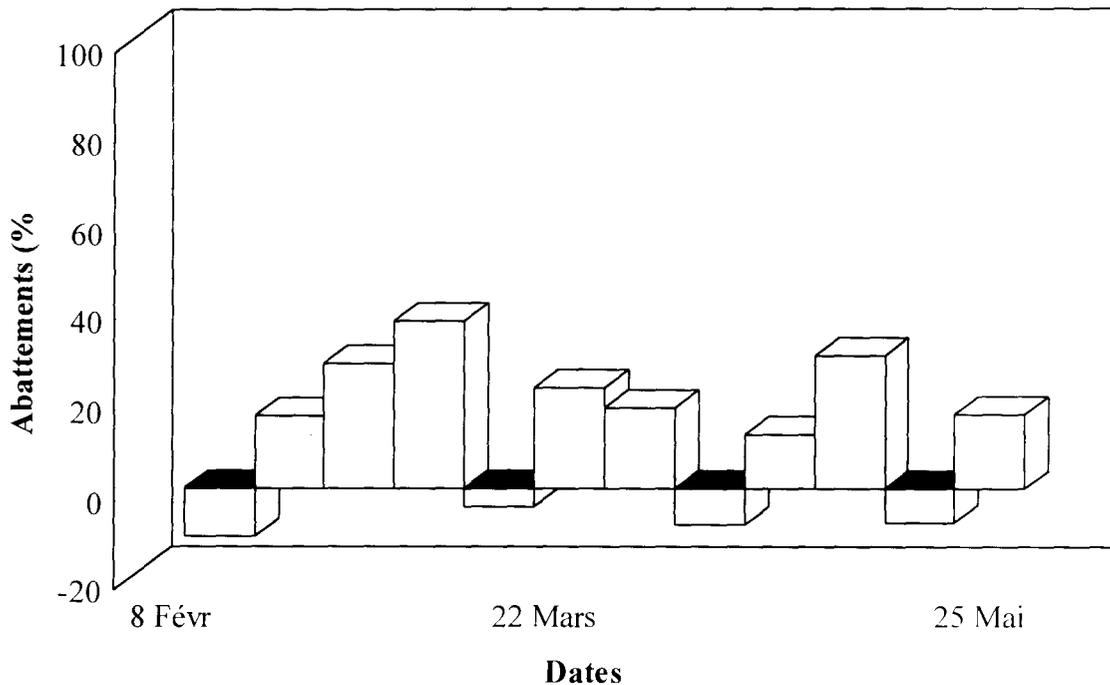


Sur la DCO filtrée, le passage en solution de la matière organique particulaire fait qu'à certains moments les valeurs à la sortie du bassin anaérobie sont supérieures à celles de l'entrée. Ce qui se traduit par des abattements négatifs sur la DCO filtrée.

Les abattements sur la DCO brute (fig 7) varient entre 16,4% et 50,1% avec une moyenne de 31,7%. Ces abattements sont fonction de la charge appliquée ; surtout de la quantité de matière en suspension contenue dans l'effluent qui entre dans le bassin.

Sur la DCO filtrée ( fig 8), les abattements sont plus faibles avec même des valeurs négatives. Cela est dû au passage en solution de la matière organique particulaire ; et compte tenu du temps de séjour très court, la dégradation n'a pas pu être poussée par les bactéries.

**Fig 8: Abattements DCO filtrée bassin anaérobie (B1)**



### 3.1.3.3 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5) :

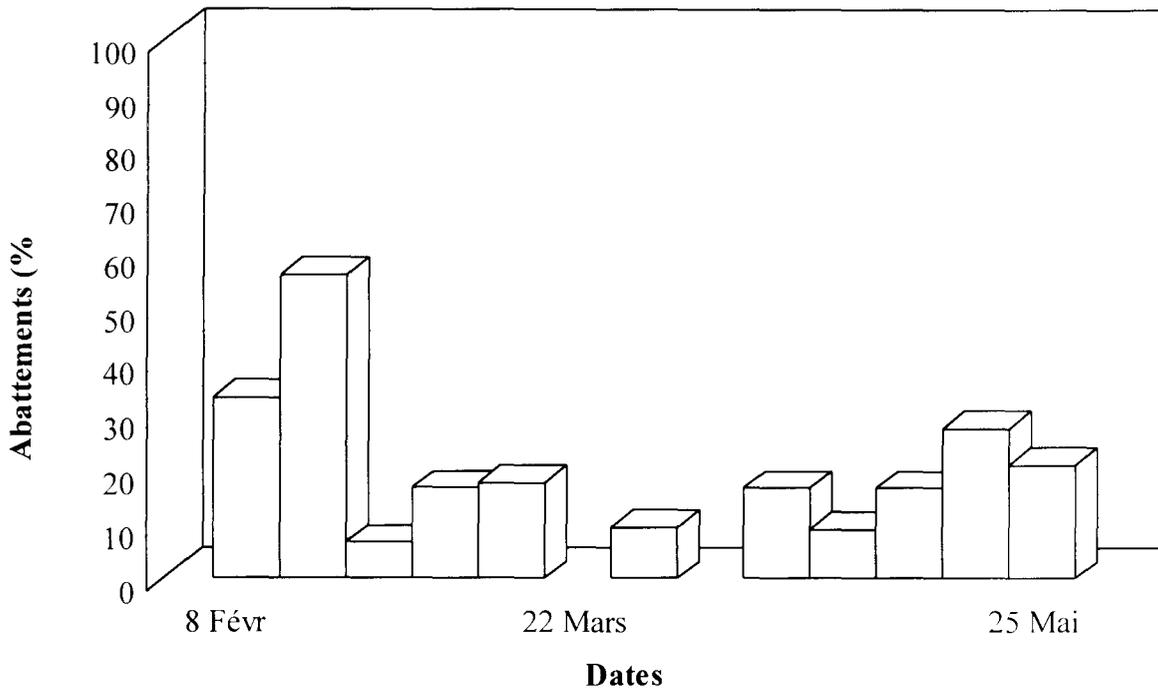
Tableau N°4 : DBO à l'entrée et à la sortie du bassin anaérobie

DBO ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée brute	380	220	315	47
Sortie brute	300	140	250	52,7
Entrée filtrée	240	140	180	31,3
Sortie filtrée	220	130	172	29,5

La DBO brute à l'entrée, tourne autour d'une moyenne de 315 mg/l ( $\pm 47$  mg/l) avec un maximum de 380 mg/l et un minimum de 220 mg/l. A la sortie du bassin, la moyenne est de 250 mg/l ( $\pm 52,7$ ), le maxima de 300 mg/l et le minima de 140 mg/l. On remarque que l'écart type sur l'effluent à la sortie est légèrement supérieur à celui des eaux à l'entrée du bassin.

Sur l'effluent filtré, les valeurs enregistrées à la sortie sont du même ordre de grandeur que les valeurs à l'entrée du bassin. A certains moment les valeurs à l'entrée dépassent même légèrement celles de sortie. La moyenne de l'effluent brut à l'entrée du bassin est de 180 mg/l tandis que celle de l'eau à la sortie est 172 mg/l.

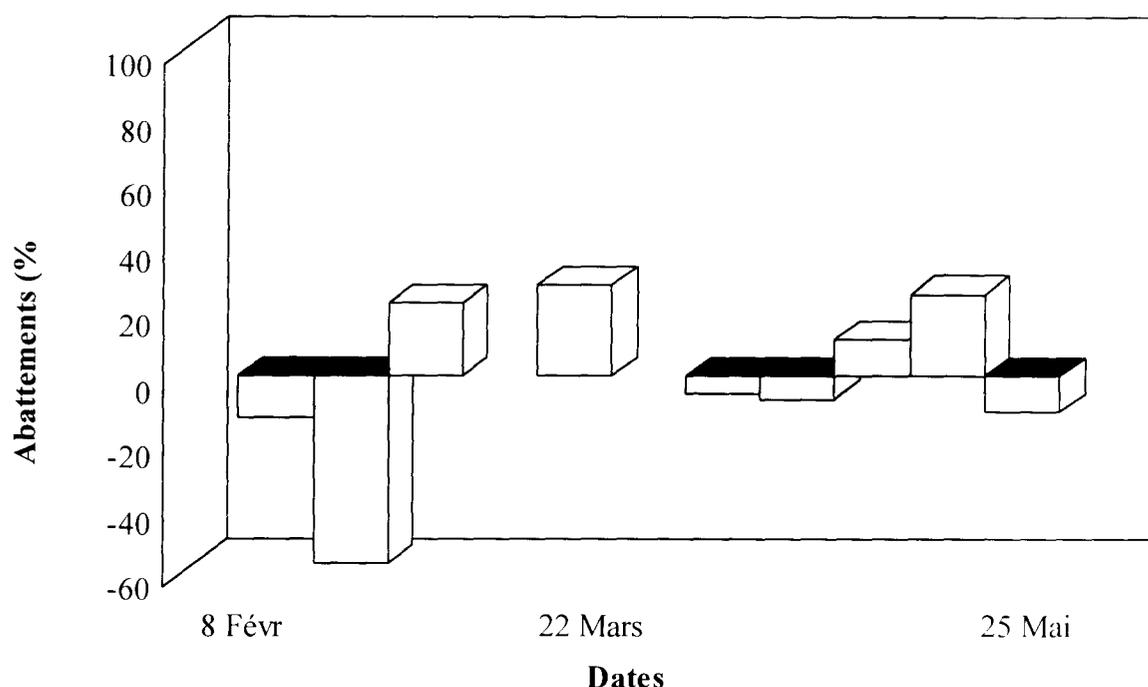
**Fig 9: Abattements DBO5 brute bassin anaérobie (B1)**



La DBO permet de quantifier les besoins en oxygène des bactéries pour l'oxydation des matières organiques oxydables par voie aérobie. Plus une eau est chargée en DBO, plus elle sera consommatrice d'oxygène. Les eaux à la sortie d'un réacteur anaérobie ne contiennent pratiquement pas d'oxygène même à l'état de trace. L'oxygène fourni artificiellement à cette eau sera de ce fait partagé entre la partie qui restera à l'état dissout et la partie qui sera consommée par les bactéries pour l'oxydation de la matière organique. Ce qui explique en partie les valeurs élevées de la DBO à la sortie du système anaérobie. Les rendements sur la DBO sont de ce fait très faibles. En moyenne 21% sur la DBO brute.

Sur la DBO filtrée, en plus de la grande affinité des eaux à la sortie de l'anaérobie, il faut signaler que la solubilisation de la matière organique particulaire a fait augmenter la charge organique de l'effluent filtré. Ce qui explique les abattements négatifs enregistrés.

**Fig 10: Abattements DBO5 filtrée bassin anaérobie (B1)**



### 3.1.4 Evolution des composés azotés dans le bassin anaérobie :

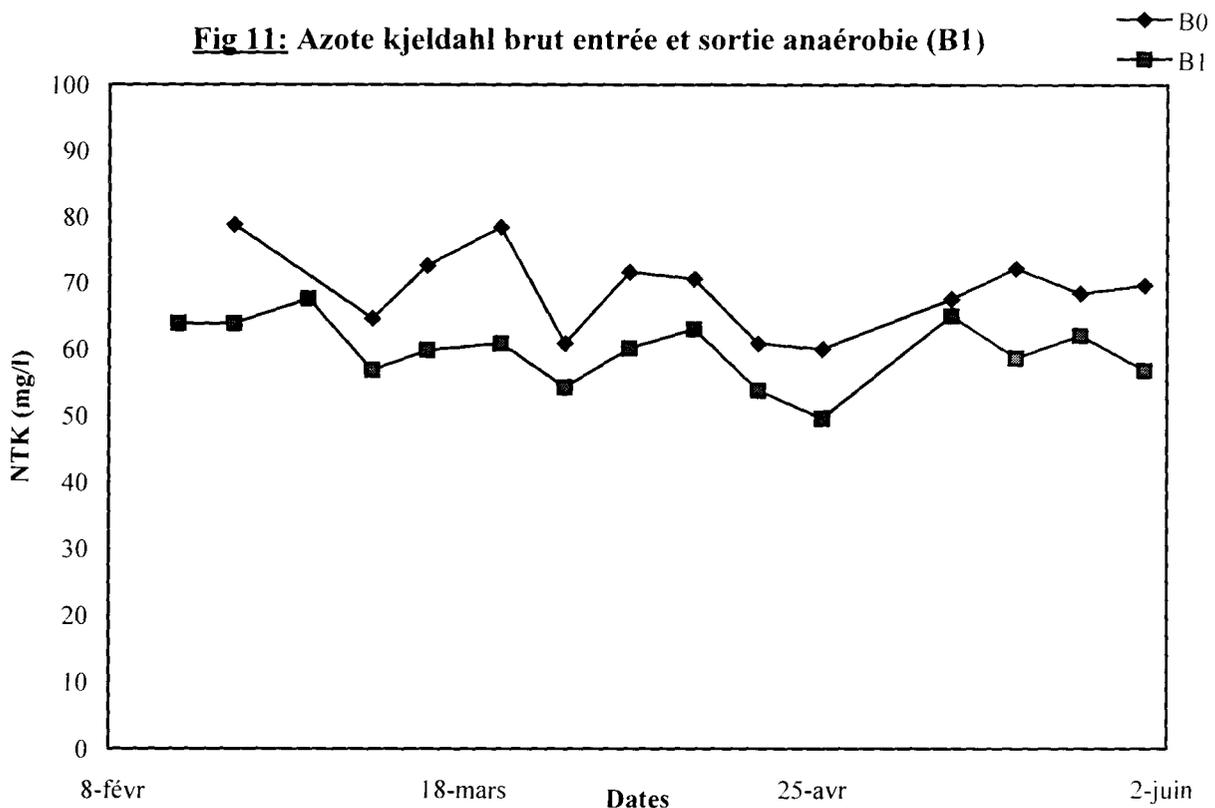
#### 3.1.4.1 Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)

L'absence quasi totale des nitrites et des nitrates dans les eaux à la sortie du bassin anaérobie ramène le bilan des composés azotés à celui de l'azote total Kjeldahl ; c'est à dire à la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal contenus dans les eaux.

Les figures 11 et 12 donnent l'évolution de l'azote Kjeldahl (NTK) à l'entrée et à la sortie du bassin anaérobie sur les eaux brutes et filtrées exprimé en milligramme par litre d'azote.

Les valeurs à l'entrée de la station varient pour l'échantillon brut entre 60 et 78,8 milligrammes d'azote par litre pour une moyenne de 68,9 mg/l de N. Soit en équivalent ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ): 77,1 mg/l équivalent  $\text{NH}_4^+$  pour le minimum, 101,3 mg/l équivalent  $\text{NH}_4^+$  pour le maximum et pour la moyenne 88,6 mg/l équivalent  $\text{NH}_4^+$ .

Sur l'échantillon filtré, les valeurs en mg/l de N sont respectivement :  
 minimum = 50,4 mg/l de N; maximum= 78,2 mg/l de N et moyenne= 62,6 mg/l.



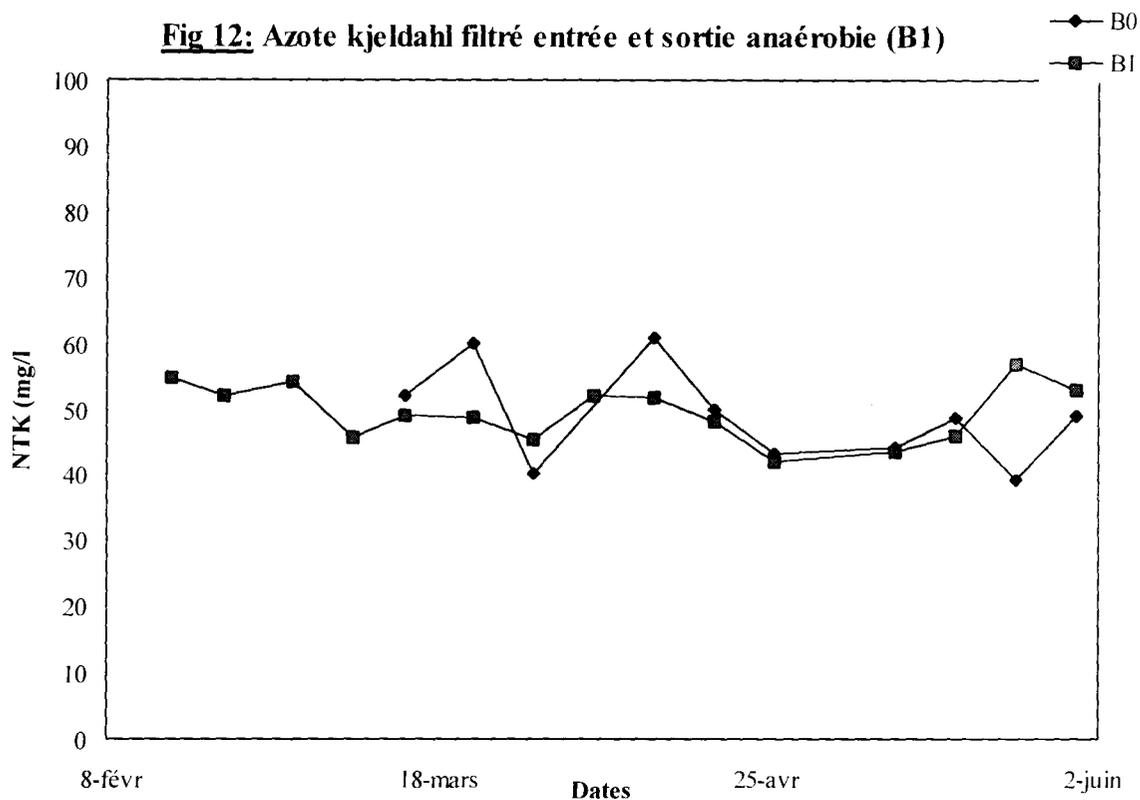
On remarque que les MES renferment en moyenne 29,4% d'azote sur l'azote total contenu dans l'effluent brut.

A la sortie du bassin anaérobie, les concentrations sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau N°5: Valeurs de l'azote Kjeldahl (NTK) en mg/l de N et l'équivalent en mg/l de  $\text{NH}_4^+$ .

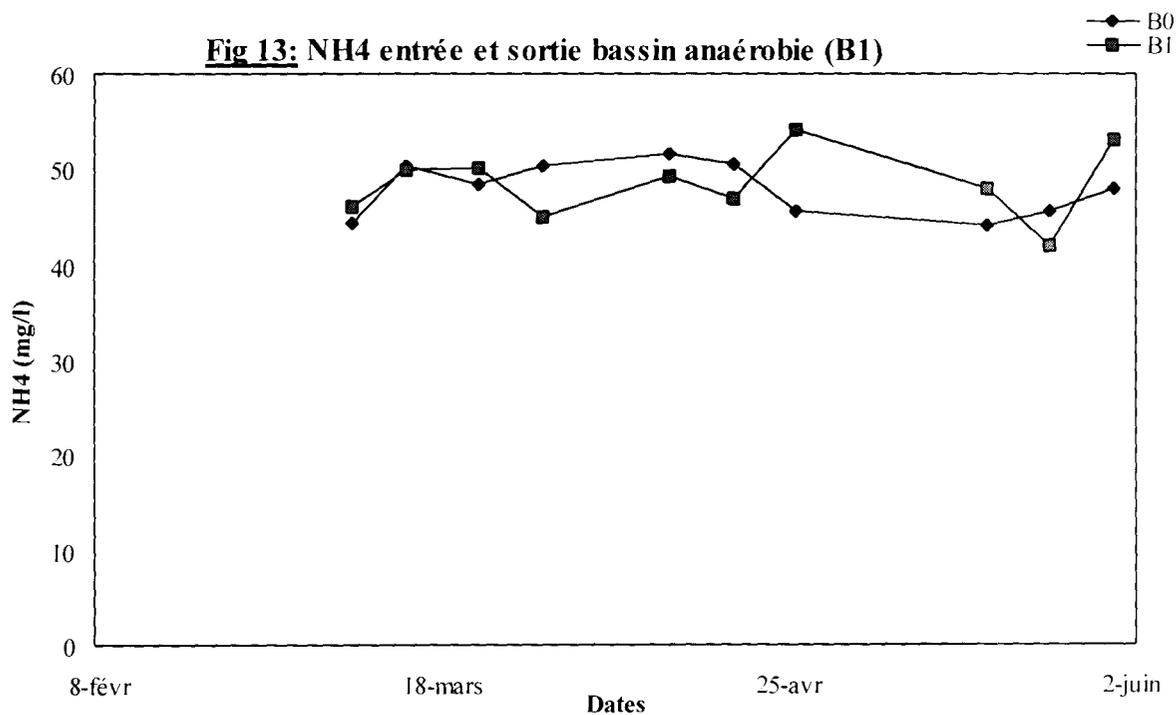
	Sortie B1 brute		Sortie B1 filtrée	
	mg/l de N	mg/l de $\text{NH}_4^+$	mg/l de N	mg/l de $\text{NH}_4^+$
Mini	49,6	63,8	42,0	54
Moyenne	59,7	76,8	49,5	63,6
Maxi	67,6	86,9	56,9	73,2

Les matières en suspension à la sortie du bassin anaérobie représentent seulement 17,1% de l'azote totale contenu dans les eaux.



### 3.1.4.2 Evolution de l'azote ammoniacal

La figure 13 représente l'évolution de l'azote ammoniacal. La moyenne mesurée est de 48,4 mg/l de  $\text{NH}_4^+$ . On remarque que la forme ammoniacale représente 76,1% de l'azote total dissous.



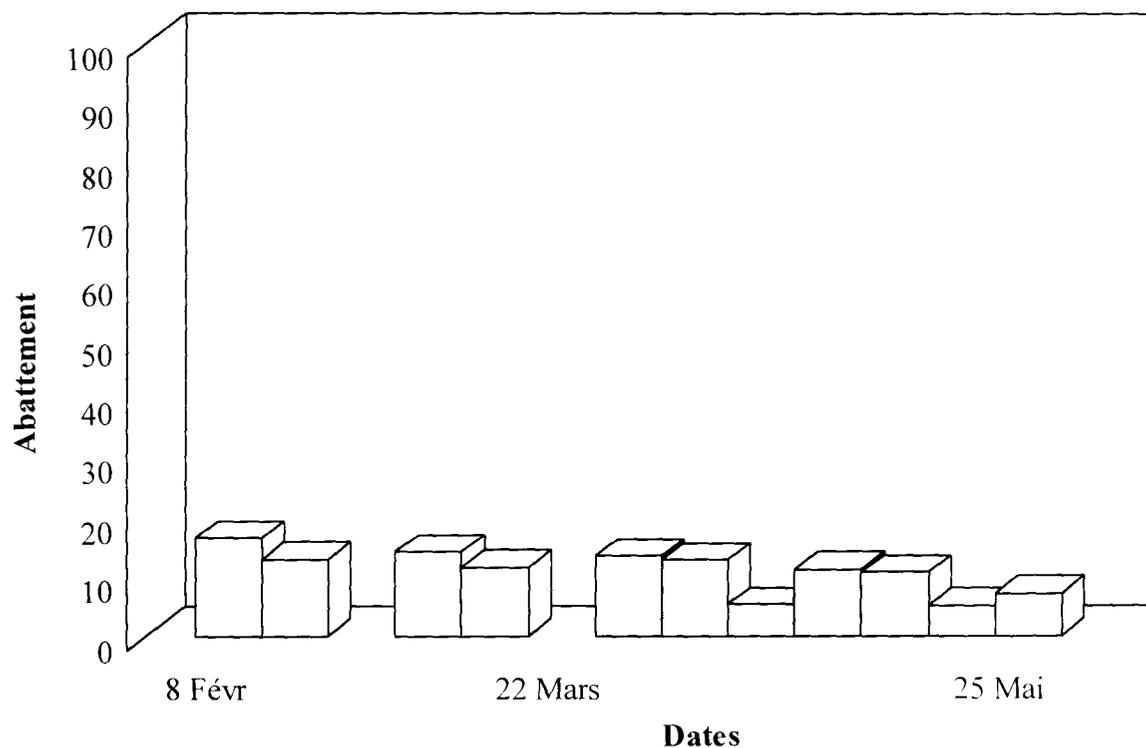
### 3.1.5 Evolution des orthophosphates dans le bassin anaérobie :

Le tableau N°6 donne les valeurs des orthophosphates exprimées en mg/l de PO<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie du bassin anaérobie.

Tableau N°6 : PO<sub>4</sub> à l'entrée et à la sortie du bassin anaérobie

PO <sub>4</sub> ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne
Entrée	4,4	3	3,9
Sortie	3,9	3	3,5

**Fig 14:** Abatement PO4 bassin anaérobie (B1)



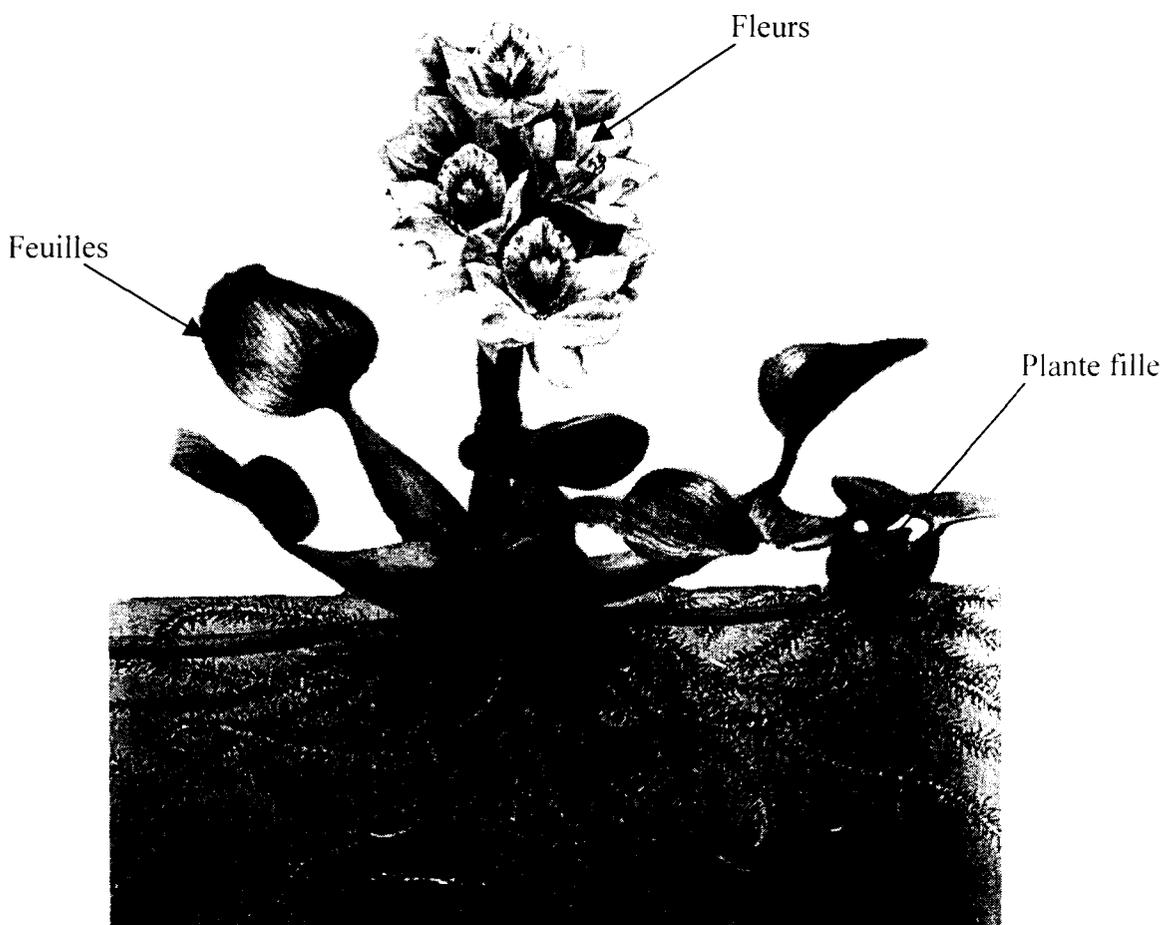
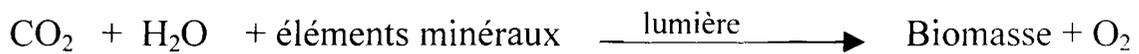
Dans le système anaérobie, en l'absence des végétaux capables d'assimiler les orthophosphates, ces derniers sont surtout éliminés sous forme de complexes par précipitation. C'est ce qui explique les faibles rendements d'élimination des orthophosphates.

Dans notre cas, le rendement moyen est inférieur à 10%.

## 3.2 FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DE LA JACINTHE D'EAU EN TETE DE FILIERE :

### 3.2.1 La jacinthe d'eau dans le traitement des eaux usées:

La jacinthe d'eau est une plante aquatique flottante avec un système racinaire très important. Elle se développe à partir de l'eau, des éléments minéraux contenus dans les effluents, du dioxyde de carbone et du soleil selon le bilan de la réaction suivante :



Morphologie de la jacinthe d'eau

Lorsque la jacinthe d'eau est systématiquement cultivée dans les eaux usées, cela revient à retirer régulièrement de ces eaux tous les nutriments qu'elle utilise pour sa croissance. Nutriments que nous, nous appelons pollution. Ce qui fait de la jacinthe un agent naturel du contrôle de la pollution.

Deux mécanismes interviennent dans le traitement des eaux usées par les jacinthes tous deux par l'intermédiaire du système racinaire :

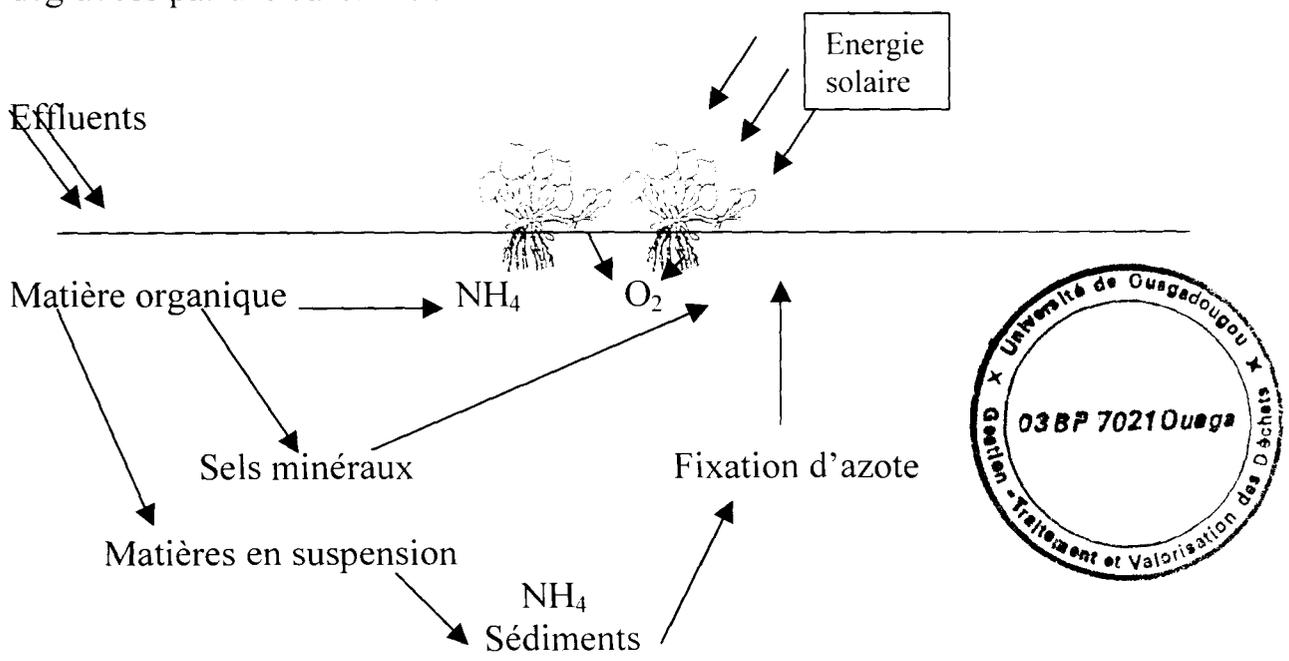
- Absorption et assimilation des éléments chimiques en solution qui constituent la pollution la plus abondante et la plus néfaste du milieu récepteur.

Les principaux macro-nutriments de la plante sont: l'azote, le phosphore et le potassium. Les racines de la jacinthe, suspendues dans l'eau et en contact permanent avec celle-ci, extraient ces éléments pour les besoins en nutriments de la plante.

La jacinthe d'eau absorbe d'importantes quantités de ces éléments ainsi extraits par les racines afin de les utiliser dans un processus métabolique pour la fabrication de nouveaux tissus ou les emmagasiner dans les racines ou dans les autres parties de la plante.

Par le même mécanisme, des études ont montré que la jacinthe d'eau est capable d'absorber des métaux lourds contenus dans les eaux résiduaires industrielles et de les concentrer au niveau des racines [N.MILAND, 1981]. On pense même dans l'avenir utiliser cette plante pour la récupération de certains métaux précieux tels l'or ou l'argent.

- Filtration des eaux usées par rétention des MES contenues dans l'effluent. Ces matières en suspension retenues au niveau des racines sont ensuite dégradées par des bactéries aérobies.



**SCHEMA DU MECANISME D'EPURATION DES EAUX USEES  
PAR LES JACINTHES D'EAU**

Par ses qualités d'absorption très intéressantes, la jacinthe d'eau peut donc être utilisée comme agent de traitement des eaux usées résiduaires.

Plusieurs essais ont été effectués dans le monde entier sur le traitement des eaux usées d'origines urbaines, industrielles ou agricoles.

En Afrique, le traitement tertiaire des déchets d'abattoirs de la ville de Thies au SENEGAL par les jacinthes d'eau a été testé en collaboration avec la station de lagunage de MEZE, les premiers résultats étant particulièrement encourageants.

Dans le Mississippi, un laboratoire de la NASA [B.C.WOLVERTON, 1979] a obtenu dans une lagune de 2 hectares de jacinthes recevant 475 m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour une réduction de : 95 % sur la DBO5 ; 90 % sur les MES ; 72 % sur l'azote et 56 % sur le phosphore.

Ce laboratoire a démontré que dans de bonnes conditions, un hectare de jacinthe peut épurer les eaux usées d'environ 800 personnes aux Etats Unis.

En France, F.SAUZE ( 1984 ), sur des bassins expérimentaux en Languedoc-Roussillon a testé l'efficacité épuratoire de 3 milieux de culture de jacinthes d'eau dans des bassins de 20 m<sup>2</sup> dont 17,5 occupés par les eaux et la culture:

- B1 : culture de jacinthes d'eau sur effluent prélaguné
- B2 : culture de jacinthes sur effluent brut issu du réseau d'égout et dilué avec un volume égal d'eau pure de la commune
- B3 : culture de jacinthes sur effluent brut non dilué.

Un 4<sup>ème</sup> bassin ( B4 ) figurant le lagunage ordinaire a été alimenté en effluent brut sans jacinthes.

Pour un temps de séjour de 14 jours, il a obtenu les performances épuratoires suivantes.

	Abattement DCO	Abattement MES	Abattement NTK	Abattement PO4
B1	52 %	60 %	67 %	24,5 %
B2	43,7%	51 %	36 %	49,5 %
B3	51 %	74 %	52 %	38,5 %
B4	42,7 %	4 %	68 %	0 %



### **Bassins à jacinthes d'eau**

Au cours de nos expériences, nous avons utilisé des bassins de jacinthes d'eau à différentes positions dans la filière d'épuration. Les résultats qui vont suivre sont ceux du bassin à jacinthes en tête de filière, c'est à dire recevant directement des eaux usées brutes.

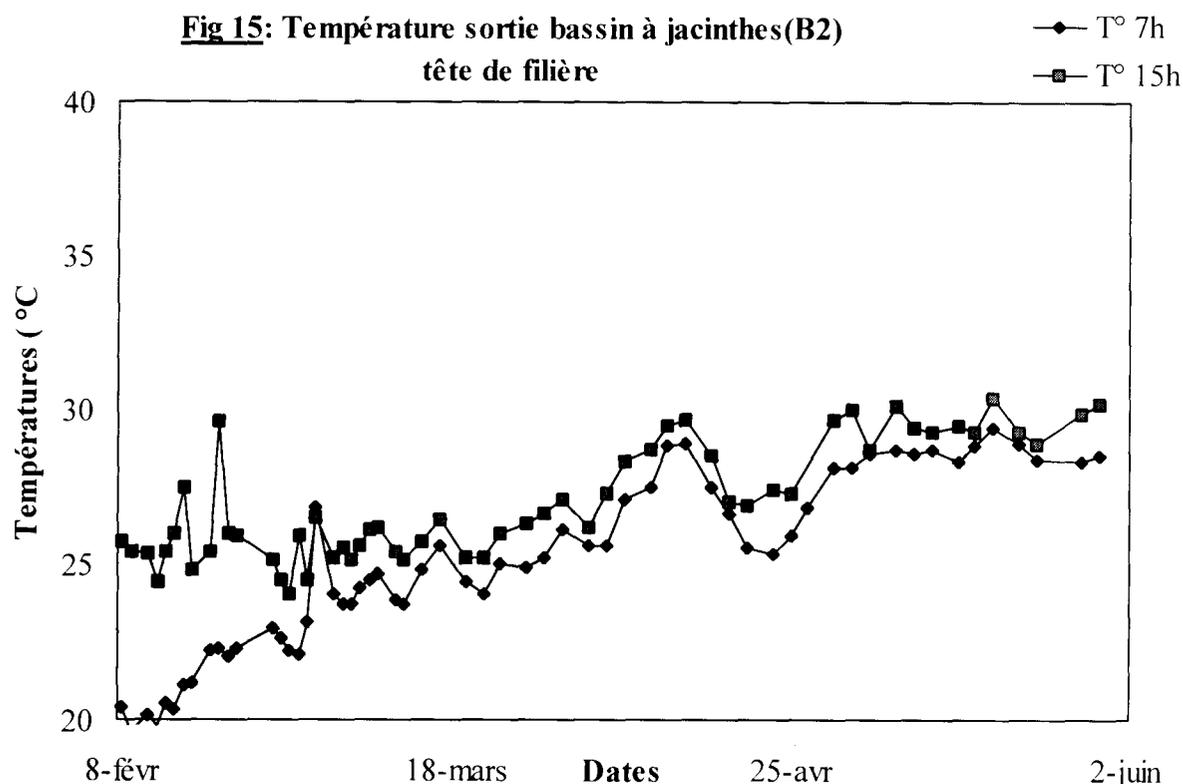
#### **3.2.2 Paramètres physiques dans le bassin à jacinthes en tête de filière :**

Les paramètres suivis sont les mêmes que dans le bassin anaérobie, à savoir le pH, la température, l'oxygène dissous et la conductivité. Ils sont mesurés le matin à 7 heures et l'après midi à 15 heures, à la sortie du bassin à environ 10 – 20 cm de la surface de l'eau.

##### **3.2.2.1 Evolution de la température :**

Les températures dans le bassin à jacinthes représentées sur la figure 15, sont inférieures à celles enregistrées dans le bassin anaérobie. L'écart est de l'ordre de 5°C pour les températures enregistrées au mois de mai qui est un des mois les plus chauds de l'année.

**Fig 15: Température sortie bassin à jacinthes(B2)  
tête de filière**



Cet écart s'explique d'une part, par les activités des bactéries dans le bassin anaérobie qui conduisent à une production de chaleur; et d'autre part par la couverture végétale que forment les jacinthes dans le bassin réduisant ainsi le passage des rayons solaires dans les eaux du bassin. On peut aussi remarquer que l'écart entre les températures enregistrées à 7 heures le matin et celles enregistrées à 15 heures de la même période peut atteindre 7°C pour le bassin à jacinthes alors qu'il est inférieur à 1°C pour le bassin anaérobie pendant la même période. Le tableau 7 donne les moyennes mensuelles des températures du bassin à jacinthes ainsi que les minima et les maxima.

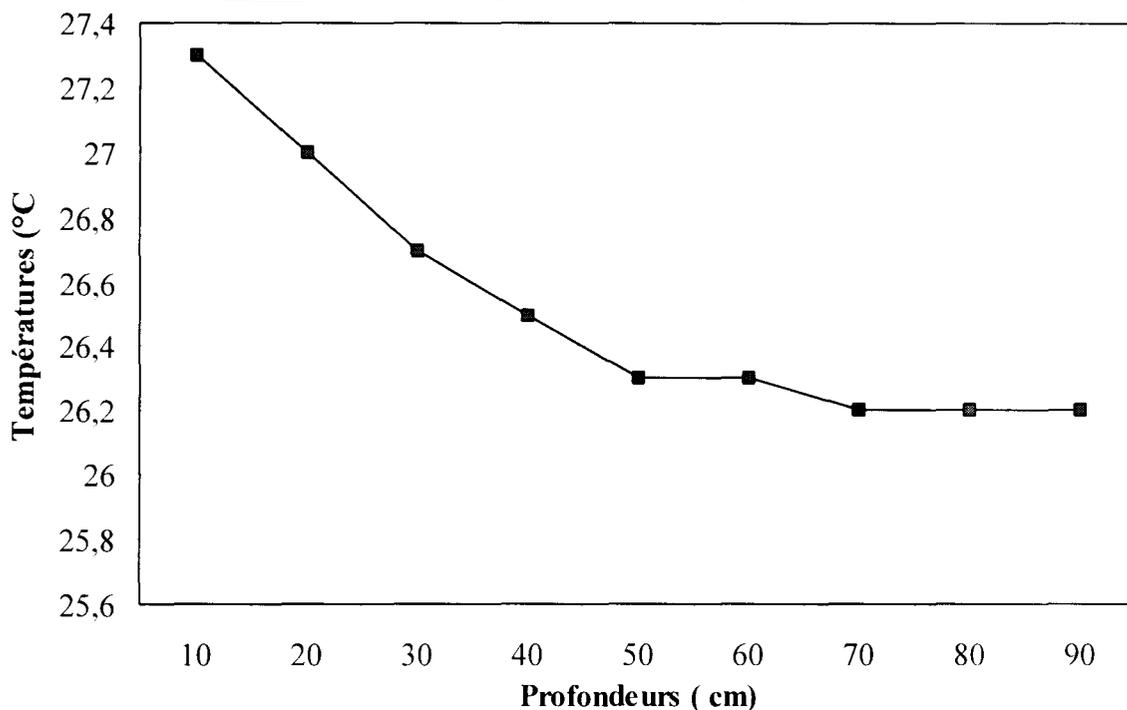
**Tableau N°7 : Températures extrêmes et moyennes dans le bassin à jacinthes :**

	Février		Mars		Avril		Mai	
	A 7 h	A 15h	A 7 h	A 15h	A 7 h	A 15h	A 7 h	A 15h
T° maxi (°C)	22,9	29,6	26,8	27,1	28,9	29,7	29,4	30,4
T° moyenne (°C)	21,4	25,6	24,6	25,8	26,9	28	28,6	29,6
T° mini (°C)	19,6	24	23,1	24,5	25,3	26,2	28,1	28,7

La figure 16 qui représente les valeurs des températures en fonction de la profondeur, montre que ces températures descendent graduellement de façon linéaire sur les 50 premiers cm du bassin pour se stabiliser sur la partie restante.

L'écart de température tous les 10 cm est compris entre 0,2 et 0,3°C alors pour le bassin anaérobie cet écart peut même atteindre 0,7°C.

**Fig 16: Profil de température Bassin à jacinthes (B2)**

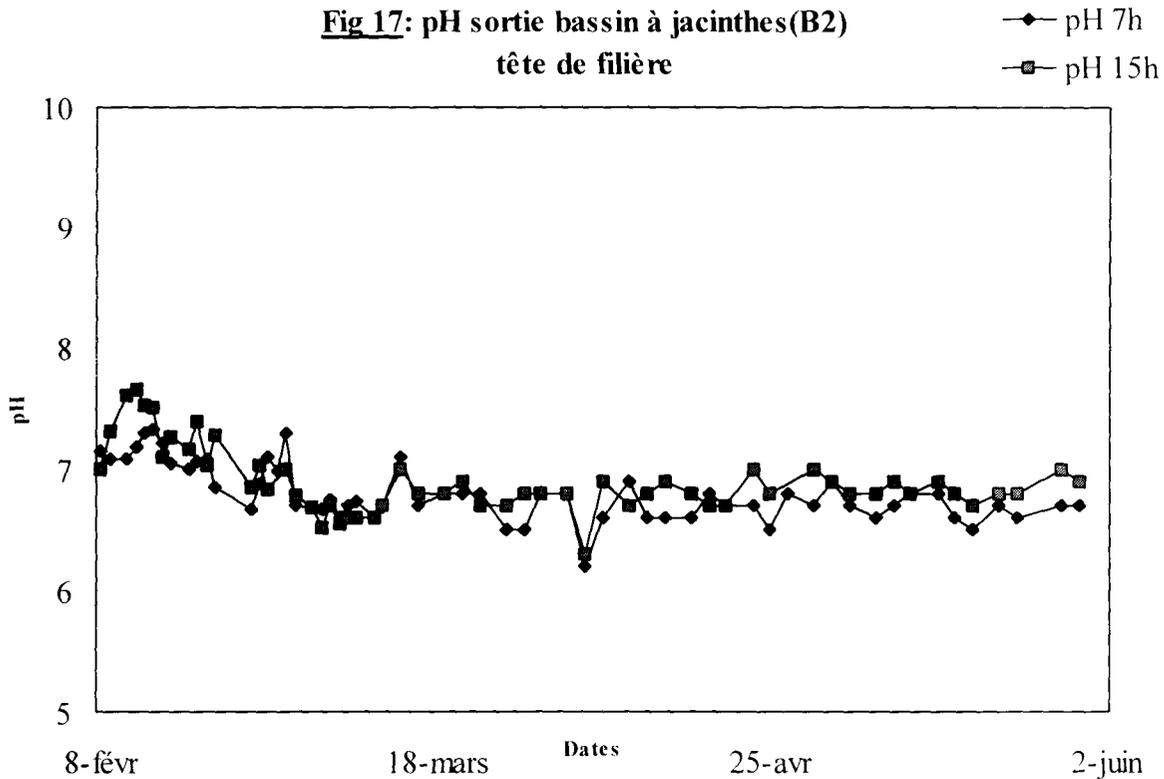


### 3.2.2.2 Evolution du pH

Les valeurs du pH dans le bassin à jacinthes se situent entre 6,5 et 7 tout au long de la journée et pendant toute la période de l'expérience à l'exception des valeurs du début dues certainement au fait que le système n'a pas encore atteint son équilibre. On peut remarquer que ces valeurs sont un tout petit peu plus élevées que celles enregistrées dans le bassin anaérobie.

Ces valeurs peuvent être expliquées par l'absence du phytoplancton dans le bassin à jacinthes.

**Fig 17: pH sortie bassin à jacinthes(B2)  
tête de filière**



### 3.2.2.3 Etat d'oxygénation du bassin

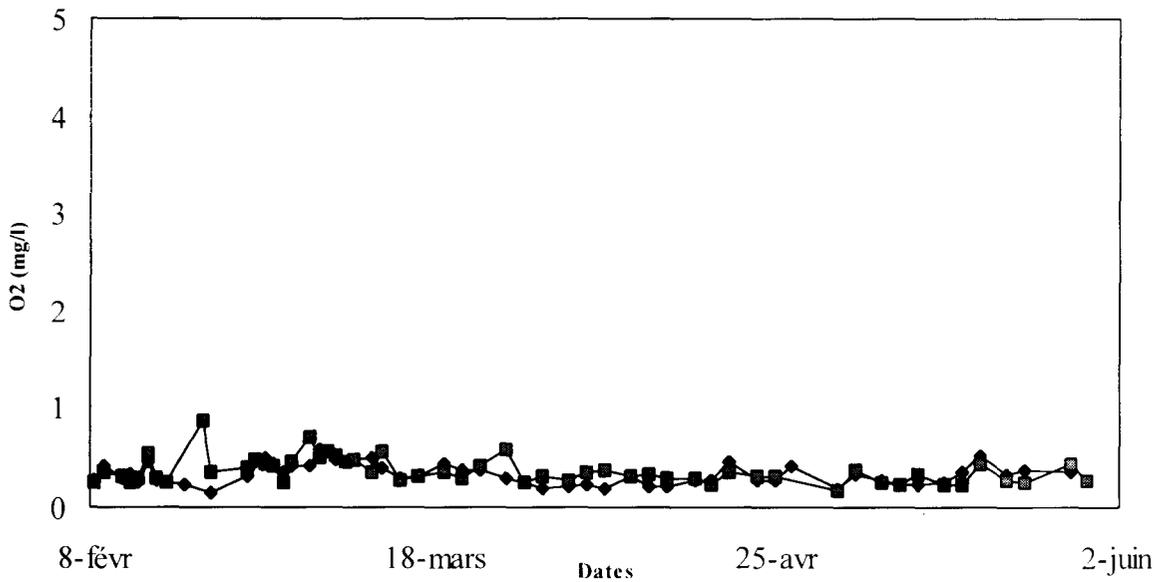
Le tapis formé par la jacinthe d'eau à la surface du bassin empêche l'échange d'oxygène entre l'air et les effluents du bassin. De plus, l'absence quasi totale d'algues dans le bassin exclu toute production importante d'oxygène.

Les valeurs très faibles enregistrées au cours de l'expérience proviennent de la production d'oxygène au niveau des racines de la plante. C'est à dire dans la partie rhizosphère. C'est dans cette partie qu'a lieu la dégradation aérobie dans les bassins à macrophytes. L'oxygène produit au niveau des racines est donc utilisé en partie pour cette dégradation.

Les valeurs mesurées dans nos bassins se situent entre 0,2 mg/l et 0, 4 mg/l.

**Fig 18: Oxygène dissous sortie bassin à jacinthes (B2)**  
tête de filière

—◆— O2 7h  
—■— O2 15h



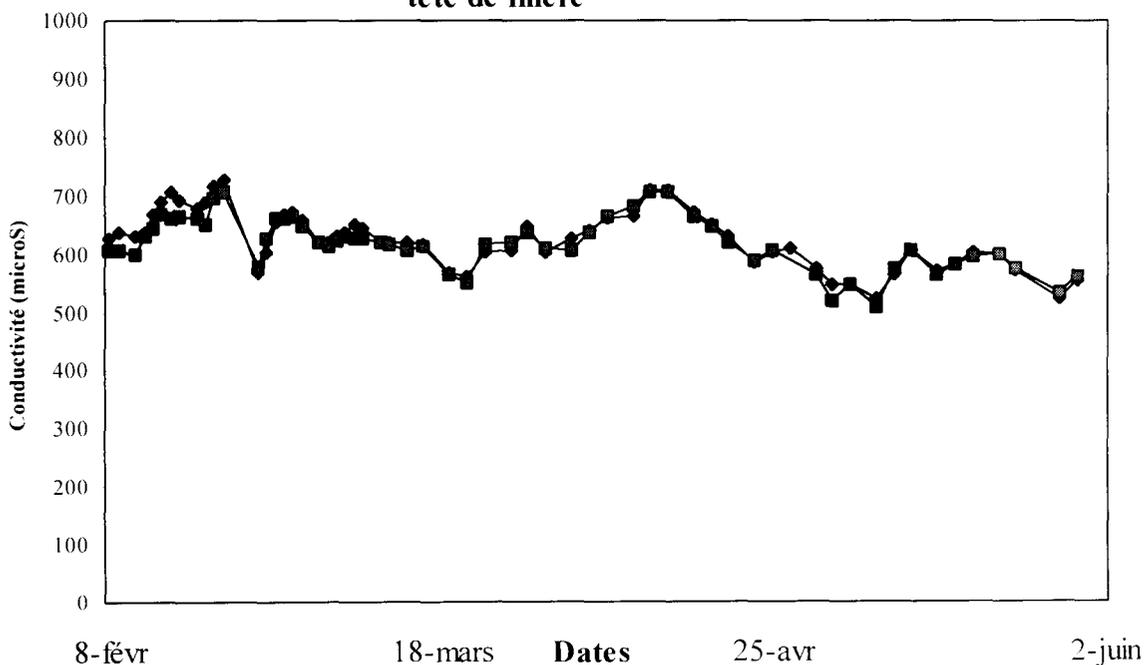
### 3.2.2.4 Evolution de la conductivité

La conductivité dans le bassin à jacinthes relevée à 7 heures du matin est en moyenne identique à celle relevée à 15 heures de l'après midi. Ce qui témoigne de l'homogénéité du milieu à tout moment de la journée.

La valeur moyenne très faible ( 600  $\mu\text{s/cm}$ ) par rapport à la moyenne du bassin anaérobie justifie le faible degré de minéralisation du bassin à jacinthes.

**Fig 19: Conductivité sortie bassin à jacinthes (B2)**  
tête de filière

—◆— Conduct 7h  
—■— Conduct 15h



### 3.2.3 Performances du bassin à jacinthes vis à vis des charges organiques

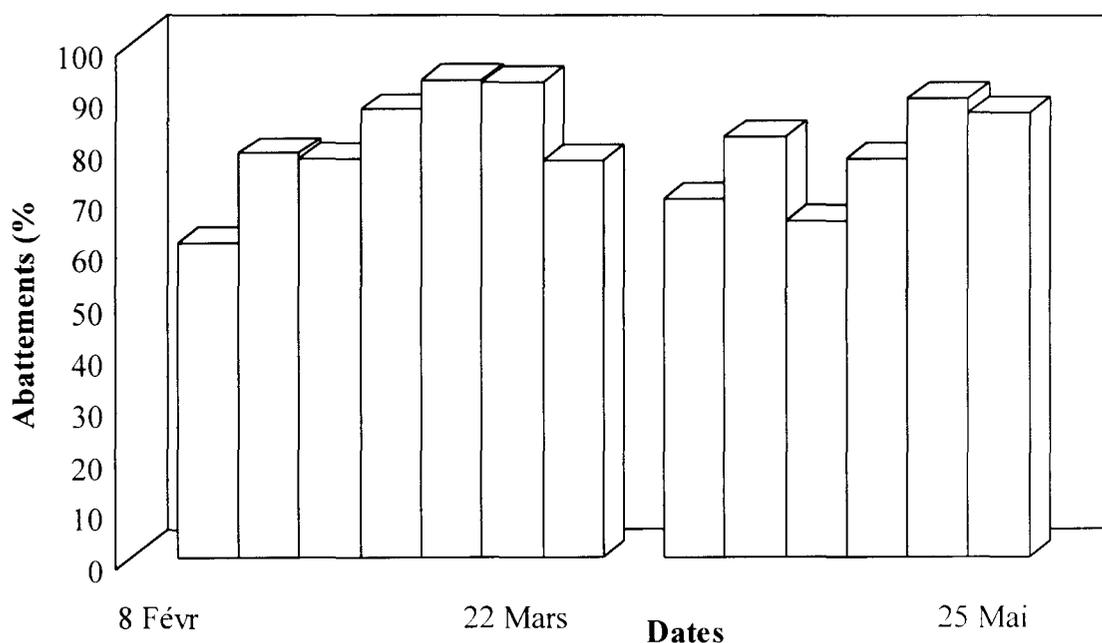
La jacinthe d'eau intervient dans l'élimination dans la charge organique contenue dans les effluents de deux manières toutes par le système racinaire:

- Filtration des effluents par rétention des matières en suspension au niveau des racines ;
- Absorption et assimilation de la matière dissoute à travers les racines afin de les utiliser dans les processus métaboliques de la plante.

#### 3.2.3.1 Les matières en suspension (MES) :

La jacinthe d'eau se présente comme un très bon filtre vis à vis des matières en suspension contenues dans les effluents.

Fig 20: Abattelements MES bassin à jacinthe (B2)  
tête de filière



Les valeurs des MES à la sortie du bassin à jacinthe en tête de filière sont comprises entre 14 et 63 mg/l avec une moyenne de 44 mg/l ( $\pm 14$  mg/l), contre une moyenne de 238 mg/l à l'entrée du même bassin ( tableau N°8).

**Tableau N°8 :** MES à l'entrée et à la sortie du bassin à jacinthes en tête de filière

MES ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée bassin	474	150	238	103
Sortie bassin	63	14	44	14

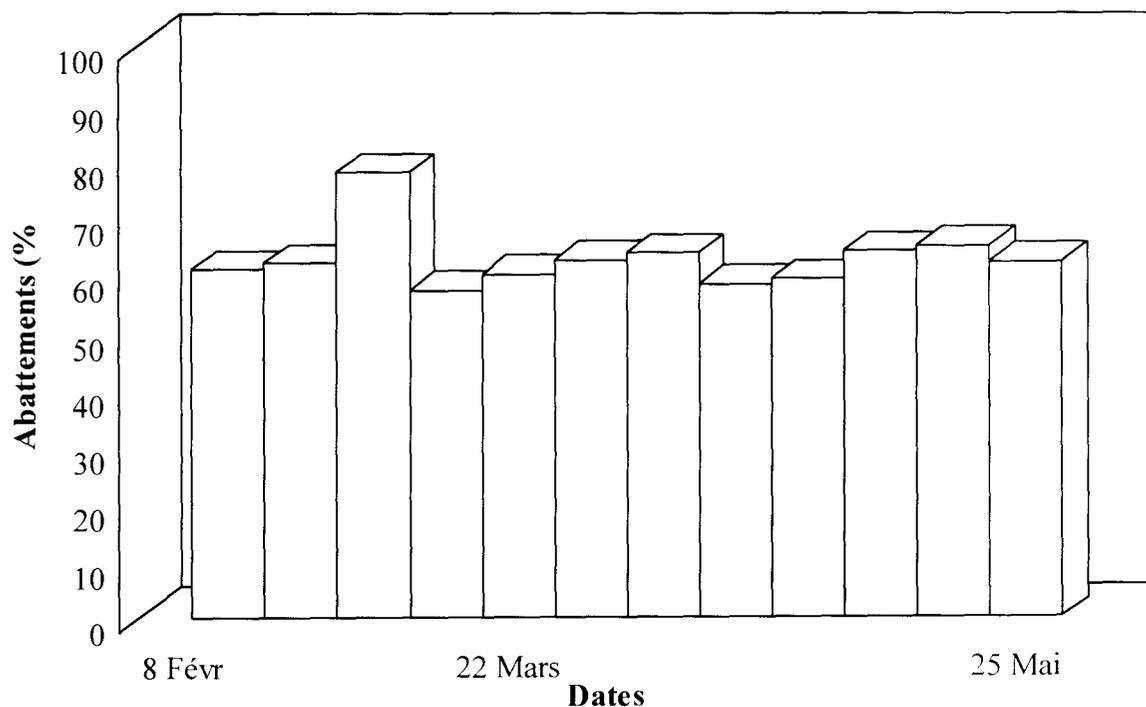
Les abattements des MES au niveau de ce bassin varient entre 61,2 % et 93 % avec une moyenne de 81,5 %. C'est le meilleur abattement enregistré de tous les systèmes testés en tête de filière. Ces performances sont surtout dues au travail effectué par le volumineux système racinaire.

### 3.2.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO):

A la sortie du bassin à jacinthes, la DCO varie entre 163 mg/l et 285 mg/l sur l'effluent brut avec une moyenne de 226 mg/l avec un écart type de 34 mg/l. C'est le plus petit écart type enregistré sur tous les bassins de la station.

Sur l'effluent filtré, les valeurs sont de 111 mg/l et 190 mg/l pour les minima et maxima, et de 159 ( $\pm 19,4$ ) mg/l pour la valeur moyenne. Ce qui représente environ la moitié des valeurs obtenues dans le bassin anaérobie.

**Fig 21: Abattements DCO brute bassin à jacinthe (B2) tête de filière**



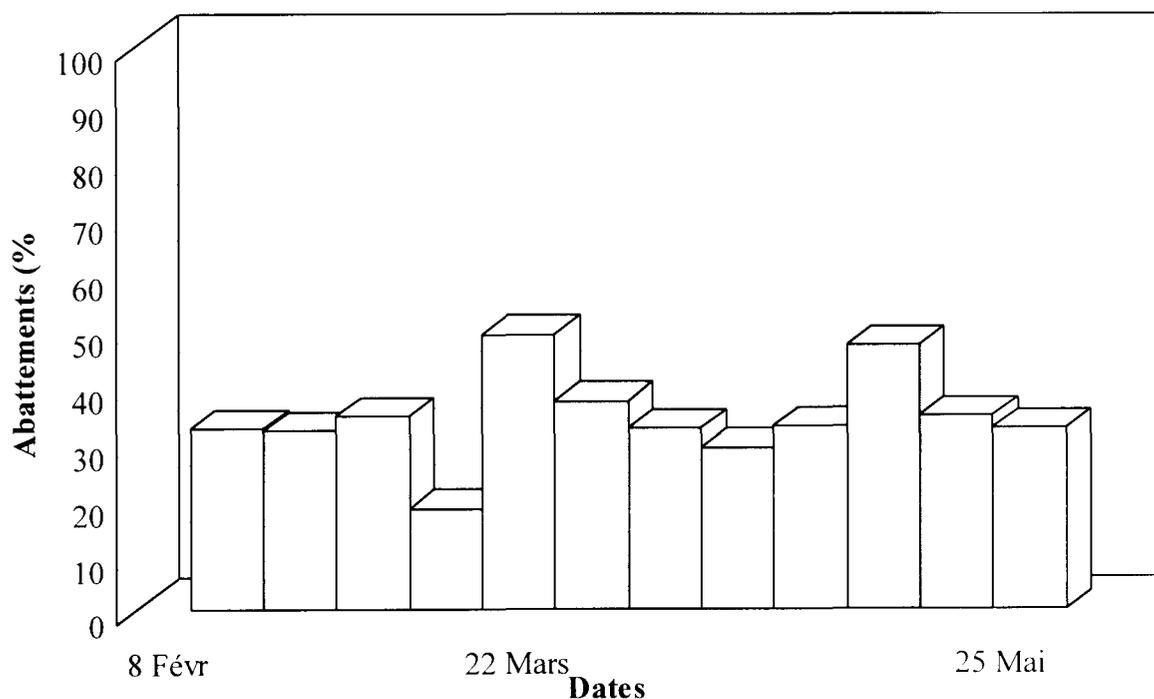
**Tableau N°9 :** DCO à l'entrée et à la sortie du bassin à jacinthes en tête de filière

<b>DCO ( mg/l)</b>	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée brute	823	496	581	107,8
Sortie brute	285	163	226	34,2
Entrée filtrée	300	227	258	23,7
Sortie filtrée	190	111	159	19,4

Comparées aux valeurs obtenues avec le système anaérobie, on remarque que les jacinthes épurent nettement mieux aussi bien sur l'effluent brut que sur le filtré. Ce résultat est imputable au système racinaire très développé des jacinthes d'eau qui leur permet de retenir la majeure partie des MES contenues dans l'effluent.

Les rendements sur la DCO obtenus avec la jacinthe d'eau varient entre 57,6% et 78,1% sur l'effluent brut avec une moyenne de 63%. Sur l'effluent filtré les rendements vont de 18,1% à 48,9% pour les minima et maxima avec comme moyenne 38,5% ( figures 21 et 22).

**Fig 22: Abattements DCO filtrée bassin à jacinthe (B2) tête de filière**



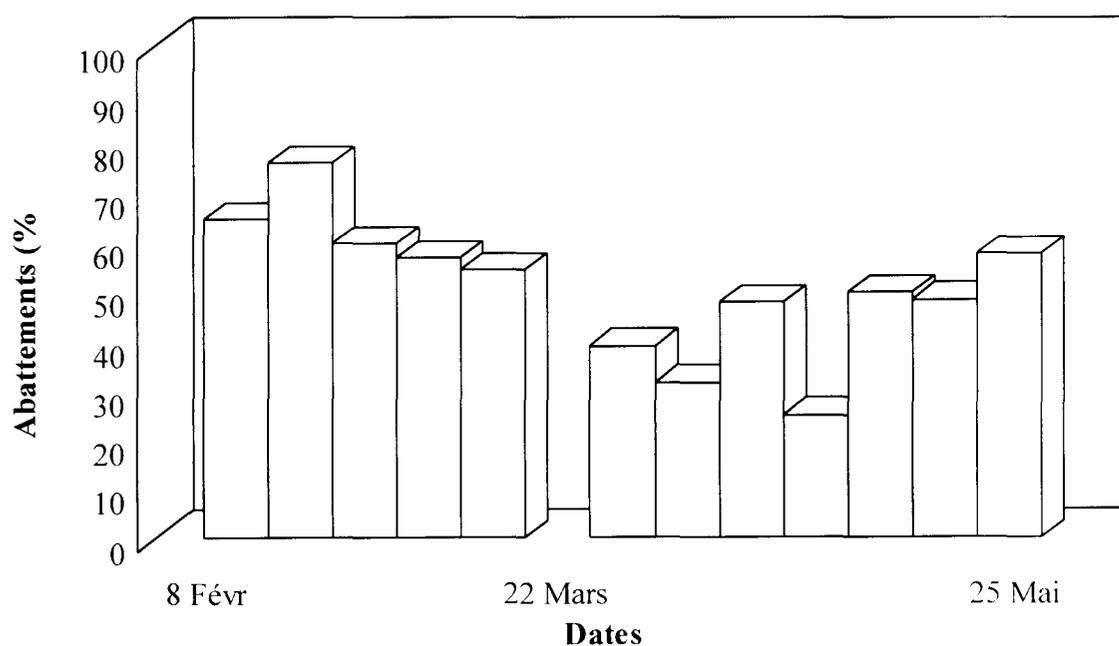
### 3.2.3.3 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

La DBO à la sortie du bassin à jacinthe suit l'allure de la DCO du même bassin aussi bien sur les eaux brutes que sur les eaux filtrées. On peut remarquer que les faibles valeurs en MES à la sortie du bassin à jacinthes font que la différence entre la DBO brute et la DBO filtrée n'est pas très importante.

Tableau N°10 : DBO à l'entrée et à la sortie du bassin à jacinthes en tête de filière

DBO ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée brute	380	220	315	47
Sortie brute	205	75	148	36,7
Entrée filtrée	240	140	180	31,3
Sortie filtrée	130	85	106	14,4

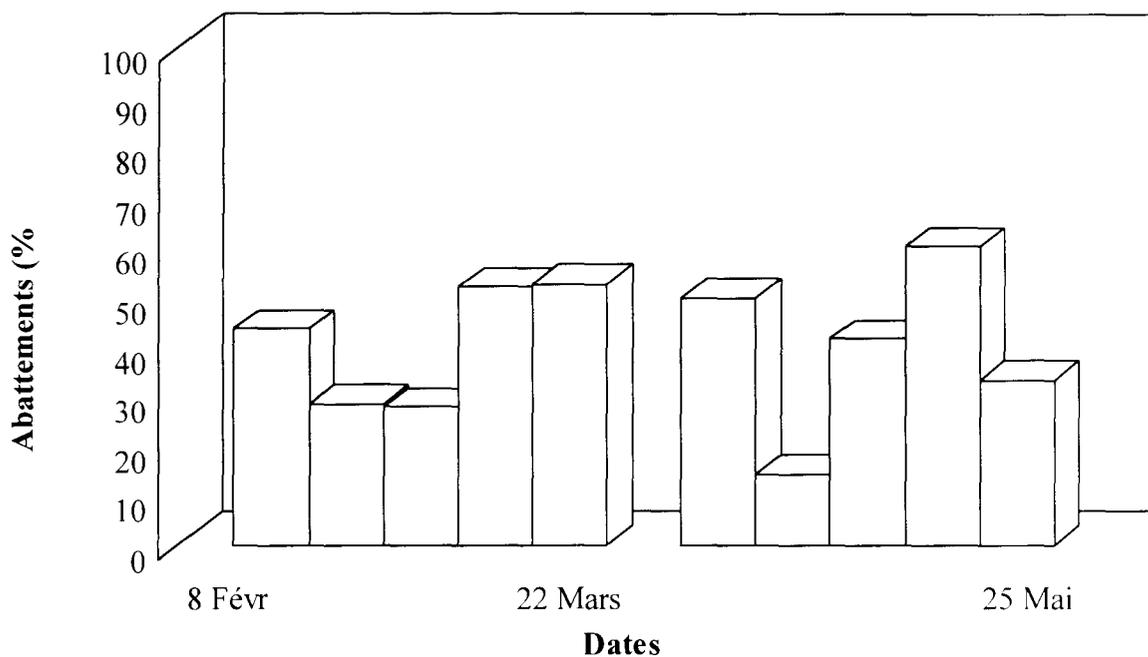
**Fig 23: Abattements DBO5 brute bassin à jacinthe (B2) tête de filière**



Les figures 23 et 24 représentent les abattements sur la DBO brute et sur la DBO filtrée du bassin à jacinthes d'eau en tête de filière. Sur la DBO5 brute, les abattements se situent entre 25% et 76,6% avec une moyenne de 53,1%. Sur la DBO5 filtrée les valeurs varient entre 12,5% et 60,4% avec une moyenne de 41,9%.

Les abattements sur la DBO aussi bien brute que filtrée, obtenus avec le système à jacinthes dépassent de loin les autres systèmes pour le même paramètre avec les mêmes effluents et dans les mêmes conditions d'alimentation.

**Fig 24: Abattements DBO5 Filtrée bassin à jacinthe (B2) tête de filière**



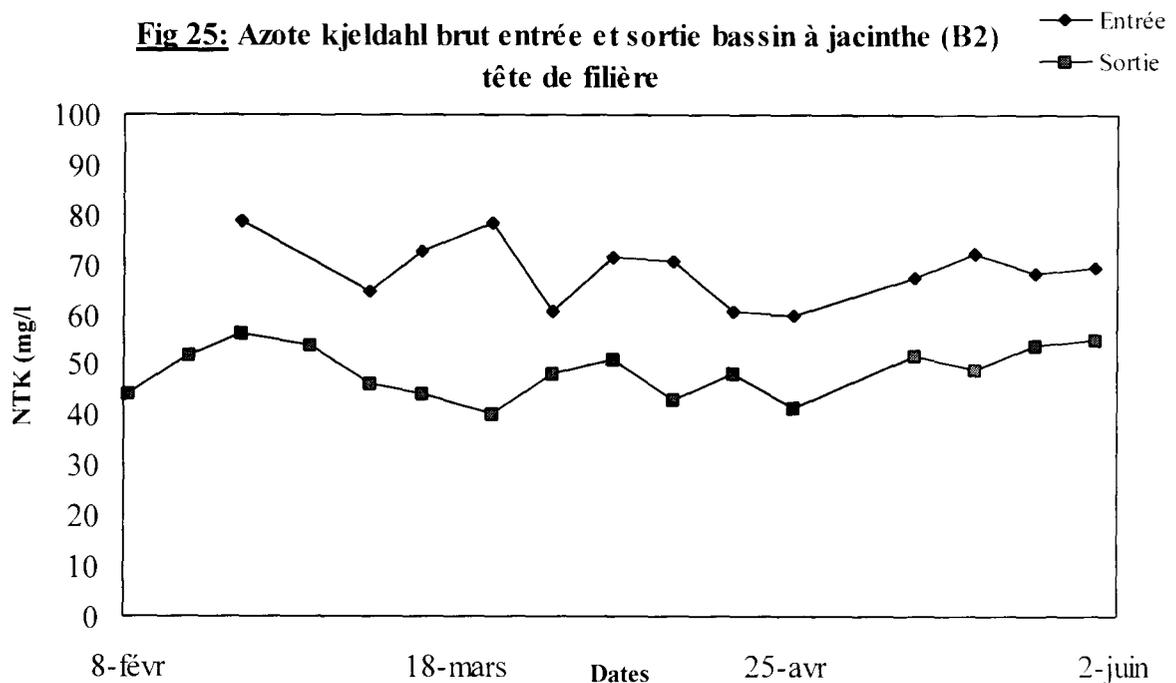
### 3.2.4 Evolution des composés azotés dans le bassin à jacinthes

#### 3.2.4.1 Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)

La sortie du bassin à jacinthes étant aussi caractérisée par l'absence des nitrites et des nitrates, le bilan des composés azotés se ramène à celui de l'azote total Kjeldahl ; c'est à dire à la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal contenus dans les eaux.

Les figures 25 et 26 représentent l'évolution de l'azote Kjeldahl exprimé en mg/l d'azote à l'entrée et à la sortie du bassin à jacinthe en tête de filière.

Le tableau 11 donne les valeurs de NTK exprimées en mg/l de N et l'équivalent exprimé mg/l de  $\text{NH}_4^+$ .

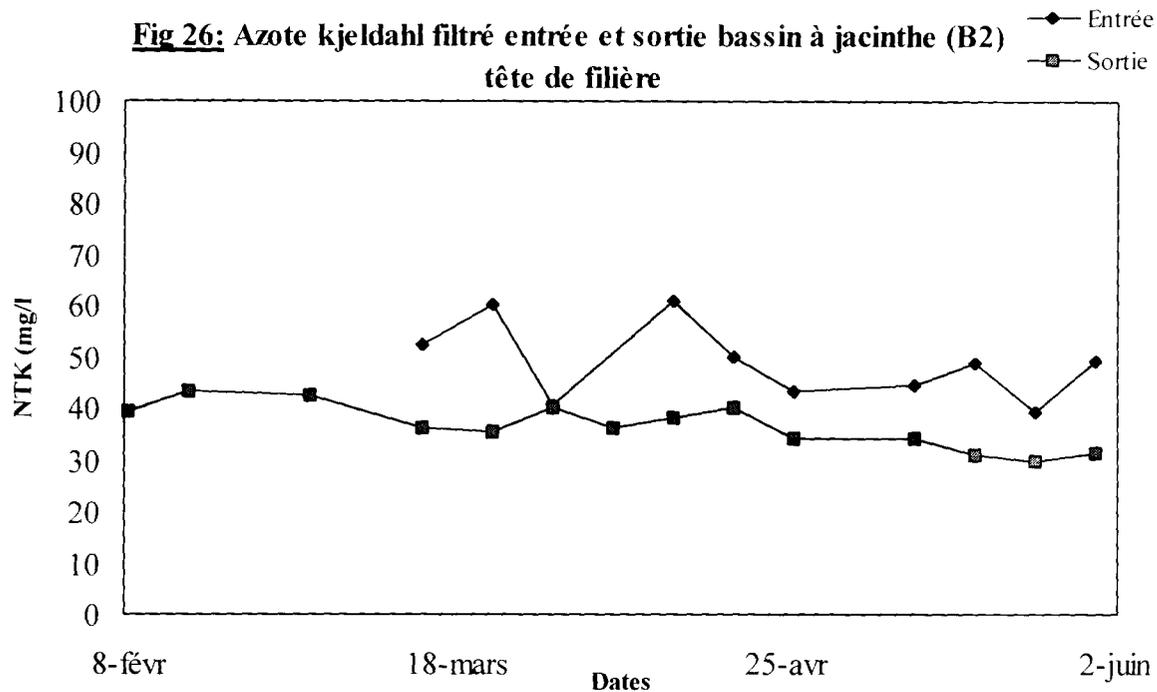


On remarque que les matières en suspension représentent 25% de l'azote total contenu dans les eaux à la sortie du bassin B2.

**Tableau N°11:** Valeurs de l'azote Kjeldahl (NTK) en mg/l de N et l'équivalent en mg/l de  $\text{NH}_4^+$ .

	Sortie B2 brute		Sortie B2 filtrée	
	mg/l de N	mg/l de $\text{NH}_4^+$	mg/l de N	mg/l de $\text{NH}_4^+$
Mini	40,2	51,7	30	38,6
Moyenne	48,6	62,5	36,5	46,9
Maxi	56,4	72,5	43,2	55,5

Le rendement moyen d'élimination de l'azote Kjeldahl dans le bassin à jacinthes est de l'ordre de 29,5% il dépasse de loin le rendement obtenu avec le bassin anaérobie et est légèrement supérieur au rendement enregistré dans le bassin à lentilles.



### 3.2.4.2 Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Le tableau 12 donne les valeurs de l'azote ammoniacal contenu dans les eaux à la sortie du bassin à jacinthes. La moyenne mesurée est de 37,4 mg/l de  $\text{NH}_4^+$ . On remarque que la forme ammoniacale représente 79,7% de l'azote total dissous.

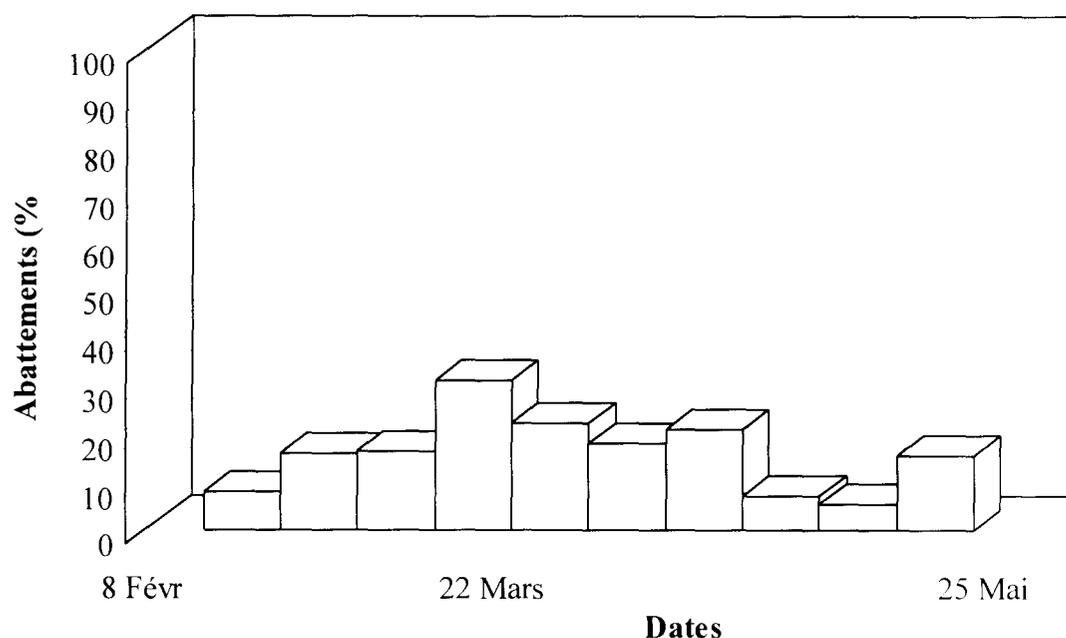
Tableau N°12 :  $\text{NH}_4$  à l'entrée et à la sortie du bassin à jacinthes en tête de filière

$\text{NH}_4$ ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne
Entrée bassin	51,1	44	47,5
Sortie bassin	43,2	22,1	37,4

Le rendement sur l'azote ammoniacal est de l'ordre de 16,1% en moyenne et atteint un maximum de 31,2% et un minimum de 5,5%.

On peut remarquer que la jacinthe d'eau élimine très faiblement la forme ammoniacale de l'azote.

**Fig 27: Abattement NH4 bassin à jacinthe (B2)  
tête de filière**



### 3.2.5 Evolution des orthophosphates dans le bassin à jacinthes

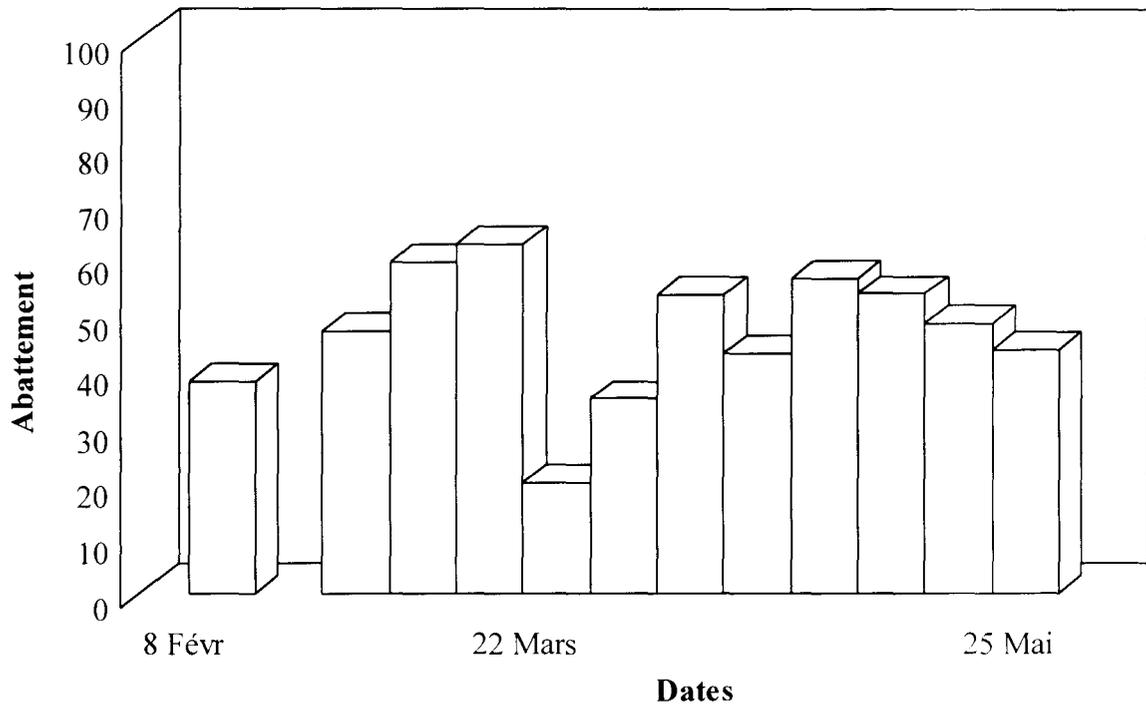
Les orthophosphates à l'entrée et à la sortie du bassin à jacinthes, exprimés en mg/l de phosphore, sont représentés dans le tableau 13. Le passage en mg/l de  $\text{PO}_4^{3-}$  est donné par la formule :  $1 \text{ mg/l de } \text{PO}_4^{3-} = 0,326 \text{ mg/l de P}$ .

Tableau N°13 : Valeurs des orthophosphates en mg/l de P et l'équivalent en mg/l de  $\text{PO}_4^{3-}$ .

	Entrée Jacinthes		Sortie Jacinthes	
	mg/l de P	mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$	mg/l de P	mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$
Mini	3	9,2	1,6	4,9
Moyenne	3,9	12	2,1	6,4
Maxi	4,4	13,5	2,6	8

Le rendement moyen obtenu avec les jacinthes d'eau est de l'ordre de 46,7% pouvant atteindre jusqu'à 62,8%.

**Fig 28: Abattement PO4 bassin à jacinthe (B2)  
tête de filière**



On peut remarquer que les jacinthes épurent mieux les orthophosphates que l'azote ammoniacal.

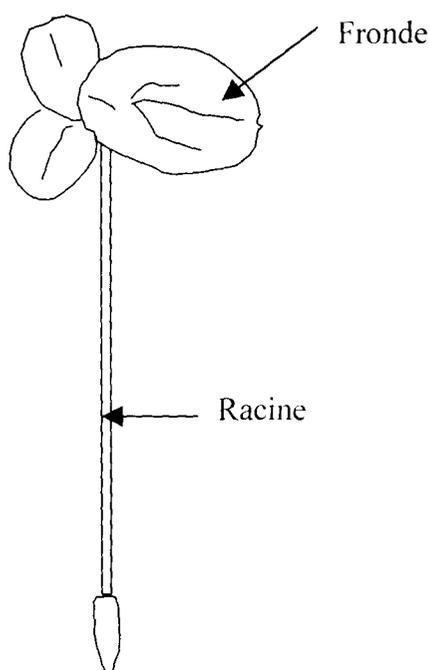
### 3.3 FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCES DES LENTILLES D'EAU EN TETE DE FILIERE :

#### 3.3.1 Les lentilles d'eau dans l'épuration des eaux usées

Les lentilles d'eau ou lemnacées, sont des plantes vasculaires de petites tailles qui flottent à la surface des eaux tranquilles.

Elles ont un appareil végétatif très simple, qui se compose d'une petite lame verte plus ou moins aplatie, appelée fronde qui porte généralement à sa surface inférieure une ou plusieurs racines terminées par une coiffe apparente. Les espèces les plus rencontrées sont les *Lemna minor*, *Lemna gibba* et *lemna trisulca* [Marty, 1984].

Dans nos lagunes, *Lemna minor* est l'espèce la plus dominante, mais il convient de vérifier si elle n'est pas accompagnée par *Lemna gibba*, les autres espèces étant sensibles à des eaux très polluées.



**Morphologie des lentilles d'eau**

Deux mécanismes interviennent dans l'épuration des eaux usées par les lentilles d'eau [RUSOFF et al 1980] :

- au niveau de la lentille elle-même, par absorption de quantités importantes d'éléments minéraux ( cycle autotrophe) et de substances organiques ( cycle hétérotrophe), mais aussi par l'action de la microfaune associée ( bactéries, daphnies etc.)

Les *lemna minor* présentent l'intérêt de fixer directement les substances nutritives par la surface inférieure de leurs frondes. Les racines, dotées de chloroplastes, participent à la photosynthèse et servent également au maintien de la plante. Ces racines jouent un rôle très faible dans l'absorption des éléments nutritifs.

- au niveau du couvert par la réduction, au dessous, de la biomasse microphytique (limitation de la photosynthèse par arrêt des rayons lumineux ) et par le départ d'azote sous forme gazeuse ( dénitrification consécutive à l'abaissement de l'oxygène dissous sous le couvert).

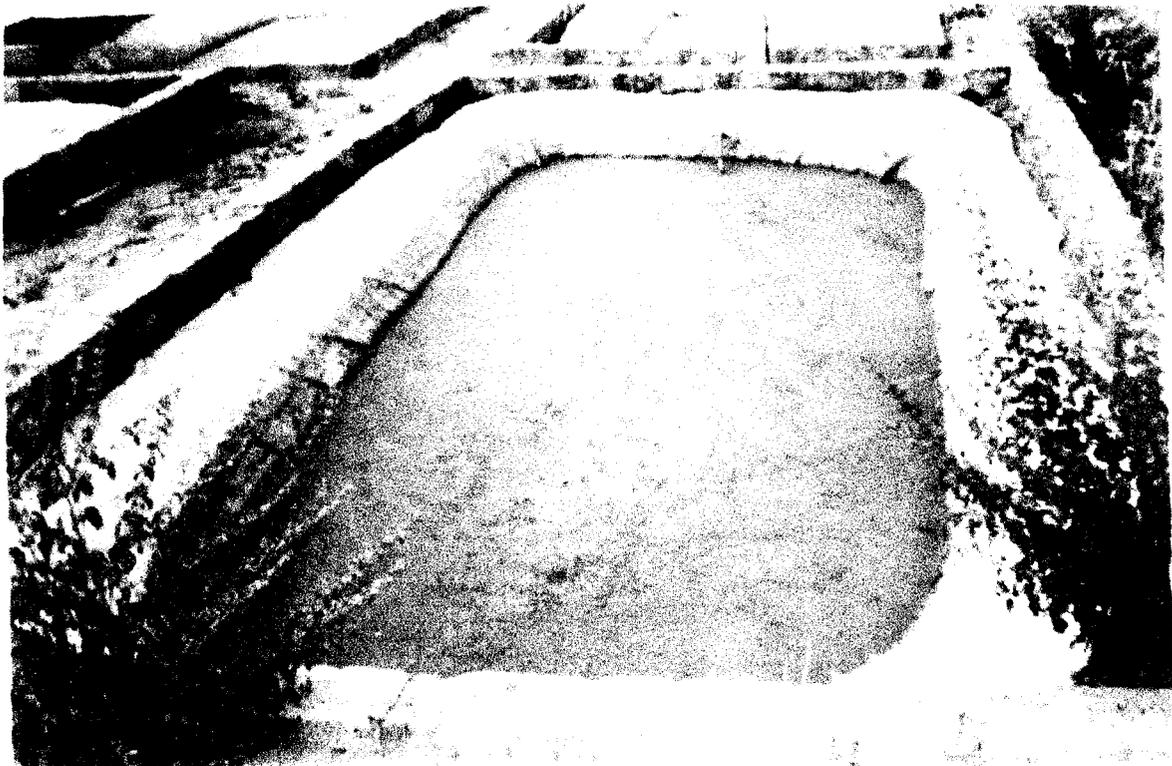
Plusieurs chercheurs ont travaillé sur l'épuration des eaux usées par les lentilles d'eau. On peut citer :

- Les travaux de **KVET (1979)** en Tchécoslovaquie, où sur une lagune de 1 hectare, d'une profondeur de 0,5 m et recevant 25 mg/l d'azote à un débit de 160 m<sup>3</sup>/jour, il a obtenu une réduction de 50% sur l'azote.
- Dans le sud des états Unis, les travaux de **CULLEY et al**, ont permis une élimination d'azote de 4 à 7 kg/ha/jour.
- En France plusieurs travaux utilisant les lentilles d'eau dans l'épuration des eaux usées, ont été effectués. On peut noter les travaux **VUILLOT, BARBE et STEINER en 1983**, les travaux de **CHASSANY de CASABIANCA en 1982**, les travaux de **MARTIN F. et CAUDRON G. en 1978**. Selon ces derniers, les effluents des lagunes où sont cultivées des lentilles ont une teneur en oxygène qui varie de 9 à 13 mg/l ; un pH de 9 à 11. Une diminution de la DBO qui passe de 20,7 à 6,9 mg/l par contre ils ont noté une augmentation de la DCO qui est passée de 69,8 à 90,9 mg/l.

Aucun article faisant cas de l'utilisation des lentilles d'eau en Afrique n'a été signalé dans la bibliographie. Nous pouvons donc affirmer sans risque de

nous tromper que c'est pour la première fois que ces végétaux sont étudiés dans l'épuration des eaux usées en Afrique sub-saharienne avec un suivie de leurs performances épuratoires.

Au cours de notre expérience, nous avons utilisé des lentilles d'eau à différents niveaux d'épuration. Les résultats qui vont suivre présentent les performances de ces plantes dans un bassin recevant directement des eaux usées brutes.



**Bassins à lentilles d'eau**

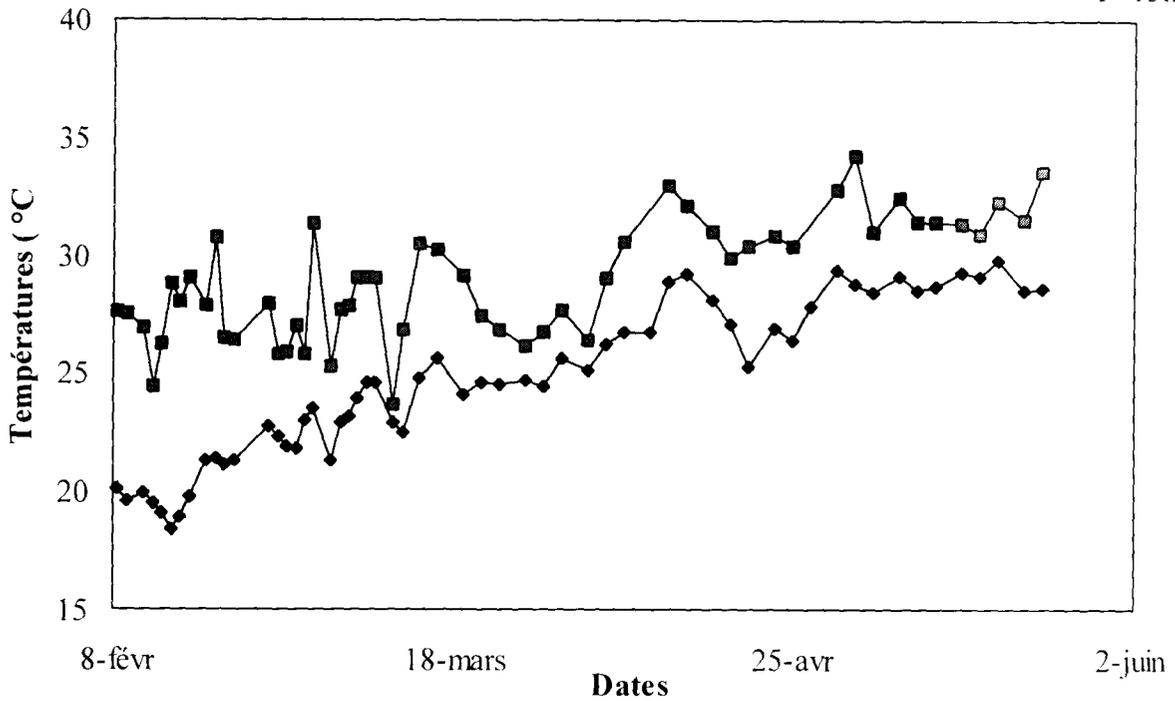
### **3.3.2 Paramètres physiques dans le bassin à lentilles :**

#### **3.3.2.1 Evolution de la température :**

La figure 29 représente l'évolution de la température dans le bassin à lentilles d'eau. Ces températures présentent plus de fluctuation en amplitude que celles enregistrées dans le bassin à jacinthes. Cette fluctuation est encore plus importante pour les températures enregistrées à 15 heures. Cela est dû au fait que le tapis végétal formé par les lentilles est moins épais que celui formé par les jacinthes d'eau. Ce qui entraîne une résistance moindre à la pénétration des rayons solaires.

**Fig 29: Température bassin à lentilles (B5)  
tête de filière**

—◆— T° 7h  
—■— T° 15h



Les températures du bassin à lentilles ont un maximum de 37,1°C au mois de mai, contre 30,4°C pour le maximum enregistré dans le bassin à jacinthes pour le même mois.

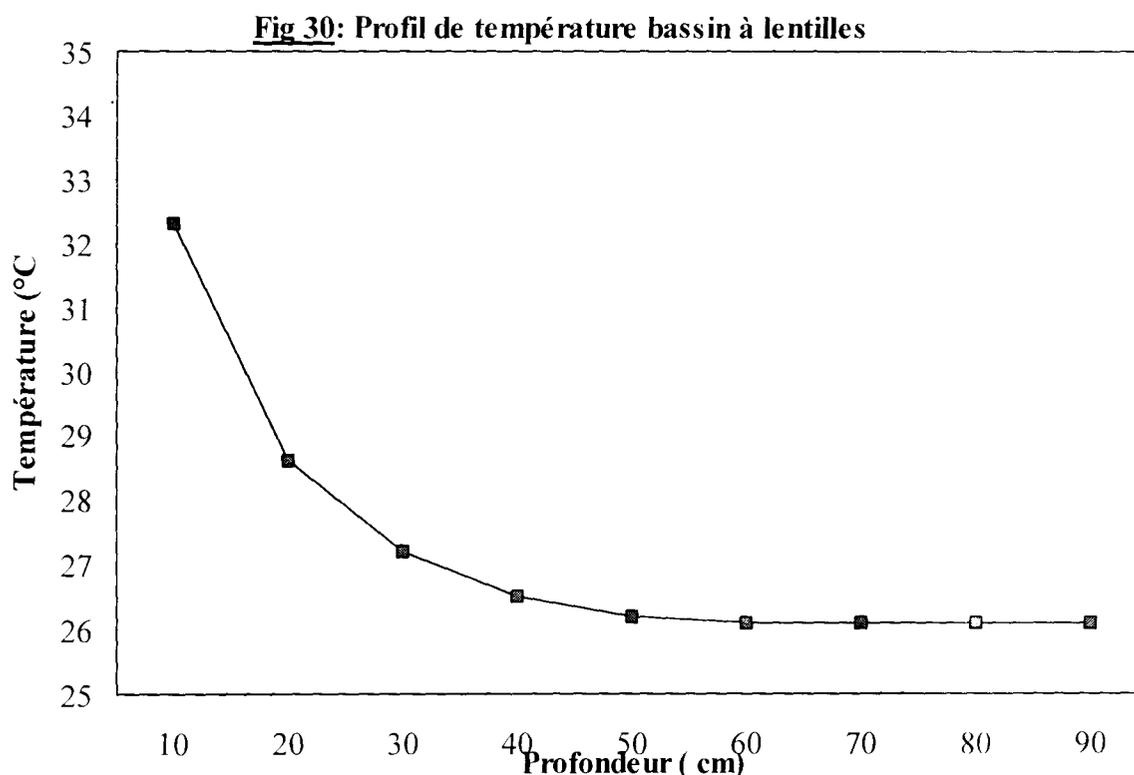
Le tableau N°14 donne les maxima et minima mensuels des températures dans le bassin à lentilles d'eau.

**Tableau N°14 : Températures extrêmes et moyennes dans le bassin à lentilles :**

	Février		Mars		Avril		Mai	
	7 h	15h	7 h	15h	7 h	15h	7 h	15h
T° maxi (°C)	22,7	30,7	25,6	31,3	29,4	32,9	29,8	37,1
T° moyenne (°C)	20,6	27,2	23,9	27,8	27,2	30,6	28,9	32,8
T° mini (°C)	18,4	24,4	21,3	23,7	25,1	26,4	28,4	30,7

Tout comme dans le bassin à jacinthes, dans celui à lentilles, le profil de températures montre qu'à partir de 50 cm de la surface de l'eau, les températures deviennent constantes jusqu'au fond du bassin.

Par contre la diminution des températures semble être plus importante dans le bassin à lentilles. Le tapis formé par la jacinthe d'eau constituant un tampon dans le bassin. En effet la différence de température entre la surface et 20 cm plus bas dans le bassin à lemna est 10 fois plus importante que la différence enregistrée dans le bassin à jacinthes sur la même lame d'eau.



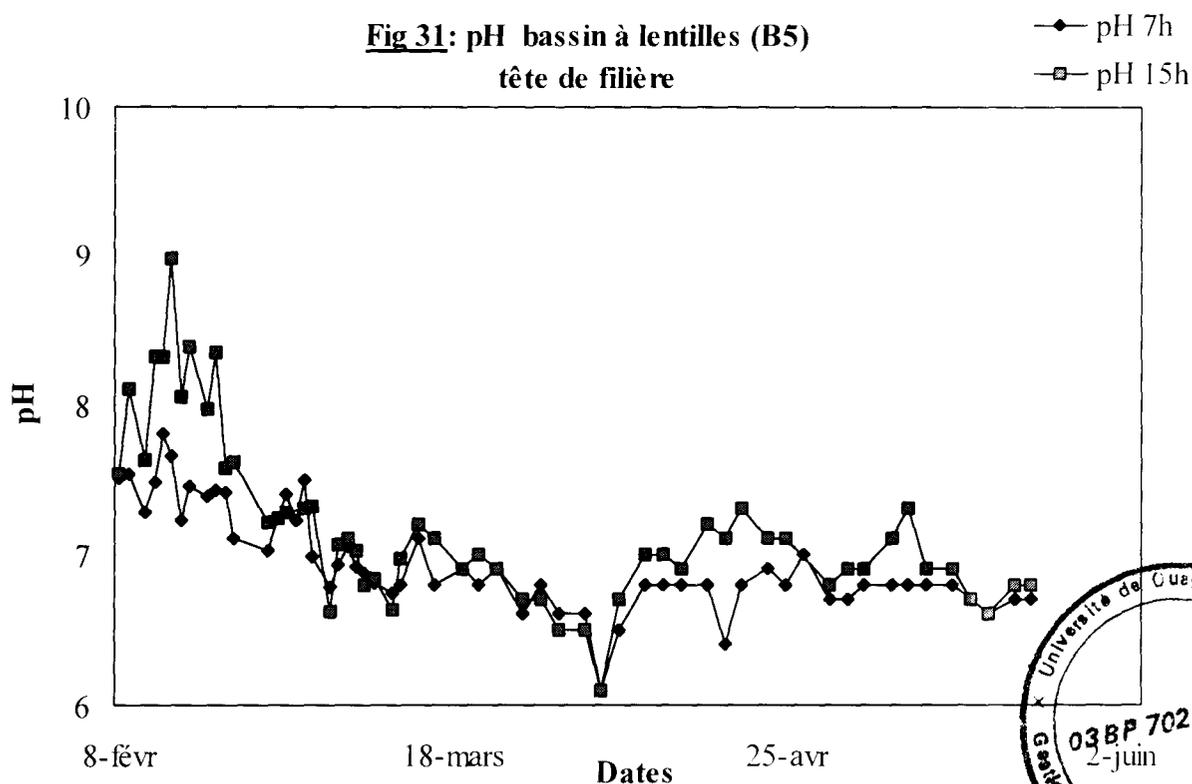
### 3.3.2.2 Evolution du pH

La figure 31 représente l'évolution du pH dans le bassin à lentilles d'eau. Les valeurs sont comprises entre 6,5 et 7,3 après que le système aie atteint son équilibre. On note un écart plus important par rapport aux autres systèmes entre les valeurs enregistrées le matin à 7 heures et les valeurs enregistrées à 15 heures de l'après midi.

Cet écart est dû à la présence d'algues filamenteuses dans le bassin en association avec les lentilles d'eau.

Ces algues produisent de l'oxygène dans la journée après consommation de CO<sub>2</sub> ce qui contribue à une élévation du pH et la nuit elles consomment de l'oxygène et produisent du CO<sub>2</sub>, ce qui entraîne une diminution de ce pH.

**Fig 31: pH bassin à lentilles (B5)**  
tête de filière

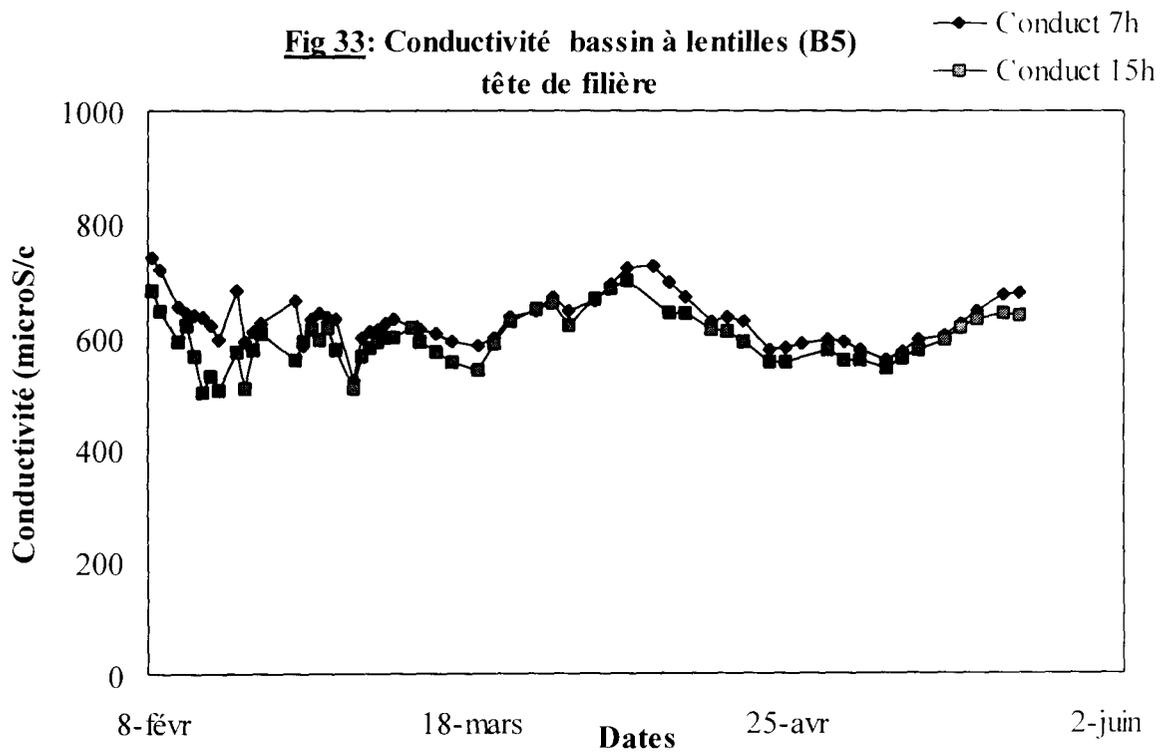
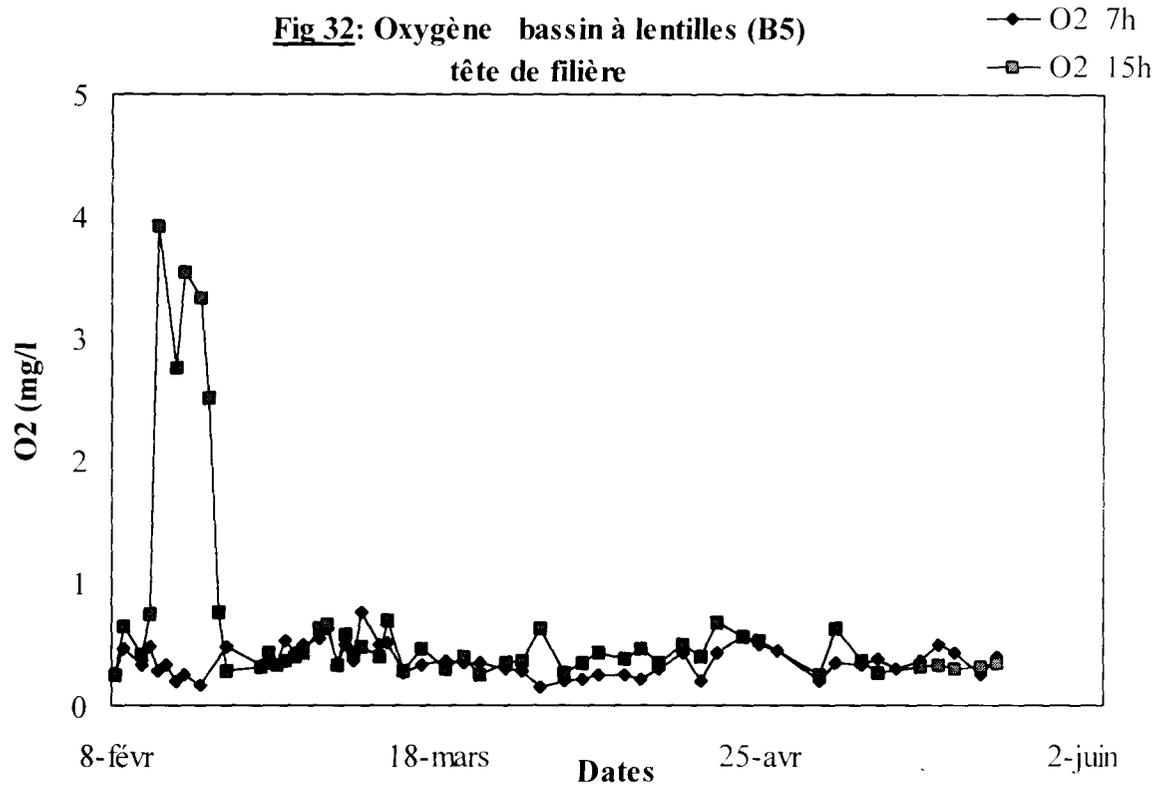


### 3.3.2.3 Etat d'oxygénation du bassin

La couverture formé par les lentilles d'eau a certes empêché la production d'oxygène dans le bassin ; mais grâce à la présence d'algues filamenteuses, la quantité d'oxygène enregistrée dans le bassin à lentilles dépasse légèrement celle relevée dans le bassin à jacinthes.

La figure 32 représente les valeurs relevées dans le bassin à lentilles. Ces valeurs varient de 0,3 à 0,7 mg/l au moment où le système a atteint son équilibre.

En début d'expérience en raison de la faible couverture de lentilles d'eau dans le bassin, la présence d'algues était très importante. La quantité d'oxygène relevée en cette période était alors prépondérante surtout à 15 heures à cause de la photosynthèse algale.



### 3.3.2.4 Evolution de la conductivité

La figure 33 représente l'évolution de la conductivité dans le bassin à lentilles. La valeur moyenne de 600  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , identique à la moyenne du bassin à jacinthe, indique une similitude des deux milieux sur le plan minéralisation.

### 3.3.3 Performances du bassin à lentilles vis à vis des charges organiques

Contrairement à la jacinthe d'eau, la lentille d'eau participe à l'épuration des eaux non pas à travers son système racinaire exclusivement, mais à travers essentiellement la face inférieure de la fronde. Les racines jouent un rôle très faible dans l'absorption des éléments par les lentilles d'eau.

#### 3.3.3.1 les matières en suspension (MES) :

La concentration de l'effluent à la sortie du bassin à lentille est en moyenne de 103 mg/l ; plus du double de la moyenne enregistrée à la sortie du bassin à jacinthe mais tout de même légèrement inférieure à celle du bassin anaérobie.

**Fig 34: Abattements MES bassin à lentilles (B5)  
tête de filière**

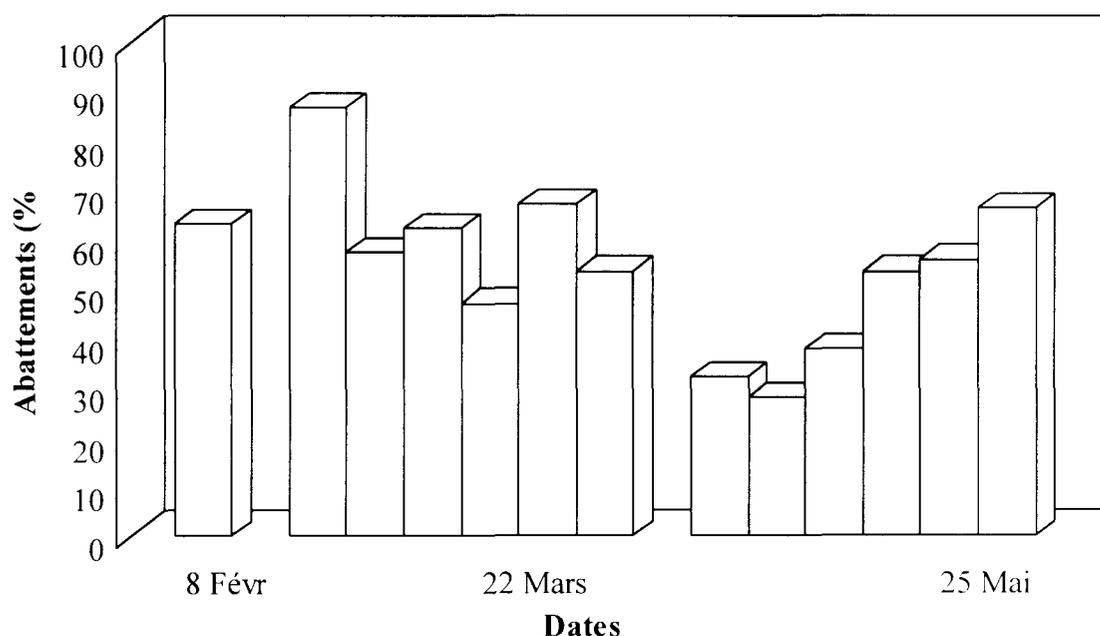


Tableau N°15 : MES à l'entrée et à la sortie du bassin à lentilles d'eau en tête de filière

MES ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée bassin	474	150	238	103
Sortie bassin	159	34	103	37,2

Ces valeurs relativement importantes des matières en suspension à la sortie du bassin à lentilles sont dues non seulement au fait que les racines de la plante ne participent que très faiblement à la rétention des matières en suspension, mais aussi au développement d'algues filamenteuses qui augmentent la concentration des matières en suspension dans l'effluent.

Les rendements sur les matières en suspension, représentés sur la figure 34, varient de 28,2% à 86,2% avec une moyenne de 56,6%.

### 3.3.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO):

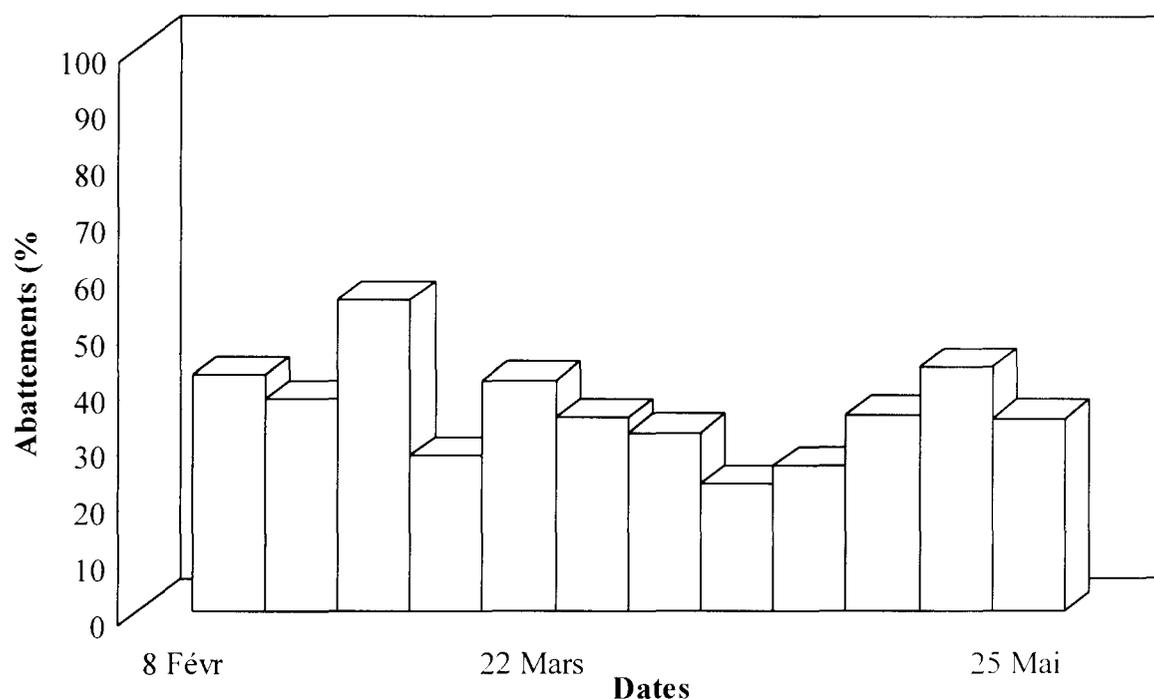
Le tableau N°16 donne les valeurs des DCO brutes et filtrées à l'entrée et à la sortie du bassin à lentilles d'eau. Les valeurs varient entre 259 mg/l et 489 mg/l sur la DCO brute avec une moyenne de 372 mg/l (  $\pm 75,4$ ). Sur la DCO filtrée les valeurs se situent entre 120 mg/l et 253 mg/l pour une moyenne de 192 mg/l avec un écart type de 40,6 mg/l.

Tableau N°16 : DCO à l'entrée et à la sortie du bassin à lentilles d'eau en tête de filière

DCO ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée brute	823	496	581	107,8
Sortie brute	489	259	372	75,4
Entrée filtrée	300	227	258	23,7
Sortie filtrée	253	120	192	40,6

Tout comme dans le cas des jacinthes et du système anaérobie, les DCO aussi bien brutes que filtrées connaissent très peu de fluctuations par rapport aux valeurs de DCO à l'entrée des systèmes. En valeur absolue, les lentilles d'eau se situent entre le système anaérobie et les jacinthes d'eau. Avec une tendance beaucoup plus proche de l'anaérobie que du système à jacinthes.

**Fig 35: Abattements DCO brute bassin à lentilles (B5) tête de filière**

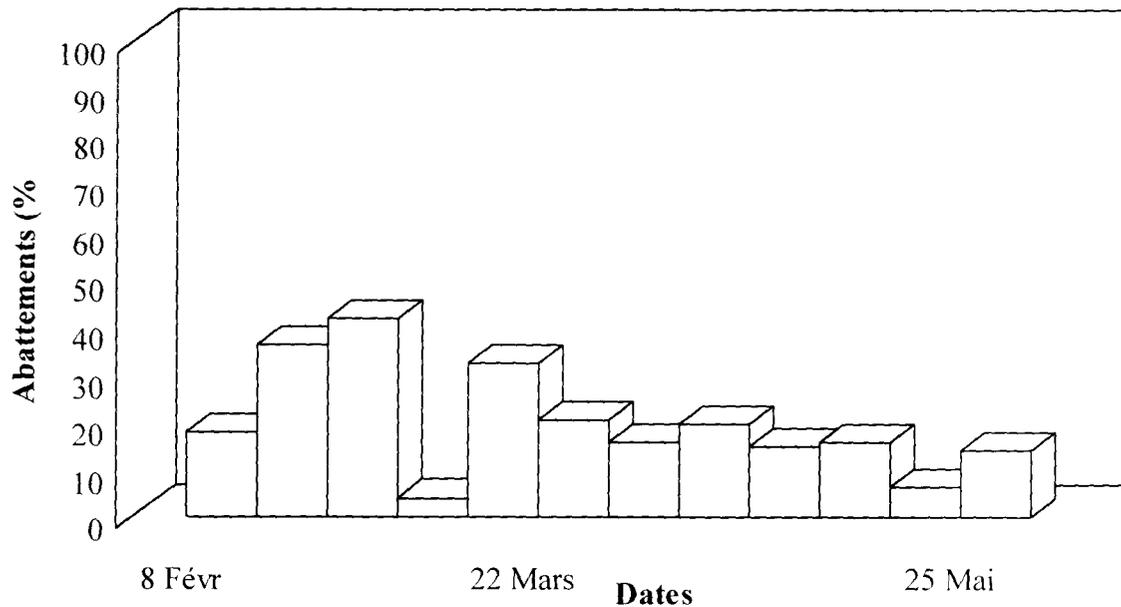


Les rendements sur la DCO brute traduisent l'élimination des MES par le système. Ces rendements très inférieurs à ceux obtenus avec la jacinthe d'eau se situent entre 22,6% et 55,2% pour une moyenne de 35,9%.

Sur la DCO filtrée, les rendements sont de 3,9 % et 41,4 % pour les minima et maxima avec une moyenne de 24,6%. Ces valeurs, bien que très inférieures à celles obtenues avec la jacinthe d'eau, dépassent de loin les valeurs obtenues avec le système anaérobie.

Il est à noter une fluctuation des valeurs des DCO aussi bien sur l'effluent brut que sur l'effluent filtré.

**Fig 36: Abattements DCO filtrée bassin à lentilles (B5)  
tête de filière**



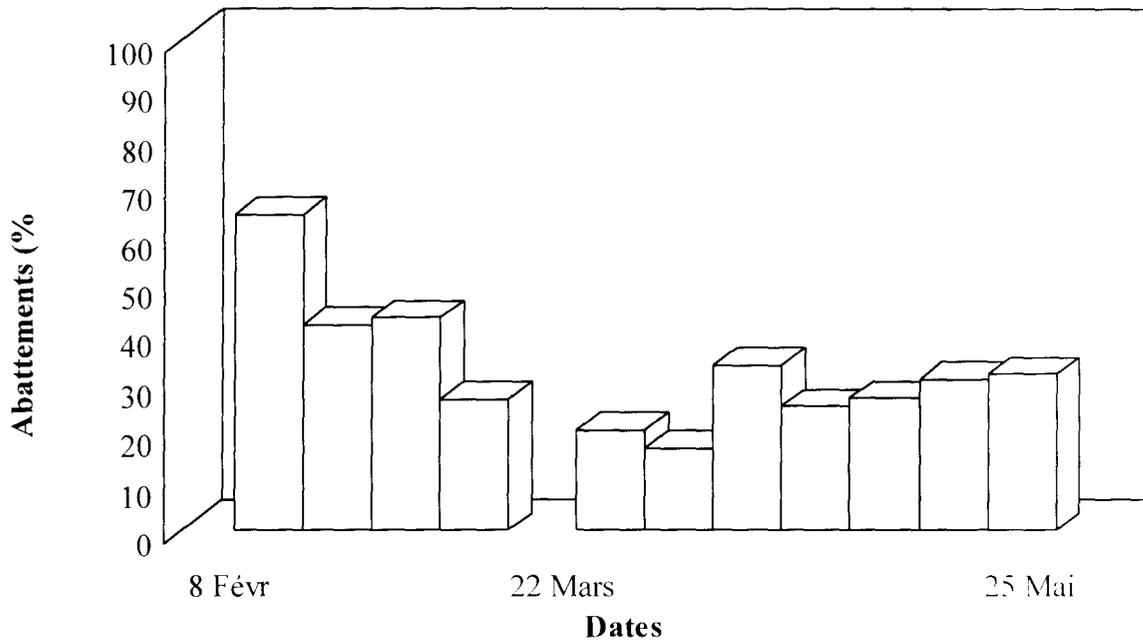
### 3.3.3.3 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

Les DBO5 brutes et filtrées à l'entrée et à la sortie du bassin à lentilles en tête de filière sont consignées dans le tableaux N°17. Les valeurs sur la DBO5 brute à la sortie du bassin à lentilles, varient entre 115 mg/l et 260 mg/l avec une moyenne de 212 mg/l ( $\pm 47,7$  mg/l). Sur la DBO5 filtrée les valeurs sont comprises entre 85 mg/l et 160 mg/l pour une moyenne de 120 mg/l avec un écart type de 26,5 mg/l.

Tableau N°17: DBO à l'entrée et à la sortie du bassin à lentilles d'eau en tête de filière

<b>DBO ( mg/l)</b>	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart type $\sigma$
Entrée brute	380	220	315	47
Sortie brute	260	115	212	47,7
Entrée filtrée	240	140	180	31,3
Sortie filtrée	160	85	120	26,5

**Fig 37: Abattements DBO5 brute bassin à lentilles (B5)  
tête de filière**



La présence d'algues dans le bassin à lentilles explique le faible écart entre les abattements sur la DBO brute et les abattements sur la DBO filtrée. En effet même dans l'obscurité, les algues continuent à produire de l'oxygène par photosynthèse ce qui enrichi d'avantage le milieu et donc diminue la valeur de la DBO brute.

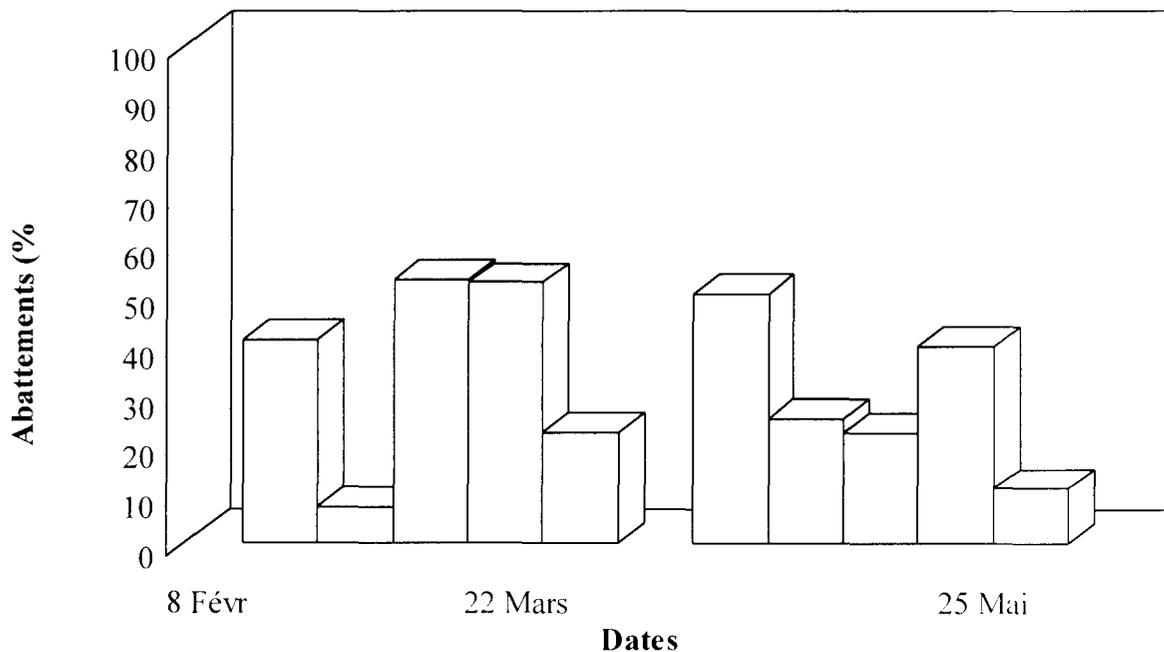
Les figures 37 et 38 représentent les abattements sur la DBO5 du bassin à lentilles d'eau en tête de filière.

Sur la DBO5 brute, le minimum est de 16,7%, le maximum de 64,1% et la moyenne de 32,7%.

Sur la DBO5 filtrée, les valeurs sont de 7,1% et 52,8% pour les minima et maxima et 28,3% pour la moyenne.

Les fluctuations observées sur les DCO se retrouvent également sur les DBO. Le phénomène présente plus d'intensité sur l'effluent brut que sur l'effluent filtré.

**Fig 38: Abattements DBO5 filtrée bassin à lentilles (B5) tête de filière**



### 3.3.4 Evolution des composés azotés dans le bassin à lentilles :

#### 3.3.4.1 Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)

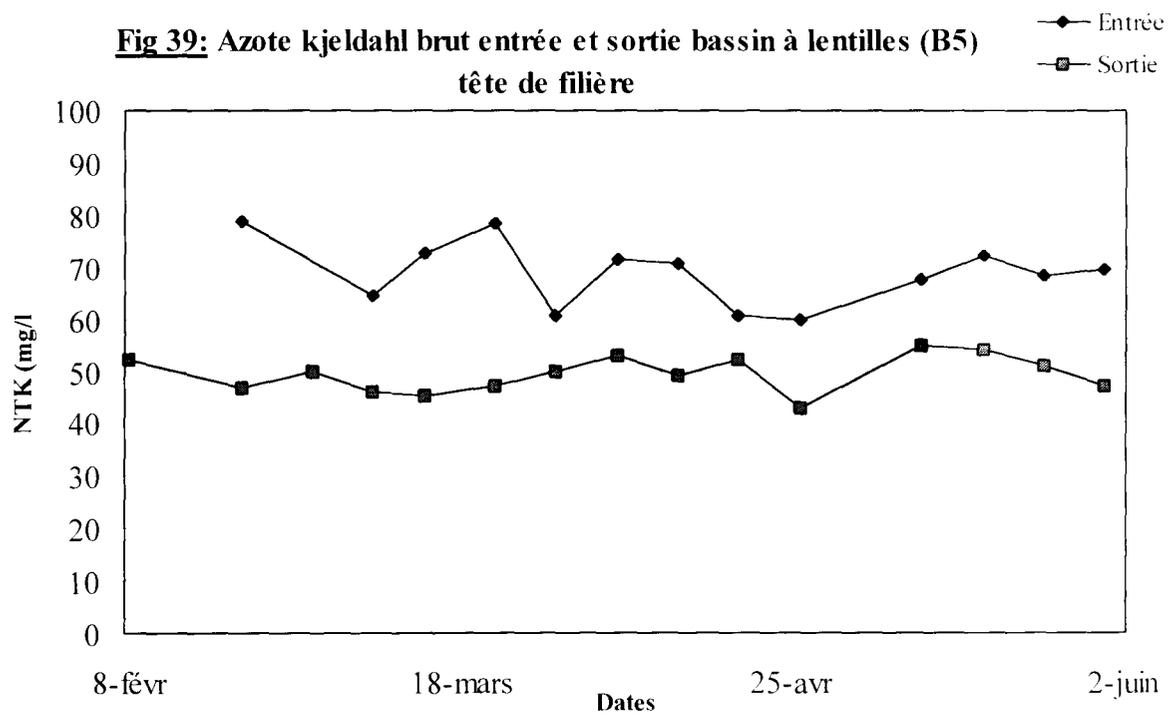
Comme dans les bassins anaérobie et à jacinthes d'eau, le bassin à lentilles d'eau est également caractérisé par l'absence quasi totale de nitrites et de nitrates. Nous allons de ce fait établir le bilan des composés azotés à partir de la forme organique et de la forme ammoniacale. C'est à dire sur l'azote Kjeldahl essentiellement.

La figure 39 représente l'évolution de l'azote Kjeldahl brut à l'entrée et à la sortie du bassin à lentilles. Le tableau N°18 donne les valeurs en mg/l d'azote et l'équivalent en mg/l d'ions ammoniums.

Dans la littérature, peu d'expériences ont été faites sur des lentilles recevant directement des eaux usées brutes. Les essais ont plus porté sur des effluents pré-lagunés. C'est à dire des eaux qui ont déjà subi une épuration poussée et dont la charge est très faible comparée à la charge de nos effluents.

**Tableau N°18 :** Valeurs de l'azote Kjeldahl (NTK) en mg/l de N et l'équivalent en mg/l de  $\text{NH}_4^+$ .

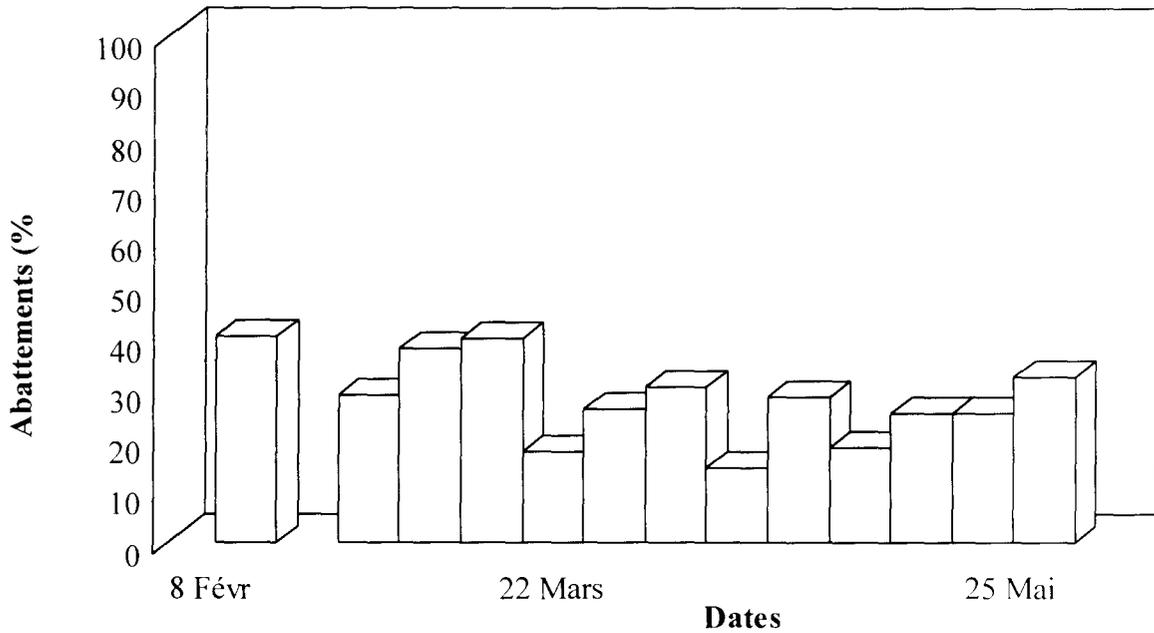
	Sortie brute bassin à lentilles		Sortie filtrée bassin à lentilles	
	mg/l de N	mg/l de $\text{NH}_4^+$	mg/l de N	mg/l de $\text{NH}_4^+$
Mini	43	55,3	33,4	42,9
Moyenne	49,4	63,5	39,2	50,4
Maxi	55	70,7	47	60,4



On remarque que dans le cas des lentilles, les matières en suspension représentent 20,7% de l'azote total contenu dans les eaux à la sortie du bassin.

Le rendement moyen d'élimination de l'azote Kjeldahl dans le bassin à lentilles pour un temps de séjour hydraulique de 5 jours, est de l'ordre de 30,2% il dépasse de loin le rendement obtenu avec le bassin anaérobie et est légèrement inférieur au rendement enregistré dans le bassin à jacinthes.

**Fig 40: Abattements NTK Brut bassin à lentilles (B5)  
tête de filière**



### 3.3.4.2 Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Le tableau N° 19 donne les valeurs de l'azote ammoniacal contenu dans les eaux à la sortie du bassin à lentilles. La moyenne mesurée est de 28,3 mg/l de  $\text{NH}_4^+$ . On remarque que la forme ammoniacale représente 56,2 % de l'azote total dissous.

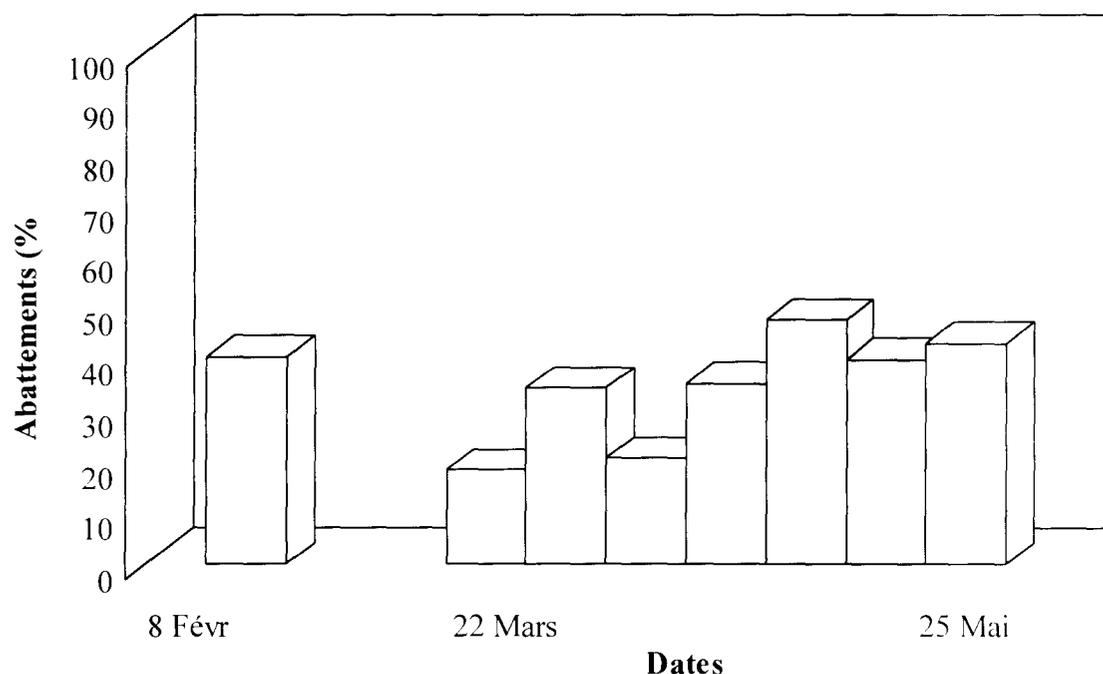
Tableau N°19 :  $\text{NH}_4$  à l'entrée et à la sortie du bassin à lentilles d'eau en tête de filière

$\text{NH}_4$ ( mg/l)	Maximum	Minimum	Moyenne
Entrée bassin	51,1	44	47,5
Sortie bassin	38,3	18,8	28,3

Le rendement sur l'azote ammoniacal est de l'ordre de 41,2 % en moyenne et atteint un maximum de 60,2% et un minimum de 18%.

On peut remarquer que les lentilles d'eau éliminent mieux la forme ammoniacale de l'azote que les jacinthes d'eau.

**Fig 41: Abattement NH4 bassin à lentilles (B5)  
tête de filière**



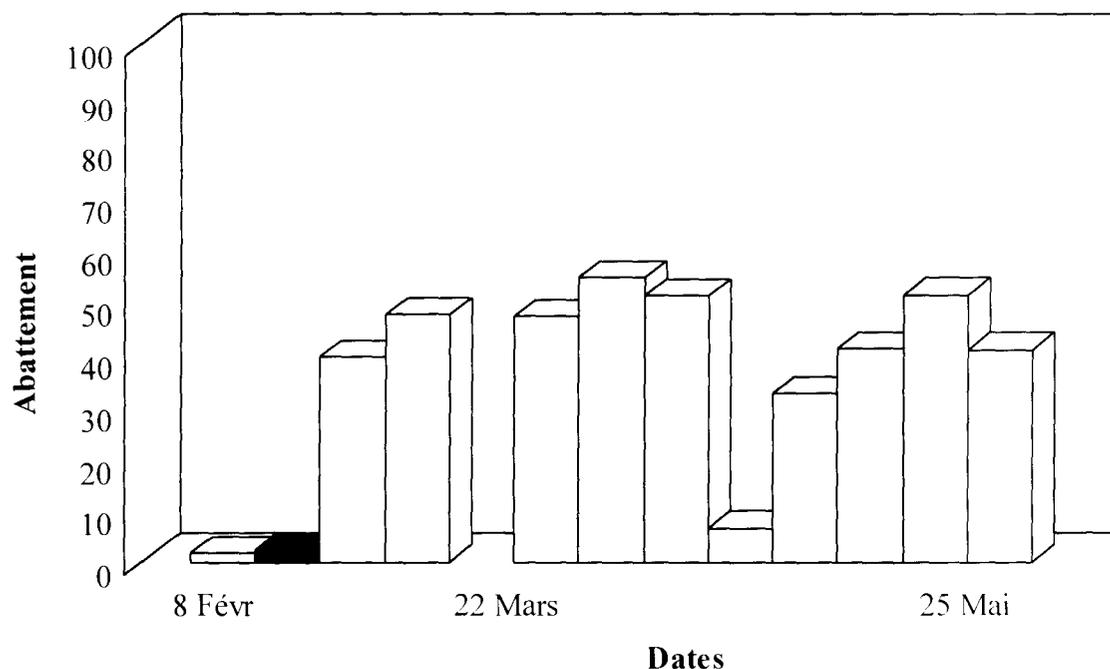
### 3.3.5 Evolution des orthophosphates dans le bassin à lentilles :

Le tableau N°20 donne les minima et maxima ainsi que les moyennes des orthophosphates exprimés en mg/l de P et leurs équivalences en mg/l de  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Tableau N°20 : Valeurs des orthophosphates en mg/l de P et l'équivalent en mg/l de  $\text{PO}_4^{3-}$ .

	Sortie B0		Sortie B5	
	mg/l de P	mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$	mg/l de P	mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$
Mini	3	9,2	1,8	5,5
Moyenne	3,9	12	2,4	7,4
Maxi	4,4	13,5	3	9,2

**Fig 42: Abattement PO4 bassin à lentilles (B5)  
tête de filière**



Le rendement moyen obtenu avec les lentilles d'eau est de l'ordre de 39,6% pouvant atteindre jusqu'à 54,8%.

Contrairement aux jacinthes d'eau, les lentilles d'eau épurent mieux l'azote ammoniacal que les orthophosphates.

Ces résultats sont en conformité avec ceux de la littérature qui indique que l'absorption de l'azote par les lentilles d'eau est toujours excellente. Selon **CULLEY (1980)**, pour une concentration en azote de 45 mg/l, le taux d'assimilation est compris entre 1 et 1,5 mg/l/jour. **CHANASSY DE CASABIANCA** indique pour un effluent urbain pré\_laguné, dont la teneur à l'entrée des lentilles est comprise entre 15 et 24 mg/l de PO<sub>4</sub>, une teneur en sortie comprise entre 6 et 9 mg/l pour un temps de séjour de 10 jours.

### 3.4 COMPARAISON DES SYSTEMES TESTES EN TETE DE FILIERE

Sur les principaux paramètres de pollution, nous avons effectué un calcul statistique, basé sur la comparaison des résultats moyens de deux méthodes A et B.

Nous considérons que chaque système utilisé à savoir le système anaérobie, le traitement par les jacinthes et le traitement par les lentilles, constitue une méthode à part entière.

De ce point de vue, nous avons effectué une comparaison deux à deux des trois systèmes testés en tête de filière.

Nous désignons par :

$n_a$  le nombre de résultats obtenus avec la méthode A

$n_b$  le nombre de résultats obtenus avec la méthode B

$x_a$  les résultats de la méthode A

$x_b$  les résultats de la méthode B

$\bar{x}_a$  le résultat moyen de la méthode A

$\bar{x}_b$  le résultat moyen de la méthode B

La variance du système :

$$v_t = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2 + \sum (x_b - \bar{x}_b)^2}{(n_a - 1) + (n_b - 1)}$$

La différence entre les résultats moyens est :

$$d = (\bar{x}_a - \bar{x}_b)$$

L'écart type de la différence :

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{v_t}{n_a} + \frac{v_t}{n_b}}$$

On calcule ensuite la valeur expérimentale de t :

$$t_{\text{exp}} = \frac{d}{\sigma_d}$$

et on compare cette valeur  $t_{\text{exp}}$ , à celle que fournit la table de fisher pour

$$N = (n_a + n_b - 2)$$

Pour une valeur choisie P de la probabilité.

Si  $t_{exp}$  est supérieur à  $t$  de la table, la différence est significative et les deux méthodes doivent être considérées comme donnant des résultats différents pour la probabilité choisie. Dans notre cas le système le plus efficace au point de vue épuratoire sera celui qui donne la moyenne la plus petite.

Dans le cas contraire, on doit considérer que les deux méthodes conduisent à des résultats identiques.

### 3.4.1 Comparaison des moyennes des DCO brutes:

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de fisher pour P=5%
<u>Anaérobie*</u> & Jacinthes	181	1919	16	28	11,32	2,052
<u>Anaérobie*</u> & Lentilles	35	4139	23,5	28	1,48	2,052
Jacinthes & <u>Lentilles*</u>	146	3468	21,5	28	6,8	2,052

\* Système qui a la moyenne la plus élevée.

L'analyse des résultats statistiques pour une probabilité  $P=0,05$  et un nombre de degré de liberté  $N = 28$ , fait ressortir que le système à jacinthes d'eau présente les meilleurs résultats de DCO que les deux autres systèmes.

Si on pousse l'examen des résultats plus loin, on trouve  $t$  de fisher est égal à 3,69 pour  $P=0,001$ . Autrement dit, il y a plus de 99,9 % de chances pour que les résultats obtenus avec le système à jacinthes soient meilleurs à ceux obtenus avec les systèmes anaérobie et les lentilles.

Par contre les résultats statistiques de la comparaison entre le système anaérobie et les lentilles indiquent :

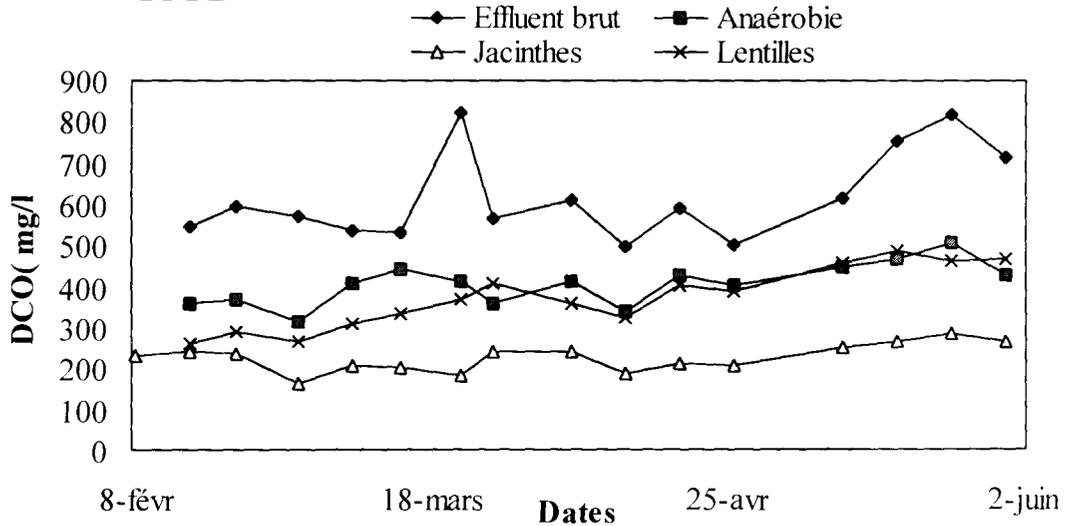
$$t \text{ de fisher} > t_{exp} \text{ pour } P= 0,05 \text{ et } N=28$$

On doit considérer de ce point de vue que les deux méthodes conduisent à des résultats identiques pour cette probabilité.

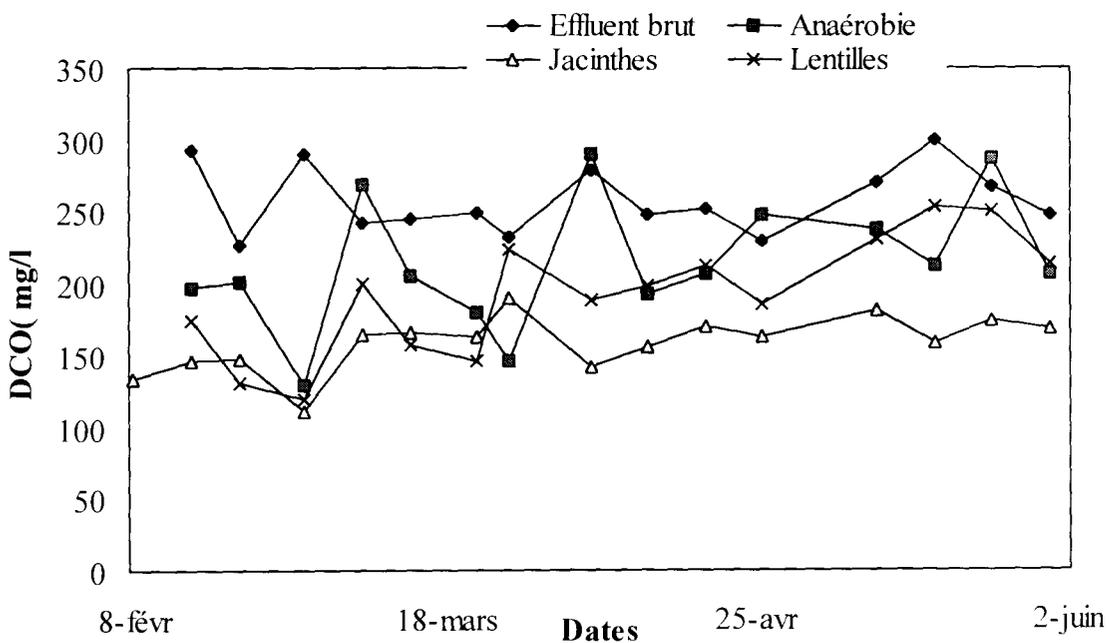
L'examen minutieux de la table de fisher indique qu'il y a seulement une chance sur cinq pour que le système à lentilles présente des résultats meilleurs au système anaérobie.

On peut ainsi donner le classement suivant d'après l'analyse des résultats statistiques : JACINTHES > LENTILLES ≥ ANAEROBIE

**Fig 43: Comparaison DCO brutes sortie têtes de filières**



**Fig 44: Comparaison DCO filtrées sortie têtes de filières**



La figure 43 représentant les DCO brutes des trois systèmes testés, confirme bien les conclusions de l'analyse statistique. La courbe donnée par les jacinthes se démarque nettement des autres courbes. Les courbes des bassins anaérobie et à lentilles ont tendance à certains endroits à se confondre.

### 3.4.2 Comparaison des moyennes des MES :

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de fisher pour P=5%
<u>Anaérobie*</u> & Jacinthes	85	682,6	9,9	26	8,55	2,056
<u>Anaérobie*</u> & Lentilles	25	1315	14,2	24	1,79	2,05
Jacinthes & <u>Lentilles*</u>	59	746,4	10,4	26	5,72	2,056

\* Système qui a la moyenne la plus élevée.

Dans la table de fisher, pour P = 0,05 et N = 26, on trouve t = 2,056. Dans le cas du système à jacinthes d'eau, du fait que  $t_{exp} > t$ , on doit considérer que ce système conduit à des résultats différents par rapport au système anaérobie et les lentilles d'eau.

Pour P = 0,001 et N = 26, la table de fisher donne t = 3,707. Cela veut dire qu'il y a plus de 99,9 % de chances pour que les résultats obtenus avec la jacinthe d'eau soient différents des résultats obtenus avec l'anaérobie et les lentilles.

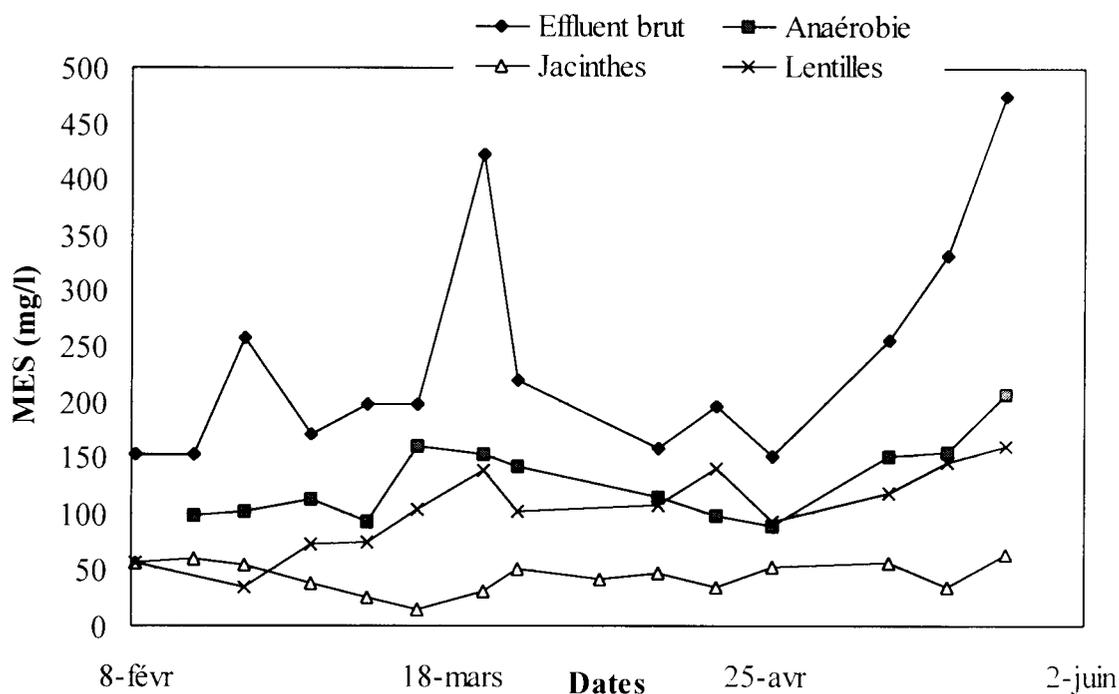
Le système à jacinthes d'eau ayant la plus faible moyenne, on conclut que c'est le système le plus efficace sur le plan d'élimination des matières en suspension.

La comparaison entre les résultats obtenus par le système anaérobie et les lentilles d'eau, révèle une similitude entre les deux systèmes de traitement pour la probabilité choisie, avec une légère supériorité des lentilles d'eau sur le système anaérobie.

Le classement par ordre d'efficacité d'élimination des matières en suspension se présente comme suit :

JACINTHE > LENTILLE ≥ ANAEROBIE

**Fig 45: Comparaison MES sorties tête de filières**



### 3.4.3 Comparaison des moyennes des DBO brutes:

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de fisher pour P=5%
<u>Anaérobie*</u> & Jacinthes	102	2033,8	18,1	23	5,65	2,069
<u>Anaérobie*</u> & Lentilles	38	2530,6	20,5	22	1,85	2,052
Jacinthes & <u>Lentilles*</u>	64	1793,5	17	23	3,78	2,069

\* Système qui a la moyenne la plus élevée.

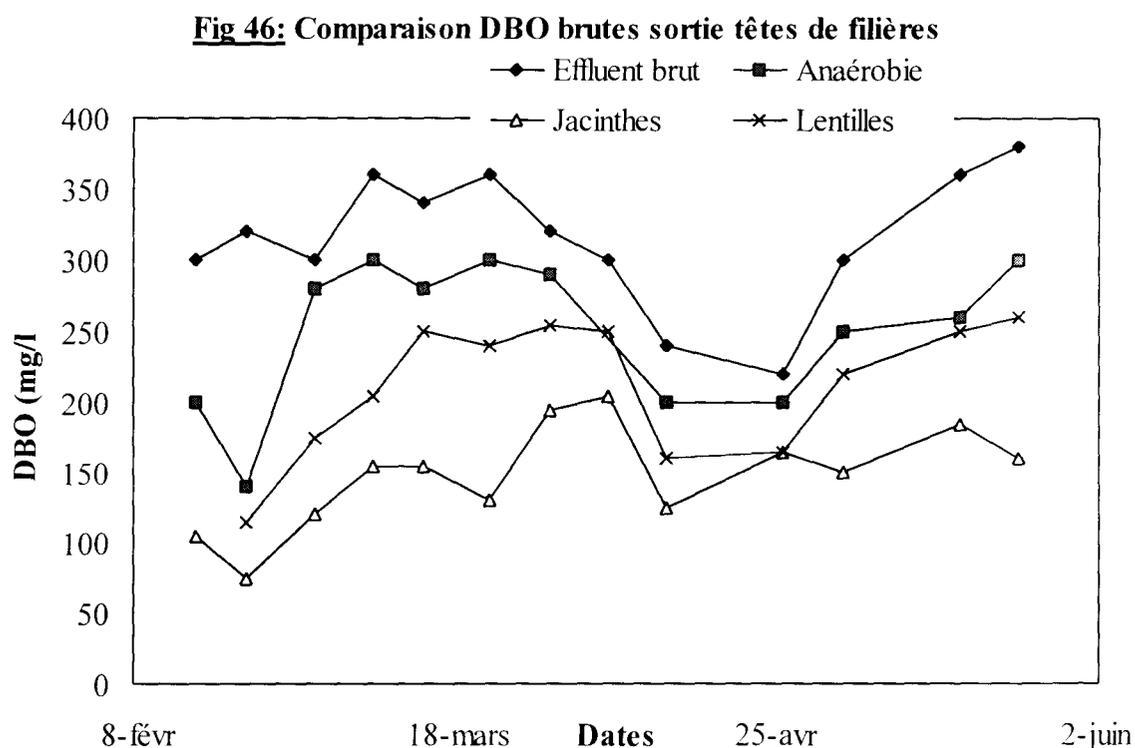
Pour une probabilité  $P=0,05$  et un nombre de degré de liberté  $N = 23$ , l'analyse des résultats statistiques fait ressortir que le système à jacinthes d'eau présente les meilleurs résultats de DBO que les systèmes anaérobie et les lentilles d'eau.

L'examen un peut plus poussé des résultats, Nous permet de trouver pour t de fisher la valeur de 3,69 pour  $P=0,001$ . Autrement dit, il y a plus de 99,9 % de chances pour que les résultats obtenus avec le système à jacinthes soient meilleurs à ceux obtenus avec les systèmes anaérobie et les lentilles.

Par contre les résultats statistiques de la comparaison entre le système anaérobie et les lentilles indiquent que pour avoir :

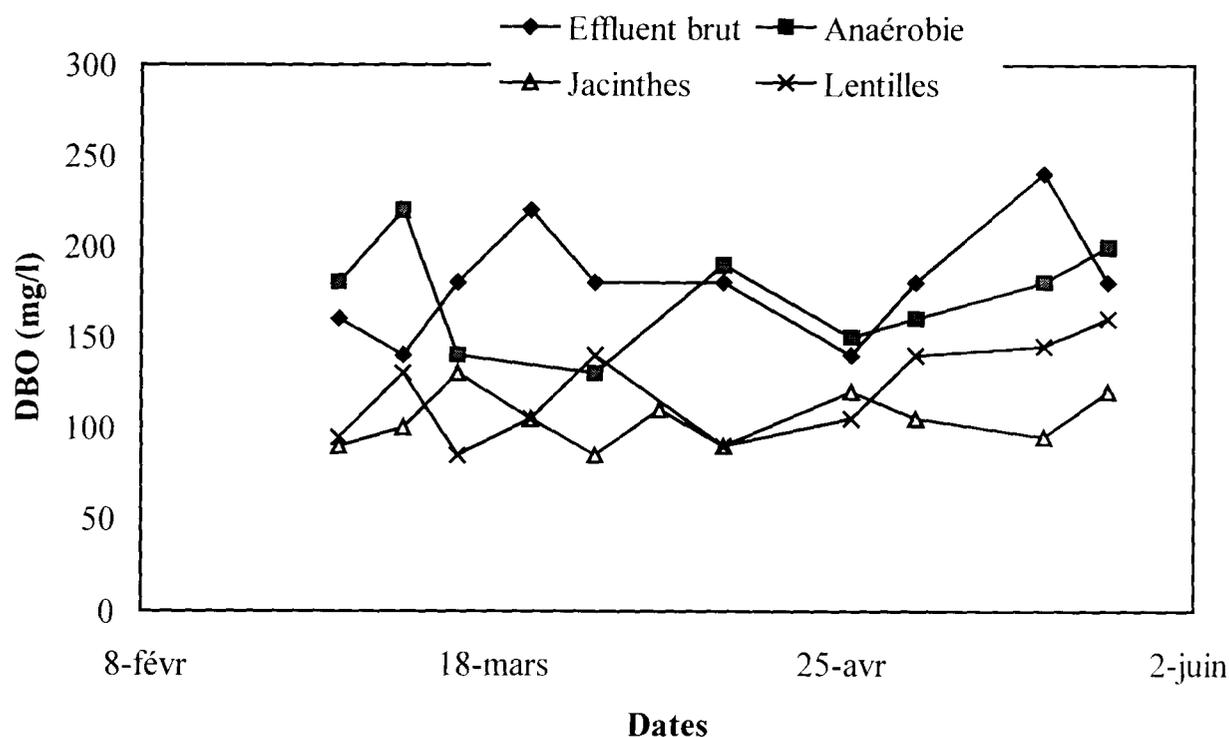
$$t \text{ de fisher} < t_{\text{exp}} \text{ il faut une probabilité } P= 0,1$$

On peut ainsi donner le classement suivant d'après l'analyse des résultats statistiques : JACINTHES > LENTILLES > ANAEROBIE



L'examen visuel des courbes représentées sur la figure 46 confirme bien les conclusions de l'analyse statistique. On remarque que la moyenne des DBO brutes du système à jacinthe (  $148 \text{ mg/l} \pm 36,7$  ) est inférieure à la moyenne obtenue avec les lentilles d'eau (  $212 \text{ mg/l} \pm 47,7$  ). Le système anaérobie les dépasse de loin avec une moyenne de  $250 \text{ mg/l} \pm 52,7$ .

**Fig 47: Comparaison DBO filtrées sortie têtes de filières**



### 3.4.4 Comparaison des moyennes des NTK bruts :

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de fisher pour P=5%
<u>Anaérobie*</u> & Jacinthes	11,08	24,8	1,78	29	6,19	2,045
<u>Anaérobie*</u> & Lentilles	10,33	17,83	1,54	28	6,7	2,048
Jacinthes & <u>Lentilles*</u>	0,75	19,43	1,58	29	0,47	2,045

\* Système qui a la moyenne la plus élevée.

Dans la table de fisher, pour P = 0,05 et N = 29, on trouve t = 2,045.

Dans le cas des systèmes anaérobie - jacinthes d'eau, du fait que  $t_{exp} > t$ , on doit considérer que les deux systèmes conduisent à des résultats différents.

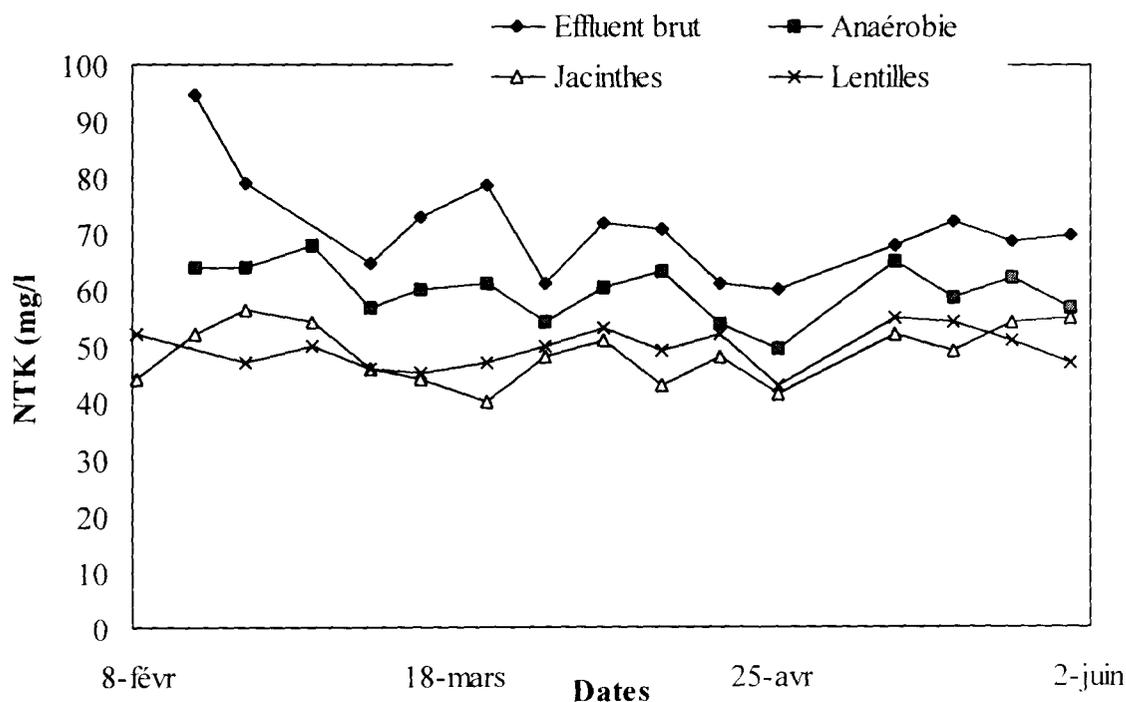
En ce qui concerne les systèmes jacinthes d'eau – lentilles d'eau, pour la même probabilité et le même nombre de degré de liberté,  $t_{exp}$  est très inférieur à  $t$  donné par la table de fisher ( $0,47 < 2,045$ ). On doit, de ce point de vue considérer que les deux systèmes conduisent à des résultats identiques. En poussant les analyses plus loin, on se rend compte que pour avoir  $t_{exp} > t$  de fisher, pour le même degré de liberté, il faut une probabilité voisine de 0,7. Autrement dit, il y a près de 70 % de chance pour que les résultats obtenus avec les deux systèmes soit identiques.

La comparaison entre les résultats obtenus par le système anaérobie et les lentilles d'eau, montre la nette supériorité des lentilles d'eau face au système anaérobie dans l'élimination des l'azote kjeldahl.

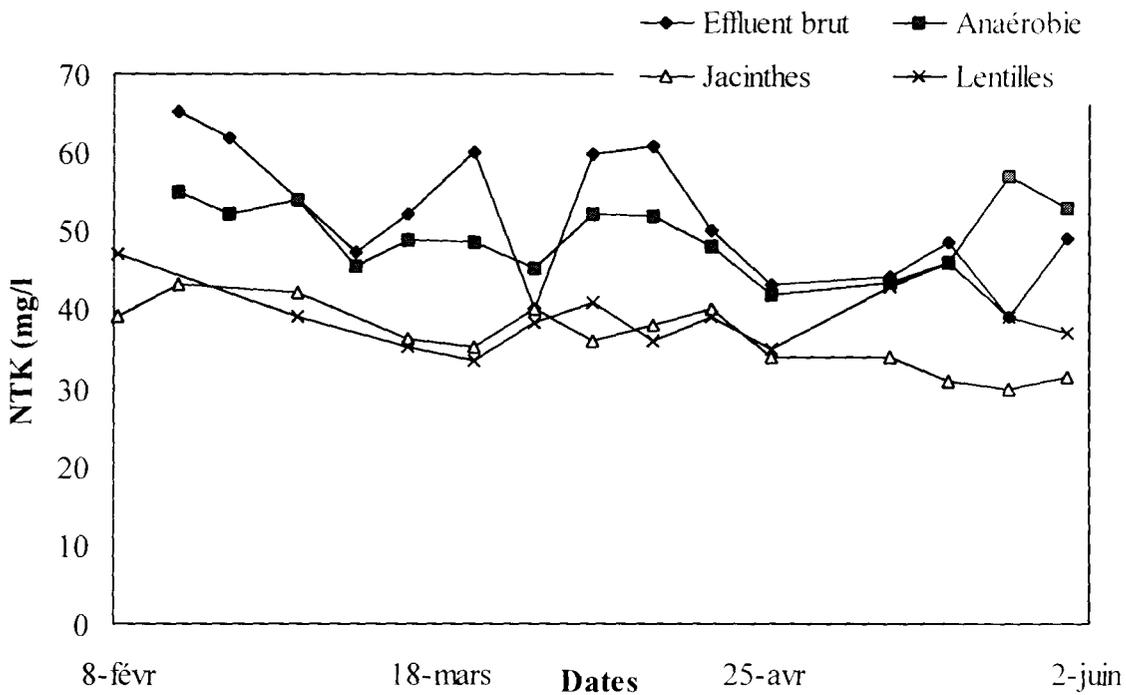
Le classement par ordre d'efficacité d'élimination des matières en suspension se présente comme suit :

JACINTHES  $\approx$  LENTILLES  $>$  ANAEROBIE

**Fig 48: Comparaison NTK bruts sorties tête de filières**



**Fig 49: Comparaison NTK filtés sorties tête de filières**



Sur les eaux filtrées, les résultats sont les mêmes que dans le cas des eaux brutes. On a les courbes des systèmes à jacinthes d'eau et à lentilles qui s'entremêlent; ce qui veut dire des résultats pratiquement identiques. La courbe du système anaérobie se détache nettement des autres. Ce qui indique que l'anaérobie élimine moins l'azote kjeldahl que les deux autres systèmes testés.

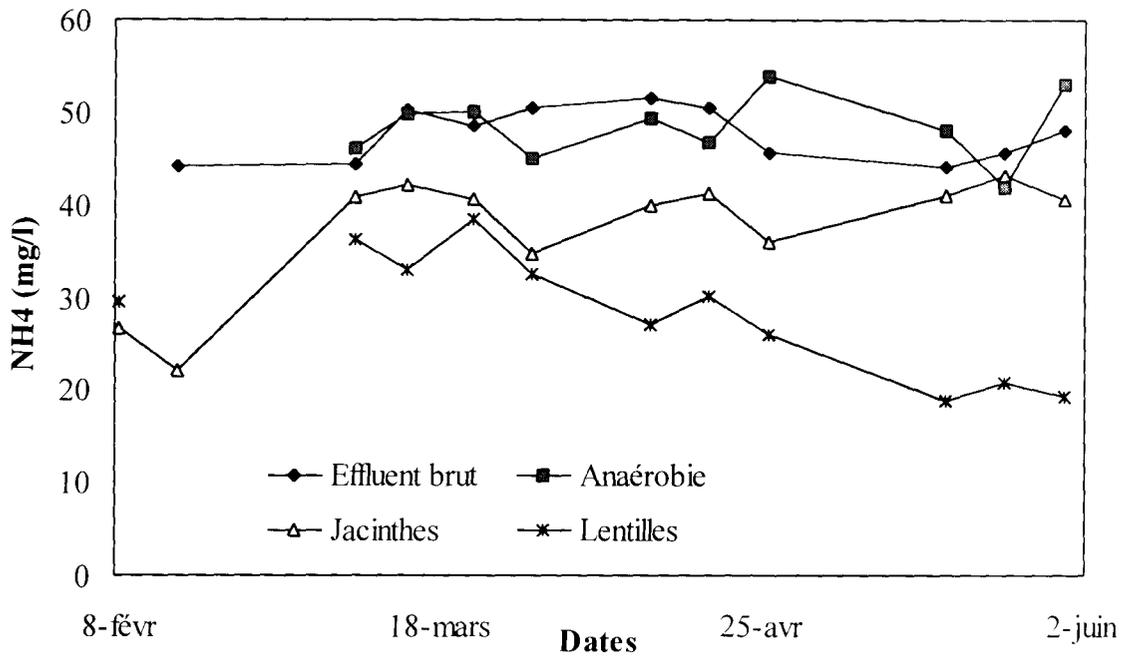
### 3.4.5 Comparaison des moyennes des $\text{NH}_4$ :

Le nombre de résultats disponible dans le cas de l'azote ammoniacal nous limite quant à l'utilisation de la méthode statistique pour faire la comparaison des résultats moyens obtenus avec les différents systèmes.

Néanmoins, l'examen visuel des courbes représentées sur la figure 50, permet de constater que les valeurs les plus faibles sont obtenues avec les lentilles d'eau, puis viennent les jacinthes et ensuite vient, loin derrière le système anaérobie.

On peut même remarquer que les valeurs obtenues avec le système anaérobie dépassent de fois les valeurs de l'effluent brut à l'entrée de la station. Cela s'explique par le fait que le système anaérobie, de par les processus biochimiques qu'il met en jeu, engendre une production plus ou moins importante d'ammoniaque.

**Fig 50: Comparaison NH4 sorties têtes de filières**



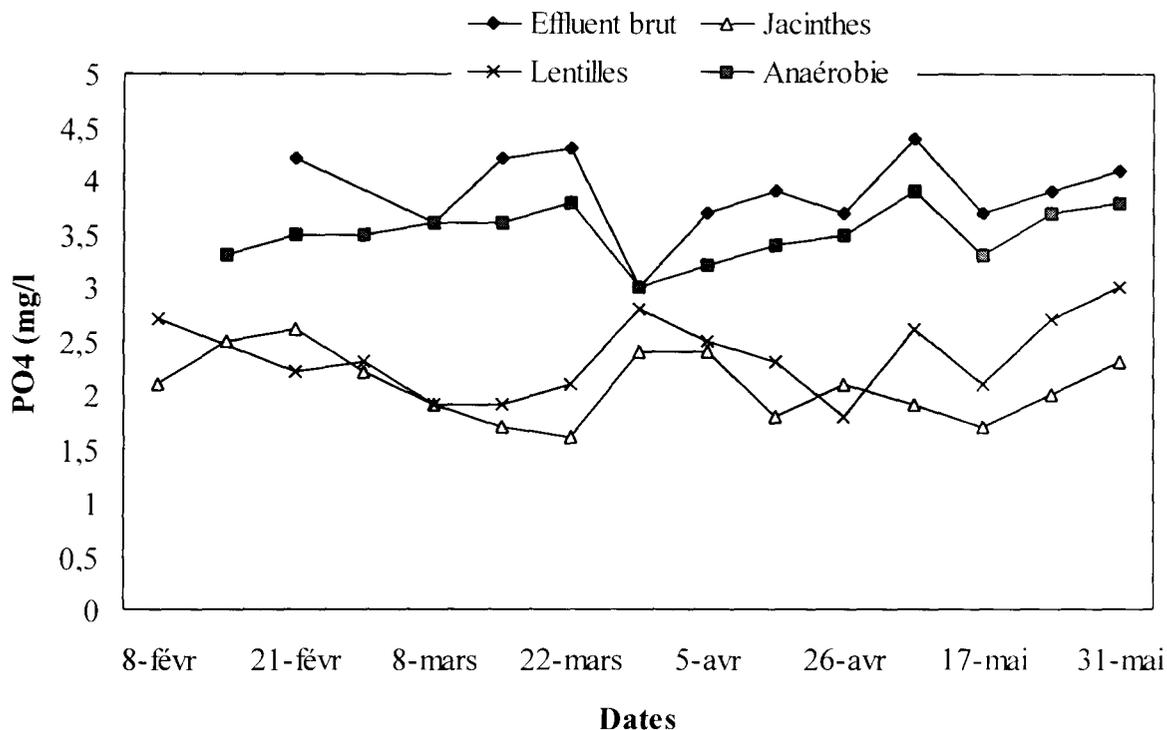
### 3.4.6 Comparaison des moyennes des PO<sub>4</sub> :

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de fisher pour P=5%
<u>Anaérobie*</u> & Jacinthes	1,43	0,082	0,106	27	13,41	2,052
<u>Anaérobie*</u> & Lentilles	1,16	0,303	0,20	27	5,66	2,052
Jacinthes & <u>Lentilles*</u>	0,27	0,052	0,083	28	3,25	2,048

\* Système qui a la moyenne la plus élevée.

La comparaison entre l'anaérobie et les jacinthes montre des résultats sans appel comme le montre le tableau ci-dessus.  $t_{exp}$  très supérieur à  $t$  de fisher. Le résultat est similaire entre les lentilles d'eau et l'anaérobie même si la différence n'est pas aussi importante que dans le cas précédent.

**Fig 51: Comparaison PO4 sorties têtes de filières**



La comparaison entre les lentilles et les jacinthes fait ressortir les meilleures performances des jacinthes sur l'élimination des orthophosphates.

Le classement par ordre d'efficacité d'élimination des orthophosphates se présente comme suite :

**JACINTHES > LENTILLES >> ANAEROBIE**

## **CONCLUSION :**

Le traitement statistique présenté dans ce chapitre, a permis d'établir la comparaison paramètre par paramètre des trois systèmes testés en tête de filière dans des conditions identiques d'alimentation avec des effluents bruts.

Il ressort de l'analyse des résultats que le bassin à jacinthe d'eau présente des performances épuratoires beaucoup plus intéressantes sur la DCO, les MES, la DBO et les orthophosphates. Les rendements épuratoires de ce bassin sur ces paramètres sont de loin supérieurs à ceux obtenus par les bassins anaérobie et à lentilles.

On note une similitude de performances entre le bassin à lentilles et le bassin anaérobie sauf sur les orthophosphates où les lentilles prennent le dessus sur l'anaérobie. Sur l'azote total, la similitude est observée entre les jacinthes et les lentilles.

La jacinthe d'eau peut de ce point de vue être placée en tête de filière pour des effluents dont la charge organique n'excède pas les 1000 mg/l en DCO sur le brut. La présence de cette plante dans le premier bassin de lagunage contribue à la mise en place d'un écosystème épuratoire stable qui conduit vers une homogénéité des effluents.

Les lentilles d'eau, du fait de leur sensibilité aux teneurs en ammoniacque, doivent être évitées en tête de filière surtout en période de chaleur. Cependant le rôle de ces plantes peut s'avérer bénéfique dans les bassins secondaires ou tertiaires.

Le bassin anaérobie fonctionnant comme lagunage facultatif, présente un avantage certain sur l'économie de l'espace et la possibilité de traiter des effluents très chargés. Les effluents issus de ce traitement présentent cependant des teneurs relativement élevées en ammoniacque qui peuvent être préjudiciables aux lagunes qui suivent.

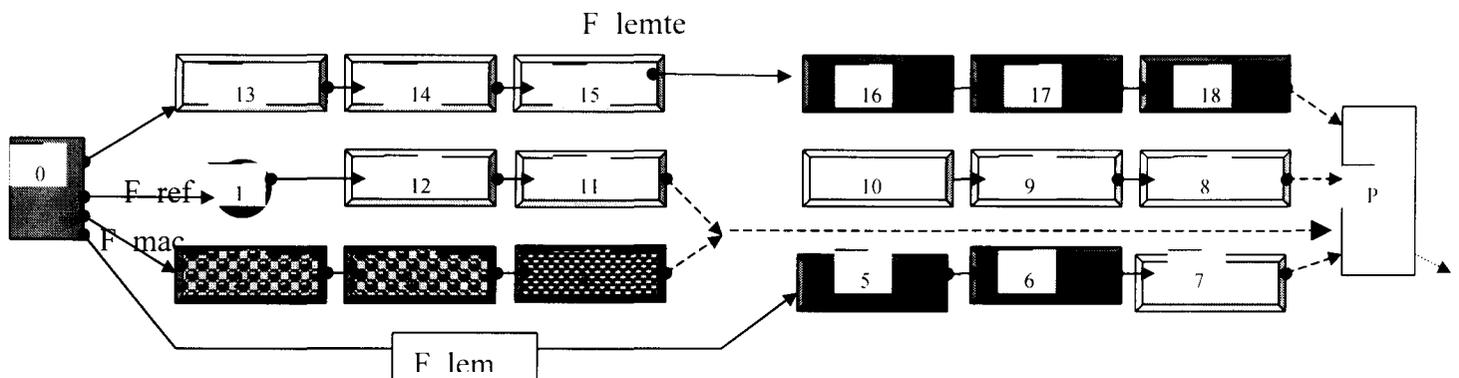
Chapitre 4 :

**PERFORMENCES DES FILIÈRES  
EXPÉRIMENTÉES**

## INTRODUCTION :

Au cours de nos expériences, nous avons testé 4 filières différentes, toutes alimentées dans les mêmes conditions et avec les mêmes effluents.

Le schéma ci dessous représente les emplacements des différentes filières sur le site expérimental.



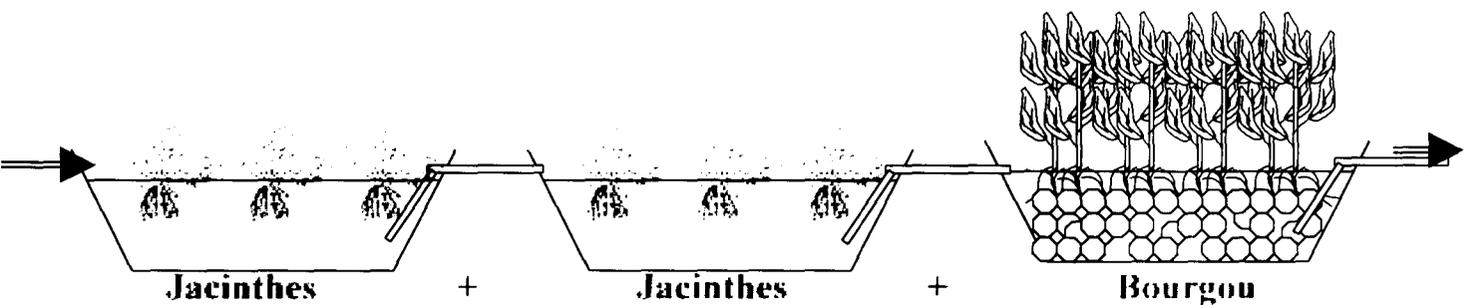
### Emplacement des différentes filières sur le site

- La filière **F\_mac** regroupe les bassins N° 2,3 et 4 en série. Les bassins N° 2 et N°3 contiennent les jacinthes d'eau tandis que le bassin N°4 est rempli au 2/3 de gravier sur lequel est planté le bourgou. Les effluents dans ce bassin subissent l'action du bourgou à travers l'assimilation et la rétention de la pollution au niveau des racines et l'action du gravier à travers une filtration de l'effluent.
- La filière **F\_lem** regroupe les bassins N°5,6 et 7. Les bassins N°5 et N°6 contiennent des lentilles d'eau tandis que le bassin N° 7 est à microphytes. Ce bassin assure l'oxygénation du milieu et expose l'effluent au soleil en vue de l'action des rayons ultra-violetts sur les bactéries pathogènes.
- La filière **F\_lemte** regroupe les bassins N° 13, 14, 15, 16, 17 et 18. Les trois premiers bassins sont à microphytes et les trois derniers à lentilles d'eau. La présence des trois premiers bassins a pour objectif :
  - de réduire la charge polluante à l'entrée des bassins à lentilles en particulier de réduire la concentration en ammoniacque qui est un facteur limitant pour la croissance des lentilles.
  - De solubiliser la matière organique en vue de faciliter l'assimilation par les lentilles.

- De réduire la charge bactériologique par exposition prolongée au soleil. Charge qui est insuffisamment éliminée par les lentilles.
- La filière **F\_ref** qui regroupe les bassins N° 1, N°12 et N°11 en série. Le bassin N°1 est une fosse de 3 m de profondeur qui fait office de bassin anaérobie, mais qui a plutôt fonctionné comme bassin facultatif. Les deux bassins qui suivent sont à microphytes. La filière **F\_ref** est donc l'exemple type d'un lagunage naturel à microphytes. Elle nous servira de ce point de vue de filière de référence.

#### 4.1 FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE : Jacinthes + Jacinthes + Bourgou ( **F\_mac** ).

La filière **F\_mac** est composée de trois bassins en série dont les deux premiers sont couverts de jacinthes et le troisième est un rock-filter sur lequel est planté de bourgou. La filière reçoit chaque jour 1,5 m<sup>3</sup> d'eau en 5 cuvées.



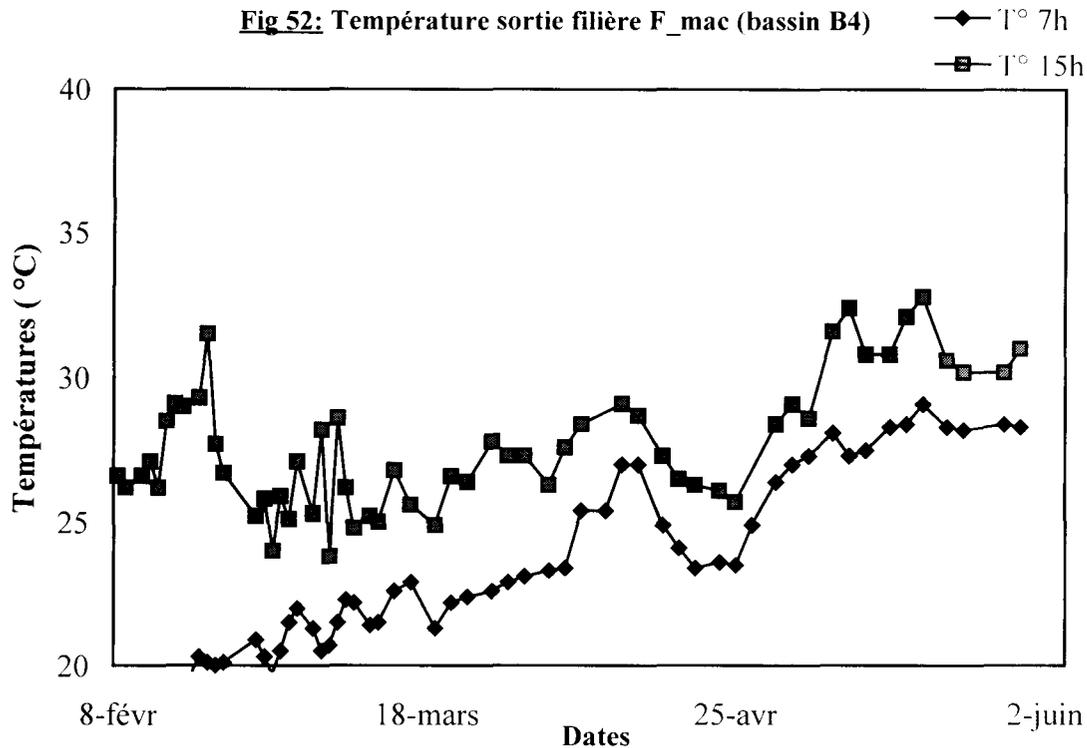
La charge globale appliquée à la filière est de 0,5 kg de DBO5/jour, soit 120 Kg de DBO5/ha/jour.

Le temps de séjour hydraulique sur l'ensemble de la filière se situe entre 12 et 14 jours en tenant compte de l'évapotranspiration, du volume occupé par les racines des plantes et du volume occupé par le gravier qui sert de support pour le bourgou.

Les plantes sont périodiquement récoltées en fonction de leur vitesse de multiplication.

#### 4.1.1 Paramètres physiques sortie filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F\_mac) . :

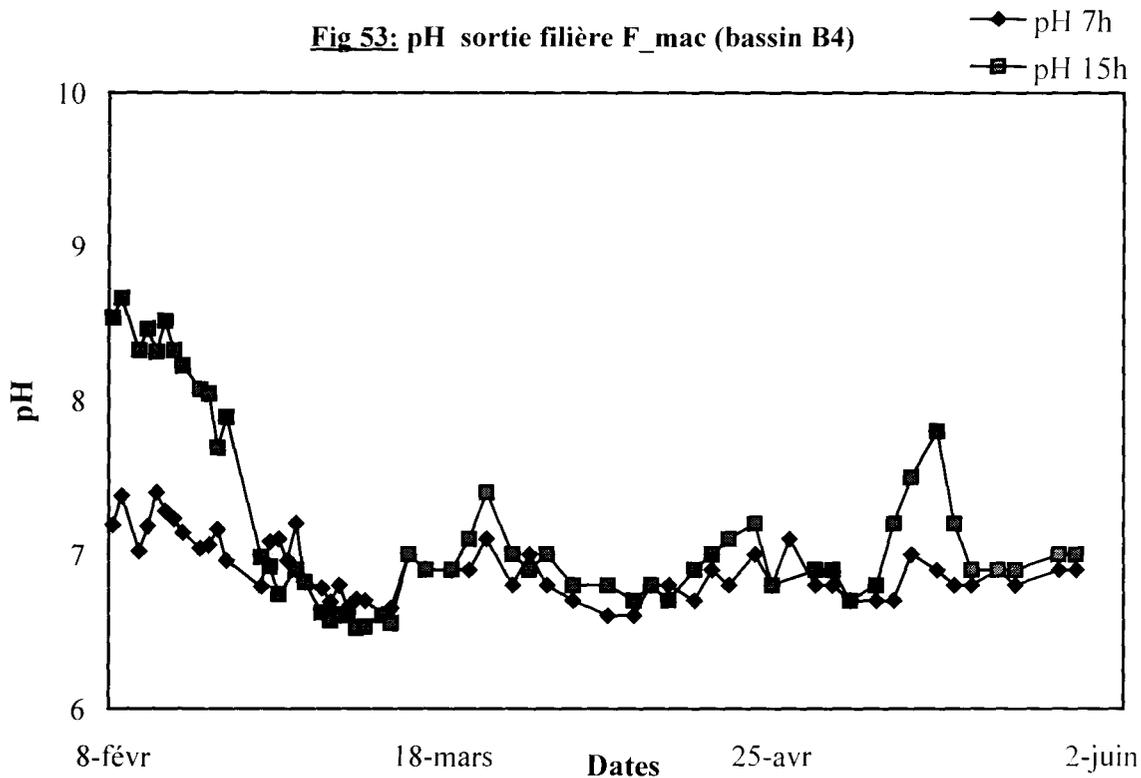
##### 4.1.1.1 Evolution de la température :



La figure 52, représentant les températures à la sortie de la filière F\_mac présente deux zones pour les températures matinales, hormis le petit fléchissement autour du 25 avril. Une zone où les températures sont inférieures à 25°C qui s'étale de février jusqu'au début du mois d'avril. Une zone où les températures tournent autour de 30°C qui couvre les mois d'avril et de mai.

Pour les températures relevées à 15 heures, elles sont toujours comprises entre 25 et 30 °C. Des températures supérieures à 35°C ont été enregistrées après le faucardage du bourgou c'est à dire au moment où la couverture végétale est faible.

### 4.1.1.2 Evolution du pH



La figure 53 qui représente le pH en fonction du temps indique que les valeurs de ce paramètre tournent autour de  $6,8 \pm 0,2$ , une fois que le système est stabilisé.

On peut remarquer que pour atteindre sa stabilité, le système a besoin d'environ un mois. Ce qu'indiquent les valeurs de pH enregistrées tout le long du mois de février.

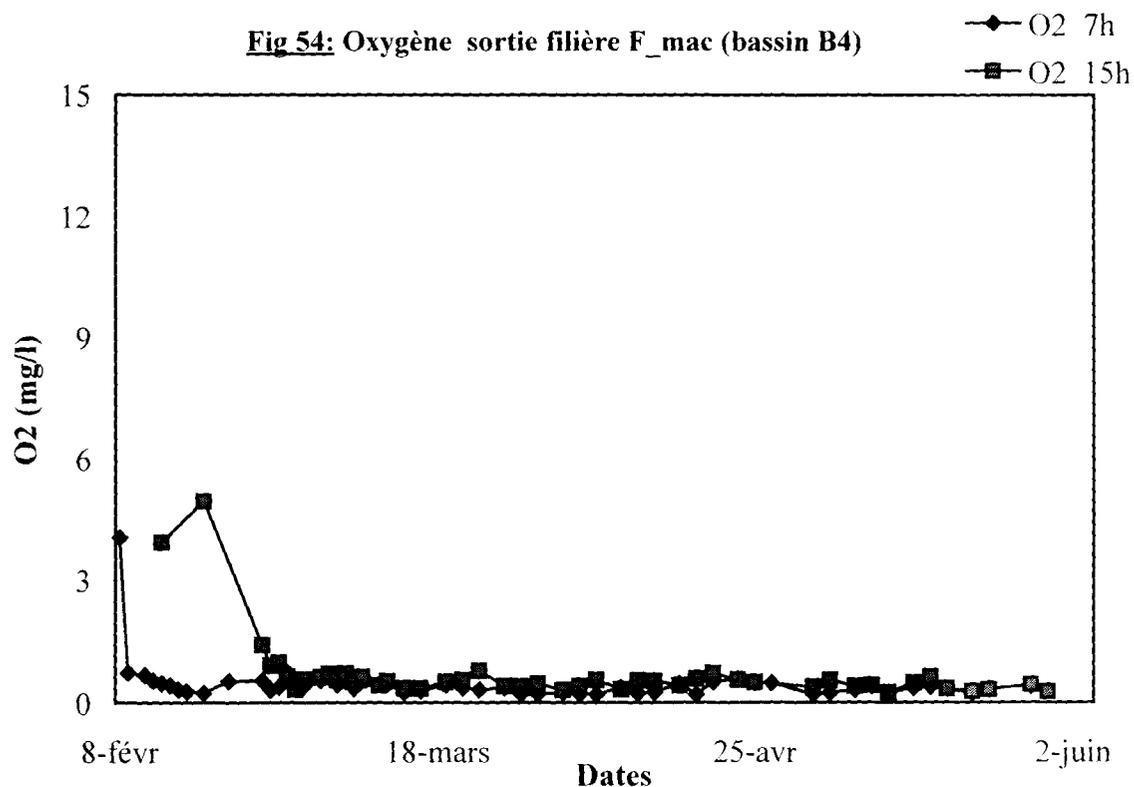
### 4.1.1.3 Etat d'oxygénation du bassin

Le tapis formé par les plantes à la surface des bassins empêche l'échange d'oxygène entre l'air et les effluents du bassin. De plus, l'absence quasi totale d'algues dans les bassins exclu toute production importante d'oxygène.

Les valeurs très faibles enregistrées au cours de l'expérience proviennent de la production d'oxygène au niveau des racines des plantes.

Ces valeurs se situent entre 0,2 mg/l et 0,5 mg/l ce sont les plus faibles valeurs enregistrées de toutes les filières.

Contrairement aux autres filières, l'écart entre les valeurs enregistrées le matin et celles enregistrées au zénith est très faible (inférieur à 0,1 mg/l). On a même observé à certains moments des valeurs matinales d'oxygène dissous supérieures aux valeurs au zénith.

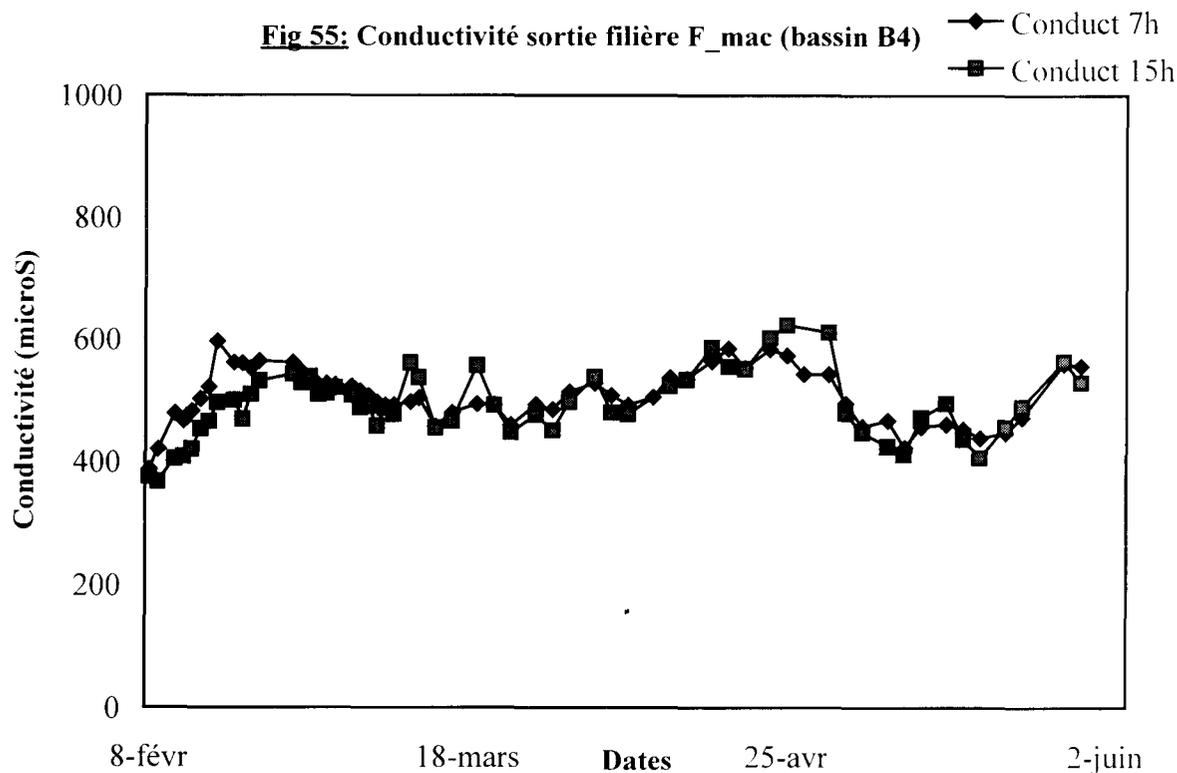


#### 4.1.1.4 Evolution de la conductivité

A la sortie de la filière F\_mac, la conductivité relevée à 7 heures du matin est en moyenne identique à celle relevée à 15 heures de l'après midi. Ce qui témoigne de l'homogénéité du milieu à tout moment de la journée.

La moyenne est de 500  $\mu\text{s/cm}$  une fois l'équilibre du système atteint. On peut remarquer une chute de la conductivité à la suite du faucardage du bourgou.

**Fig 55: Conductivité sortie filière F\_mac (bassin B4)**



#### 4.1.2 Performances de la filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F\_mac) vis à vis des charges organiques

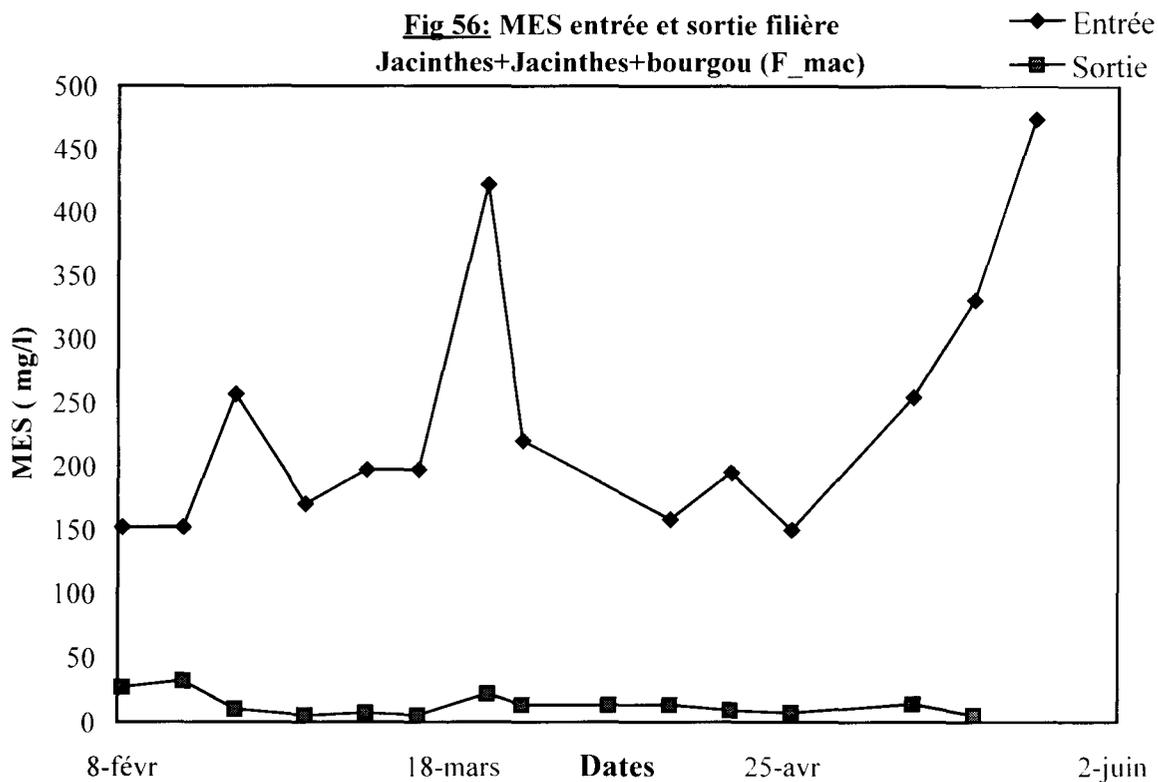
##### 4.1.2.1 les matières en suspension (MES) :

La filière F\_mac est constituée de macrophytes supérieures qui ont un système racinaire très développé qui leur permet une forte rétention des matières en suspension.

Le tableau N° 21 donne l'évolution des MES en fonction de l'étage du traitement. On peut remarquer le travail considérable sur l'élimination des MES réalisé par les macrophytes. Dès le premier bassin de la filière, plus de 80 % des MES sont éliminées. Le deuxième bassin n'a reçu que des eaux très peu chargées. Son système racinaire n'a pas grand chose à retenir. Le troisième bassin a surtout joué le rôle de filtre à travers son gravier.

Tableau N° 21 : Evolution des MES le long de la filière F\_mac.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>ème</sup> bassin)
MES (mg/l)	238	44	40	13



A la sortie de la filière F\_mac, Les matières en suspension varient entre 32 et 5 mg/l avec une moyenne de 13 mg/l.

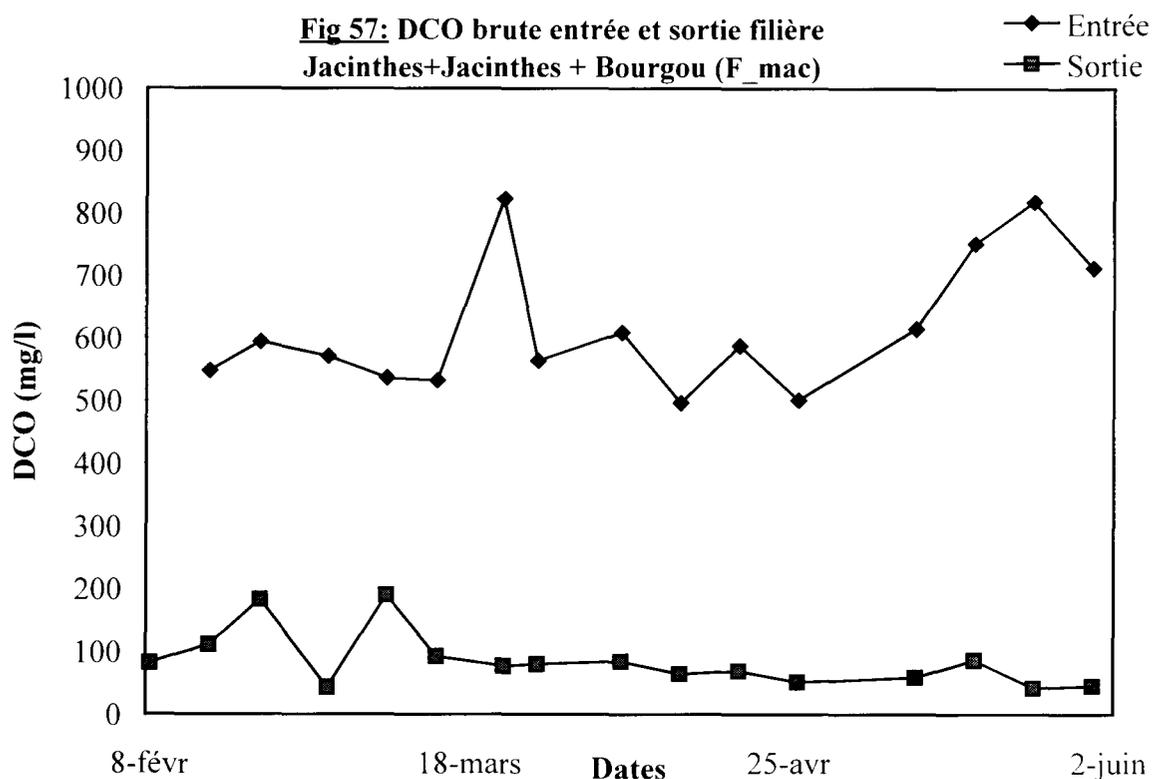
L'abattement MES sur la filière F\_mac est en moyenne de 94,5% c'est le meilleur abattement de toutes les combinaisons testées. De plus, on peut remarquer, qu'après la stabilisation du système, l'abattement a toujours été supérieur à 90%.

#### 4.1.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO):

A la sortie de la filière F\_mac, la DCO brute varie entre 42 mg/l et 190 mg/l avec une moyenne de 85 mg/l. Sur l'effluent filtré, les valeurs sont de 12 mg/l et 95 mg/l pour les minima et maxima et une moyenne de 42 mg/l.

On remarque qu'après stabilisation du système, La DCO brute est toujours inférieure à 100 mg/l et la DCO filtrée toujours inférieure à 50 mg/l.

Comparées aux autres filières étudiées, nous constatons que la filière F\_mac présente les valeurs de DCO les plus faibles. Ce résultat est en étroite corrélation avec l'élimination des MES.

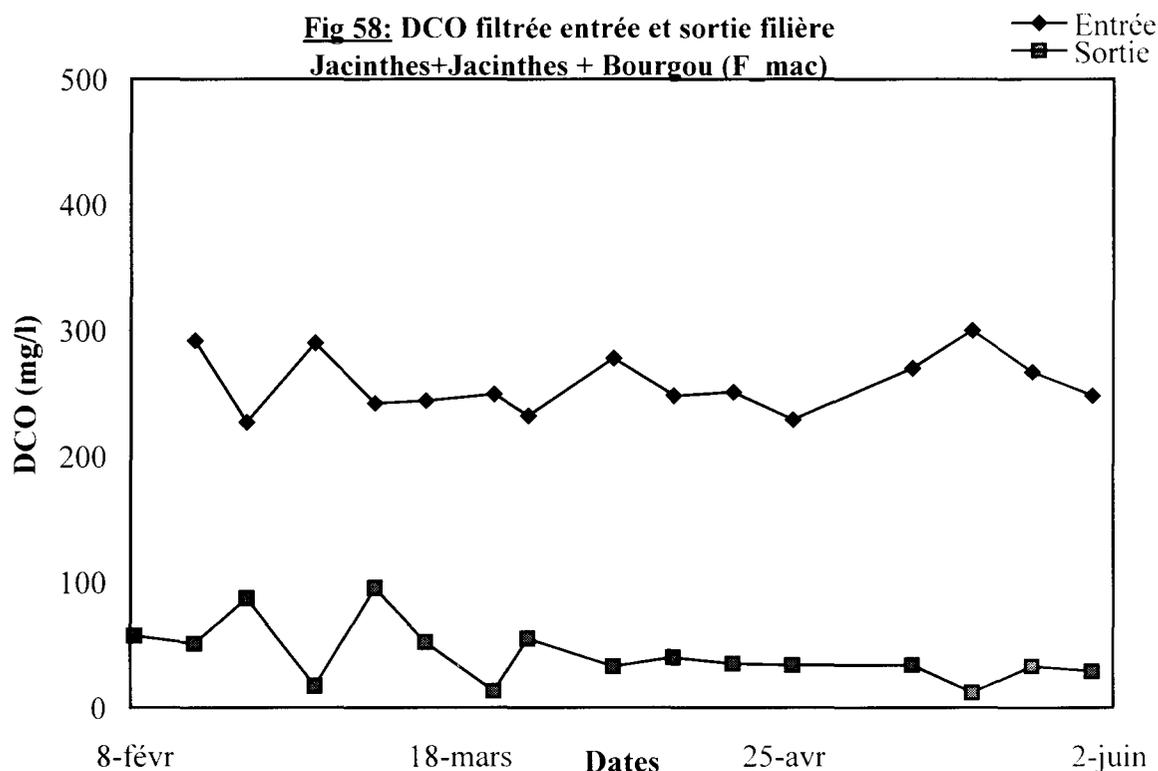


Le tableau N°22 donne les moyennes des DCO à chaque étage d'épuration. Nous constatons que le premier bassin a éliminé plus de 60 % de la DCO brute initiale. Au deuxième étage d'épuration, plus de 80 % de la DCO brute sont éliminés. Le taux d'élimination atteint les 90 % environ en fin de filière.

On peut remarquer que sur la DCO filtrée, la norme de 120 mg/l est atteinte dès le deuxième étage d'épuration.

Tableau N° 22 : Evolution des DCO le long de la filière F\_mac.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>ème</sup> bassin)
DCO brute (mg/l)	578	226	113	85
DCO filtrée (mg/l)	258	159	79	42



Les taux d'élimination de DCO obtenus avec la filière F\_mac varient entre 85,8% et 94,9% sur l'effluent brut avec une moyenne de 89,5%. Sur l'effluent filtré les rendements vont de 76,3% à 96% pour les minima et maxima avec comme moyenne 86,8%.

L'écart type sur le rendement de la DCO brute est de 3,0 pour un écart type de 5,8 sur le rendement de la DCO filtrée. Ces valeurs prouvent l'homogénéité de ces paramètres à la sortie de la filière.

#### 4.1.2.3 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

A l'image de la DCO, la DBO5 est étroitement liée aux matières en suspension contenues dans les eaux à la sortie. Les faibles valeurs des MES expliquent le faible écart entre la DBO brute et la DBO filtrée.

A la sortie de la filière F\_mac, les valeurs de la DBO5 brute varient entre un minimum de 35 mg/l et un maximum de 110 mg/l pour une moyenne de 62 mg/l.

Les DBO5 sur les eaux filtrées se situent entre 30 mg/l et 50 mg/l avec une moyenne de 38 mg/l. Comparée aux autres systèmes testés, la jacinthe d'eau présente les valeurs les plus faibles aussi bien sur les eaux brutes que sur les eaux filtrées.

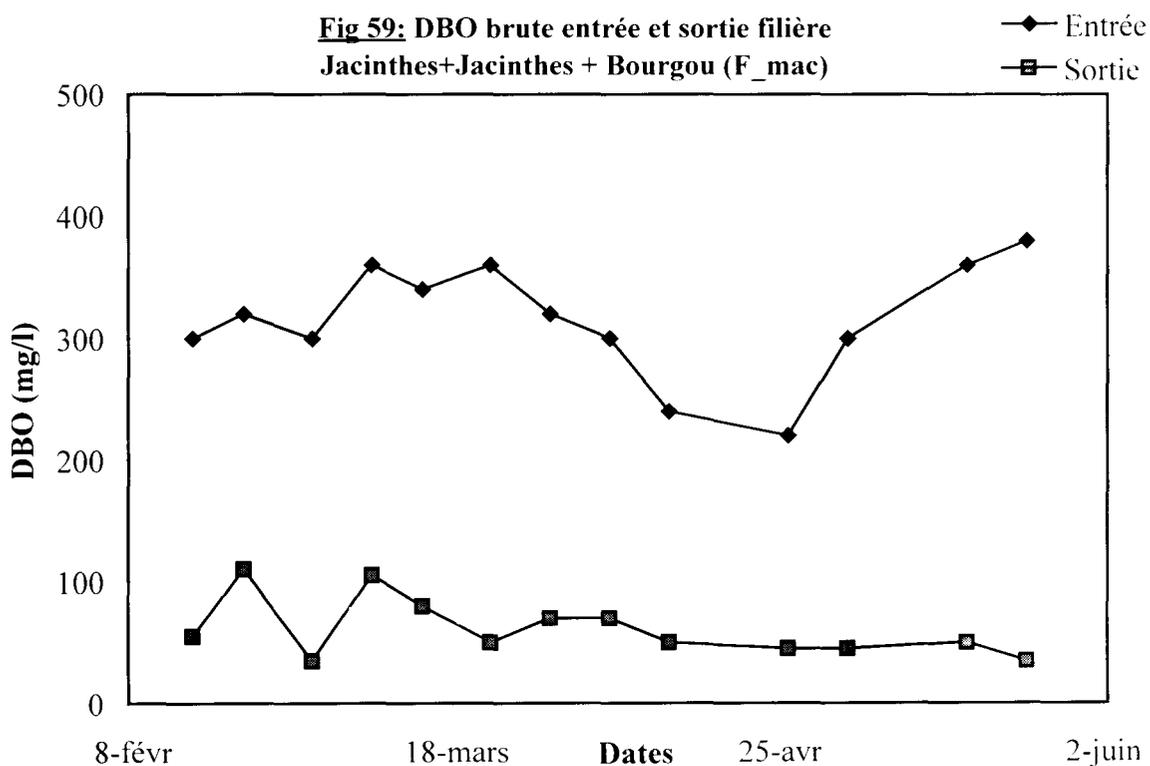
Les moyennes des DBO entre les différents bassins de la filière F\_mac sont consignées dans le tableau N°23. Nous constatons que le premier bassin a éliminé plus de 50 % de la DBO brute initiale. Au deuxième étage d'épuration, plus de 78 % de la DBO brute sont éliminés.

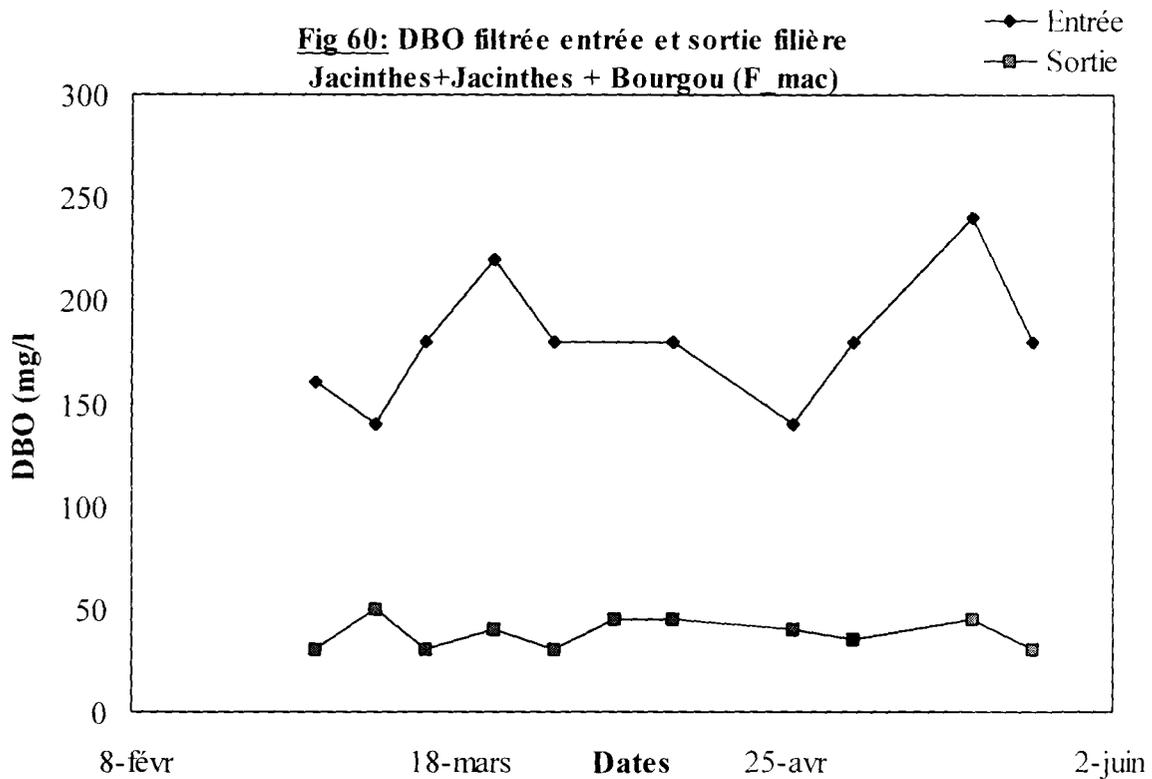
Sur l'ensemble de la filière, le taux d'élimination se situe entre un minimum de 65,6% et un maximum de 90,8% sur la DBO brute avec une moyenne de 80% .

Sur la DBO filtrées, le minimum de taux d'élimination est de 64,3% et un maximum de 83,3%. La moyenne d'élimination de la DBO filtrée est de 78,6%.

Tableau N° 23 : Evolution des DBO le long de la filière F\_mac.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>ème</sup> bassin)
DBO brute (mg/l)	315	148	68	62
DBO filtrée (mg/l)	180	106	51	38





L'évolution des DBO brutes et filtrées le long de la filière F\_mac figurée dans le tableau N°23, démontre bien le rôle des macrophytes dans la transformation de la matière organique contenue dans les effluents.

En effet l'élimination de la matière organique dans les bassins à macrophytes flottantes est basée sur une relation symbiotique plantes – bactéries dans laquelle les bactéries utilisent l'oxygène fourni au milieu par les plantes pendant la photosynthèse et par le brassage air-eau, pour dégrader la matière organique. En retour, les sous produits de la réaction dont les composés azotés et les orthophosphates sont utilisés par la plante pour sa croissance [Polprasert and al].

La jacinthe d'eau ayant un fort taux de croissance, a donc besoin de beaucoup d'éléments nutritifs pour pouvoir assurer cette croissance. Ainsi chaque fois que les éléments nutritifs sont consommés, l'équilibre de transformation de la matière organique est déplacé dans le sens de cette transformation.

### 4.1.3 Evolution des composés azotés sortie filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F\_mac) . :

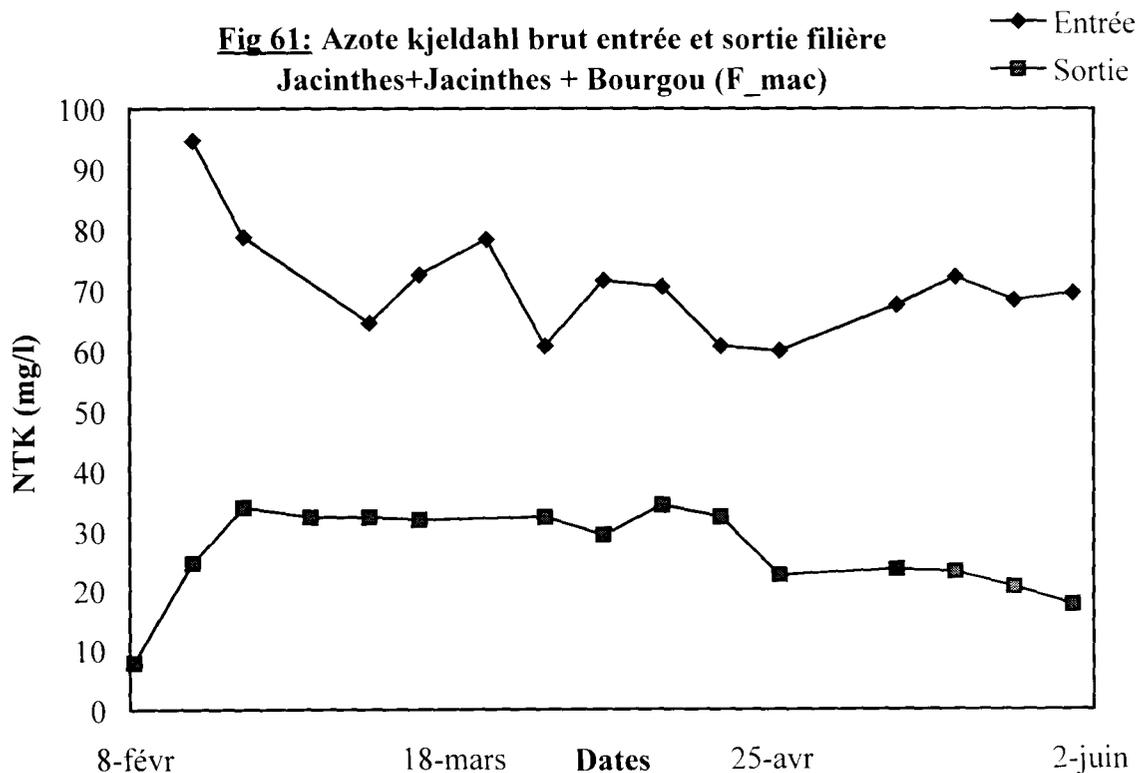
Les analyses à la sortie de la filière F\_mac ont révélé l'absence de nitrite et de nitrate. Ceci nous conduit dans le bilan de l'azote à ne considérer que l'azote total Kjeldahl à savoir l'azote organique et l'azote ammoniacal.

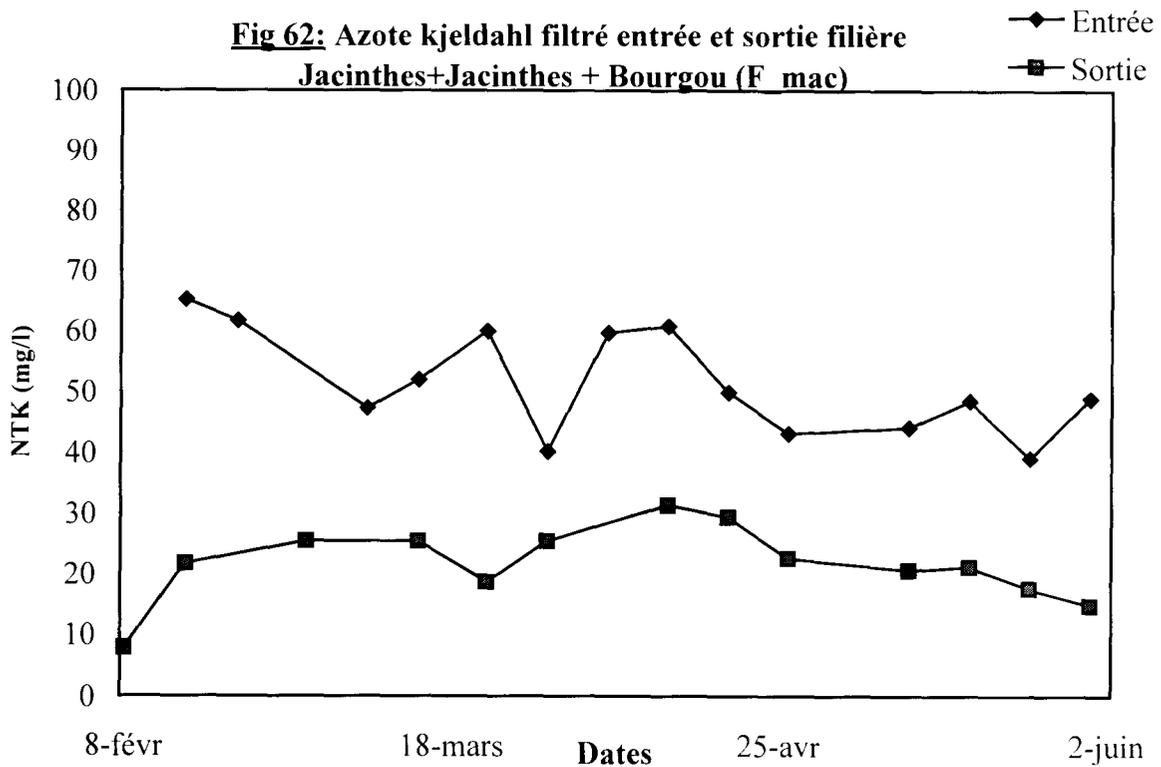
#### 4.1.3.1 Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)

Tableau N° 24 : Evolution du NTK le long de la filière F\_mac.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>ème</sup> bassin)
NTK brut (mg/l de N)	70,8	48,6	34,1	26,6
NTK filtré (mg/l de N)	51,5	36,5	28,8	21,7

Ce tableau nous indique que 31% environ de l'azote total sont éliminés au premier étage du traitement, au deuxième étage du traitement il ne reste plus que 48% de l'azote total initial. A la sortie de la filière F\_mac, plus de 62% de cet azote sont éliminés.





Les figures 61 et 62 représentent l'évolution de l'azote total Kjeldahl exprimé en mg/l de N à l'entrée et à la sortie de la filière F\_mac.

On remarque que l'essentielle de l'azote se trouve à l'état dissout (environ 82%). Les matières en suspension représentent environ 18% de l'azote total mesuré à la sortie de la filière.

On peut aussi remarquer que le rendement épuratoire de la filière augmente avec le temps. C'est ainsi que les meilleurs rendements sont obtenus vers la fin de l'expérience.

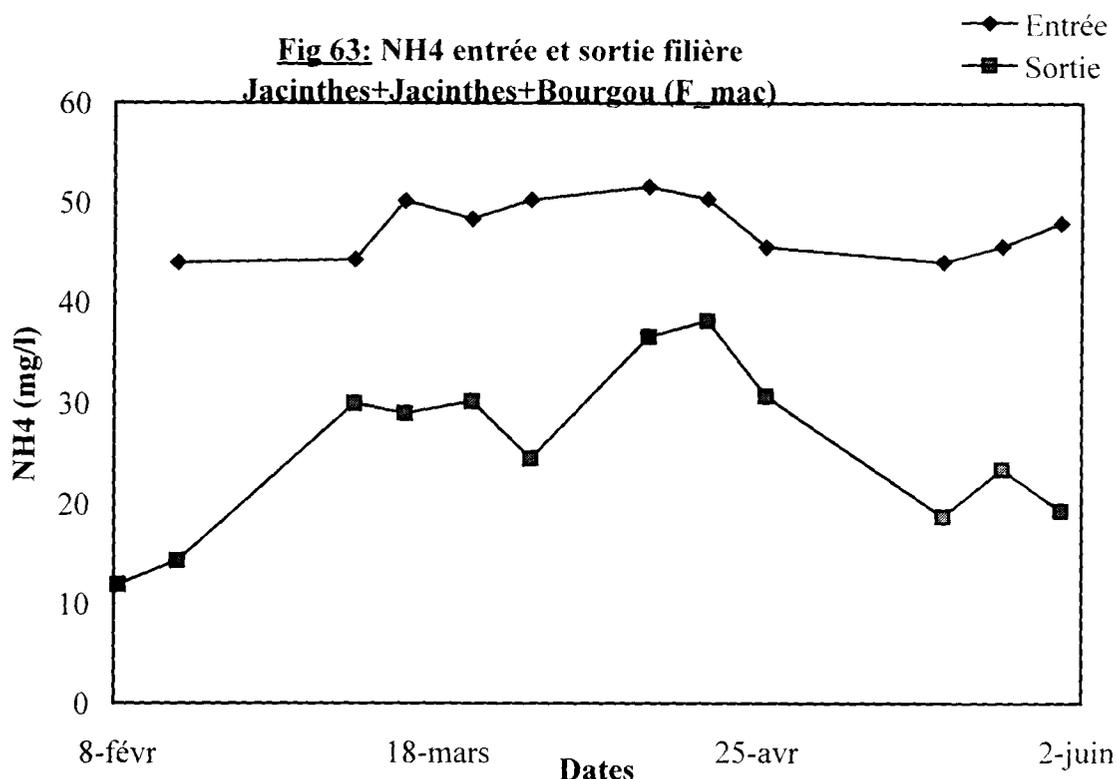
#### 4.1.3.2 Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Tableau N° 25 : Evolution du  $\text{NH}_4$  le long de la filière F\_mac.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>ème</sup> bassin)
$\text{NH}_4$ (mg/l)	47,5	37,4	31,4	25,6

Le tableau N° 25 indique que l'azote ammoniacal est réduit à hauteur de 21,3% au premier étage. Après le deuxième étage 34 % sont éliminés. A la sortie de la filière F\_mac le taux d'élimination est de 46,2%

On peut remarquer que l'azote ammoniacal représente plus de 91% de l'azote total mesuré à la sortie de la filière.



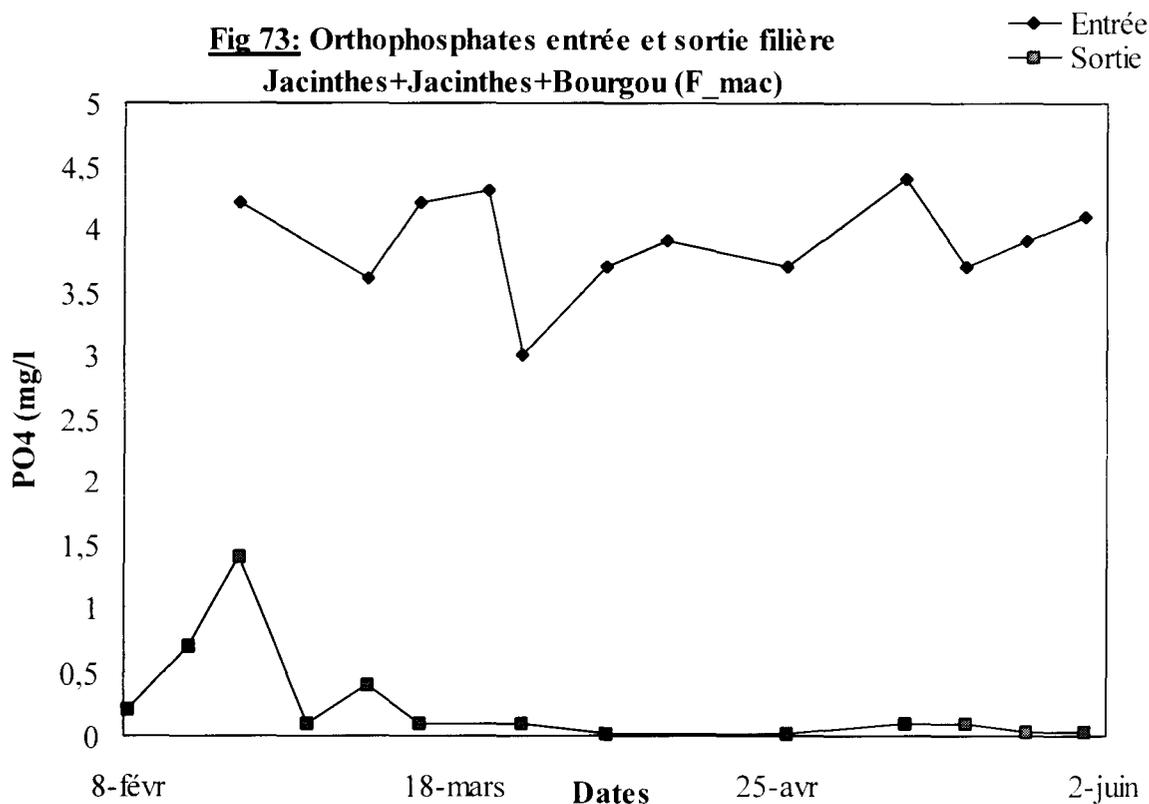
#### 4.1.4 Evolution des orthophosphates sortie filière Jacinthes + Jacinthes + Bourgou (F\_mac) :

Tableau N° 26 : Evolution du PO<sub>4</sub> le long de la filière F\_mac.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>eme</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>eme</sup> bassin)
PO <sub>4</sub> (mg/l)	3,9	2,1	1,12	0,3

Les orthophosphates sont éliminés à hauteur de 46,6 % au premier étage du traitement. Après le deuxième étage, le taux d'élimination atteint les 71 % du PO<sub>4</sub> total initial. A la sortie de la filière, le rendement épuratoire est de 93,5%.

On remarque que la filière F\_mac élimine mieux les orthophosphates que l'azote ammoniacal.



L'évolution des orthophosphates le long de la filière F\_mac ( tableau N°26 ), démontre le pouvoir d'absorption de ce composé par les macrophytes en particulier les jacinthes d'eau et le bourgou. En effet, le phosphore est un élément essentiel pour le développement des plantes. Sa disponibilité a une influence directe sur leur croissance.

La présence des plantes supérieures crée un environnement physico-chimique favorable à l'absorption et à la complexation du phosphore organique, qui est assimilé sous forme d'orthophosphates au niveau des racines et des parties immergées.

En plus de la quantité exportée par les plantes, l'élimination du phosphore dans les bassins à macrophytes flottants est aussi contrôlé par un ensemble d'interactions physico-chimiques influencées par le potentiel redox, le pH, et certains ions comme le  $Fe^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  etc. [ Richardson and Craft, 1993 ].

#### 4.1.5 Performance de la filière F\_mac vis à vis de la charge microbiologique :

Dans les eaux usées à l'entrée de la filière F\_mac, la concentration des coliformes fécaux ( CF) varie entre  $1,3 \cdot 10^7$  et  $2,9 \cdot 10^8$  pour 100 ml avec une

moyenne de  $8,31 \cdot 10^7$ . Celle des streptocoques (SF) se situe entre  $1,8 \cdot 10^6$  et  $6 \cdot 10^6$  pour 100 ml avec une moyenne de  $3,39 \cdot 10^6$ .

Tableau N°27 :concentration en coliformes fécaux et streptocoques fécaux  
à l'entrée de la filière F<sub>mac</sub> :

Dates	CF x $10^5$ /100 ml	SF x $10^5$ /100 ml
01-03-02	2900	60
22-03-02	230	40
05-04-02	600	24
19-04-02	130	28
03-05-02	295	17,5
Moyenne	831	33,9

Tableau N°28 :concentration en coliformes fécaux et streptocoques fécaux  
à la sortie de la filière F<sub>mac</sub> :

Dates	CF x $10^5$ /100 ml	SF x $10^5$ /100 ml
01-03-02	0,07	0,0027
08-03-02	0,038	0,005
22-03-02	0,0185	0,0035
29-03-02	0,011	0,0014
05-04-02	0,029	0,0085
12-04-02	0,020	0,0055
19-04-02	0,0285	0,00315
26-04-02	0,0355	0,0031
03-05-02	0,03	0,0065
Moyenne	0,0312	0,0044

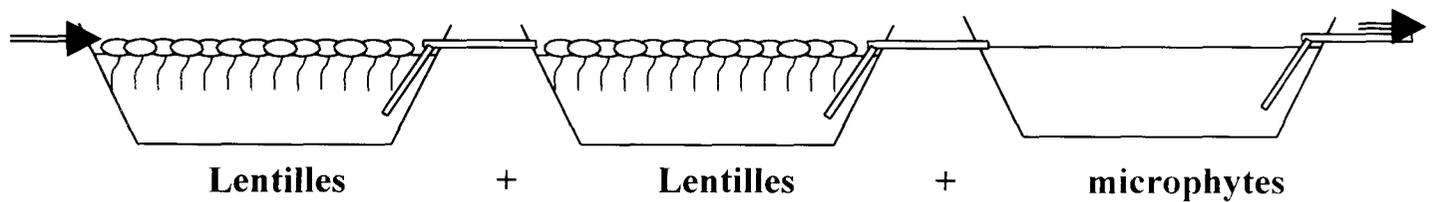
A la sortie de la filière F\_mac, la concentration des coliformes fécaux (CF) varie entre  $1,1 \cdot 10^3$  et  $3,8 \cdot 10^3$  pour 100 ml avec une moyenne de  $3,1 \cdot 10^3$ . Celle des streptocoques se situe entre  $1,4 \cdot 10^2$  et  $8,5 \cdot 10^2$  pour 100 ml avec une moyenne de  $4,4 \cdot 10^2$ .

On peut remarquer que la filière F\_mac permet une réduction des germes de l'ordre de 4,5 unités log sur les coliformes et de près de 4 unités log sur les streptocoques.

La qualité micro biologique des effluents à la sortie de la filière est très proche de celle préconisée par l'OMS pour l'irrigation des cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport et des parcs publics.

## 4.2 FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE : Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F\_lem ).

La filière F\_lem est composée de trois bassins en série dont les deux premiers sont couverts de lentilles d'eau et le troisième est à microphytes. La filière reçoit chaque jour 1,5 m<sup>3</sup> d'eau en 5 cuvées.



La charge globale appliquée à la filière est de 0,5 kg de DBO5/jour, soit 120 Kg de DBO5/ha/jour.

Le temps de séjour hydraulique sur l'ensemble de la filière de l'ordre de 14 jours en tenant compte de l'évaporation.

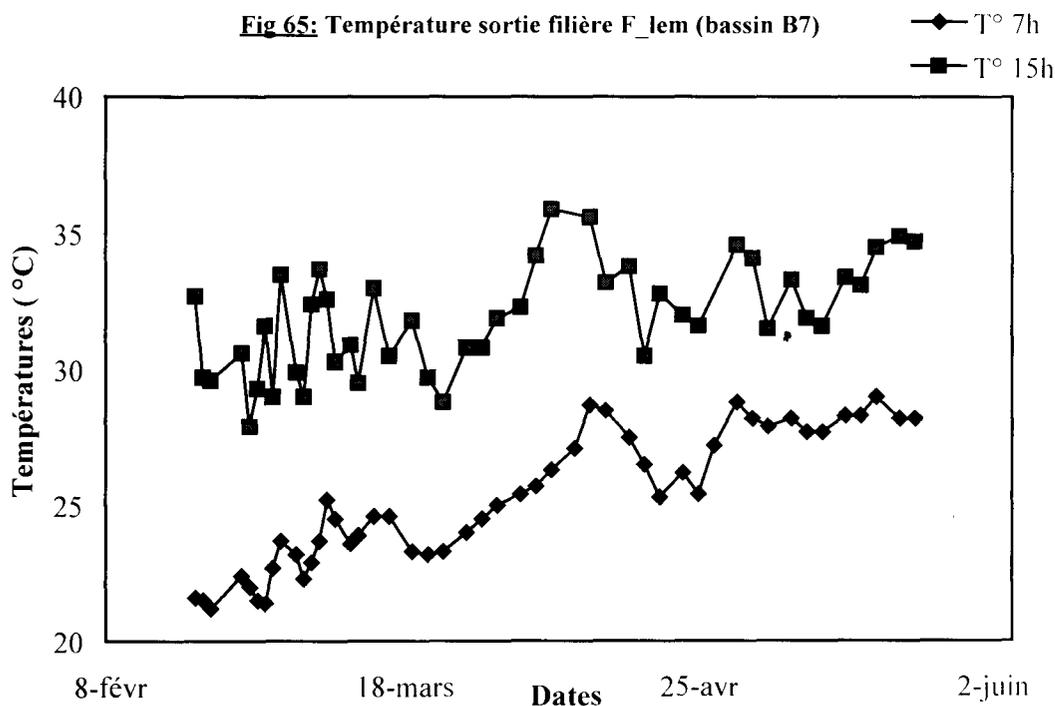
Les plantes sont récoltées trois fois par semaine, en récoltant entre un tiers et la moitié de la surface du bassin.

### 4.2.1 Paramètres physiques sortie filière

#### Lentilles + Lentilles + Microphytes (F\_lem) :

##### 4.2.1.1 Evolution de la température :

**Fig 65:** Température sortie filière F\_lem (bassin B7)

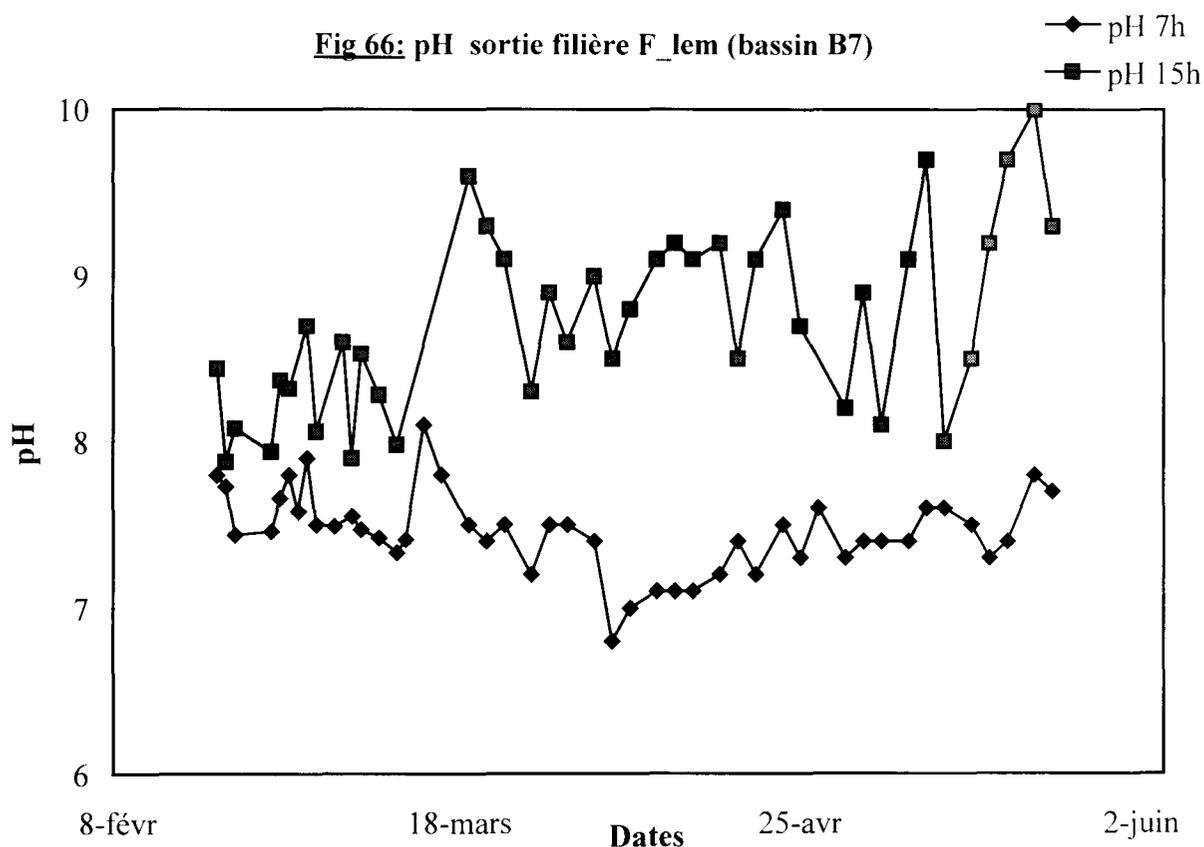


Par manque de couverture végétale, le bassin de fin de filière connaît une importante fluctuation journalière de température. L'écart entre les températures relevées le matin à 7 heures et celles relevées à 15 heures est en moyenne de 5°C quelle que soit la saison considérée.

En période de basses températures qui va du mois de février au mois de mars, les températures matinales ont varié entre 21°C et 25°C. Pour les mois d'avril et de mai, les températures enregistrées sont comprises entre 25 et 29°C.

Pour les températures de la journée, elles sont toujours comprises entre 30 et 35°C quelle que soit la période considérée.

#### 4.2.1.2 Evolution du pH

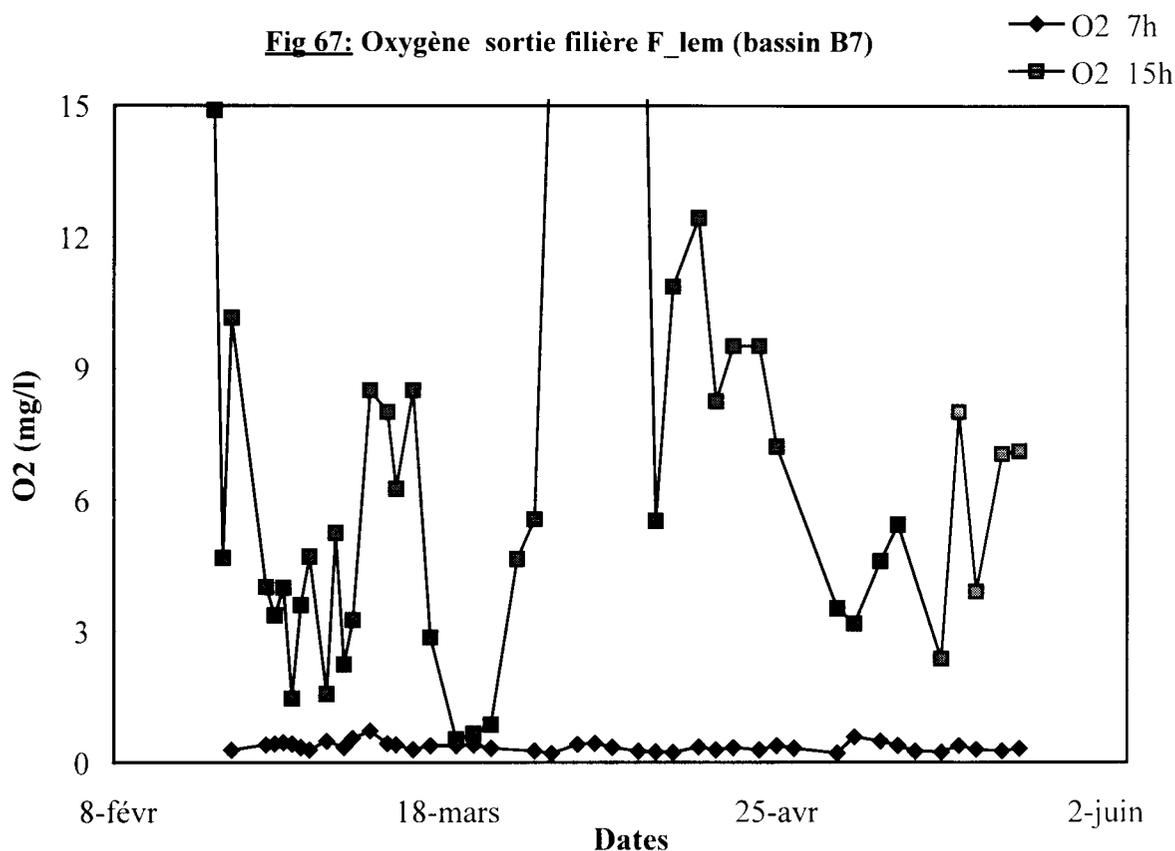


La figure 66 représente l'évolution du pH mesuré le matin à 7 heures et dans la journée vers 15 heures. On remarque une grande fluctuation du pH aussi bien sur les valeurs mesurées le matin que les valeurs enregistrées dans la journée. De plus l'écart entre les valeurs du pH enregistré le matin est relativement important. Cet écart atteint à certain moment deux unités de pH.

La moyenne du pH mesuré le matin est de 7,5 et celle du pH enregistré dans la journée est de 9.

#### 4.2.1.3 Etat d'oxygénation du bassin

La figure 67 représente l'évolution de l'oxygène dissous à la sortie de la filière F\_lem dans le bassin N° 7. Le bassin étant à microphytes, il est peuplé d'algues vertes qui produisent de l'oxygène dans la journée par photosynthèse et en consomme dans la nuit par dégradation. C'est ce qu'on observe avec la courbe de valeurs d'oxygène mesuré le matin à 7 heures juste au premiers rayons de soleil. Ces valeurs sont comprises entre 0,2 et 0,5 mg/l. Les valeurs mesurées au zénith dépassent à certain moment les 15 mg/l.

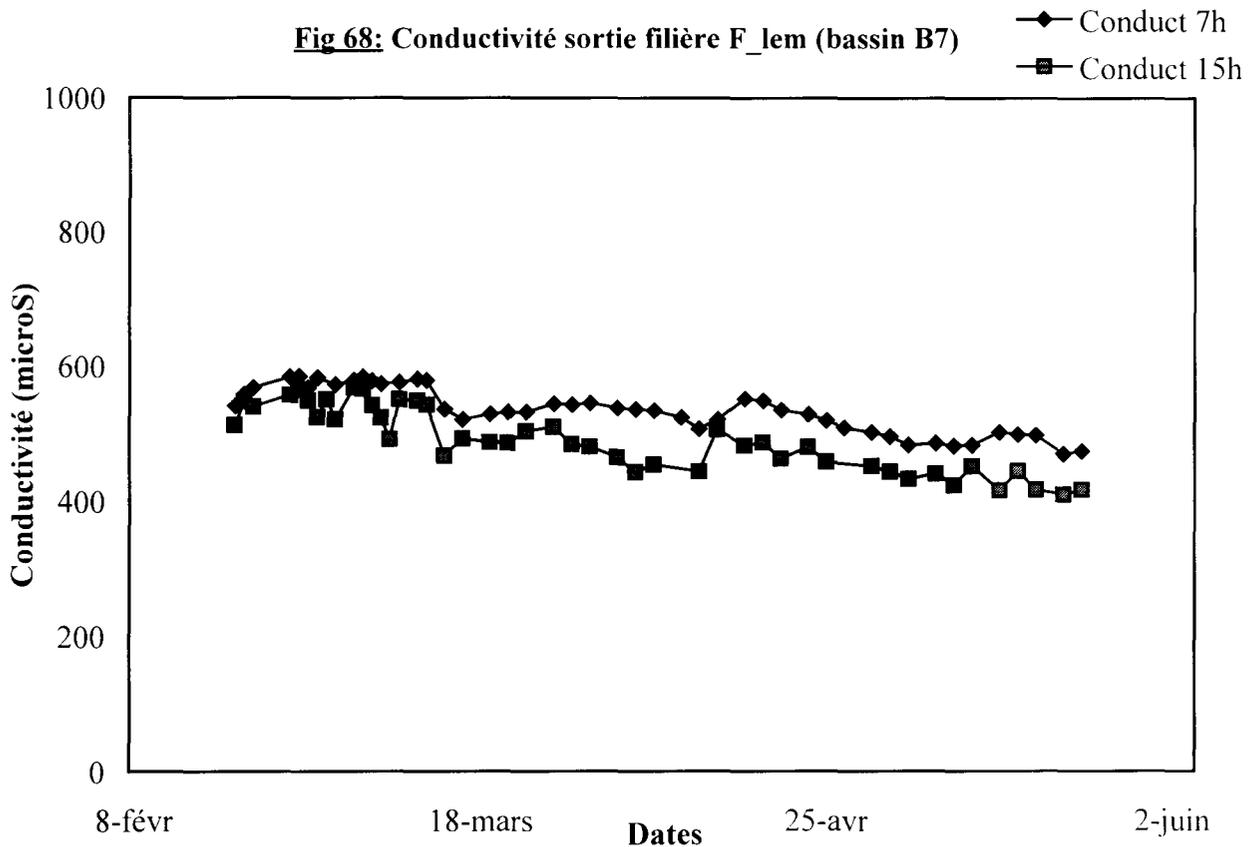


#### 4.2.1.4 Evolution de la conductivité :

La figure 68 représente l'évolution de la conductivité dans le bassin N°7 à la sortie de la filière F\_lem. Les valeurs moyennes sont de 489  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les mesures de 15 heures et 535  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour celles de 7 heures du matin. On

remarque que l'écart de 46  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sur les moyennes, qui est un des écarts les plus importants enregistré, est corrélé à la température

**Fig 68: Conductivité sortie filière F\_lem (bassin B7)**



#### 4.2.2 Performances de la filière Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F\_lem ) vis à vis des charges organiques :

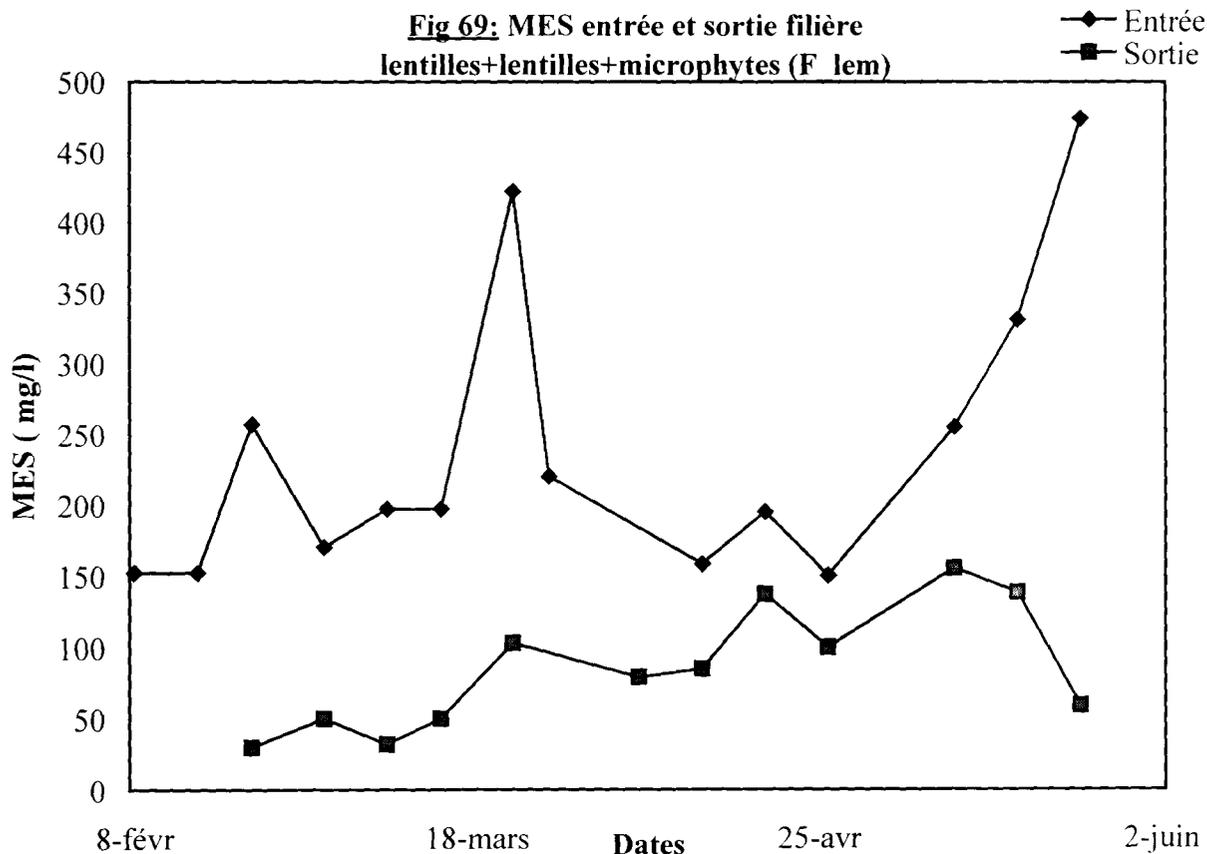
##### 4.2.2.1 les matières en suspension (MES) :

La filière F\_lem est constituée de deux bassins à lentilles d'eau en tête de filière et d'un bassin à microphytes en traitement de finition. Contrairement aux jacinthes d'eau, les lentilles d'eau ne font intervenir que très faiblement leurs racines dans la rétention et dans l'élimination des matières en suspension.

La faible couverture que constituent les lentilles à la surface de l'eau entraîne à certain moment un développement d'algues filamenteuses dans le bassin. Ce qui entraîne une augmentation des matières en suspension dans les eaux. C'est ce qui fait que la valeur moyenne des MES à la sortie du 2<sup>ème</sup> bassin est supérieure à la moyenne du premier bassin (tableau N°29).

Tableau N° 29 : Evolution des MES le long de la filière F\_lem.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>ème</sup> bassin)
MES (mg/l)	238	103	120	85



Les températures élevées ont une grande influence sur le pouvoir épurateur des lentilles d'eau. On peut en effet remarquer que du mois de février au mois de mars où les températures matinales ne dépassent guère les 25°C, les taux d'élimination des MES sont les meilleurs ; en moyenne 70%.

Du mois d'avril au mois de mai, qui sont les mois les plus chauds de l'année dans la sous région, les températures de l'eau à 7 heures du matin sont comprises entre 25 et 29°C et les températures à 15 heures comprises entre 32 et 37°C. Durant cette période, le taux d'élimination moyen est de 35% ( figure 69).

#### 4.2.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO):

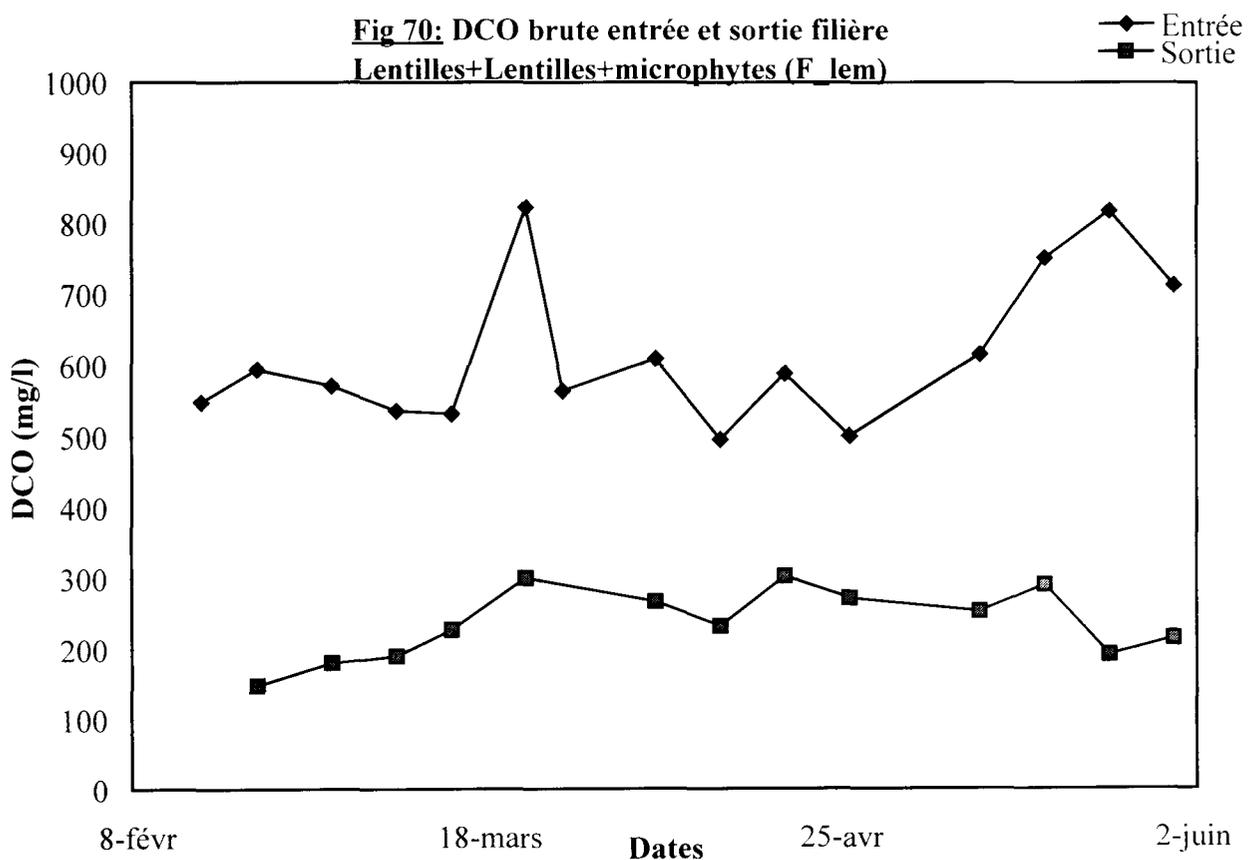
Les figures 70 et 71 représentent l'évolution des DCO brutes et filtrées à l'entrée et à la sortie de la filière F\_lem. A la sortie de la filière F\_lem, la DCO

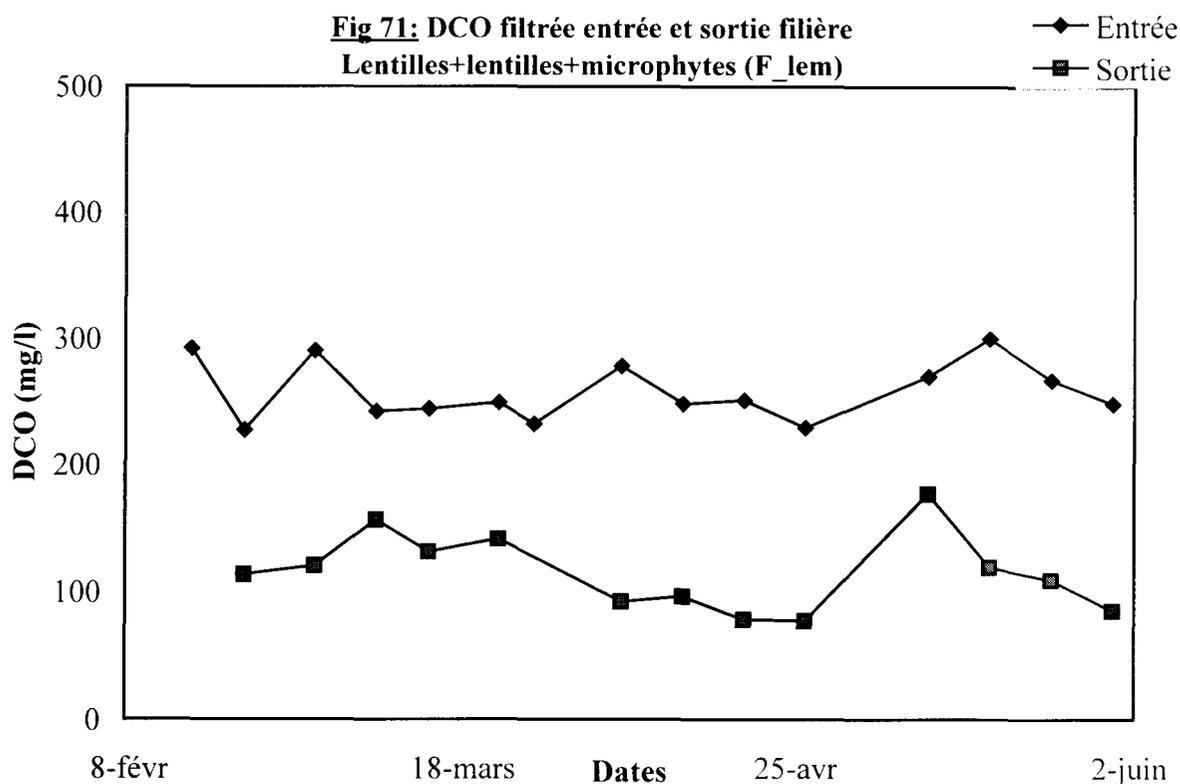
brute varie entre 148 mg/l et 303 mg/l avec une moyenne de 236 mg/l. Sur les eaux filtrées, les valeurs sont de 77 mg/l et 177 mg/l pour les minima et maxima et une moyenne de 115 mg/l.

Le tableau N°30 donne les moyennes des DCO à chaque étage d'épuration. Nous constatons que le taux d'élimination au niveau du premier bassin, sur la DCO brute est de 35,6%. Au deuxième étage d'épuration, l'efficacité du système n'a augmenté que de 6%. En fin de filière, le taux d'élimination des DCO brutes est de 59,2%. On remarque que ces valeurs sont très en deçà des valeurs obtenues avec les jacinthes d'eau.

Tableau N° 30 : Evolution des DCO le long de la filière F\_lem.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>eme</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>eme</sup> bassin)
DCO brute (mg/l)	578	372	335	236
DCO filtrée (mg/l)	258	192	118	115





#### 4.2.2.3 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

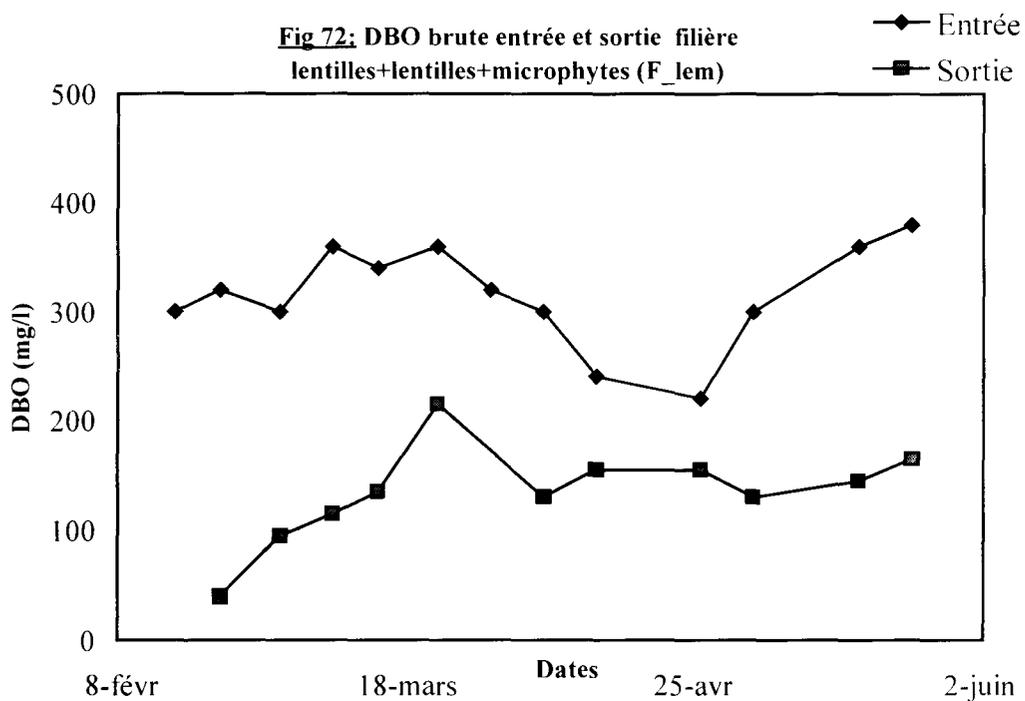
A la sortie de la filière F\_lem, les valeurs de la DBO5 brute varient entre un minimum de 40 mg/l et un maximum de 215 mg/l pour une moyenne de 135 mg/l soit plus du double de la valeur obtenue avec la filière F\_mac.

Les DBO5 sur les eaux filtrées se situent entre 45 mg/l et 110 mg/l avec une moyenne de 83 mg/l contre 38 mg/l obtenue avec la filière F\_mac.

Les moyennes des DBO entre les différents bassins de la filière F\_lem sont consignées dans le tableau N°31. Nous constatons que le premier bassin a éliminé 33 % de la DBO brute initiale. Au deuxième étage d'épuration, 51 % de la DBO brute initiale sont éliminés.

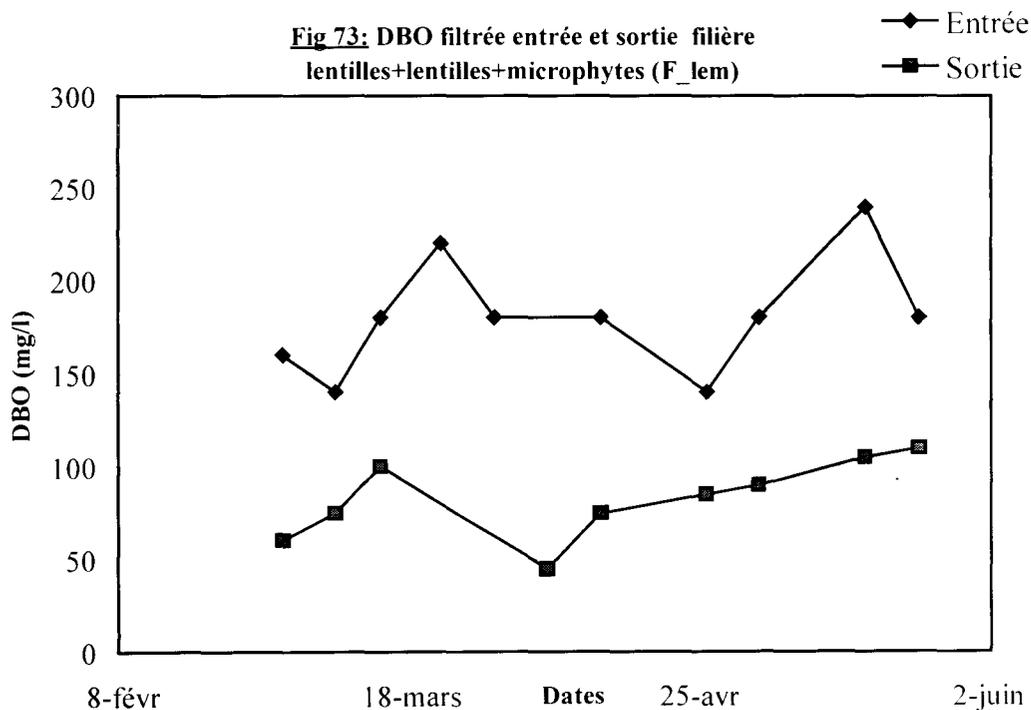
Tableau N° 31 : Evolution des DBO le long de la filière F\_lem.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>ème</sup> bassin)
DBO brute (mg/l)	315	212	154	135
DBO filtrée (mg/l)	180	120	96	83



Sur l'ensemble de la filière, le taux d'élimination est de 57,3% sur la DBO brute et 54 % sur la DBO filtrée.

Comparée à la filière F\_mac, la filière F\_lem semble moins performante en ce qui concerne l'élimination de la DBO5.



### 4.2.3 Evolution des composés azotés sortie filière Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F\_lem ) :

Tout comme à la sortie de la filière F\_mac, les analyses à la sortie de la filière F\_lem ont révélé l'absence de nitrite et de nitrate. Ce qui nous amène à ne considérer que l'azote total Kjeldahl à savoir l'azote organique et l'azote ammoniacal dans le bilan de l'azote.

#### 4.2.3.1 Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)

Tableau N° 32 : Evolution du NTK le long de la filière F\_lem.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>eme</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>eme</sup> bassin)
NTK brut (mg/l de N)	70,8	49,4	40	28,9
NTK filtré (mg/l de N)	51,5	39,2	27,2	17,7

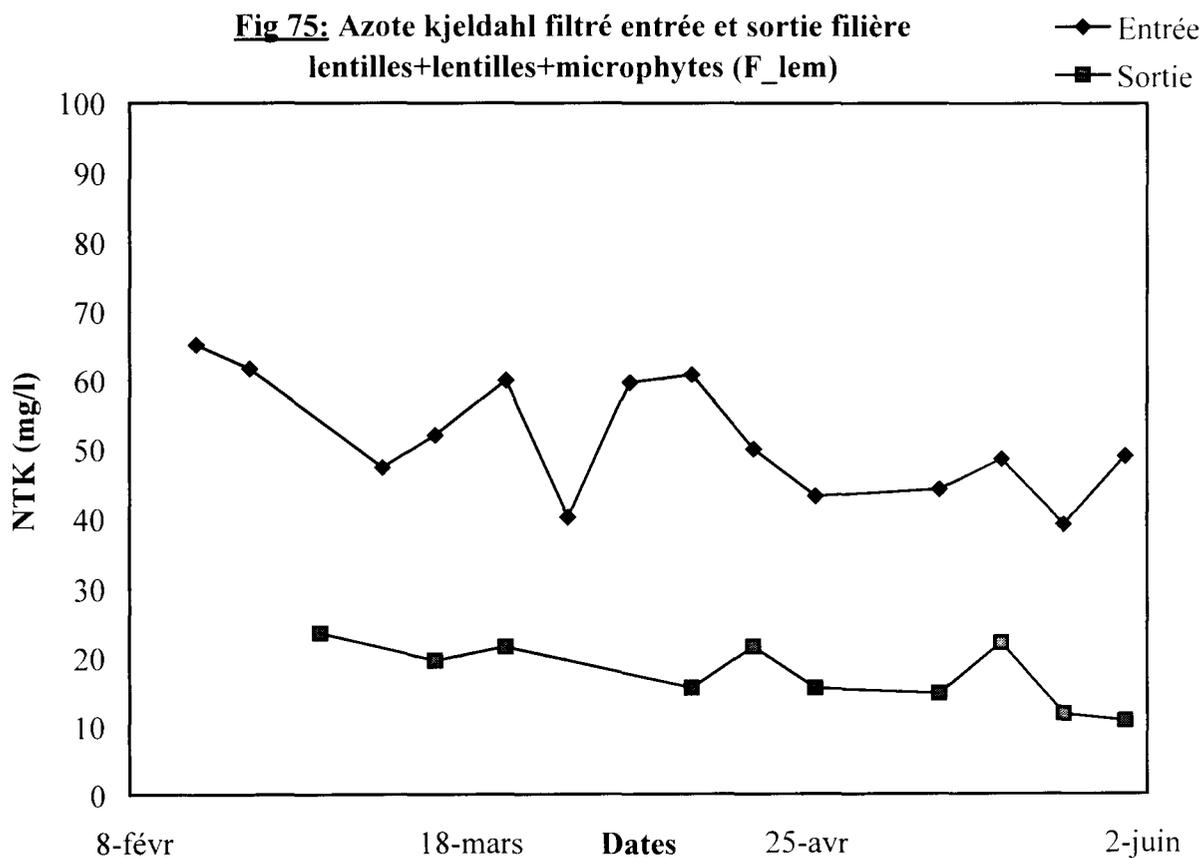
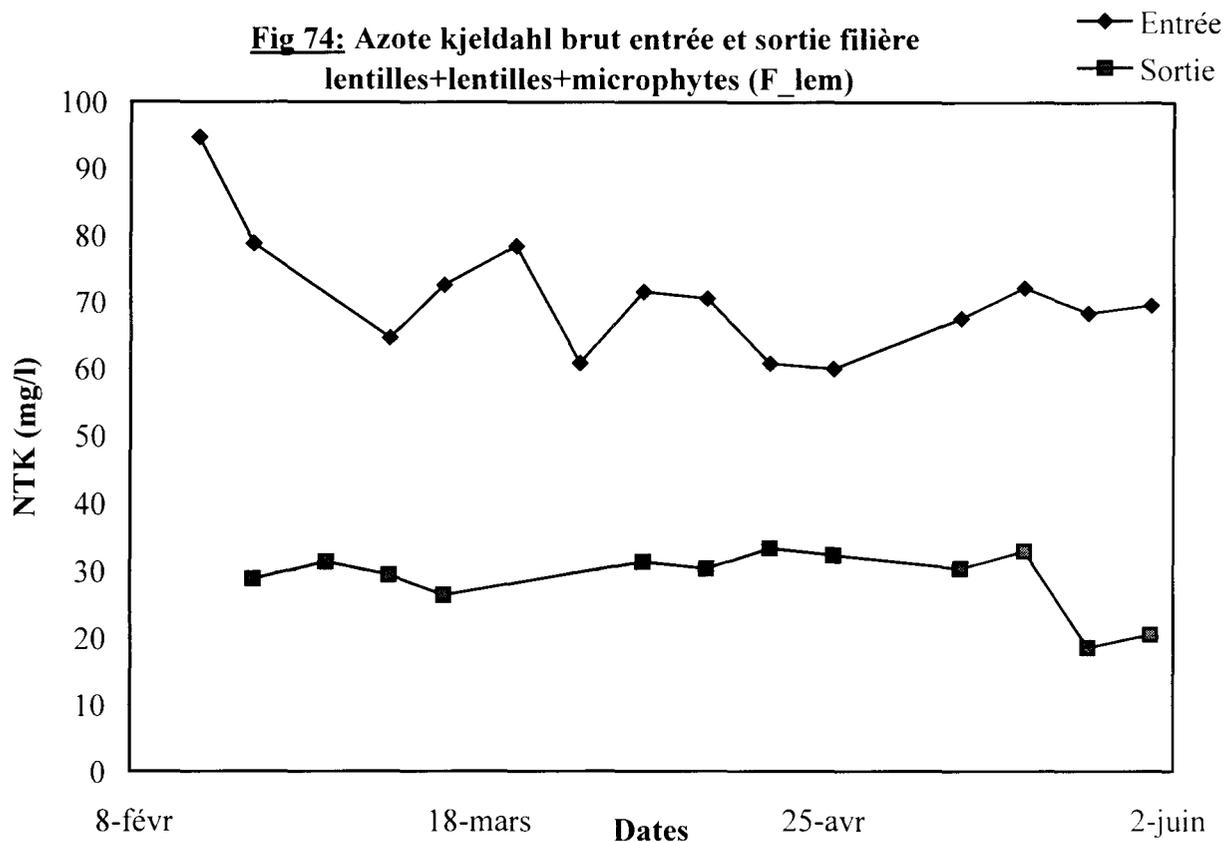
A la sortie de la filière F\_lem, le NTK brut a varié entre 33,4 mg/l pour le maximum et 18,6 mg/l pour le minimum avec comme moyenne 28,9 mg/l.

Sur les eaux filtrées les valeurs sont de 23,6 mg/l, 10,8 mg/l et 17,7 mg/l pour les maxima, minima et la moyenne.

Ce tableau nous indique que 30% environ de l'azote total brut est éliminé au premier étage du traitement, au deuxième étage du traitement il reste 57% de l'azote total initial dans les eaux.

Sur l'ensemble de la filière F\_lem, le taux d'élimination est d'environ 59% sur le NTK brut et 66% sur le NTK filtré.

Comparée à la filière F\_mac, on constate que sur les eaux brutes, en raison de l'abondance des MES, constituées essentiellement d'algues, la filière F\_lem présente un rendement légèrement plus petit : 59,2% contre 62,4%. Sur les eaux filtrées, la tendance s'inverse où la filière F\_lem dépasse nettement la filière F\_mac : 66% contre 57 %.



#### 4.2.3.2 Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Tableau N° 33 : Evolution du  $\text{NH}_4$  le long de la filière F\_lem.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>eme</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>eme</sup> bassin)
$\text{NH}_4$ (mg/l )	47,5	28,3	22,5	16,5

La figure 76 représente l'évolution du  $\text{NH}_4$  à l'entrée et à la sortie de la filière F\_lem. Le maximum est de 22,4 mg/l et le minimum de 8,7 mg/l pour une moyenne de 16,5 mg/l.

Le tableau N° 33 indique que l'azote ammoniacal est réduit à hauteur de 41% au premier étage. Après le deuxième étage 53 % sont éliminés.

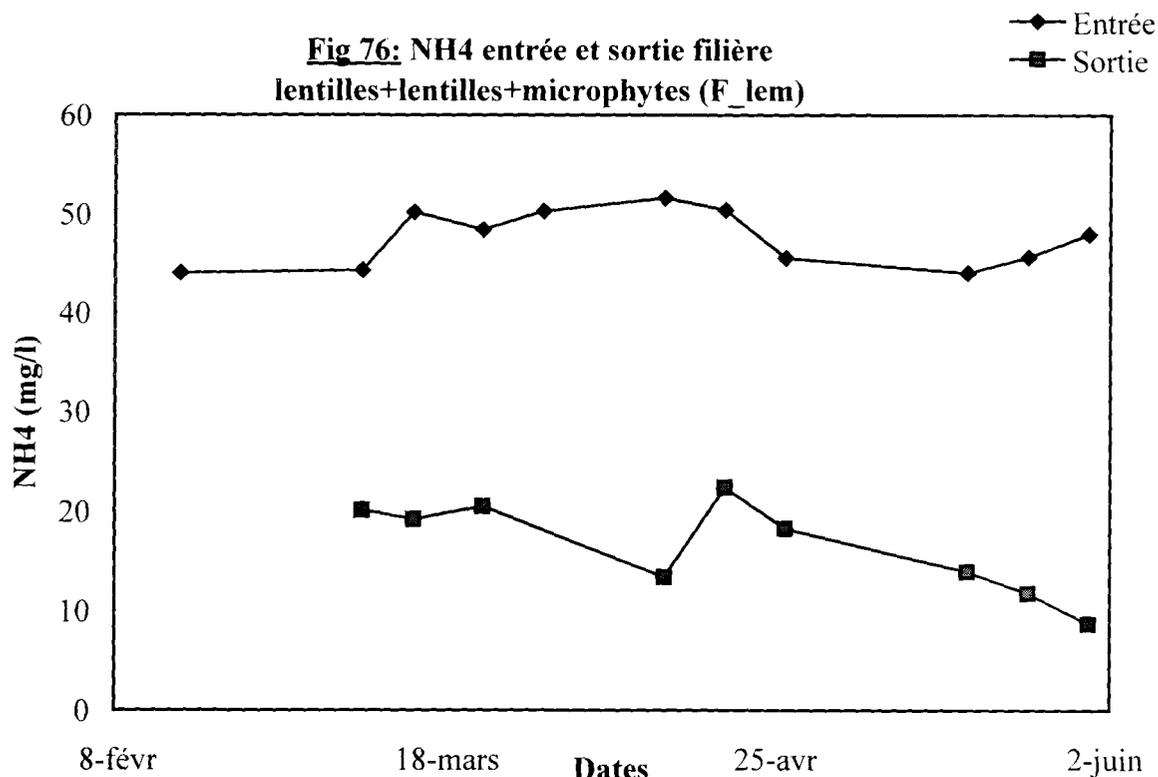
Il faut signaler que la valeur moyenne de  $\text{NH}_4$  dans le premier bassin se situe à la limite des valeurs admissibles pour une bonne croissance des lentilles d'eau.

En effet, nous avons eu à remarquer un ralentissement de la croissance des plantes au moment où la température et la concentration en azote ammoniacal ont dépassé le seuil critique. Le ralentissement de la croissance se traduit parfois par un blanchissement des plantes conduisant quelques fois à la mort complète.

Sur l'ensemble de la filière F\_lem le taux d'élimination de  $\text{NH}_4$  est de 65,3% contre 46,2% pour la filière F\_mac.

On peut remarquer que l'azote ammoniacal représente 72,5% de l'azote total mesuré à la sortie de la filière F\_lem, alors que pour la filière F\_mac, l'azote ammoniacal représente plus de 91%.

On constate de ce fait que la filière F\_lem épure mieux la forme ammoniacale de l'azote que la filière F\_mac.



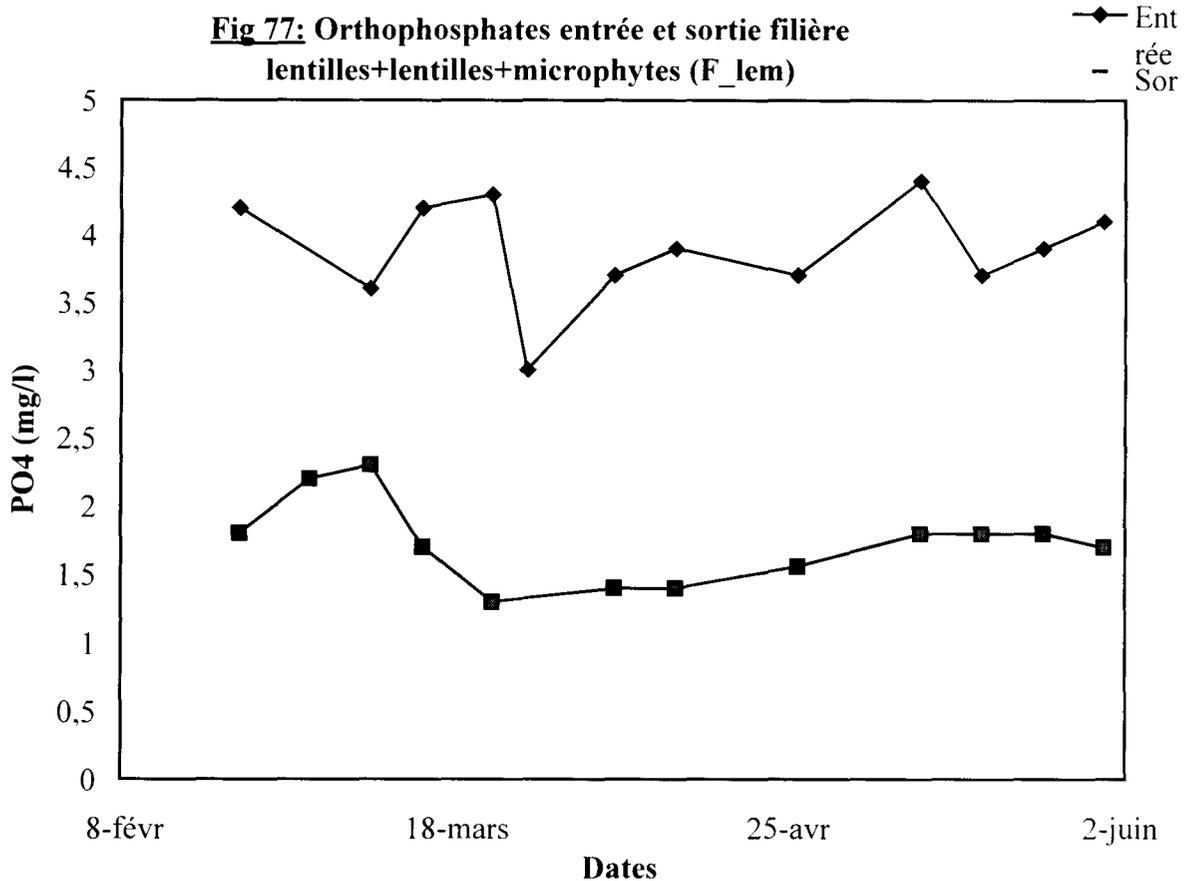
#### 4.2.4 Evolution des orthophosphates sortie filière Lentilles + Lentilles + Microphytes ( F\_lem ) :

Tableau N° 34 : Evolution du PO<sub>4</sub> le long de la filière F\_lem.

	Entrée filière	Sortie 1 <sup>er</sup> bassin	Sortie 2 <sup>eme</sup> bassin	Sortie filière (3 <sup>eme</sup> bassin)
PO <sub>4</sub> (mg/l)	3,9	2,35	1,62	1,7

A la sortie de la filière F\_lem, les valeurs des orthophosphates sont représentées sur la figure 77. On remarque que ces valeurs varient entre un minimum de 1,3 mg/l et un maximum de 2,3 mg/l . La moyenne est de 1,7 mg/l contre une moyenne de 0,3 mg/l à la sortie de la filière F\_mac.

Dans le tableau N° 34, représentant la moyenne des orthophosphates en fonction des étages de traitement, on constate que les orthophosphates sont éliminés à hauteur de 40 % au premier étage du traitement. Après le deuxième étage, le taux d'élimination est de 58,3 % du PO<sub>4</sub> total initial. A la sortie de la filière F\_lem, le rendement épuratoire sur les orthophosphates chute légèrement pour revenir à 55,5%. On remarque que la filière F\_lem épure moins bien les orthophosphates que la filière F\_mac.



L'assimilation des orthophosphates par les lentilles d'eau est plus faible que pour l'azote. Selon **SUTTON et ORNES (1975)**, l'assimilation des orthophosphates par les lentilles d'eau dépend de la richesse en phosphore du milieu et du temps de séjour. Pour des valeurs inférieures à 2,1 ppm, la teneur en phosphore des tissus de lentilles d'eau est directement proportionnelle à la concentration de l'effluent.

Ces auteurs indiquent une absorption journalière de 8,8 mg/m<sup>2</sup> pour une productivité de 1,2 g/m<sup>2</sup>/jour.

#### 4.2.5 Performance de la filière F\_lem vis à vis de la charge microbiologique :

Les eaux usées à l'entrée de la filière F\_lem, présentent des concentrations en coliformes fécaux (CF) variant entre 1,3 10<sup>7</sup> et 2,9 10<sup>8</sup> pour 100 ml avec une moyenne de 8,31 10<sup>7</sup>. les concentrations des streptocoques (SF) se situent entre 1,8 10<sup>6</sup> et 6 10<sup>6</sup> pour 100 ml avec une moyenne de 3,39 10<sup>6</sup>.



Tableau N°35 :concentration en coliformes fécaux et streptocoques fécaux à l'entrée de la filière F\_lem :

Dates	CF x 10 <sup>5</sup> /100 ml	SF x 10 <sup>5</sup> /100 ml
01-03-02	2900	60
22-03-02	230	40
05-04-02	600	24
19-04-02	130	28
03-05-02	295	17,5
Moyenne	831	33,9

A la sortie de la filière F\_lem, la concentration des coliformes fécaux (CF) varie entre 3 10<sup>3</sup> et 90 10<sup>3</sup> pour 100 ml avec une moyenne de 18 10<sup>3</sup>. Celle des streptocoques se situe entre 11 10<sup>2</sup> et 360 10<sup>2</sup> pour 100 ml avec une moyenne de 73 10<sup>2</sup>.

La réduction sur la filière F\_lem est de l'ordre de 3 unités log sur les coliformes et 2,5 unités log sur les streptocoques.

Tableau N°36 :concentration en coliformes fécaux et streptocoques fécaux à la sortie de la filière F\_lem :

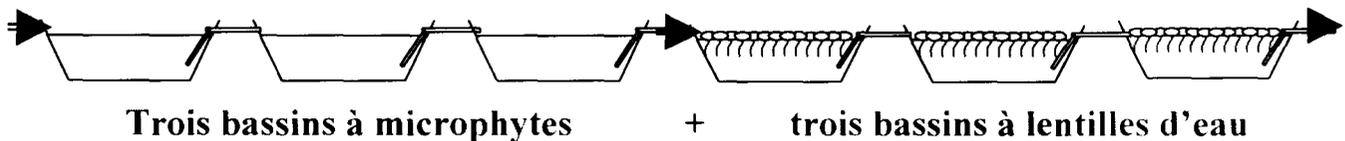
Dates	CF x 10 <sup>5</sup> /100 ml	SF x 10 <sup>5</sup> /100 ml
01-03-02	0,15	0,08
08-03-02	0,105	0,36
22-03-02	0,9	0,085
29-03-02	0,04	0,011
05-04-02	0,06	0,0115
12-04-02	0,125	0,019
19-04-02	0,13	0,038
26-04-02	0,03	0,027
03-05-02	0,11	0,0255
Moyenne	0,18	0,073

### 4.3 FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE : ( F\_lemte )

**Microphytes + Microphytes + Microphytes + Lentilles + Lentilles + Lentilles.**

La filière F\_lemte est composée de six bassins en série dont les trois premiers sont à microphytes et les trois derniers sont couverts de lentilles d'eau.

La filière reçoit chaque jour 3 m<sup>3</sup> d'eau en 5 cuvées soit le double des deux précédentes filières.



La charge globale appliquée à la filière F\_lemte est de 1 kg de DBO5/jour, soit 120 Kg de DBO5/ha/jour.

Le temps de séjour hydraulique sur l'ensemble de la filière est compris entre 12 et 14 jours en tenant compte de l'évapotranspiration. Soit un temps de séjour hydraulique identique aux autres filières à macrophytes.

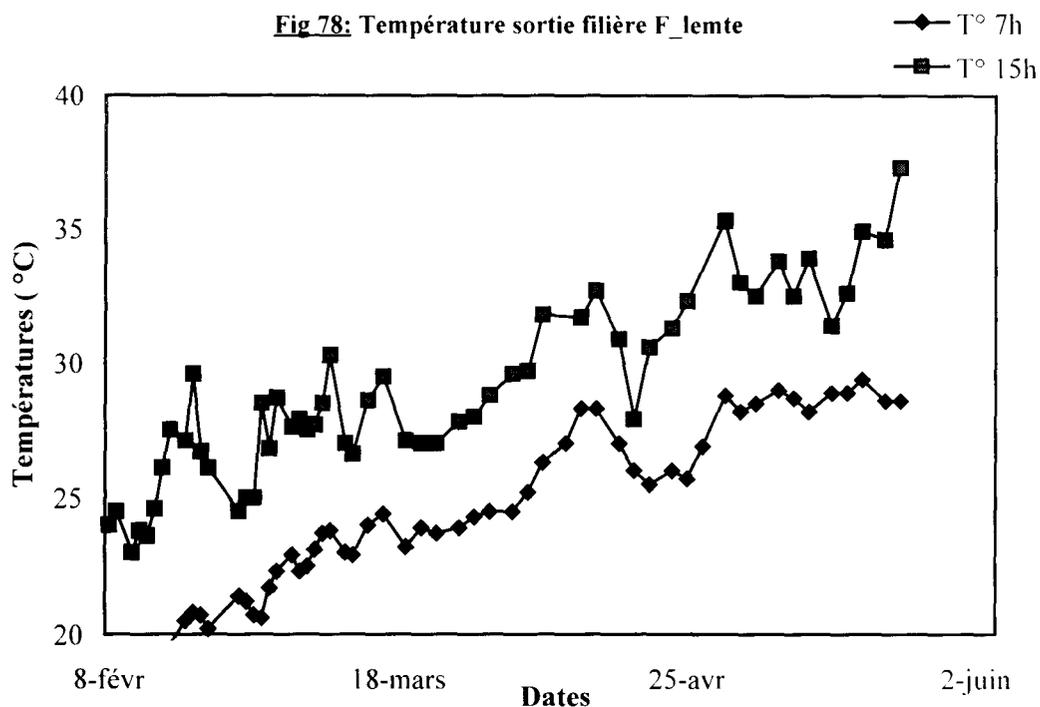
Les plantes sont récoltées trois fois par semaine, en récoltant entre un tiers et la moitié de la surface du bassin.

#### 4.3.1 Paramètres physiques sortie filière F\_lemte :

##### 4.3.1.1 Evolution de la température :

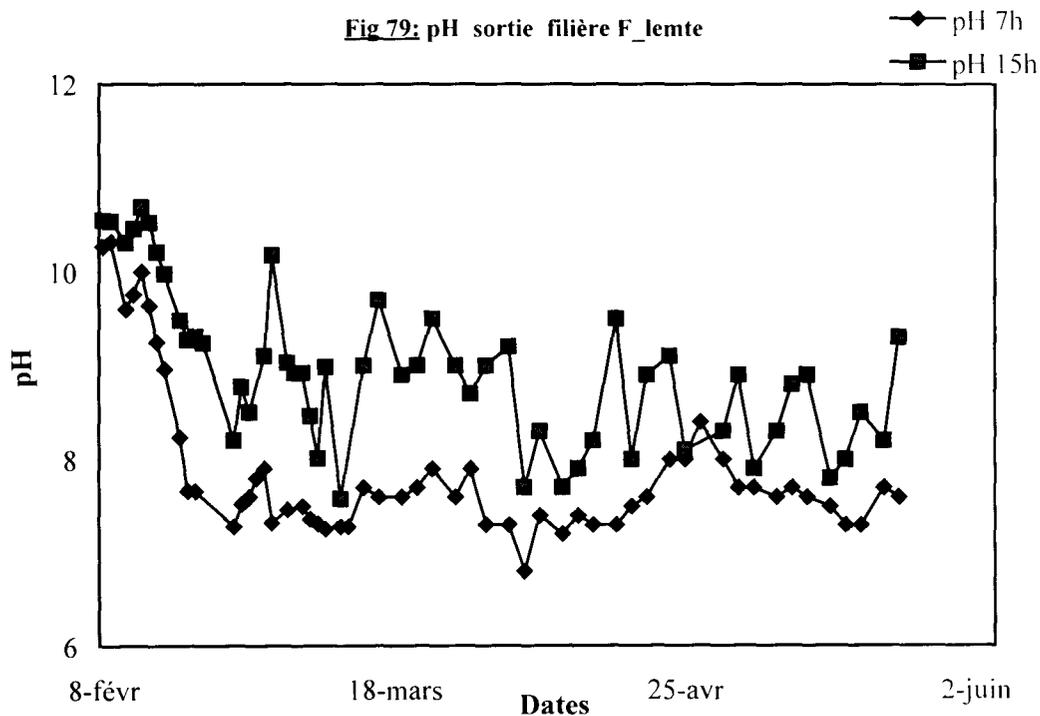
Grâce à la couverture végétale, le bassin en fin de filière F\_lemte connaît une fluctuation de température moins importante que celle observée dans le bassin en fin de filière F\_lem. L'écart entre les températures relevées le matin à 7 heures et celles relevées à 15 heures est en moyenne de 3°C quelle que soit la saison considérée. Soit 2°C de moins que la filière F\_lem.

En période de basses températures qui va du mois de février au mois de mars, les températures matinales ont varié entre 18,5°C et 24°C. Pour les mois d'avril et de mai, les températures enregistrées sont comprises entre 25 et 28,5°C.



Pour les températures de la journée, elles sont toujours comprises entre 24 et 30°C pour la période février mars et entre 30°C et 35°C pour les mois d'avril et mai.

#### 4.3.1.2 Evolution du pH



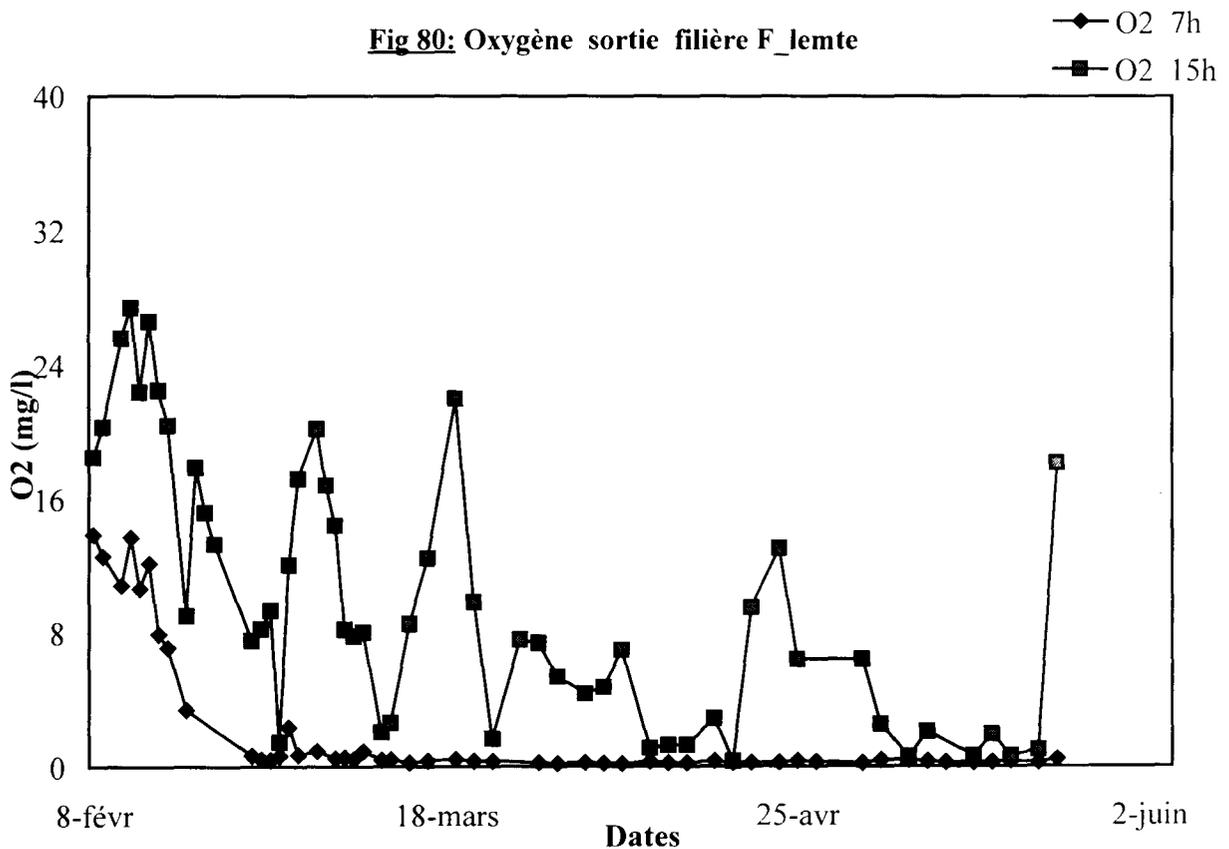
L'évolution du pH mesuré à la sortie de la filière F\_lemte, le matin à 7 heures et dans la journée vers 15 heures est représentée sur la figure 79. On remarque une grande fluctuation du pH aussi bien sur les valeurs mesurées le matin que sur les valeurs enregistrées dans la journée. Cette fluctuation est due à la production d'oxygène par la présence d'algues filamenteuses.

On peut constater que l'écart entre les valeurs du pH enregistré le matin et le pH dans la journée est moins important que l'écart enregistré pour la filière F\_lem.

La moyenne du pH mesuré le matin est de 7,9 et celle du pH enregistré dans la journée est de 8,9.

### 4.3.1.3 Etat d'oxygénation du bassin

Après stabilisation du système, l'oxygène dissous mesuré le matin est quasiment nul. Par contre les valeurs mesurées dans la journée témoignent d'une activité photosynthétique. Nous avons en effet observé la présence d'algues filamenteuses qui cohabitent avec les lentilles d'eau dans les bassins. L'oxygène dissous enregistré dans la journée provient certainement de leur activité photosynthétique.



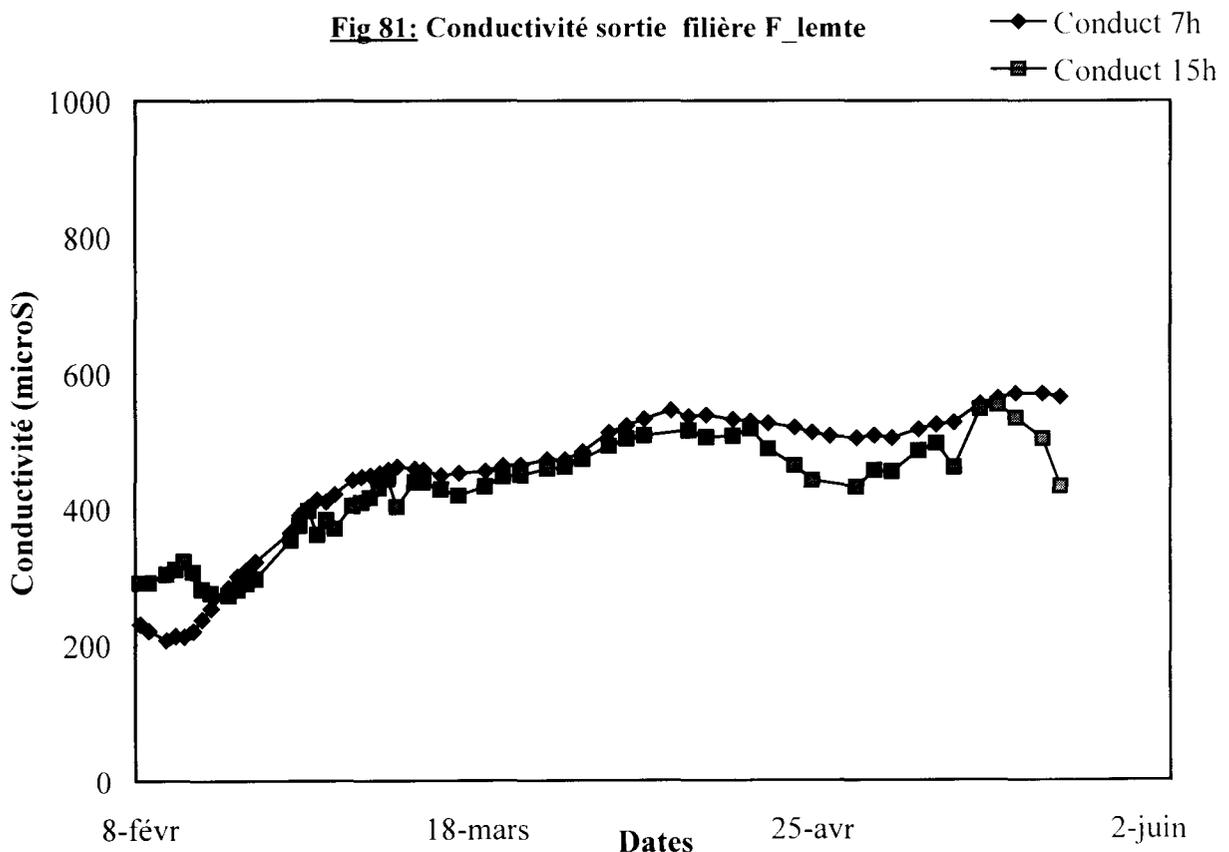
#### 4.3.1.4 Evolution de la conductivité

La figure 81 représente l'évolution de la conductivité à la sortie de la filière F\_lemte. On distingue trois zones distinctes qui sont fonction de la température de l'eau dans le bassin :

- La zone où les températures sont comprises entre 18,6°C et 19,6°C. Dans cette zone, la conductivité mesurée le matin est inférieure à celle mesurée dans la journée. De plus les valeurs sont relativement faibles : 210  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les valeurs mesurées à 7 heures le matin et 275  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 320  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les valeurs mesurées à 15 heures dans la journée.

- La zone où les températures sont comprises entre 20°C et 24,5°C. Dans cette zone, la conductivité mesurée le matin est supérieure à celle mesurée dans la journée comme dans tous les autres systèmes étudiés. Les valeurs sont comprises entre 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 480  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les conductivités de 7 heures et entre 350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 460  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour les conductivités mesurées à 15 heures.

- La zone où les températures sont supérieures à 25°C. Dans cette zone, les valeurs de la conductivité varient entre 500 et 570  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



### 4.3.2 Performances de la filière F\_lemte vis à vis des charges organiques :

#### 4.3.2.1 les matières en suspension (MES) :

La figure 82 représente l'évolution des MES à la sortie du sixième bassin de la filière F\_lemte. Les valeurs vont de 37 mg/l à 170 mg/l avec comme moyenne 87 mg/l. On note une augmentation des MES avec le début de la montée des températures. Ce moment a coïncidé avec une augmentation de la concentration en  $\text{NH}_4$ , ce qui a contribué au ralentissement de la croissance des lentilles et même à leur destruction. Dès que le système a retrouvé son équilibre, les MES ont commencé à chuter.

On peut remarquer que la moyenne à la sortie de la filière F\_lemte est pratiquement identique à la moyenne des MES à la sortie de la filière F\_lem.

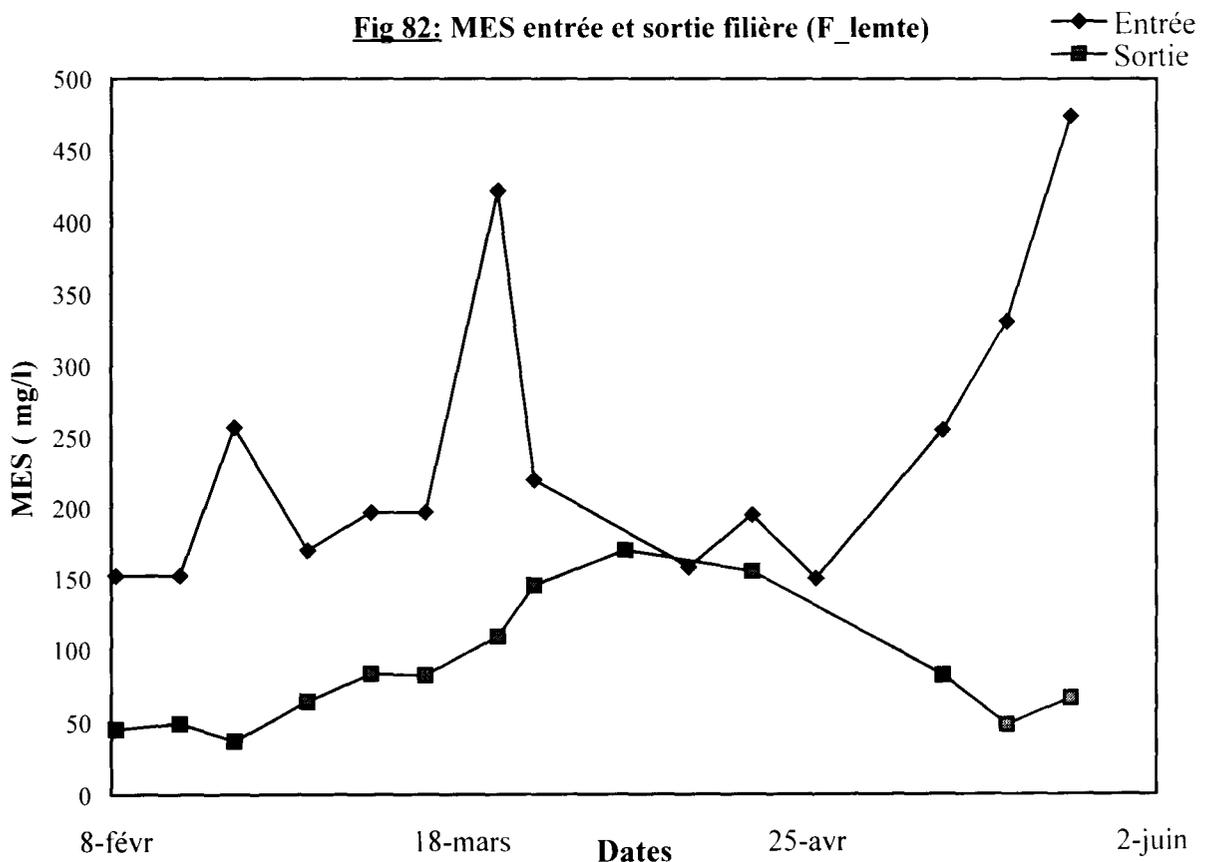


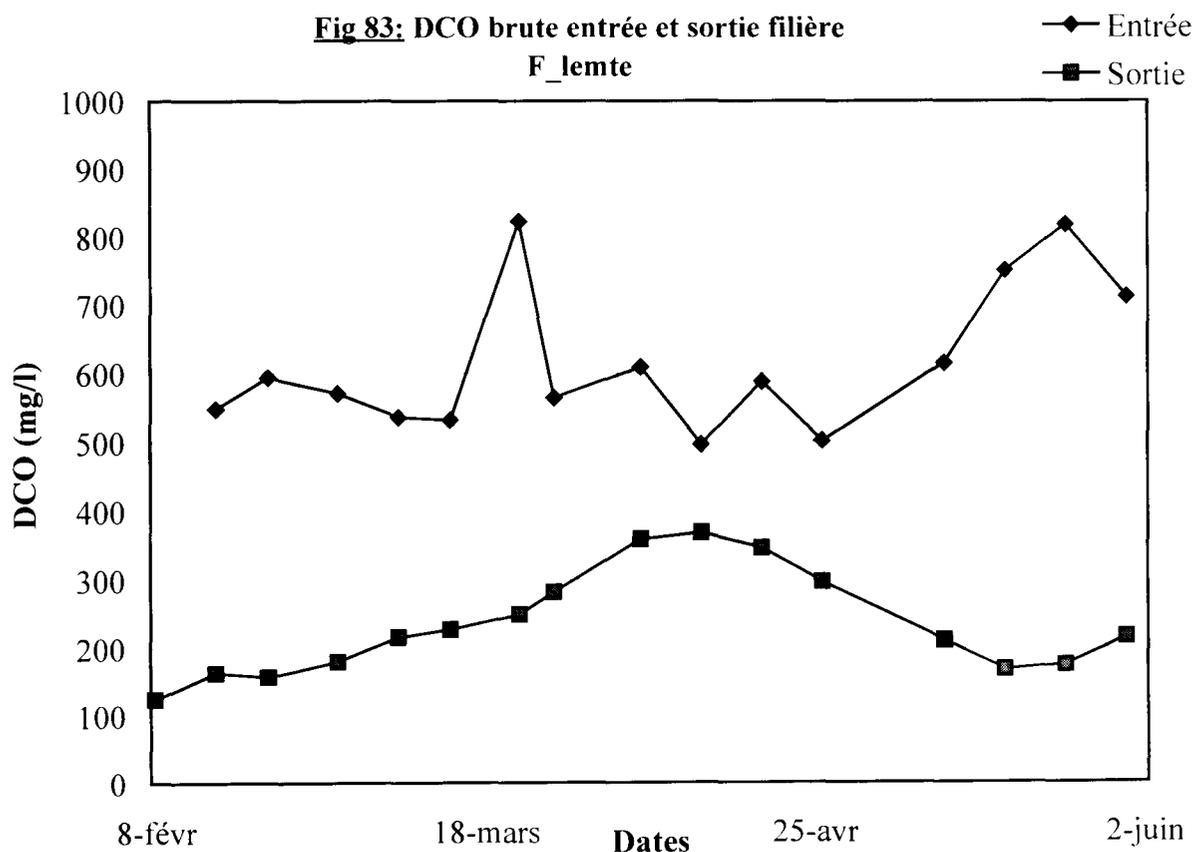
Tableau N° 37 : Evolution des MES le long de la filière F\_lemte.

	Entrée filière	Sortie 3 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (6 <sup>ème</sup> bassin)
MES (mg/l)	238	103	87

Le tableau N°37 donne l'évolution des MES le long de la filière F\_lemte, On constate que le rendement épuratoire sur les MES après les trois bassins à microphytes est de l'ordre de 57%. A la fin de la filière, le rendement passe à 63,3%. Valeurs très voisine de celle obtenue avec la filière lentilles d'eau à trois bassins.

#### 4.3.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO):

Les figures 83 et 84 représentent l'évolution des DCO brutes et filtrées à l'entrée et à la sortie de la filière F\_lemte. A la sortie de la filière F\_lemte, la DCO brute varie entre 124 mg/l et 368 mg/l avec une moyenne de 234 mg/l. Sur les eaux filtrées, les valeurs sont de 61 mg/l et 120 mg/l pour les minima et maxima et une moyenne de 96 mg/l.



On remarque que sur la DCO brute, les valeurs sont pratiquement identiques entre les DCO brutes de la filière F\_lemte et les DCO brutes de la filière F\_lem.

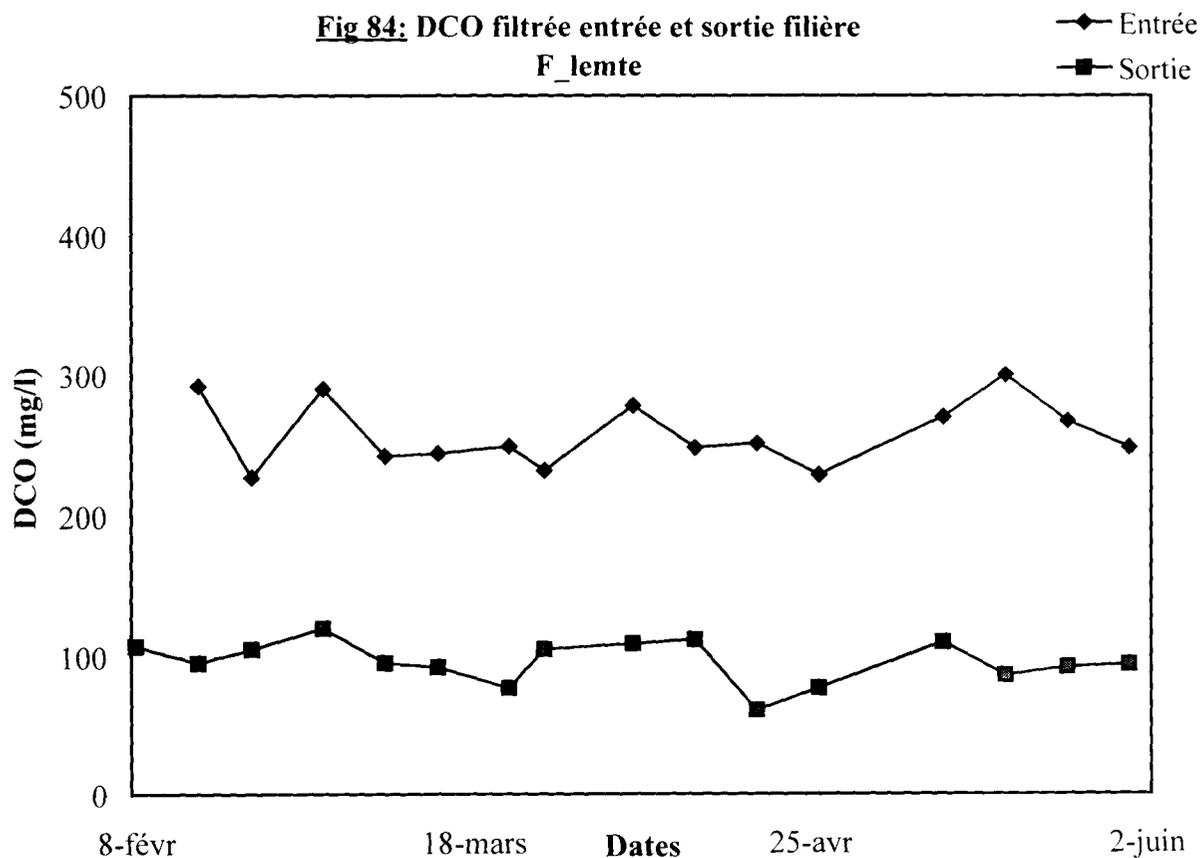
Par contre sur la DCO filtrée, la filière F\_lemte semble présenter les meilleurs résultats.

Le tableau N°38 donne les moyennes des DCO après les trois bassins à microphytes et après la série des six bassins. Nous constatons que le taux d'élimination après les trois bassins à microphytes, sur la DCO brute est de 52%. Après les trois bassins suivants contenant des lentilles, l'efficacité du système n'a augmenté que de 8%.

On remarque ici aussi que le taux d'élimination des DCO brutes est le même entre la filière F\_lemte et la filière F\_lem.

Tableau N° 38 : Evolution des DCO le long de la filière F\_lemte.

	Entrée filière	Sortie 3 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (6 <sup>ème</sup> bassin)
DCO brute (mg/l)	578	280	234
DCO filtrée (mg/l)	258	100	96



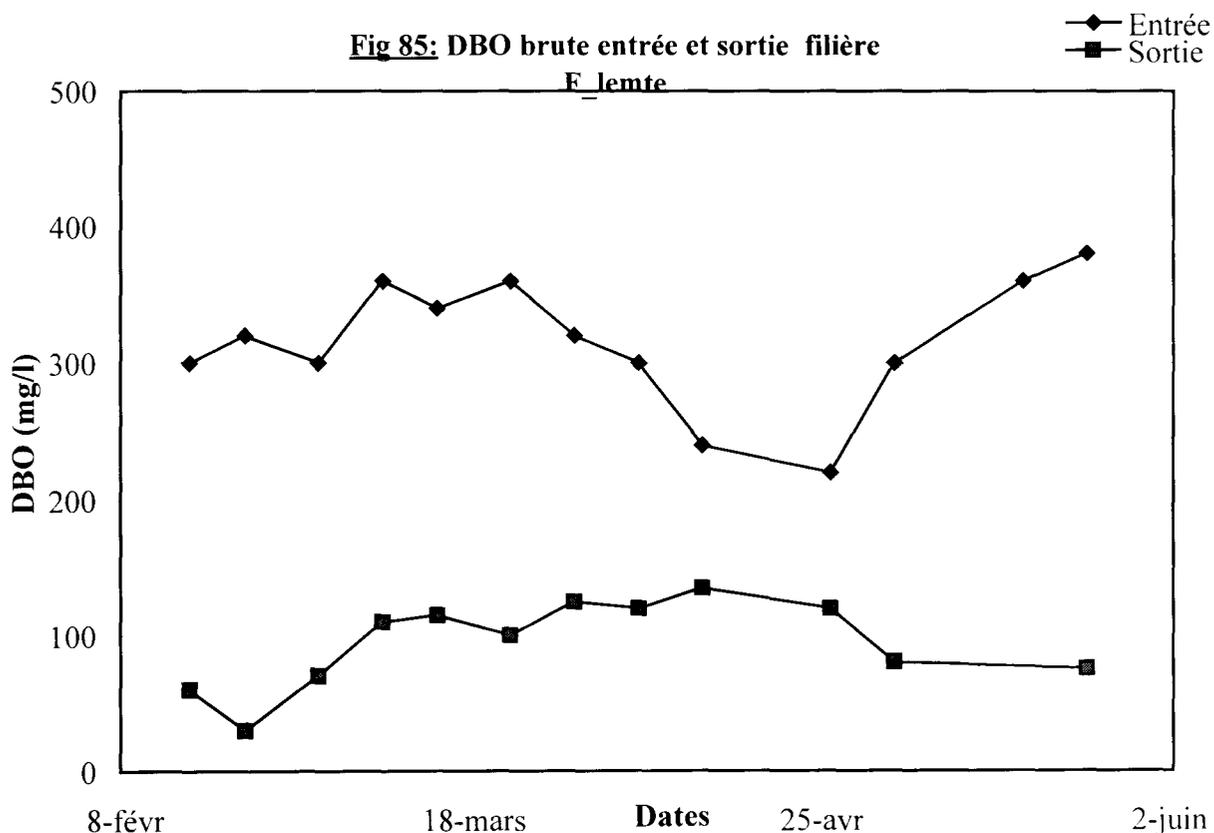
### 4.3.2.3 La Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)

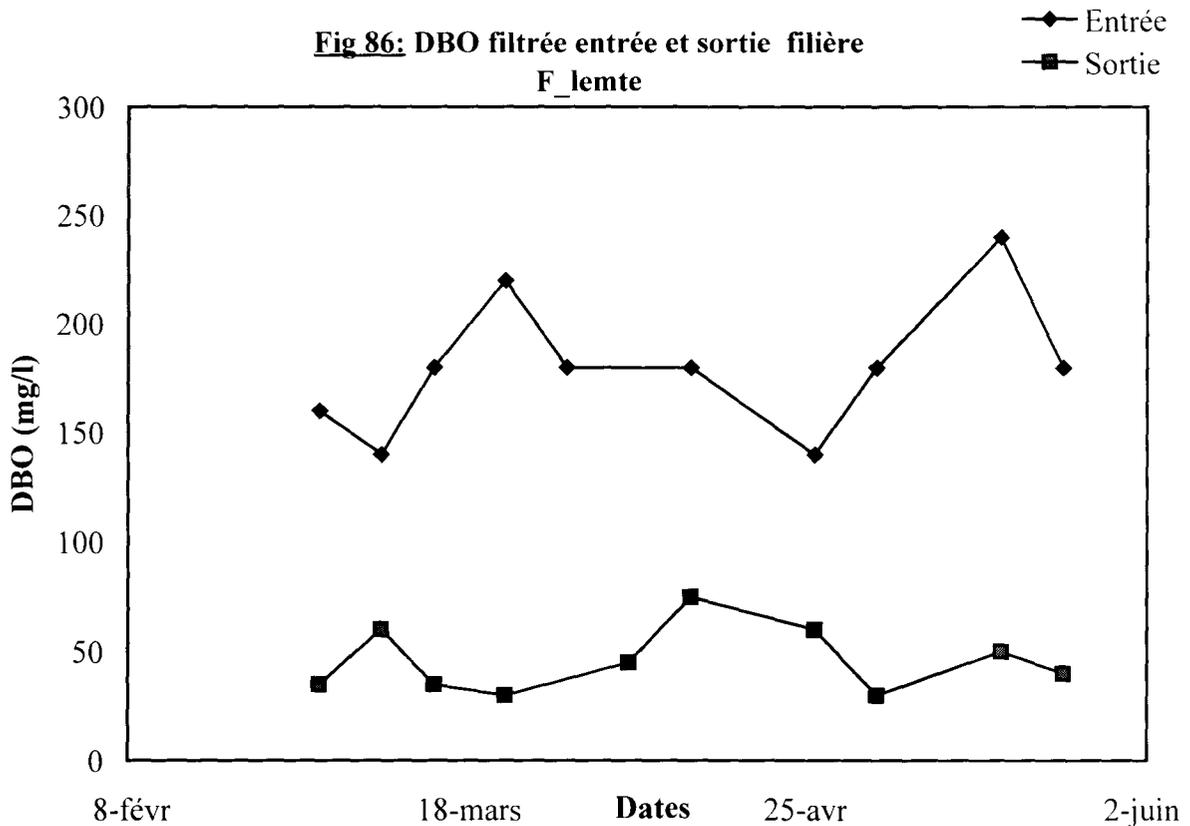
Les valeurs de la DBO5 brute, A la sortie de la filière F\_lemte, varient entre un minimum de 30 mg/l et un maximum de 135 mg/l pour une moyenne de 95 mg/l. C'est une valeur intermédiaire entre la moyenne de la filière F\_mac et celle de la filière F\_lem.

Les DBO5 sur les eaux filtrées se situent entre 30 mg/l et 75 mg/l avec une moyenne de 46 mg/l contre 38 mg/l obtenue avec la filière F\_mac et 83 mg/l la moyenne de la filière F\_lem.

Tableau N° 39 : Evolution des DBO le long de la filière F\_lemte.

	Entrée filière	Sortie 3 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (6 <sup>ème</sup> bassin)
DBO brute (mg/l)	315	144	95
DBO filtrée (mg/l)	180	73	46





L'évolution de la DBO le long de la filière F\_lemte, fait remarquer une diminution de l'ordre de 54% sur l'effluent brut et 60% sur l'effluent filtré après un passage dans les trois premiers bassins à microphytes. Comparé à la filière F\_mac, on se rend compte que le même travail est réalisé par le premier bassin de la filière.

Les trois derniers bassins de la filière F\_lemte, qui ont reçu des effluents ayant subi une certaine épuration qui a conduit à la diminution de plus de la moitié de la charge initiale, n'ont abattu que 34% de la charge brute et 37% de la charge filtrée ; contre 57% et 54% d'abattement pour les trois bassins la filière F\_lem respectivement sur le brut et le filtré. Cette différence peut être imputable en partie par la différence de temps de séjour hydraulique.

### 4.3.3 Evolution des composés azotés sortie F\_lemte

Comme à la sortie des autres filières déjà étudiées, les analyses à la sortie de la filière F\_lemte ont révélé l'absence de nitrite et de nitrate. Ce qui nous amène à ne considérer que l'azote total Kjeldahl à savoir l'azote organique et l'azote ammoniacal dans le bilan de l'azote.

#### 4.3.3.1 Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)

Tableau N° 40 : Evolution du NTK le long de la filière F\_lemte

	Entrée filière	Sortie 3 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (6 <sup>ème</sup> bassin)
NTK brut (mg/l de N)	70,8	41,7	23,5
NTK filtré (mg/l de N)	51,5	28,6	15

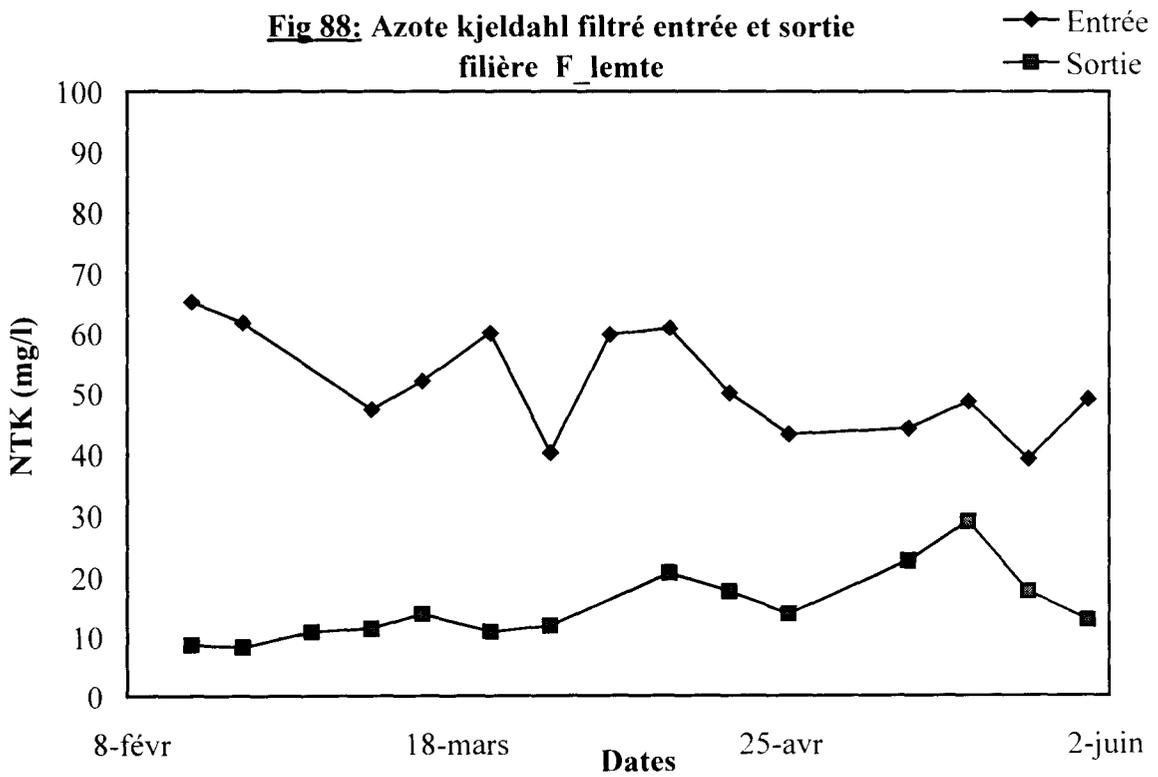
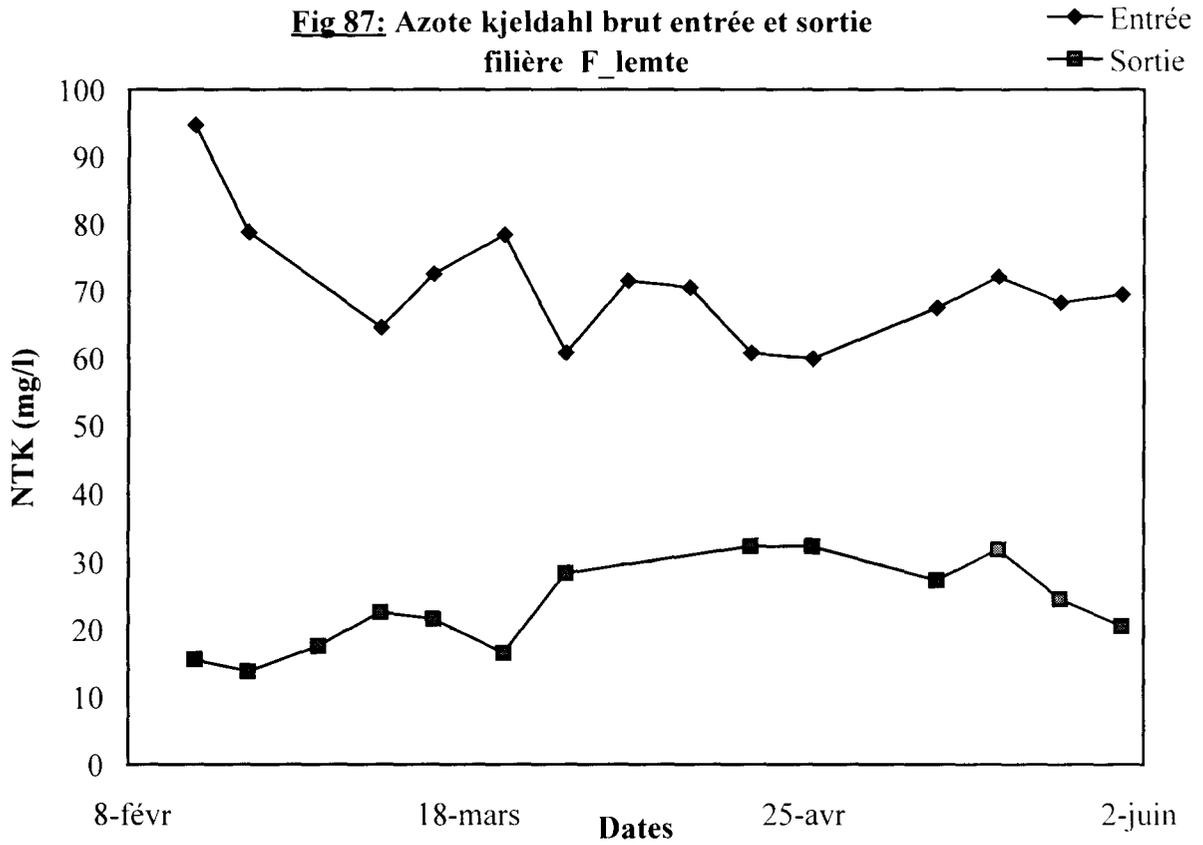
Les valeurs du NTK brut à la sortie de la filière F\_lemte ont varié entre 32,4 mg/l pour le maximum et 13,8 mg/l pour le minimum avec comme moyenne 23,5 mg/l.

Sur les eaux filtrées les valeurs sont de 29 mg/l, 8,6 mg/l et 15 mg/l pour les maxima, minima et la moyenne.

Le tableau N°40 nous indique que 41% environ de l'azote total brut est éliminé après trois bassins à microphytes de la filière. C'est à dire que seuls 59% de l'azote total initial sont traités par les trois bassins à Lemnas qui suivent.

Sur l'ensemble des six bassins de la filière F\_lemte, le taux d'élimination est d'environ 66,8% sur le NTK brut et 70,9% sur le NTK filtré.

On remarque que la multiplication des bassins a permis d'obtenir un rendement d'épuration en NTK plus important par la filière F\_lemte. On note tout de même que l'essentielle du travail d'élimination est réalisé par les bassins à macrophytes.



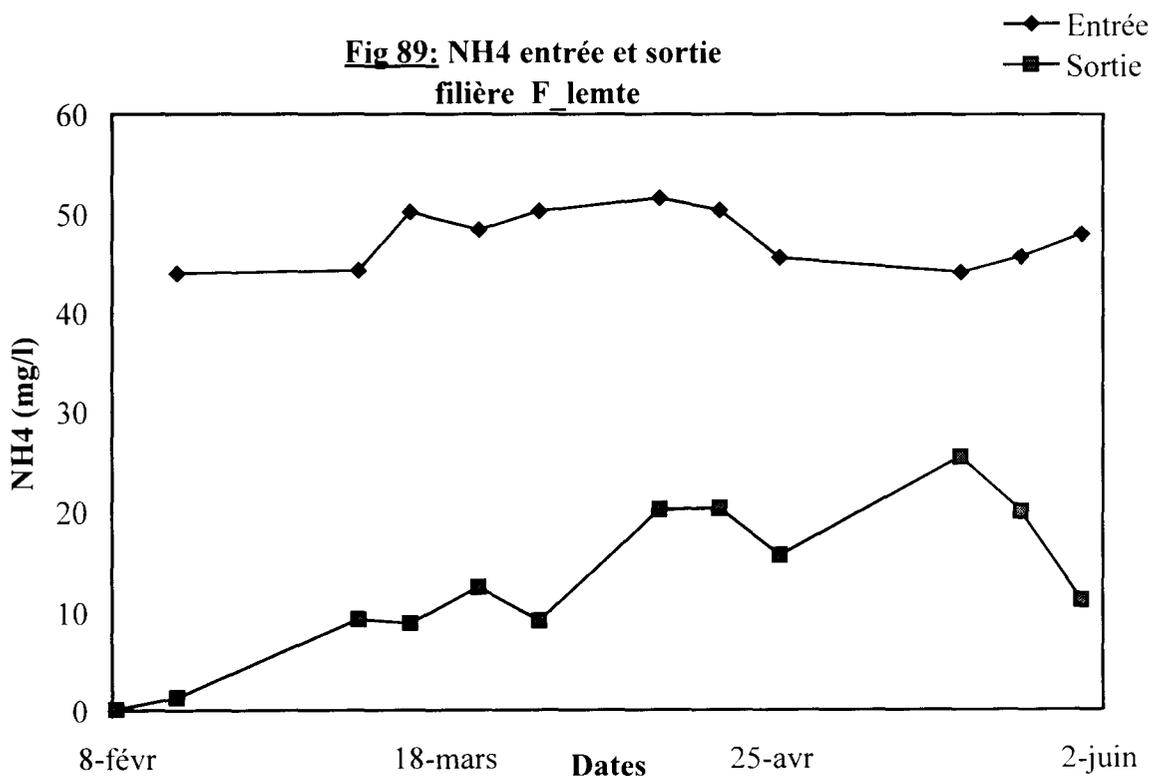
### 4.3.3.2 Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

Tableau N° 41 : Evolution du  $\text{NH}_4$  le long de la filière F\_lemte.

	Entrée filière	Sortie 3 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (6 <sup>ème</sup> bassin)
$\text{NH}_4$ (mg/l)	47,5	25,9	12,8

La figure 89 représente l'évolution du  $\text{NH}_4$  à l'entrée et à la sortie de la filière F\_lemte. Le maximum est de 25,4 mg/l et le minimum de 0,1 mg/l pour une moyenne de 12,8 mg/l.

Le tableau N° 41 indique que l'azote ammoniacal est réduit à hauteur de 45,5% par les trois premiers bassins à microphytes. Sur l'ensemble de la filière F\_lemte à six bassins, le taux d'élimination de l'azote ammoniacal est de l'ordre de 73 %. A ce niveau également on remarque que la multiplication des bassins a permis d'obtenir un taux d'épuration plus important que dans les autres filières expérimentées.



#### 4.3.4 Evolution des orthophosphates sortie filière F\_lemte :

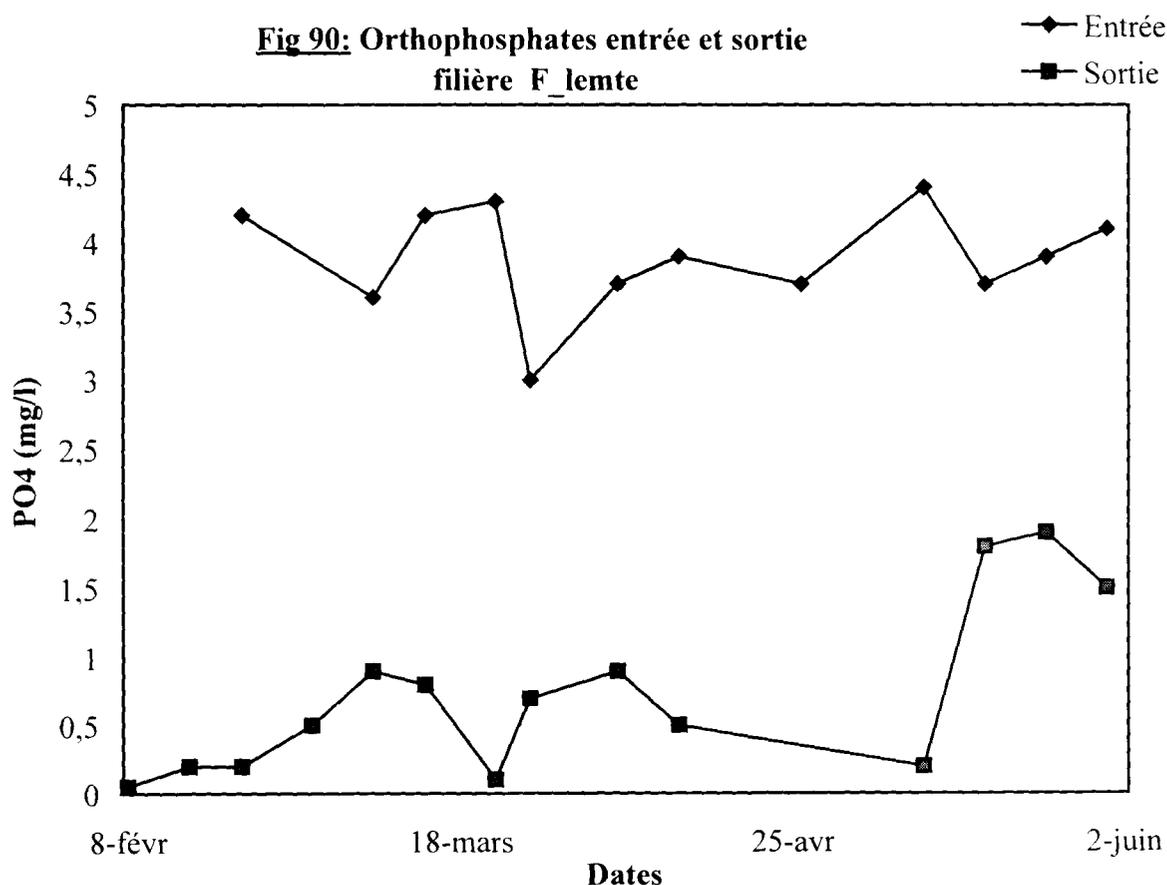
Tableau N° 42 : Evolution du PO<sub>4</sub> le long de la filière F\_lemte.

	Entrée filière	Sortie 3 <sup>ème</sup> bassin	Sortie filière (6 <sup>ème</sup> bassin)
PO <sub>4</sub> (mg/l )	3,9	2,4	0,7

La figure 90 représente l'évolution des orthophosphates à l'entrée et à la sortie de la filière F\_lemte.

A la sortie de la filière, les valeurs varient entre un minimum de 0,05 mg/l et un maximum de 1,9 mg/l. La moyenne est de 0,7 mg/l.

Les orthophosphates sont éliminés à hauteur de 38,5% après les trois premiers bassins à microphytes. A la fin de la filière à six bassins, le taux d'élimination de ce paramètre est de 82 %. On constate que cette élimination est surtout effectuée par les trois derniers bassins à lemna.



### 4.3.5 Performance de la filière F\_lemte vis à vis de la charge microbiologique :

Les eaux usées à l'entrée de la filière F\_lemte, présentent des concentrations en coliformes fécaux ( CF) variant entre  $1,3 \cdot 10^7$  et  $2,9 \cdot 10^8$  pour 100 ml avec une moyenne de  $8,31 \cdot 10^7$ . les concentrations des streptocoques (SF) se situent entre  $1,8 \cdot 10^6$  et  $6 \cdot 10^6$  pour 100 ml avec une moyenne de  $3,39 \cdot 10^6$ .

Tableau N°43 :concentration en coliformes fécaux et streptocoques fécaux à l'entrée de la filière F\_lemte :

Dates	CF x $10^5/100$ ml	SF x $10^5/100$ ml
01-03-02	2900	60
22-03-02	230	40
05-04-02	600	24
19-04-02	130	28
03-05-02	295	17,5
Moyenne	831	33,9

A la sortie de la filière F\_lemte, la concentration des coliformes fécaux ( CF) varie entre  $6 \cdot 10^3$  et  $40 \cdot 10^3$  pour 100 ml avec une moyenne de  $16 \cdot 10^3$ . Celle des streptocoques se situe entre  $2,1 \cdot 10^2$  et  $18 \cdot 10^2$  pour 100 ml avec une moyenne de  $7 \cdot 10^2$ .

La réduction sur la filière F\_lemte est de l'ordre de 3,5 unités log sur les coliformes et sur les streptocoques.

Malgré cette importante réduction, les effluents à la sortie de F\_lemte présentent une concentration en germes nettement supérieure à celle des effluents de la filière F\_mac. Cinq fois plus importante sur les coliformes fécaux et environ deux fois plus importante sur les streptocoques.



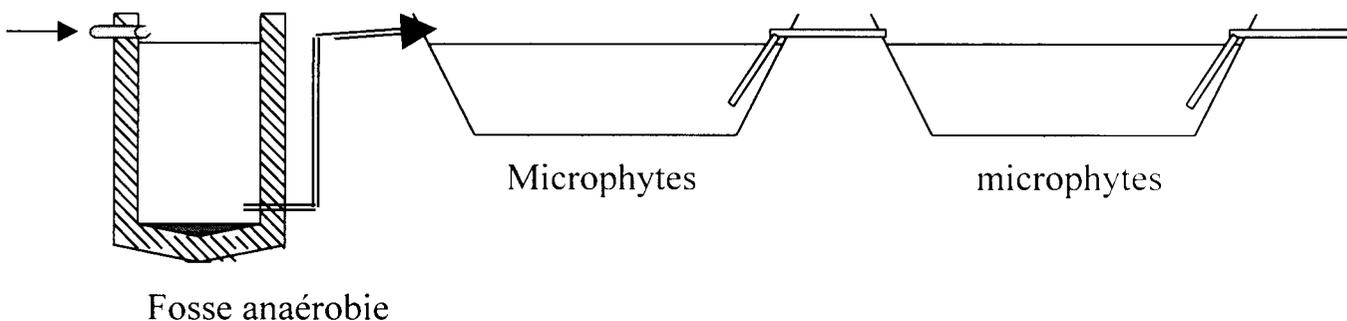
Tableau N°44 :concentration en coliformes fécaux et streptocoques fécaux

à la sortie de la filière F\_lemte :

Dates	CF x 10 <sup>5</sup> /100 ml	SF x 10 <sup>5</sup> /100 ml
01-03-02	0,10	0,0021
08-03-02	0,09	0,0045
22-03-02	0,12	0,00435
29-03-02	0,17	0,0125
05-04-02	0,2	0,0035
12-04-02	0,415	0,0025
19-04-02	0,18	0,003
26-04-02	0,08	0,018
03-05-02	0,06	0,0105
Moyenne	0,16	0,0068

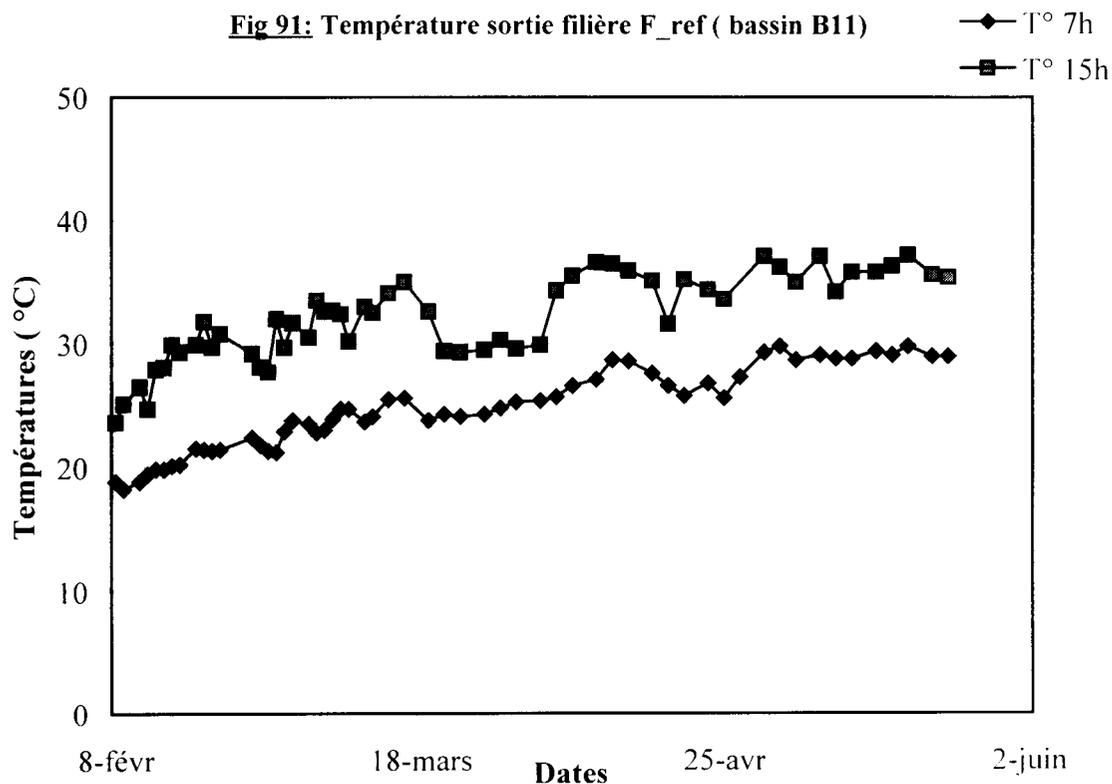
## 4.4 FONCTIONNEMENT ET PERFORMANCE DE LA FILIERE : Anaérobie + Microphytes + Microphytes ( F\_ref ).

La filière F\_ref représente le type même de lagunage naturel à microphytes tel qu'il est décrit dans la littérature à savoir une succession de trois bassins dont le premier joue le rôle de bassin facultatif avec une profondeur de plus de 1,5 mètres et les bassins suivants avec une profondeur comprise entre 0,8 mètre et 1,5 mètres.



### 4.4.1 Paramètres physiques sortie filière F\_ref :

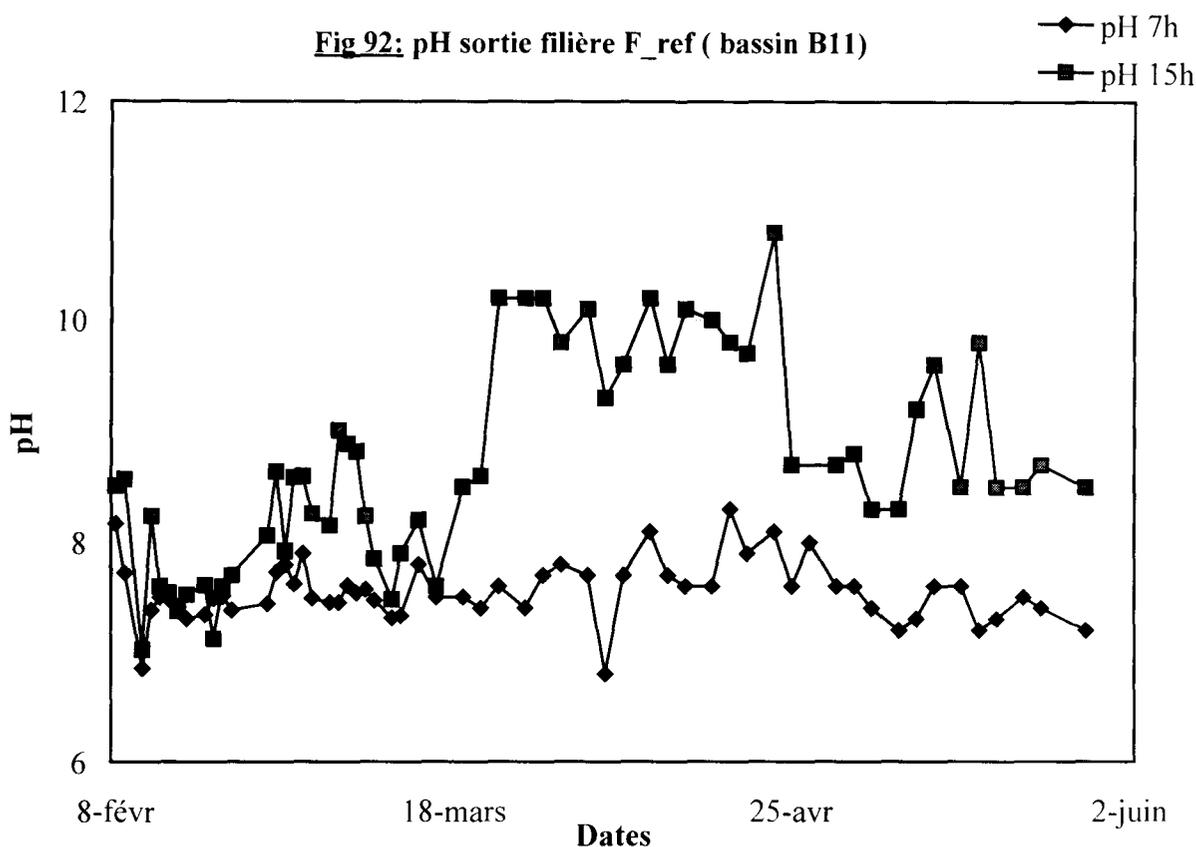
#### 4.4.1.1 Evolution de la température :



La figure 91 qui représente l'évolution de la température dans le bassin de finition de la filière F\_ref montre que par manque de couverture végétale, ce bassin reflète l'évolution saisonnière de ce paramètre.

Les températures relevées le matin aux alentours de 7 heures sont comprises entre 18°C et 23°C de février à mi-mars et entre 25°C et 30 °C de mi-mars au mois de juin. L'écart entre les températures relevées à 7 heures et celles relevées à 15 heures varie entre 5°C et 8°C. Cet écart est comparable à celui du bassin de la filière F\_lem qui est aussi un bassin à microphytes.

#### 4.4.1.2 Evolution du pH



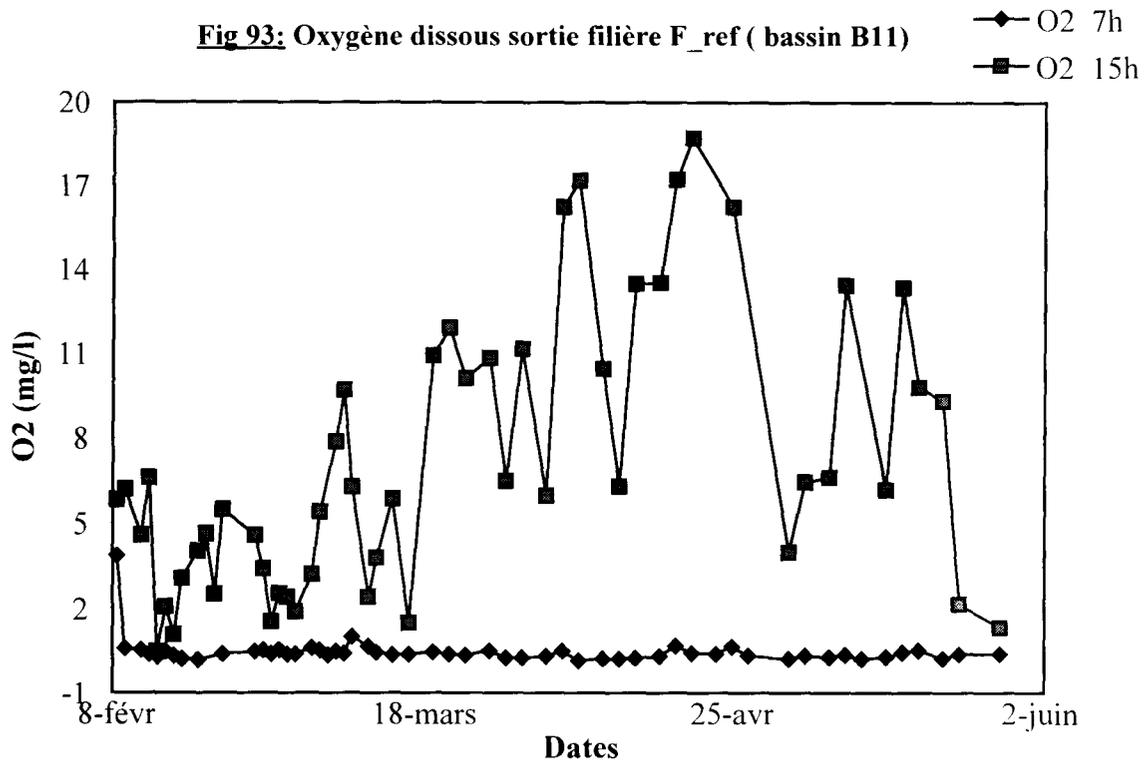
A l'image des températures, les courbes d'évolution du pH sur la figure 92 présentent deux zones.

La période qui va de février à mi-mars avec des valeurs matinales de pH comprises entre 7,2 et 7,5 et un faible écart entre les pH mesurés le matin à 7 heures et les pH mesurés à 15 heures.

La période qui s'étale de mi-mars au mois de juin où les valeurs du pH mesuré à 7 heures sont comprises entre 7,5 et 8.

Les valeurs les plus élevées du pH couplées avec les écarts les plus importants sont mesurées au mois d'avril, qui est le mois le plus chaud de la période de notre expérience.

#### 4.4.1.3 Etat d'oxygénation du bassin



La filière F\_ref étant une filière à microphytes, les bassins de finition sont peuplés d'algues vertes qui produisent de l'oxygène dans la journée par photosynthèse et en consomment dans la nuit au cours de leur dégradation. C'est ce qui explique l'absence quasi totale d'oxygène dans les bassins le matin avant les premiers rayons du soleil et l'abondance de cet oxygène dans la journée.

On remarque une importante prolifération des algues pendant les mois les plus chauds de la période expérimentale ce qui s'est traduit par une importante production d'oxygène dans les bassins.

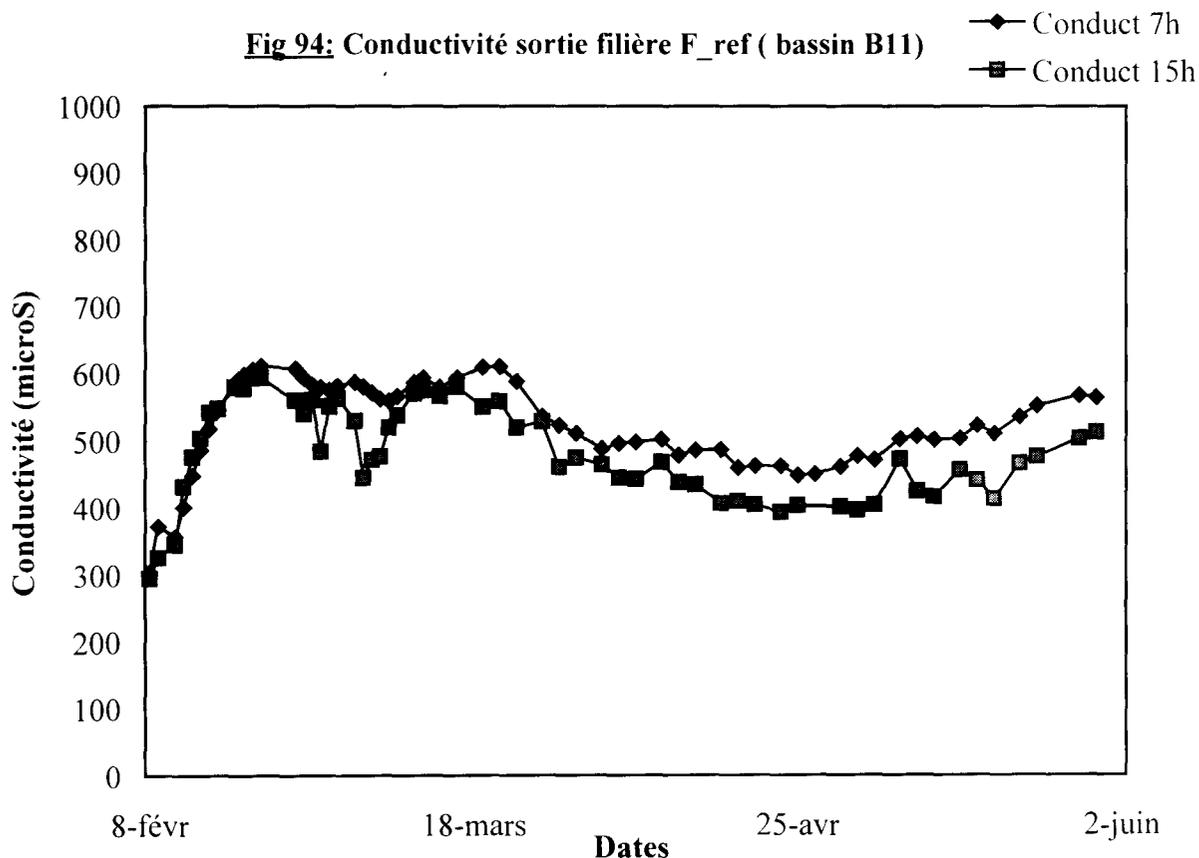
Les valeurs d'oxygène dissous relevées le matin à 7 heures, dans le bassin de finition de la filière F\_ref sont comprises entre 0,2 et 0,6 mg/l. Dans la journée à 15 heures, ces valeurs vont de 2 mg/l à 6 mg/l pour la période qui couvre le mois de février et la mi-mars. De mi-mars au mois de juin, les concentrations en oxygène dissous sont comprises entre 10 mg/l et 18 mg/l.

Comparé aux autres filières, la filière F\_ref est celle qui a enregistré les concentrations les plus élevées en oxygène dissous.

#### 4.4.1.4 Evolution de la conductivité

La figure 94 donne l'évolution de la conductivité à la sortie de la filière F\_ref. On distingue deux zones :

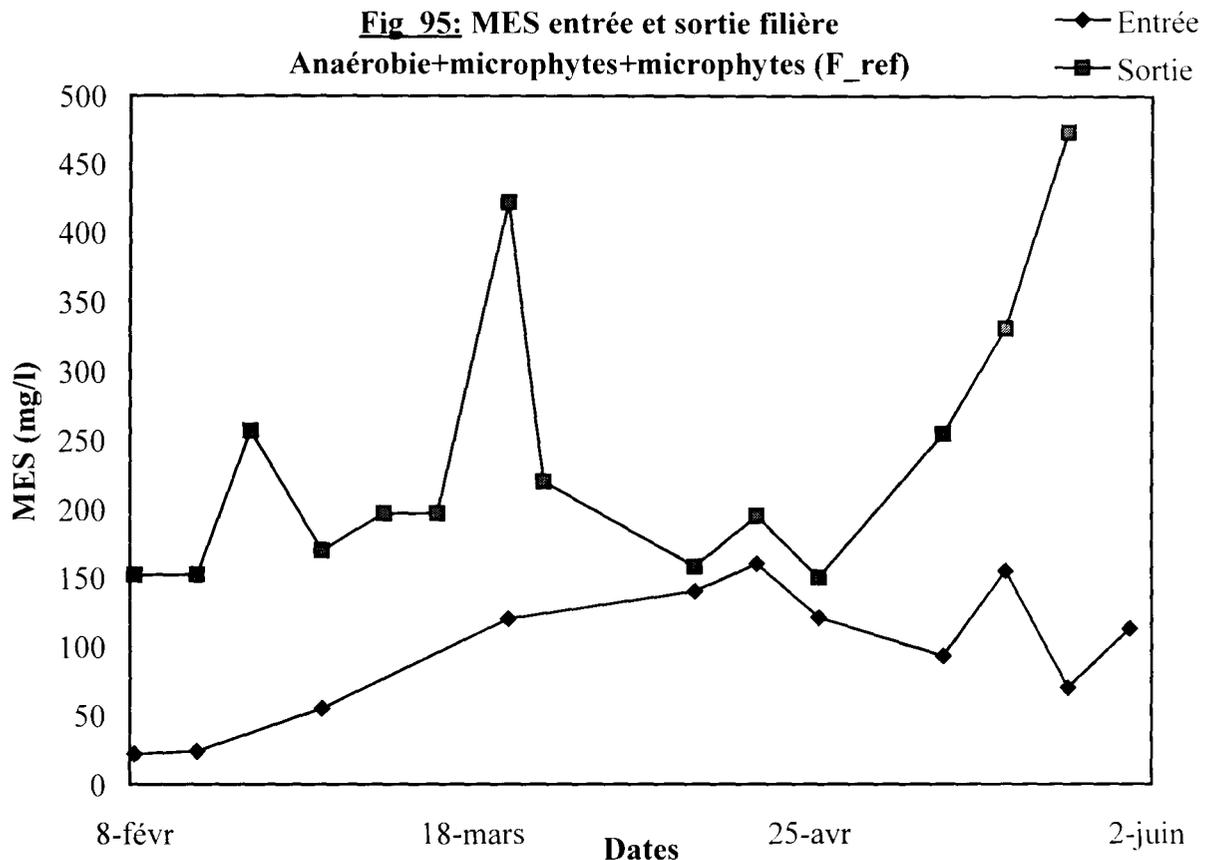
- De février à la fin du mois de mars les valeurs enregistrées vont de 500 à 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Du mois d'avril au mois de mars, qui sont les périodes les plus chaudes de l'année, les valeurs de la conductivité ont varié entre 450  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



#### 4.4.2 Performances de la filière (F\_ref) vis à vis des charges organiques :

##### 4.4.2.1 les matières en suspension (MES) :

La filière F\_ref est constituée d'un bassin anaérobie suivi de deux bassins à microphytes. Contrairement aux autres filières étudiées, la filière F\_ref ne contient pas de végétaux supérieurs à système racinaire développé qui participe activement dans la rétention des MES.



La figure 95 qui représente l'évolution des MES à la sortie de la filière F\_ref, présent deux zones :

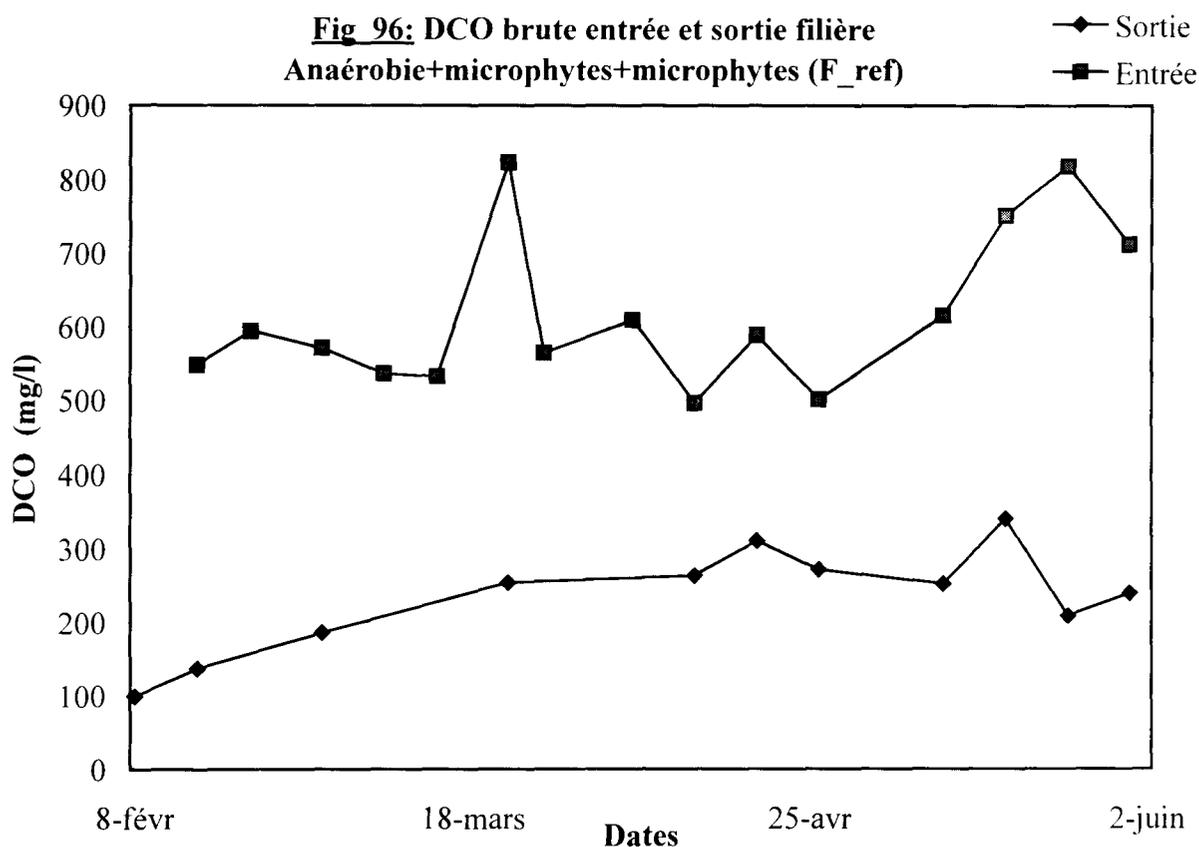
- Une zone qui couvre les mois de février et mars, qui correspond à la période de basses températures, où les MES ont connu une évolution presque linéaire en corrélation avec l'évolution de la température. Dans cette zone, les valeurs des MES sont comprises entre 25 mg/l et 125 mg/l.
- Une zone qui couvre les mois d'avril et de mai qui sont les mois les plus chauds de la période d'expérience, où les concentrations en MES vont de 100 mg/l à 160 mg/l.

Dans les deux cas de figure, les MES sont essentiellement constituées d'algues vertes qui peuplent le bassin. On peut donc conclure que les algues prolifèrent plus aux mois les plus chauds de l'année qui sont les mois les plus ensoleillés.

Comparée aux autres filières étudiées, la filière F\_ref présente les concentrations en MES les plus élevées.

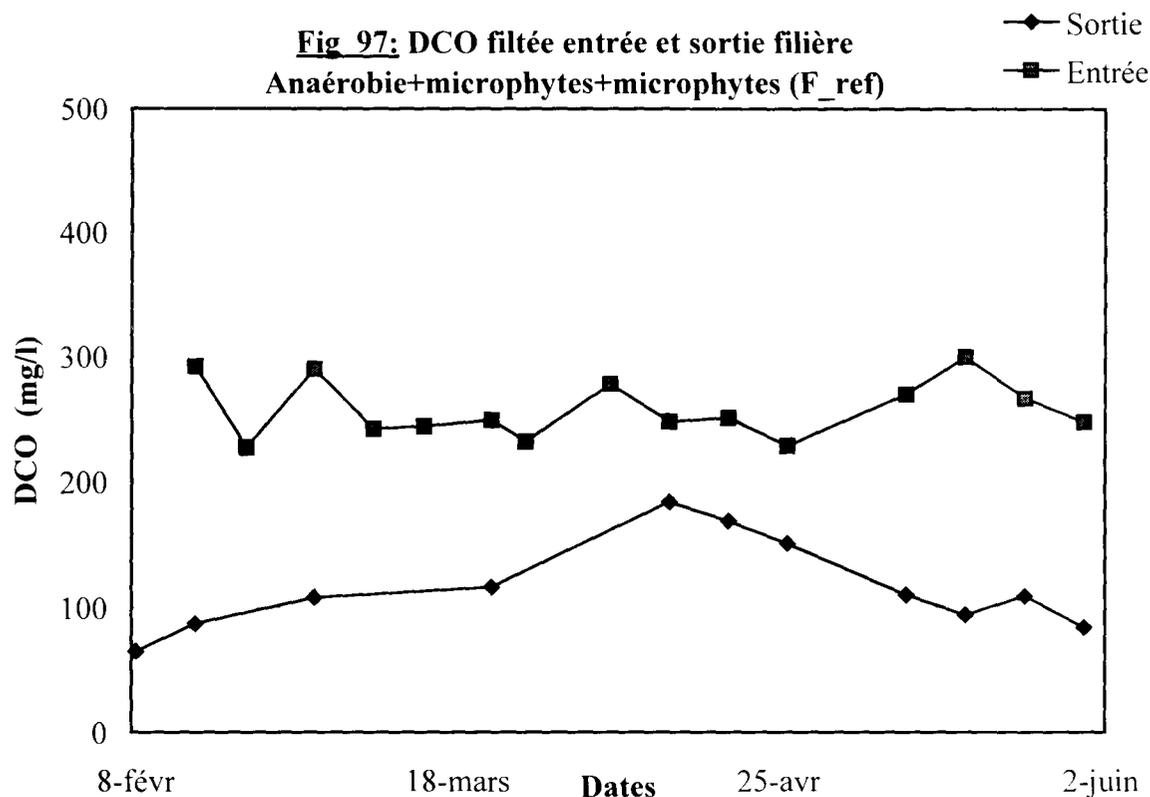
L'abattement moyen en MES de la filière F\_ref est de 58,9 % c'est l'abattement le plus faible de toutes les filières testées.

#### 4.4.2.2 La demande chimique en oxygène (DCO):



Les figures 96 et 97 représentent l'évolution des DCO brutes et filtrées à la sortie de la filière F\_ref. La moyenne sur la DCO brute est de 233 mg/l et 116 mg/l sur la DCO filtrée. Les valeurs élevées de ces DCO sont dues à la présence d'algues dans les bassins.

Les rendements épuratoires sur ces paramètres sont en moyenne de 59,7% sur la DCO brute et 55% sur la DCO filtrée.



#### 4.4.3 Evolution des composés azotés sortie filière F\_ref :

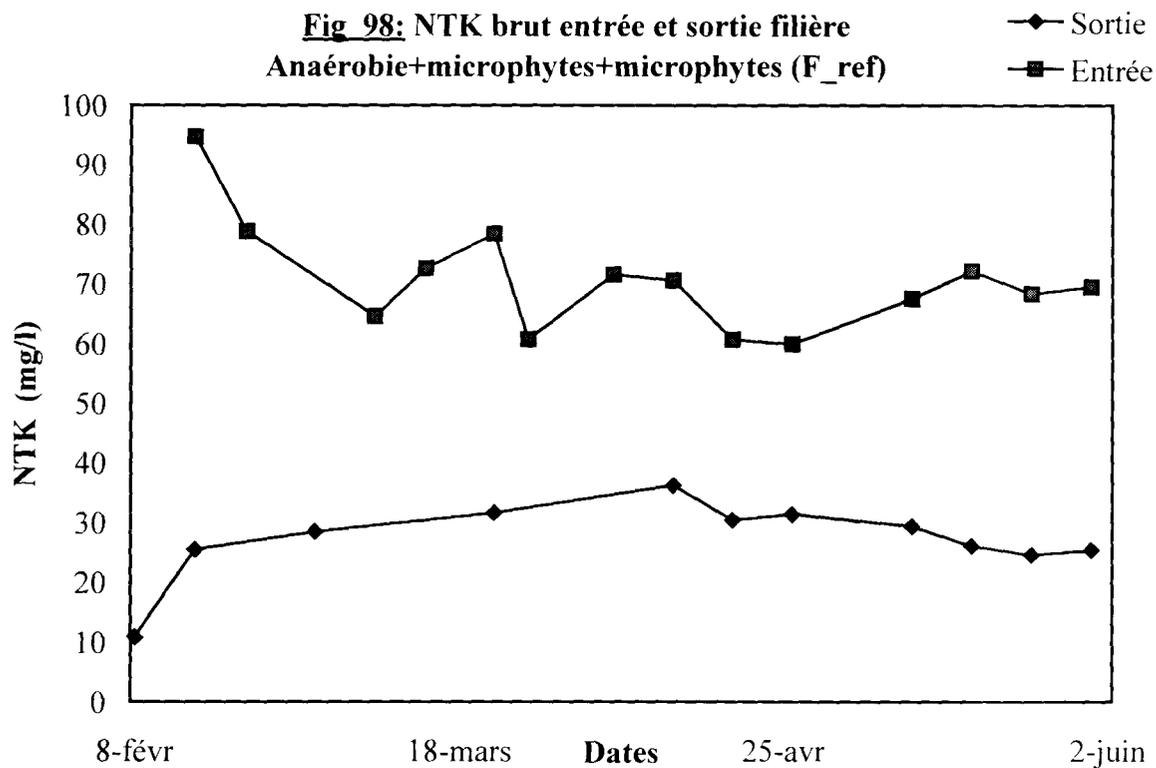
##### 4.4.3.1 Evolution de l'azote Kjeldahl (NTK)

Les analyses à la sortie ont révélé une concentration en nitrite comprise entre 0,5 et 1,5 mg/l. Ces valeurs sont 5 à 10 fois supérieures aux concentrations enregistrées dans les autres filières testées. Pour des raisons de conformité, nous ne considérerons dans le bilan de l'azote que l'azote organique et l'azote ammoniacal.

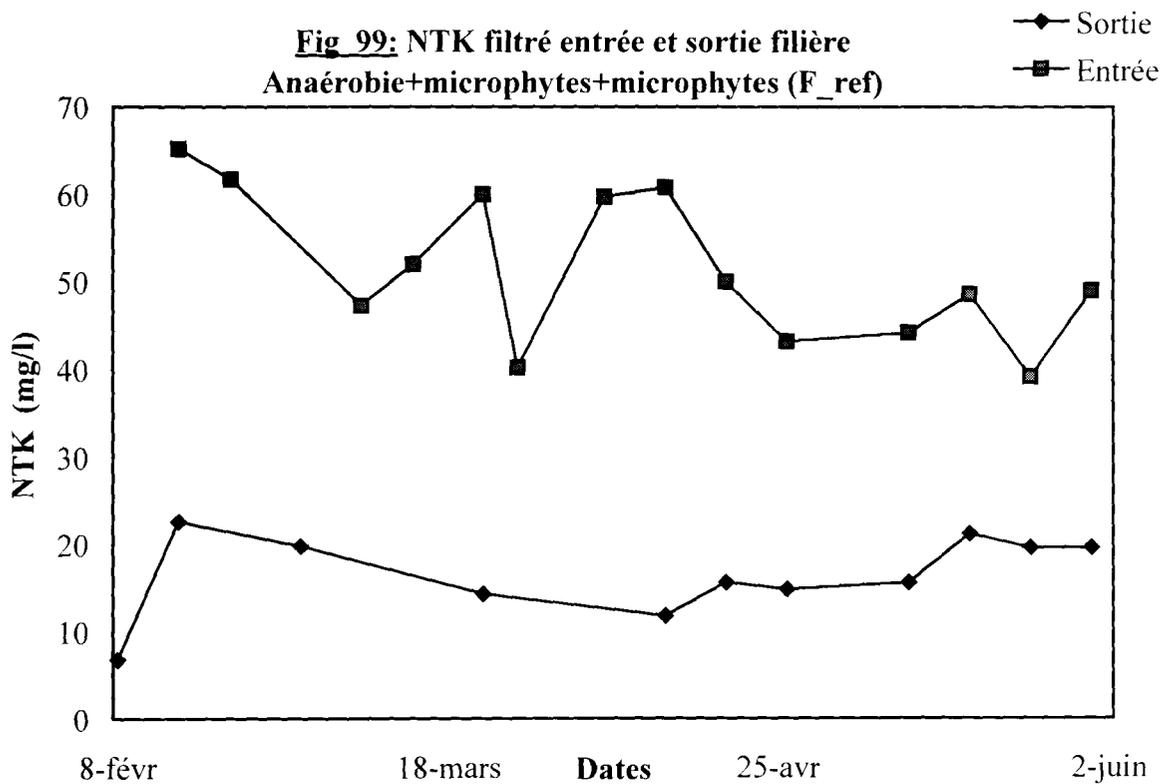
Les figures 98 et 99 représentent l'évolution de l'azote Kjeldahl sur l'effluent brut et le filtré. La moyenne sur le brut est de 27,3 mg/l et sur l'effluent filtré de 16,5 mg/l. Ce qui conduit à des abattements de 61,4% sur le brut et 68% sur le filtré.

On remarque que la filière F\_ref épure mieux l'azote Kjeldahl que les autres filières testées.

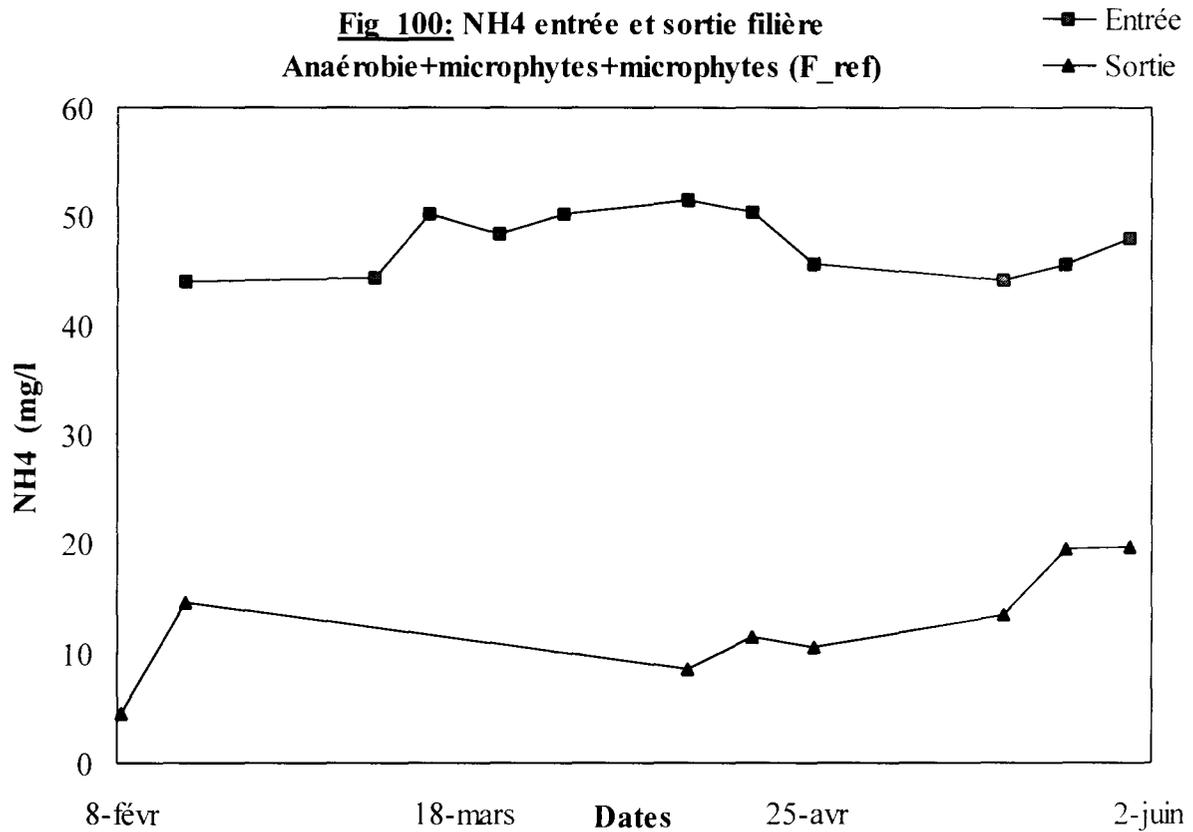
**Fig 98: NTK brut entrée et sortie filière**  
**Anaérobie+microphytes+microphytes (F\_ref)**



**Fig 99: NTK filtré entrée et sortie filière**  
**Anaérobie+microphytes+microphytes (F\_ref)**



#### 4.4.3.2 Evolution de l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )

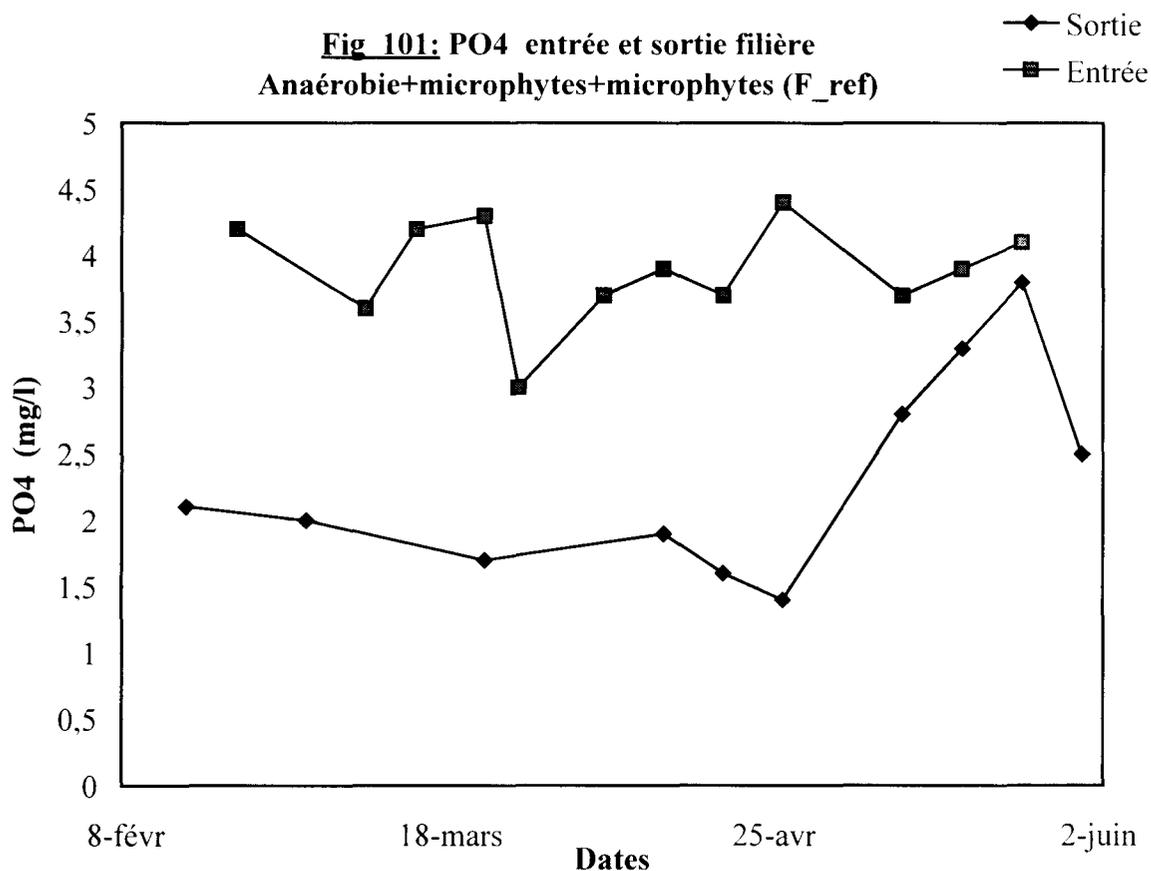


La figure 100 représente l'évolution de l'azote ammoniacal à la sortie de la filière F\_ref. La moyenne enregistrée est de 12,8 mg/l. Soit un taux d'élimination de 73,1% contre 65,3% et 46,2% respectivement pour les filières F\_lem et F\_mac.

#### 4.4.4 Evolution des orthophosphates sortie filière F\_ref :

Le cycle du phosphore dans un écosystème aquatique est régi par plusieurs processus complexes qui peuvent être résumés en une assimilation, une sédimentation et une régénération.

Le phosphore sous sa forme soluble bio-assimilable, est un élément nutritif essentiel pour les algues. Celles-ci assimilent généralement le phosphore sous forme d'orthophosphates. Toute fois certaines espèces sont capables d'utiliser des formes organiques dissoutes.



La figure 101 représente l'évolution des orthophosphates à l'entrée et à la sortie de la filière F\_ref.

A la sortie de la filière, les valeurs varient entre un minimum de 1,4 mg/l et un maximum de 3,8 mg/l. La moyenne est de 2,3 mg/l. C'est la moyenne la plus élevée de tous les systèmes testés. Elle vaut 8 fois la valeur enregistrée à la sortie de la filière F\_mac et trois fois celle enregistrée à la sortie de la filière F\_lemte.

Les orthophosphates sont éliminés à hauteur de 41% par la filière F\_ref.

#### 4.5 COMPARAISON DES PERFORMANCES EPURATOIRES DES DIFFERENTES FILIERES TESTEES.

A l'image du calcul statistique que nous avons effectué sur les systèmes testés en tête de filière, nous avons effectué sur les principaux paramètres de pollution, un calcul statistique basé sur la comparaison des résultats moyens de deux méthodes A et B.

Nous avons considéré que chaque filière testée constitue une méthode à part entière de traitement des eaux usées et nous avons effectué une comparaison deux à deux des quatre filières expérimentées.

Pour chaque paramètre considéré, nous désignons par :

$n_a$  le nombre de résultats obtenus avec la filière A

$n_b$  le nombre de résultats obtenus avec la filière B

$x_a$  les résultats de la filière A

$x_b$  les résultats de la filière B

$\bar{x}_a$  le résultat moyen de la filière A

$\bar{x}_b$  le résultat moyen de la filière B

La variance du système :

$$v_t = \frac{\sum (x_a - \bar{x}_a)^2 + \sum (x_b - \bar{x}_b)^2}{(n_a - 1) + (n_b - 1)}$$

La différence entre les résultats moyens est :

$$d = (\bar{x}_a - \bar{x}_b)$$

L'écart type de la différence :

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{v_t}{n_a} + \frac{v_t}{n_b}}$$

On calcule ensuite la valeur expérimentale de t :

$$t_{\text{exp}} = \frac{d}{\sigma_d}$$

et on compare cette valeur  $t_{exp}$ , à celle que fournit la table de Fischer pour  
 $N = (n_a + n_b - 2)$

Pour une valeur choisie P de la probabilité.

Si  $t_{exp}$  est supérieur à t de la table, la différence est significative et les deux filières doivent être considérées comme donnant des résultats différents pour la probabilité choisie. Dans notre cas la filière la plus efficace au point de vue performances épuratoires sera celui qui donne la moyenne la plus petite.

Dans le cas contraire, on doit considérer que les deux filières conduisent à des résultats identiques pour le paramètre considéré.

#### 4.5.1 Comparaison des moyennes des MES:

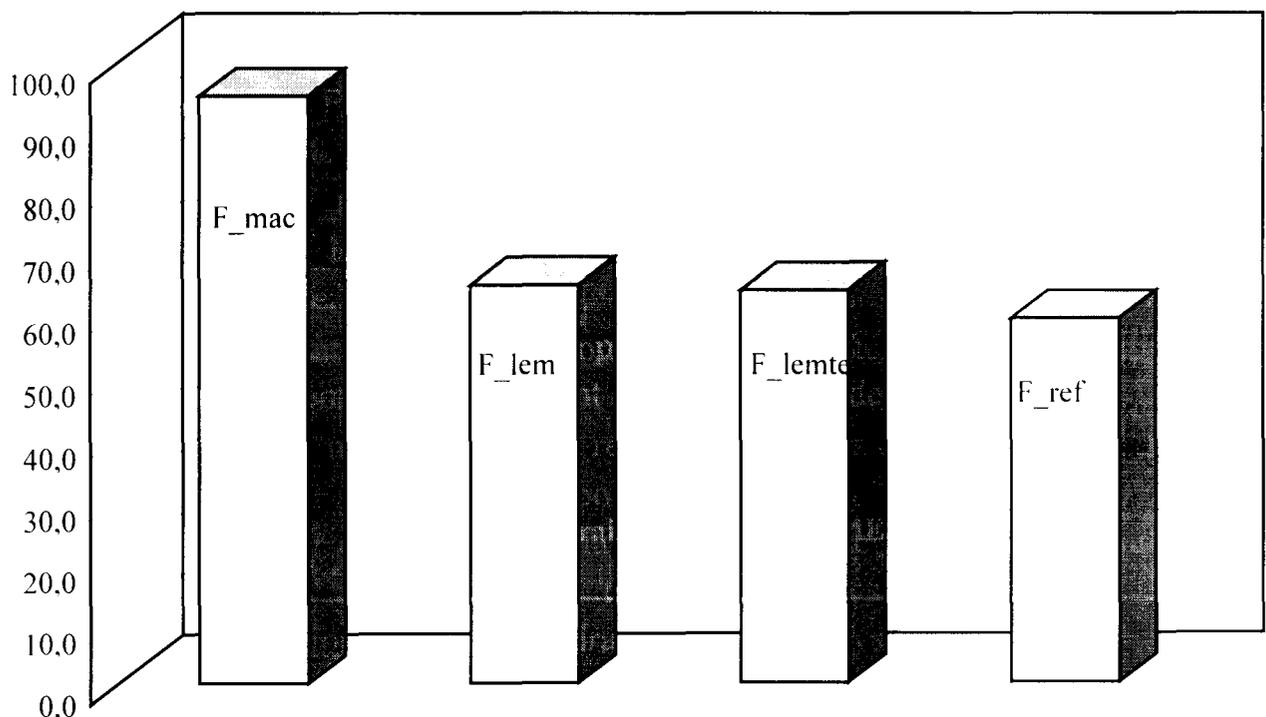
	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de Fischer pour P=5%
F_mac & F_lem*	72	842	11,2	25	6,39	2,06
F_mac & F_lem <sup>te</sup> *	74	951	11,68	26	6,35	2,054
F_lem & F_lem <sup>te</sup> *	2	1895	17,4	23	0,14	2,069
F_mac & F_ref*	85	1046	12,84	24	6,59	2,064
F_lem & F_ref*	13	2093	19,1	21	0,67	2,080
F_lem <sup>te</sup> & F_ref*	10	2165	19,1	22	0,54	2,074

\* Système qui a la moyenne la plus élevée

L'analyse des résultats statistiques pour une probabilité  $P=0,05$  conduit aux conclusions suivantes :

- La filière F\_mac présente des résultats meilleurs que les filières F\_lem, F\_lemte et F\_ref. L'analyse poussée, montre qu'il y a plus de 99% de chance pour que les MES à la sortie de F\_mac soit très inférieures à celles des autres filières testées dans les mêmes conditions d'alimentation, de charge hydraulique et d'analyse.
- Les filières F\_lem et F\_lemte présenteraient des résultats identiques à plus de 99%.
- La filière F\_ref abat les MES légèrement moins bien que les filières F\_lem et F\_lemte. Mais pour la probabilité choisie, la différence est insignifiante.
- Il y a plus de 95% de chance pour que les MES à la sortie des filières F\_lem, F\_lemte et F\_ref soient du même ordre de grandeur.

**Fig102: Comparaison abattements MES**



La figure 102 qui représente les abattements MES par filière confirme ces résultats avec 94,5% pour la filière F\_mac, 64,3% pour F\_lem, 63,3% pour F\_lemte et 58,8% pour la filière F\_ref.

On peut de ce fait établir le classement suivant en ce qui concerne les performances sur les MES :

$$F\_mac \gg F\_lem = F\_lemte \approx F\_ref$$

#### 4.5.2 Comparaison des moyennes des DCO brutes:

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de Fischer pour P=5%
F_mac & F_lem*	151	2177	17,42	27	8,69	2,052
F_mac & F_lemte*	149	3896	22,1	30	6,74	2,042
F_lem* & F_lemte	3	4343	24,6	27	0,11	2,052
F_mac & F_ref*	148	3211	22,2	25	6,69	2,060
F_lem* & F_ref	3	3666	24,8	22	0,12	2,074
F_lemte* & F_ref	0,35	5550	29,2	25	0,012	2,060

\* Système qui a la moyenne la plus élevée

Les conclusions des analyses des résultats sur la DCO brutes à la sortie des quatre filières testées sont identiques à celles des résultats des MES à la sortie des mêmes filières.

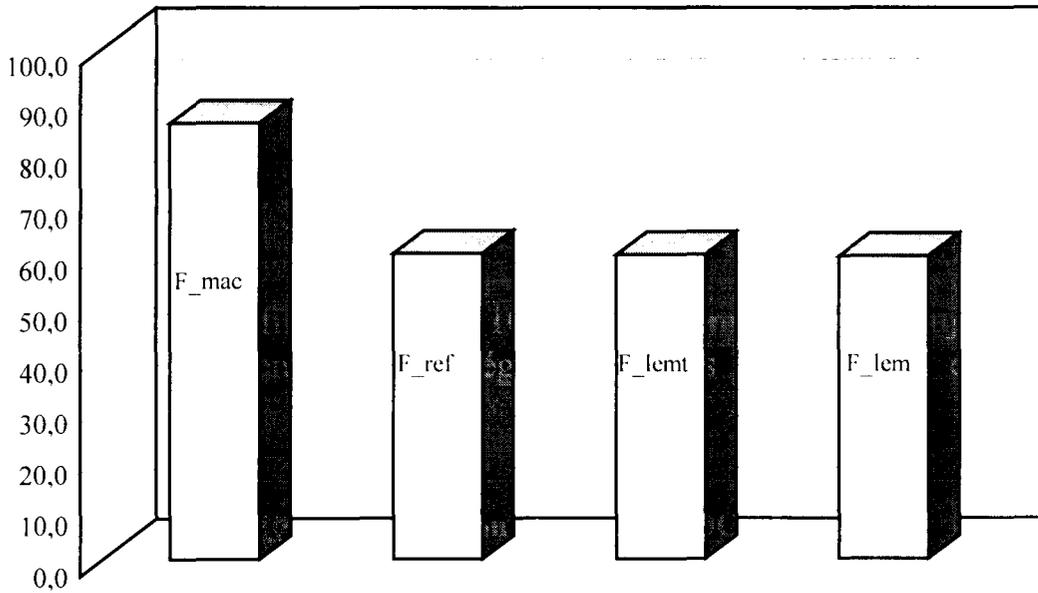
On peut ainsi donner le classement suivant en ce qui concerne les performances épuratoires sur la DCO brute des différentes filières :

$$F\_mac \gg F\_lemte = F\_lem \approx F\_ref$$

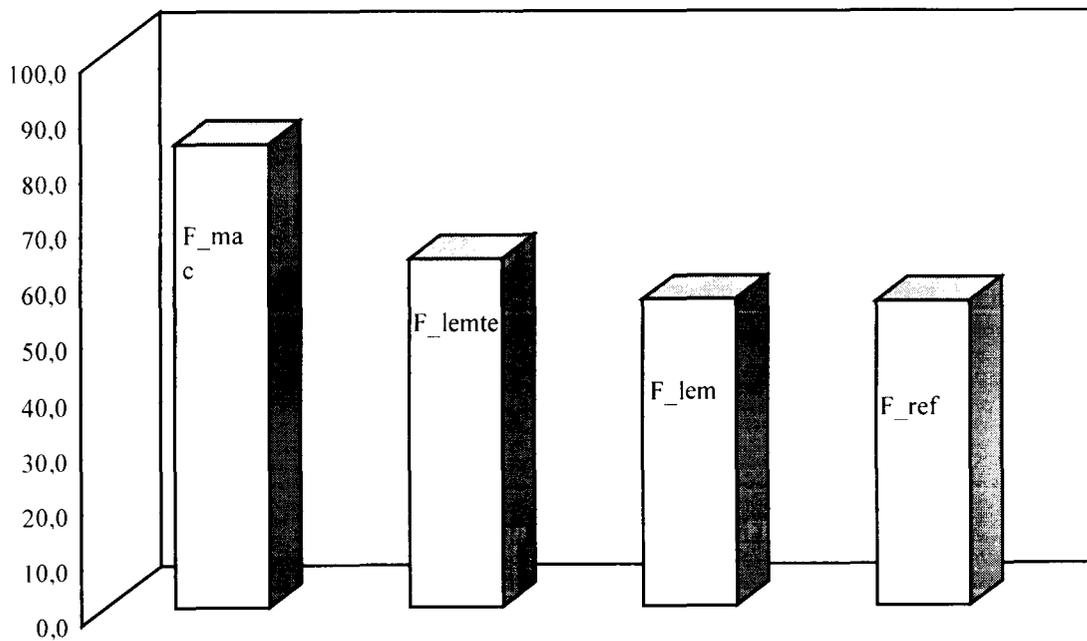
La figure 103 qui représente les abattements DCO brute confirme les résultats des analyses statistiques.

Sur la DCO filtrée ( figure 104 ) le classement donne toujours F\_mac en tête suivie de F\_lemte qui est légèrement plus performantes que les filières F\_lem et F\_ref.

**Fig 103:** Comparaison abattements DCO brute



**Fig104:** Comparaison abattements DCO Filtrée



### 4.5.3 Comparaison des moyennes des DBO5 brutes:

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de Fischer pour P=5%
F_mac & F_lem*	73	1935	17,6	23	4,15	2,069
F_mac & F_lemte*	33,5	1135	13,2	24	2,53	2,064
F_lem* & F_lemte	39,6	2500	20	23	1,98	2,069

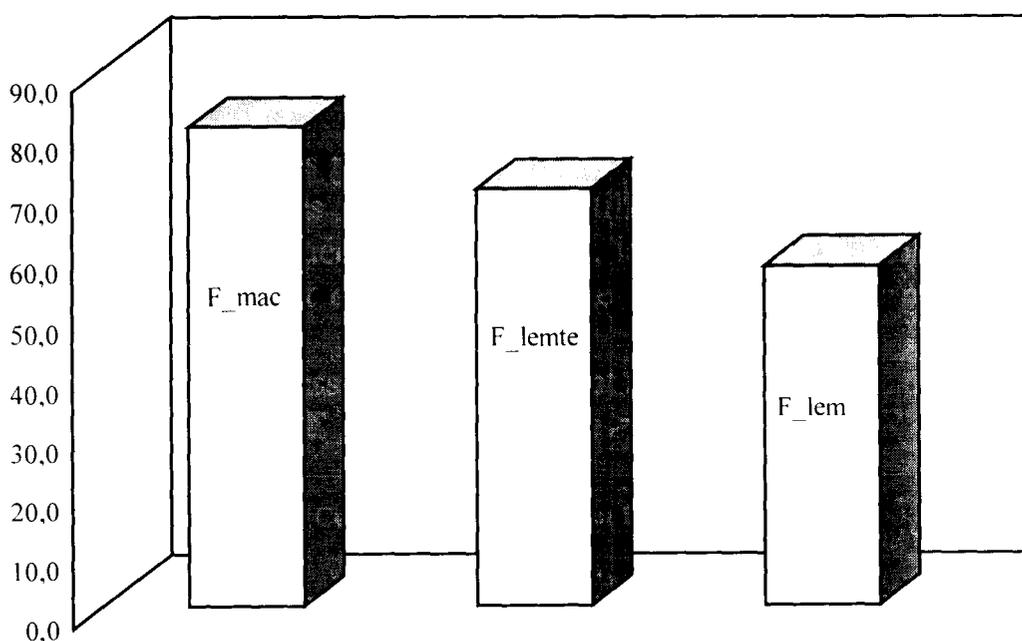
\* Système qui a la moyenne la plus élevée

La comparaison des moyennes de DBO5 a été effectuée uniquement sur les filières à macrophytes à savoir les lentilles et les jacinthes. La filière à microphytes étant constituée d'algues vertes, la mesure de la DBO est toujours entachée d'erreurs du fait de la poursuite de la photosynthèse par les algues même dans l'obscurité.

Les analyses font ressortir le classement suivant :

$$F\_mac \gg F\_lemte > F\_lem$$

**Fig 105:** Comparaison abattement DBO5 brute



#### 4.5.4 Comparaison des moyennes des NTK bruts:

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de Fischer pour P=5%
F_mac & F_lem*	2,2	41,8	2,5	25	0,89	2,06
F_mac* & F_lemte	3,1	50,8	2,7	26	1,16	2,056
F_lem* & F_lemte	5,3	33,5	2,3	23	2,31	2,069
F_mac & F_ref*	0,62	50,7	2,8	24	0,22	2,064
F_lem* & F_ref	1,6	31,7	2,4	21	0,68	2,080
F_lemte & F_ref*	3,7	42,8	2,7	22	1,4	2,074

\* Système qui a la moyenne la plus élevée

L'analyse statistique des résultats sur le NTK conduit aux conclusions suivantes :

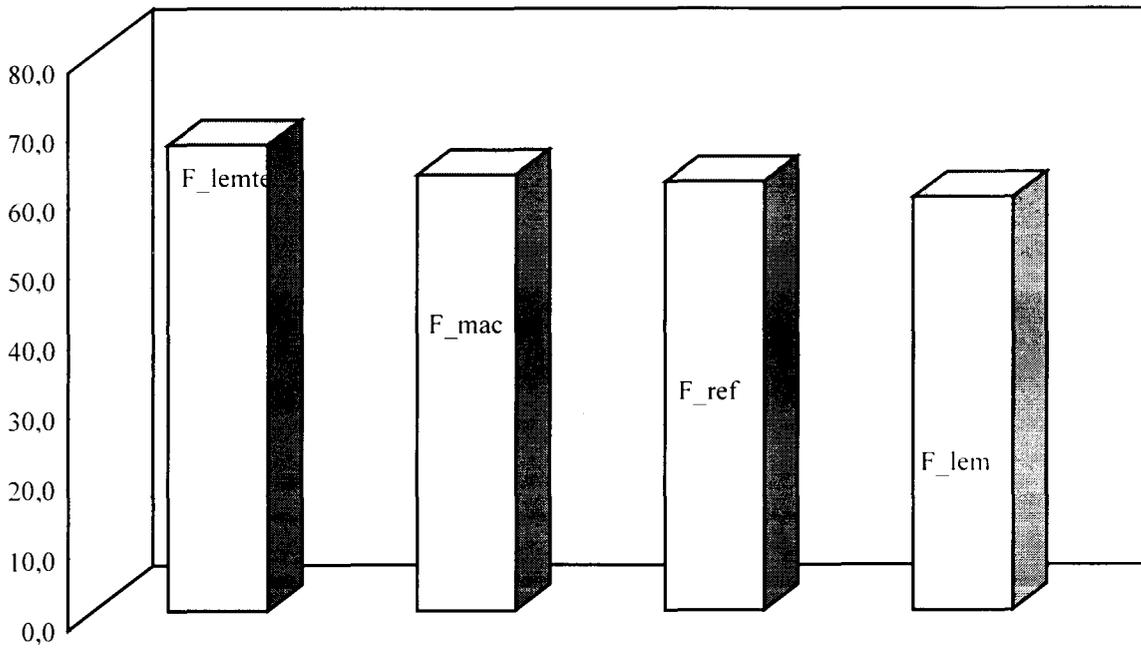
- Dans tous les cas de figures, les performances épuratoires sur le NTK de la filière F\_lemte sont supérieures à toutes les autres filières.
- Les filières F\_mac et F\_ref sont quasi identiques.
- Il y a une chance sur deux pour que la filière F\_lem donne les mêmes résultats que la filière F\_ref.

Ce qui nous conduit au classement suivant :

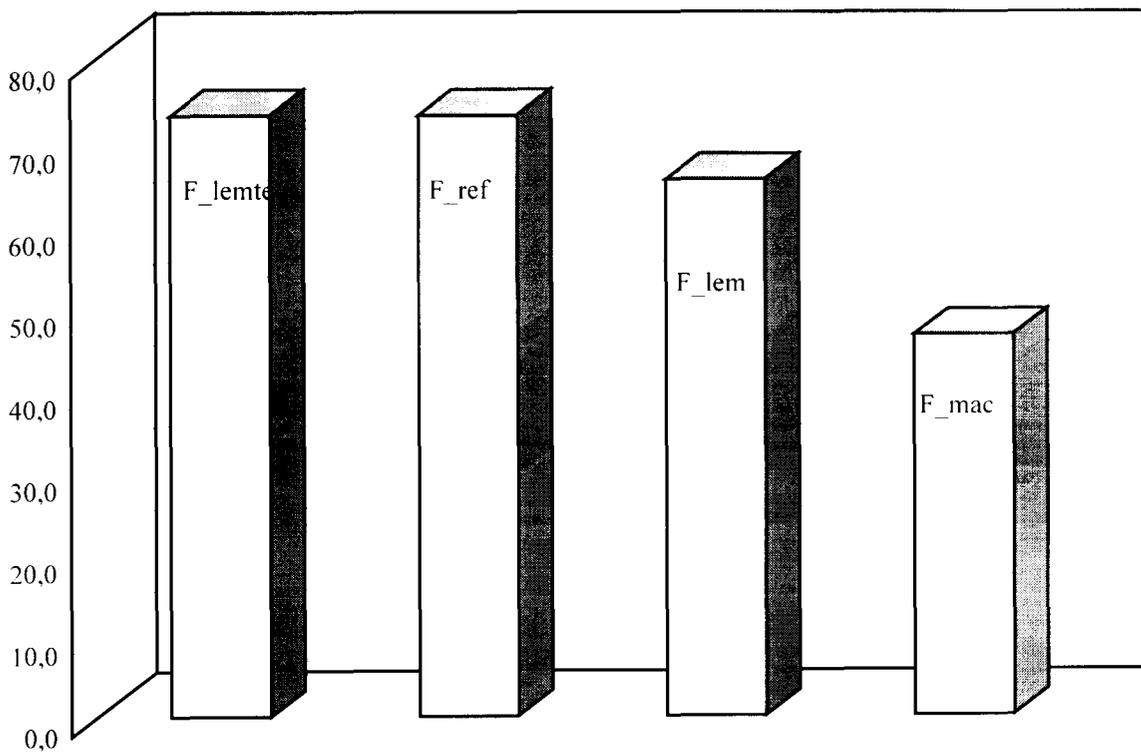
$$\mathbf{F\_lemte > F\_mac = F\_ref \approx F\_lem}$$

La figure 106 donne les abattements par filière : 66,8% pour F\_lemte, 62,4% pour F\_mac, 61,4% pour F\_ref et 59,2% pour F\_lem.

**Fig 106:** Comparaison abattements NTK brut



**Fig 107:** Comparaison abattements NH4



#### 4.5.5 Comparaison des moyennes des NH4:

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de Fischer pour P=5%
F_mac* & F_lem	9,08	49,5	3,1	19	2,93	2,093
F_mac* & F_lemte	12,7	65,2	3,3	22	3,86	2,074
F_lem* & F_lemte	3,65	44,2	2,93	19	1,25	2,093
F_mac* & F_ref	12,8	53,4	3,33	18	3,84	2,101
F_lem* & F_ref	3,72	24,5	2,4	15	1,55	2,131
F_lemte* & F_ref	0,07	47,8	3,16	18	0,024	2,101

\* Système qui a la moyenne la plus élevée

L'analyse statistique et la figure 107 nous indiquent que les filières à plusieurs bassins à microphytes éliminent mieux l'azote ammoniacal. C'est le cas des filières F\_lemte avec trois bassins à microphytes en tête et la filière F\_ref qui comporte deux bassins à microphytes en aval.

La comparaison des moyennes indique que :

- F\_lemte et F\_ref donneraient les mêmes résultats à plus de 99% de chances.
- Dans tous les cas, F\_mac épure moins que les autres filières

Le classement suivant peut ainsi être établi :

$$\mathbf{F\_lemte = F\_ref > F\_lem > F\_mac}$$

#### 4.5.6 Comparaison des moyennes des PO4:

	$d = \bar{x}_a - \bar{x}_b$	$v_t$	$\sigma_d$	Nombre de degré de liberté N	$t_{exp}$	t de Fischer pour P=5%
F_mac & F_lem*	1,48	0,12	0,13	25	11,02	2,060
F_mac & F_lemte*	0,48	0,27	0,19	28	2,53	2,048
F_lem* & F_lemte	1,00	0,26	0,20	25	5,05	2,060
F_mac & F_ref*	2,06	8,20	1,14	24	1,81	2,064
F_lem & F_ref*	0,58	9,32	1,28	21	0,46	2,080
F_lemte & F_ref*	1,58	8,35	1,15	24	1,38	2,064

\* *Système qui a la moyenne la plus élevée*

Contrairement à l'élimination de l'ammoniac, les filières à plusieurs bassins à macrophytes éliminent mieux les orthophosphates que les filières à microphytes. Plus il y a de bassins à macrophytes, plus l'absorption des orthophosphates est importante.

Le classement suivant peut être établi en ce qui concerne les performances épuratoires des différentes filières :

$$\mathbf{F\_mac > F\_lemte > F\_lem > F\_ref}$$

## CONCLUSION :

L'analyse des résultats obtenus après le suivi des quatre filières, nous a permis de dégager les constats suivants :

- Sur les matières en suspension, on note une nette dominance de la filière F\_mac sur les trois autres filières. 95% d'abattement contre 64% pour F\_lem, 63% pour F\_lemte et 59% pour la filière F\_ref. Statistiquement, il n'y a aucune différence entre ces trois dernières filières au point de vue performances épuratoires sur les MES.
- Sur la DCO brute, le même constat se dégage avec 85% d'abattement pour la filière F\_mac contre 58 à 59% pour les trois autres filières.
- Sur la DBO filtrée, la filière F\_mac vient en tête avec 79% d'abattement suivie par la filière F\_lemte puis vient loin derrière, la filière F\_lem avec 54% d'abattement.
- Sur le NTK brut, à l'exception de la filière F\_lemte qui présente un abattement légèrement supérieur aux autres (62%), on ne note aucune différence significative entre les filières F\_mac, F\_lem et F\_ref.



Chapitre 5:

VALORISATION DES EFFLUENTS ÉPURÉS  
ET DE LA BIOMASSE PRODUITE

## 5.1 UTILISATION DES EAUX EPUREES POUR L'IRRIGATION DES PLANTES FORESTIERES

### Introduction

Dans les pays en voie de développement où la pauvreté et l'insécurité alimentaire sont quasi-permanentes, la population n'hésite pas à utiliser les eaux usées brutes sans aucun traitement pour pratiquer des cultures irriguées, dont les produits sont pour certains consommés crus.

Cette situation fait courir des risques sanitaires importants à la population et est à l'origine de la récurrence de certaines maladies hydriques. Les enquêtes menées par les services sanitaires confirment très nettement cette tendance. En effet, sur la période 1994-1998, une moyenne annuelle de 35.320 cas des maladies diarrhéiques ont été enregistrées entraînant 100 décès. Les enfants de moins de 5 ans totalisent à eux seuls 74 % des cas.

Durant ces 5 ans, le choléra s'est manifesté de façon sporadique avec un accent particulier en 1996 (187 cas dans la Commune II de Niamey). En ce qui concerne le paludisme, une moyenne de 118.481 cas a été enregistrée dans la même période provoquant 295 décès annuels. Les années les plus meurtrières (1996 et 1998) ont été caractérisées par une forte pluviométrie et correspondaient respectivement à 340 et 520 décès.

Le procédé de traitement par lagunage naturel a prouvé son efficacité pour l'abattement des germes indicateurs de contamination fécale. Dans l'optique de l'utilisation des effluents pour l'arrosage, le lagunage peut être considéré comme une méthode de choix, en particulier dans les pays tropicaux.

Nous avons utilisé des effluents issus du traitement par lagunage naturel de la station d'épuration pilote de Niamey pour irriguer deux espèces de plantes : *Le leptadenia Hastata* et le *Moringa Oleifera*. Nous avons suivi l'évolution de la biomasse au cours du temps. Une étude comparative a été effectuée entre les plantes arrosées par des effluents traités par lagunage et les plantes arrosées par des eaux claires de la ville.

### 5.1.1 Etat actuel de la réutilisation des eaux usées dans la ville de Niamey

Au Niger, et plus précisément à Niamey, l'utilisation des eaux usées et assimilées, pour l'agriculture est très courante, malgré les mesures répressives prises par les autorités à l'encontre de cette pratique.

Les eaux utilisées sont soit des eaux usées domestiques brutes, soit des eaux usées industrielles brutes, soit des effluents hospitaliers, soit les eaux du fleuve polluées ou le mélange de plusieurs de ces sources.

Le tableau ci dessous donne un aperçu sur la qualité des eaux usées utilisées par les maraîchers dans la ville de Niamey.

#### **Qualité des eaux usées du collecteur du Gunti yena.**

Paramètres	Eaux usées brutes Gunti Yena
DCO ( mg/l)	1000 à 1800
DBO ( mg/l)	700 à 1300
MES ( mg/l)	400 à 800
NTK ( mg/l)	60 à 100
Ammoniums ( mg/l)	30 à 60
Orthophosphates ( mg/l)	6 à 12
PH	6,5 à 7,5
Coliformes (nombre/100ml)	$10^7$ à $10^8$
Streptocoques (nombre/100 ml)	$10^6$ à $10^7$

Dans les trois communes que compte Niamey, on dénombre plus de 30 sites de maraîchage dont deux utilisant exclusivement des eaux usées brutes. Il s'agit des sites de Gunti Yena et la corniche Yantala qui sont situés tous les deux dans la commune 1.

Dans les autres sites, les maraîchers utilisent aussi les eaux usées brutes à certaines périodes de l'année pour faire face au déficit hydrique.

## Cultures pratiquées dans Niamey commune 1

Superficie exploitée : 290,5 ha

Nombre d'exploitants : 745

Cultures	Superficie exploitée ( ha )	Rendement (tonne/ha)
Chou	102,5	2,626
Tomates	49	21,05
Laitue	94,5	13,121
Carottes	14,5	22,5
Oignons	11	29,7
Courges & courgettes	7	27,7
Piment	22	10,9
Oseille	0,25	-

### 5.1.2 Description des espèces utilisées :

#### 5.1.2.1 Le *Leptadenia Hastata* :

Le *Leptadenia Hastata* couramment appelé fer de lance est une liane avec de nombreuses tiges volubiles ou rampantes pouvant s'étaler sur 20 m de diamètre ou grimper sur des arbres de plus de 20 m de hauteur.

Ses feuilles simples, opposées, sagittées, cordiformes ou entières au sommet souvent acuminé voire apiculés sont finement tomenteuses voire glabres à la face inférieure, et glabres à la face supérieure. Elles sont souvent longuement pétiolées (pétiole long de 7 à 20 mm). Leurs dimensions sont très variables selon les conditions de station. L'inflorescence est une glomérule axillaire à l'aisselle des feuilles avec des fleurs fasciculées de couleur jaune verdâtre et odorante. Elles sont hermaphrodites et régulières. Elles sont du type 5 (5 sépales soudées à la base, 5 pétales unies en un tube portant, à son sommet et intérieurement une couronne d'appendices ligulaires) en étoile.

Les fruits sont des follicules verdâtres, lisses ou presque, contenant plusieurs graines albuminées en nombre variable, munies d'aigrettes de poils soyeux facilitant leur dispersion au gré du vent.



### *LEPTADENIA HASTATA*

Le *Leptadenia Hastata* est une plante originaire d'Afrique tropicale où elle pousse dans toutes les zones. Les feuilles sont consommées après cuisson à l'eau salée et les fruits crus ou cuits. La plante entière est aussi un très bon fourrage pour les animaux. Elle est aussi utilisée pour arrêter l'érosion sous toutes ses formes.

Le *Leptadenia Hastata* pousse très vite aussi bien sur les sols sableux que sur les sols ferrugineux, s'adapte aux conditions hydriques difficiles, couvre bien le sol et piège, les particules fines du sol transportées par le vent et les fixe. Ainsi, il rend fertile les terres dénudées, pauvres et encroûtées. Il est permanent contrairement à la plupart des plantes de couverture préconisées qui sont des plantes annuelles.

Sa production et sa multiplication en pépinière sont facile et ne demandent pas de techniques spéciales.

### 5.1.2.2 *Le Moringa Oleifera* :

*Le Moringa Oleifera* fait partie de la famille des moringacées qui se compose d'un seul genre, *Moringa* et comprend une dizaine d'espèces asiatiques, africaines et malgaches. Les deux espèces qui présentent le plus d'intérêt pour leurs multiples usages sont :

- *Moringa Oleifera* : originaire d'Inde et cultivé dans toute la zone tropicale (Amérique Latine, Afrique dans la zone soudanienne, guinéenne et sahélo-soudanaise).
- *Moringa stenopetala* : originaire d'Afrique de l'Est, que l'on trouve à l'état sauvage ou cultivé du sud de l'Ethiopie au Nord du Kenya.



**Le Moringa Oleifera**

Le *Moringa oleifera* est un petit arbre ou arbuste élancé, atteignant 7 à 8 m de haut pouvant atteindre 25 m de haut pour les espèces les plus grandes. Son feuillage est très léger, 2 à 3 fois imparipennées à 4 ou 5 paires de pinnules pubescentes opposées; de 30 à 70 cm de long.

Les fruits sont des capsules de section triangulaire mesurant de 25 à 50 cm de long et 2 cm de diamètre renfermant des graines rondes, noires empilées sur 3 rangées centrales avec un diamètre de 10 à 12 mm ; munies de 3 ailes hyalines.

Les feuilles sont consommées crues, cuites à l'eau salée, elles sont utilisées dans la préparation de soupes, de sauces et du coucous en Afrique. Les graines des amandes de *M. Oleifera* contiennent une huile consommable.

Outre de nombreux produits alimentaires et médicaux, ces arbres fournissent des graines qui ont la faculté de flocculer les matières en suspension dans les eaux turbides.

### 5.1 3 Qualité des eaux utilisées

Les eaux utilisées pour l'arrosage des deux espèces proviennent de la station de traitement pilote par lagunage qui se situe en amont de la parcelle. Les différents paramètres de pollution sont déterminés selon la norme AFNOR. Le tableau ci-dessous montre que la qualité des eaux utilisées est conforme aux normes sanitaires pour une utilisation sans limite.

Tableau N°45 : Qualité des eaux utilisées au cours de l'expérience

DCO ( mg/l)	50 à 200
DBO ( mg/l)	20 à 30
MES ( mg/l)	20 à 100
NTK ( mg/l)	3 à 15
Ammoniums ( mg/l)	2 à 8
Orthophosphates ( mg/l)	0,3 à 2,5
PH	7,5 à 8,5
Coliformes (nombre/100 ml)	$10^2$ à $10^3$
Streptocoques (nombre/100 ml)	0 à $10^1$
Helminthes (nombre dans 1 l)	0

### 5.1.4 Irrigation

Le dispositif utilisé comprend deux blocs : Eaux claires et eaux usées.

Sur chaque bloc, quatre canaux d'écoulement des eaux sont creusés, ces canaux ont 15 m de longueur et 0,3 m de largeur. Ils sont distants de 2,7 m.

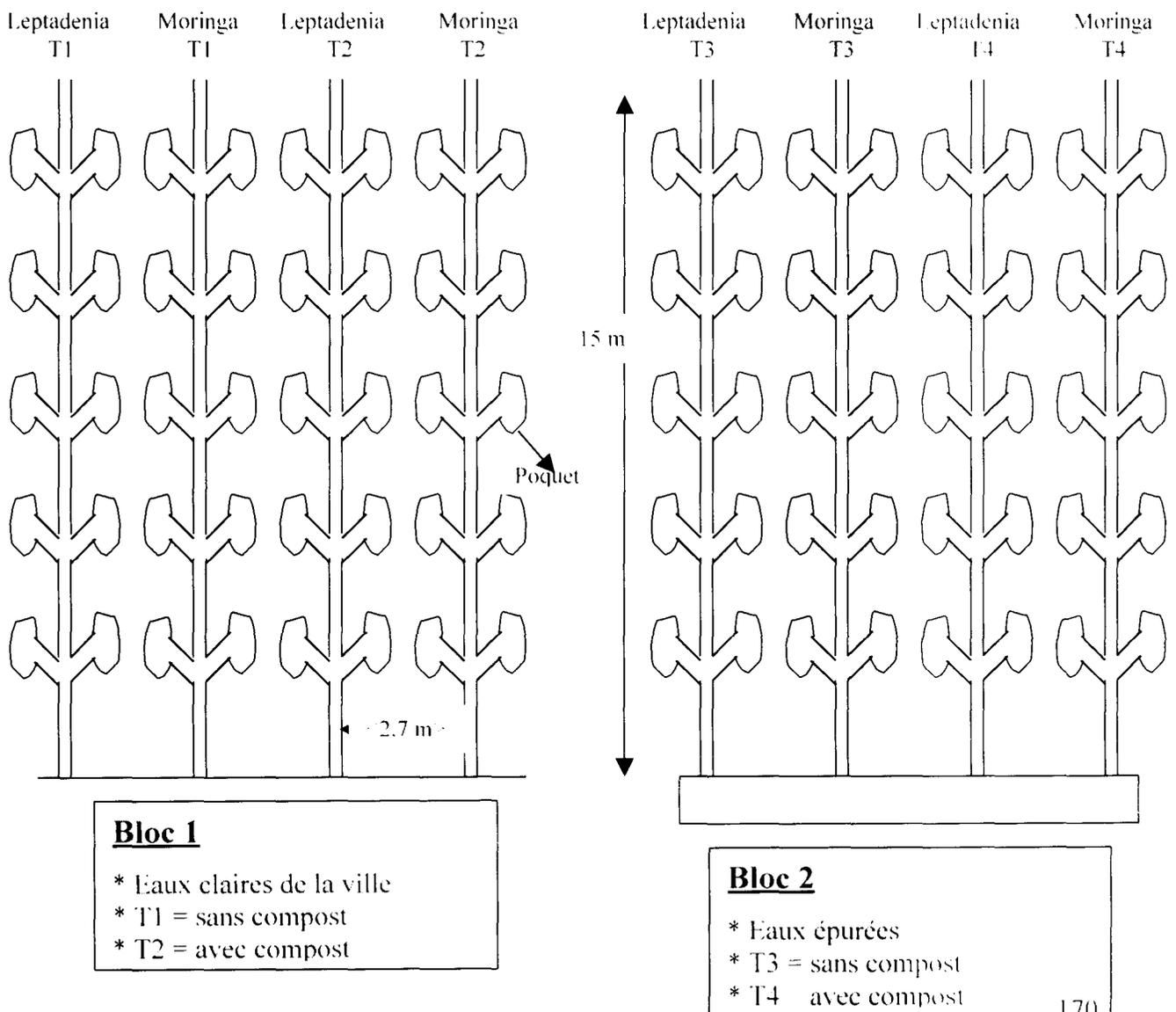
Les poquets de semis sont creusés de part et d'autre des canaux, à raison de 15 par côté soit un total de 30 poquets par canal. La distance entre deux poquets est de 1 m.

L'irrigation à la raie a été appliquée. Elle permet une alimentation gravitaire de la parcelle grâce à la pente du terrain. Avec un canal de 0,5 m de largeur, de 10,5 m de longueur et 25 cm de profondeur, muni de quatre vannes au niveau de chaque raie.

### 5.1.4.1 Traitements

Nous disposons de deux blocs et de quatre traitements :

- **bloc 1** : ensemble des parcelles arrosées à l'eau claire ;
- traitement 1 (T1) : eaux claires sans compost ;
- traitement 2 (T2) : eaux claires avec compost ;
- **bloc 2** : ensemble des parcelles arrosées à l'eau usée traitée ;
- traitement 3 (T3) : eaux usées traitées sans compost ;
- traitement 4 (T4) : eaux usées traitées avec compost.



### 5.1.5 Paramètres mesurés

Les paramètres mesurés sur les plants sont la hauteur, le diamètre à environ 3 cm du sol, le nombre de feuilles et le nombre de branches. Pour cela un échantillonnage de 33% avec un pas égale à 3 a été choisi. Ce qui fait que les mesures sont effectuées sur 10 poquets par traitement et par espèce.

Pour tous ces paramètres, nous faisons des mesures chaque semaine. En ce qui concerne la hauteur et le diamètre, les mesures ont été effectuées à l'aide d'une règle de 30 cm. Nous comptons toutes les branches et les nouvelles feuilles. Concernant les feuilles, nous additionnons le nombre de feuilles de la semaine précédente avec celui des nouvelles feuilles. Afin de déterminer le poids moyen d'une feuille, les feuilles fraîches sont pesées puis séchées pendant 24 heures à l'étuve à 105°C et pesées de nouveau. La surface foliaire moyenne est calculée à l'aide d'un papier millimétré.

### 5.1.6 RESULTATS EXPERIMENTAUX :



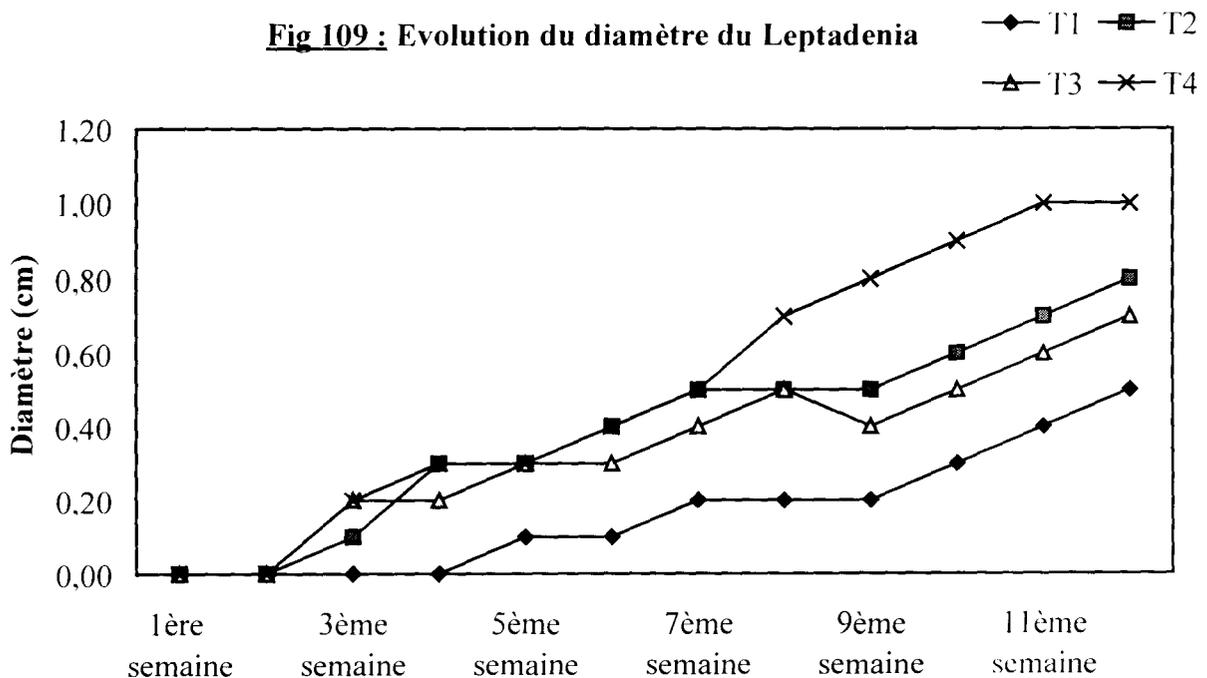
**Moringa et Leptadenia après 1 mois**

### 5.1.6.1 Suivi de la croissance en diamètre.

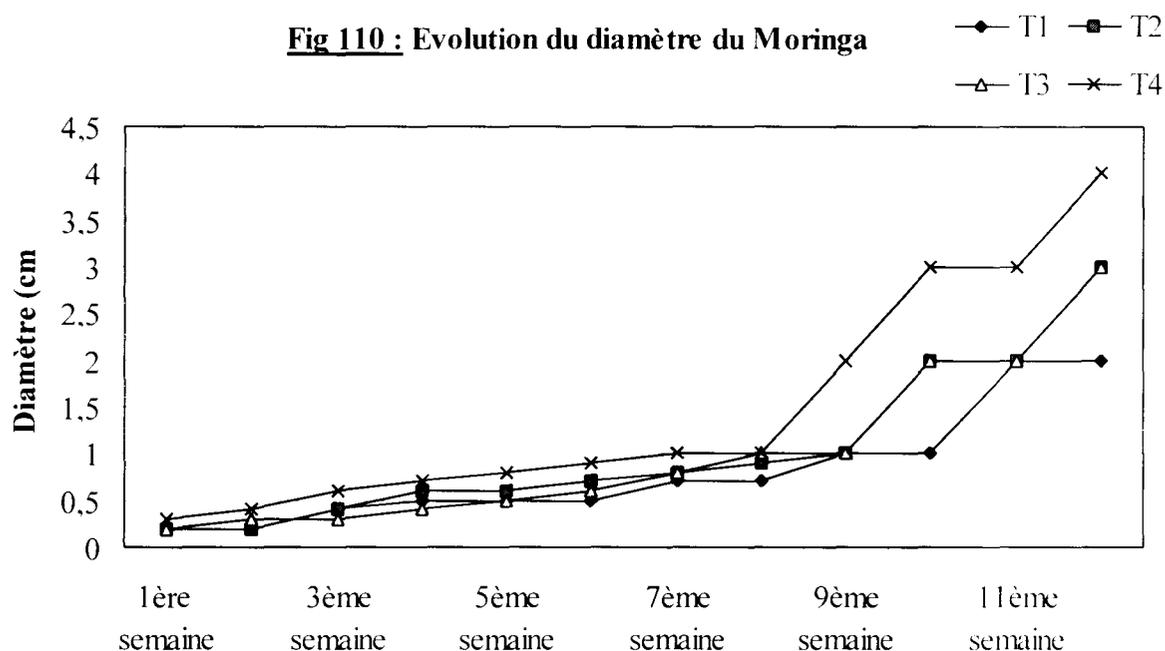
Les courbes de croissance, représentées ci-dessous, mettent en évidence une croissance en diamètre plus rapide des deux espèces arrosées avec les eaux usées épurées par rapport aux eaux claires. Lorsque le sol est fertilisé au compost (traitement T4), la croissance est encore meilleure. Pour le cas de *Leptadenia hestata*, cette croissance se manifeste dès la troisième semaine après le semis, alors qu'elle ne commence qu'à la cinquième semaine pour le témoin T1, qui représente l'ensemble des plants arrosés avec des eaux claires de la ville sans apport de compost. A partir de la huitième semaine, le développement des diamètres des plantes arrosées avec les eaux usées semble se distinguer de manière évidente.

Pour *Moringa*, le développement des diamètres commence à se manifester dès la première semaine au niveau de toutes les variantes testées, mais à partir de la huitième semaine, comme pour le cas de *Leptadenia*, l'apport des eaux usées et du compost permettent d'obtenir une croissance nettement plus rapide. On remarque, en effet qu'en fin d'expérience, les deux plantes, arrosées avec des eaux usées, peuvent atteindre des diamètres deux fois plus importants que celles qui sont arrosées avec des eaux claires.

**Fig 109 : Evolution du diamètre du *Leptadenia***



**Fig 110 : Evolution du diamètre du Moringa**



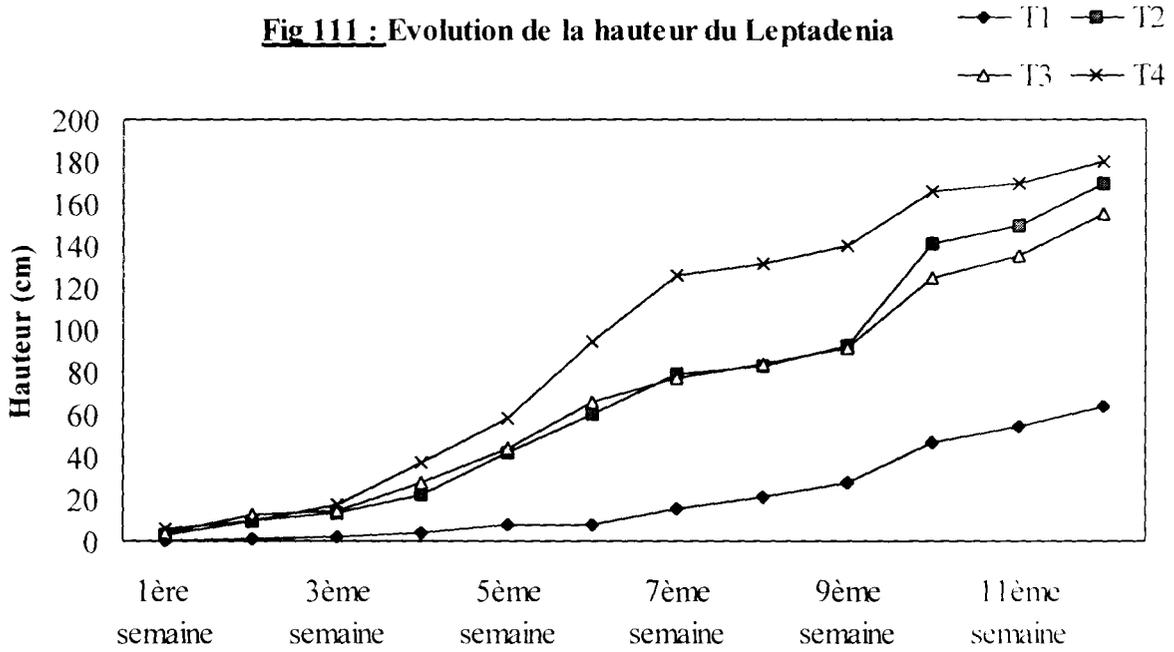
### 5.1.6.2 Suivi de la croissance en hauteur

Comme pour les diamètres, les courbes ci-dessous, montrent globalement une plus forte croissance des plants arrosés avec les eaux usées en présence du compost.

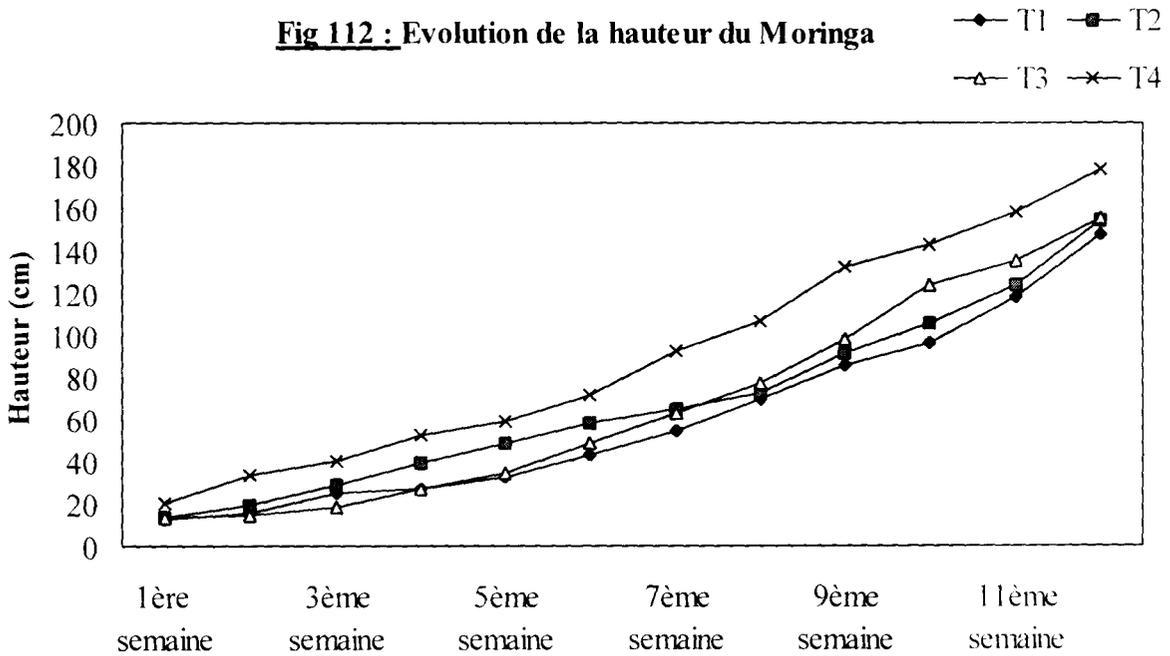
Pour les deux espèces testées, l'influence des eaux usées et du compost se manifeste dès le début de l'expérience, contrairement à leur influence au niveau de la croissance en diamètres qui, elle, ne paraît de manière évidente qu'à partir de la huitième semaine après le semis.

Les courbes montrent également que les hauteurs atteintes, en fin d'expérience, par *Leptadenia*, sont pratiquement deux fois plus importantes que pour les plantes témoins de la même espèce recevant des eaux claires.

**Fig 111 : Evolution de la hauteur du Leptadenia**



**Fig 112 : Evolution de la hauteur du Moringa**



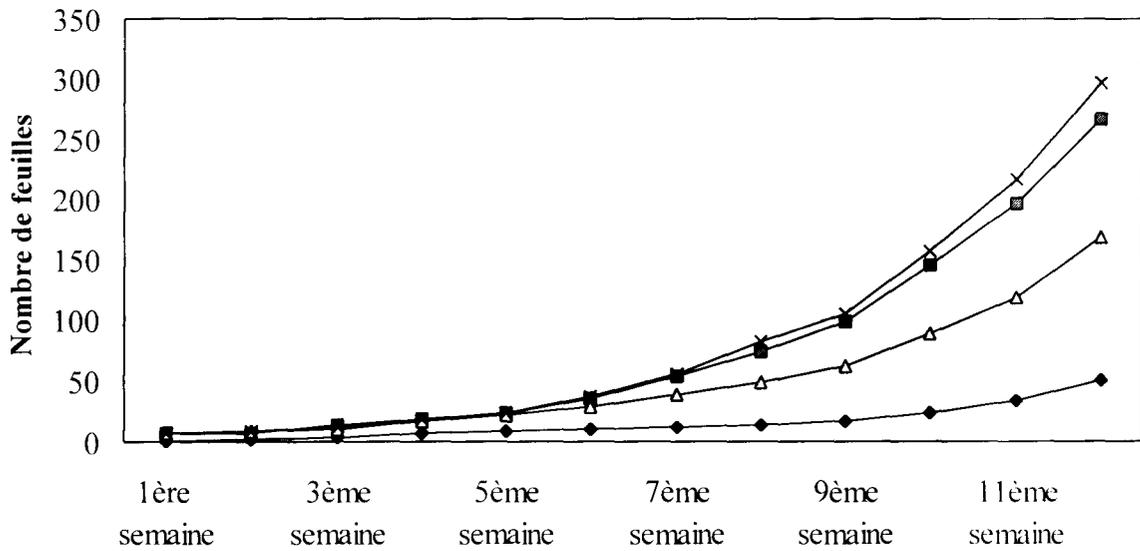
### 5.1.6.3 Suivi de la croissance en nombre de feuilles

L'évolution de la matière végétale, représentée par le nombre de feuilles, suit la même tendance que celle observée pour les deux précédents paramètres.

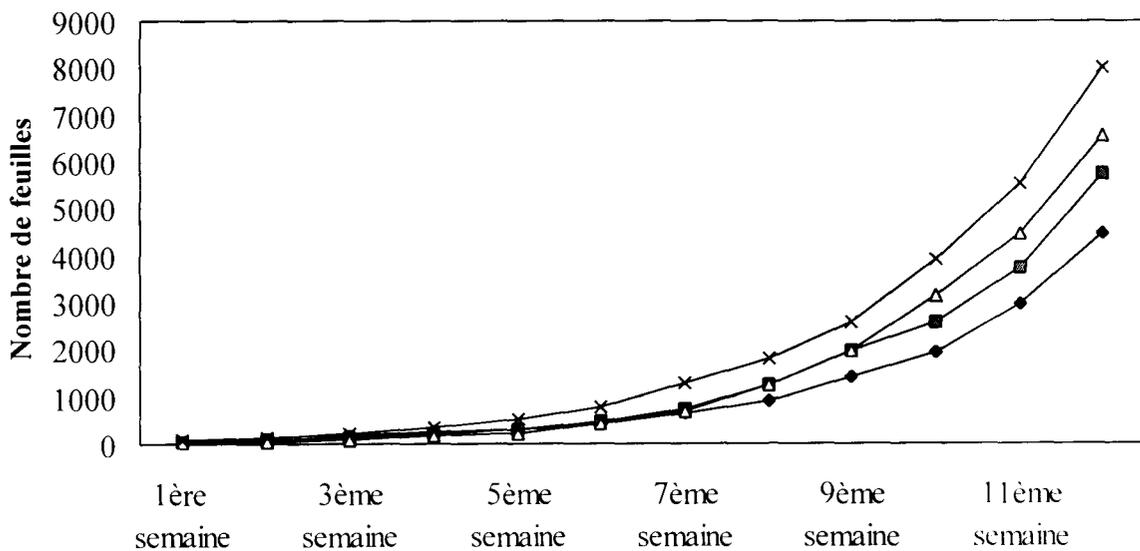
Les figures montrent, dans le cas de *Leptadenia*, que les plantes qui ont reçu les eaux épurées peuvent produire jusqu'à 5 fois plus de biomasse que

celles qui sont arrosées avec les eaux claires. Dans le cas de *Moringa*, la production végétale est approximativement deux fois plus importante.

**Fig 113 :** Evolution du nombre de feuilles du *Leptadenia* —◆— T1 —■— T2  
—△— T3 —×— T4



**Fig 114 :** Evolution du nombre de feuilles du *Moringa* —◆— T1 —■— T2  
—△— T3 —×— T4



## **CONCLUSION :**

L'étude a montré que les plantes arrosées avec les eaux épurées produisent une biomasse beaucoup plus importante que les plantes ayant reçu les eaux de la ville. Dans le cas de *Leptadenia*, les plantes ayant reçu les eaux épurées produisent jusqu'à 5 fois plus de biomasse que celles qui sont arrosées avec les eaux claires de la ville.

Cette étude montre enfin, que l'utilisation des eaux usées permet, dans le contexte local, de produire 9,2 t de matière fraîche de *Moringa* à l'hectare. Cette production peut générer un revenu potentiel compris entre 240.000 F et 260.000 F CFA à l'hectare qui pourra couvrir une partie des frais d'exploitation des installations de lagunage. Ce type de valorisation constituera un moyen durable d'autofinancement qui assurera, à terme, la pérennisation des investissements dans les pays en voie de développement.

## **5.2 LENTILES D'EAU ET TILAPIA : un mode de valorisation intégrée des sous produits de l'épuration.**

L'élevage des poissons en captivité était pratiqué depuis longtemps sur le pourtour méditerranéen. C'est l'une des plus anciennes formes de pisciculture.

Ce type d'élevage était fondé sur l'existence d'un tropisme migrateur qui pousse les poissons juvéniles nés en mer à gagner les lagunes littorales légèrement dessalées où ils bénéficient d'une plus forte production de nourriture.

L'intervention humaine consistait à aménager les lagunes littorales en construisant un système de barrages d'une hauteur suffisante pour endiguer les plus fortes marées et des chenaux pour le renouvellement de l'eau.

En eau douce, sur des espèces comme le tilapia, les carpes et les poissons chats, on pratiquait enrichissait le milieu avec des fertilisants.

Une technique beaucoup plus évoluée consiste à élever les poissons dans des bassins recevant directement des effluents issus de stations d'épuration riches en biomasse organique.

Notre expérience consiste en l'utilisation de la biomasse produite dans les bassins d'épuration pour alimenter des poissons élevés dans les eaux épurées issues de la station pilote de Niamey.

La biomasse utilisée pour l'alimentation des poissons est essentiellement la lentille d'eau produite dans les bassins d'épuration.

Les poissons choisis sont les tilapia nilotica pour la simple raison qu'ils sont très appréciés et donc couramment consommés dans les régions tropicales, mais aussi parce que ce sont des poissons qui supportent les conditions difficiles d'élevage.

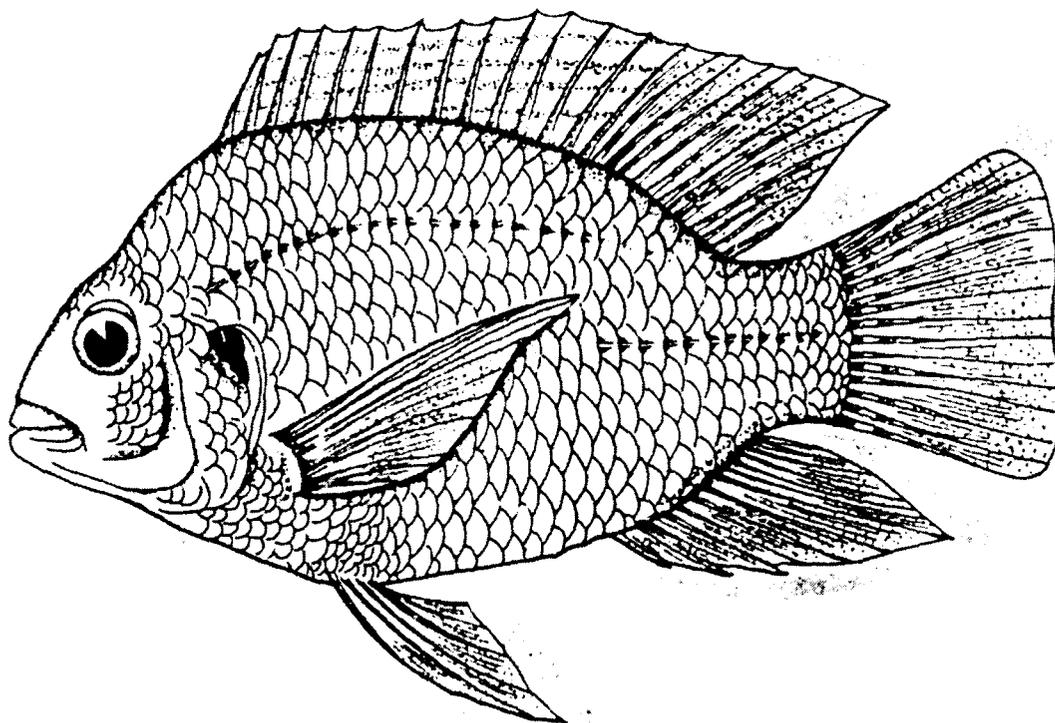
Afin de mieux apprécier le résultat de l'apport de lentilles d'eau, un autre élevage de bassin à poisson a été effectué en parallèle et dans les mêmes conditions.

Un suivi de la qualité des eaux, de la croissance des poissons et de la production des lentilles a été effectué sur une durée de quatre mois.

### **5.2.1 QUELQUES DONNEES BIOLOGIQUES SUR LE TILAPIA**

Le tilapia nilotica est un poisson d'eau douce de la famille des cichlides. C'est une espèce de poisson omnivore à tendance herbivore.

On le rencontre partout où la température de l'eau est suffisamment élevée pour sa survie et sa reproduction : Afrique, Asie, Amérique latine etc. Toutefois, dans certaines régions, son introduction est le fait de l'homme, mais sa niche écologique semble être l'Afrique, l'Israël étant la limite extrême nord .



#### **LE TILAPIA NILOTICA**

Le tilapia est un poisson très tolérant vis-à-vis des conditions physico-chimiques de l'eau. Son optimum de croissance se situe au environ de 25-28°C. La taille et le poids à maturité varient selon le milieu.

Il se reproduit dans des nids formant des cuvettes circulaires creusées sur le fond du bassin par le mâle.

Pendant la période de reproduction, les mâles présentent une forte agressivité. La femelle porte les œufs dans la bouche pendant l'incubation. Elle s'occupe seule des œufs et des jeunes.

Une femelle peut pondre 600 à 700 œufs par ponte et si elle est dans des bonnes conditions, elle peut effectuer 7 à 8 pontes par an.

**Tableau N° 46 :** paramètres physico-chimiques pour l'élevage de tilapia  
[P. LETOURNEL 1984]

Paramètres	Tolérance	Observation
Oxygène dissous (mg/l)	Au dessus de 2 mg/l	- En dessous de 3 : croissance altérée - En dessous de 1 : létale à longue échéance.
Température (°C)	10 à 40 °C	- 22 à 35 : optimum de reproduction - 25 à 28 : optimum de croissance - 10 à 15 : mort à plus longue échéance.
Salinité (%)	Au dessus de 35 %	- 30 à 35 : reproduction affectée - 10 à 15 : croissance stimulée.
pH	4 à 11	- 7 à 8 : optimum pour la ponte et pour la reproduction.
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	2,4	- 2 à 3 : létale à pH élevé

## 5.2.2 LES LENTILLES D'EAU DANS L'ALIMENTATION DES ANIMAUX:

Les lentilles d'eau renferment une grande quantité d'eau, de l'ordre de 95% et une teneur en azote très élevée.

**HARVEY,FOX (1973)** indiquent que les matières organiques constituent 87% de la matière sèche des lentilles d'eau.

Les protéines brutes se trouvent toujours en quantité importante et augmentent avec l'enrichissement du milieu. Il est généralement admis que la teneur en protéine peut varier de 25 à 40% du poids sec selon l'âge, la température et le milieu [**RUSOFF et al, 1980**].

Les lipides sont de l'ordre de 5 à 6 % et les fibres cellulosiques de 6,4 à 8%. Les analyses ont montré que les lentilles d'eau renferment tous les acides aminés essentiels.

Comparées aux plantes terrestres, les lentilles d'eau semblent présenter une teneur en protéines plus importantes selon **CULLEY,EPPS**. Comme le montre le tableau ci dessous :

Tableau N° 47: composition protéinique de quelques plantes :

Espèces	Teneur en protéine (%)
Lentilles	37
Maïs	8,8
Blé	14,7
arachide	23,6

La valeur nutritionnelle des lentilles d'eau permet donc d'envisager leur utilisation pour l'alimentation des animaux.

Déjà dans de nombreux pays les lentilles d'eau sont consommées par les canards domestiques ou sauvages, par les poissons, par de nombreux herbivores et par les hommes [ **CULLEY,EPPS, RUSOFF et al** ].

La plus petite des lentilles ( *Wolffia arhiza*) est traditionnellement consommée comme légume en Birmanie, au Laos et au nord de la Thaïlande [ **BHANTHOMNAVIN et al, 1971** ].

L'utilisation des lentilles d'eau dans l'alimentation de la volaille a été testée par **MUZTAR et al en 1976**. Ces auteurs ont montré que les lentilles d'eau apportent des quantités très importantes de protéines, de pigments jaunes pour l'œuf et certains acides aminés essentiels.

Sur les ruminants, **RUSOFF et al** ont prouvé que les lentilles d'eau sont bien consommées par les bovins. De plus leur appétibilité augmente si elles subissent un lavage préalable.

L'utilisation des lentilles d'eau pour nourrir les poissons a été testée par plusieurs chercheurs depuis longtemps. On peut citer **EDWARDS, 1975 ; DUTHU et KILGER, 1975** et plus récemment **SKILLICORN, 1993** et **ALAERTS, 1996**. Tous ces chercheurs ont montré que les lentilles d'eau représentent une source appropriée de protéines pour les espèces phytophages.

### **5.2.3 MATERIEL ET METHODES :**

#### **5.2.3.1 La pisciculture:**

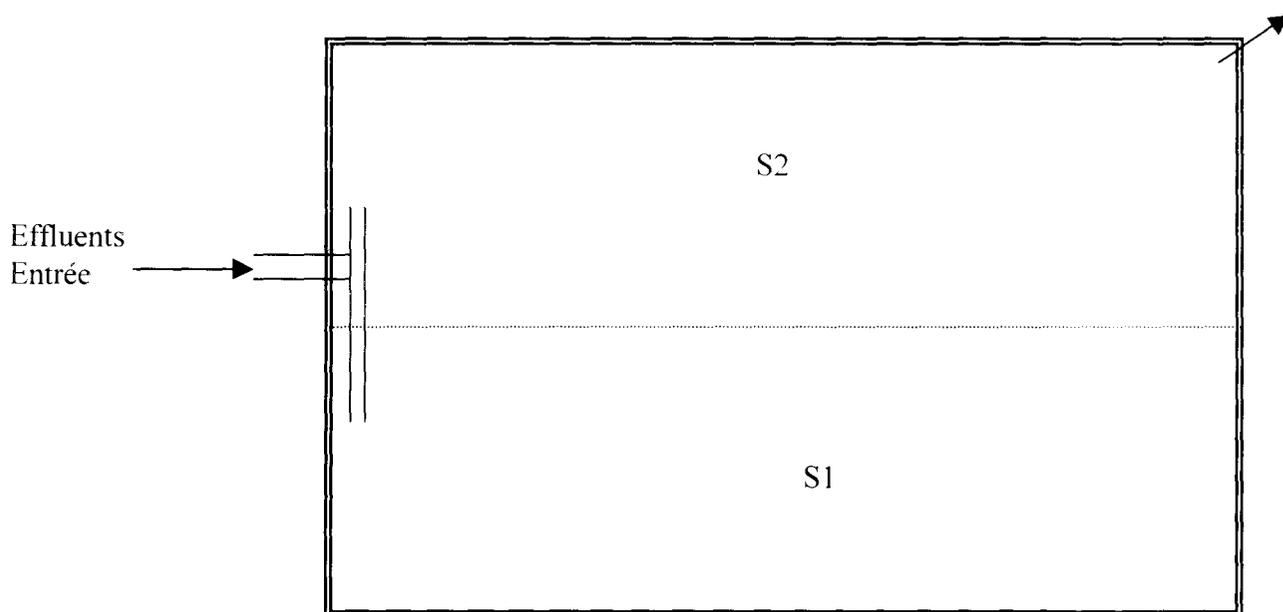
Les essais ont été réalisés dans un bassin appelé bassin S qui a une superficie de 30 m<sup>2</sup> environ et une profondeur de 50 cm. Il a été divisé en deux parties égales S1 et S2 à l'aide d'une grille en plastique dont les trous font environ 1 cm de diamètre. Ce qui nous permet d'avoir des effluents ayant les mêmes caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques dans les deux compartiments S1 et S2.

Les parois du bassin sont en béton et le fond en terre argileuse.

Les eaux à l'entrée du bassin S proviennent des filières de la station d'épuration pilote, collectées dans le bassin P.

L'empoissonnement a été réalisé avec des tilapias des deux sexes sans distinction, leur poids moyen est de 12 g environ et la taille moyenne de 10 cm .

Chaque compartiment a abrité 70 poissons soit une densité moyenne de 5 individus par m<sup>2</sup>.



### **Schéma du dispositif expérimental : bassin S**

Les poissons du compartiment S2 ont été alimentés par des lentilles d'eau récoltées dans les bassins d'épuration de la station pilote. Les lentilles sont introduites dans le bassin à l'état frais aux environs de 10 heures du matin en raison de 500 grammes par jour. La quantité introduite est intégralement consommée dans les heures qui suivent.

Les poissons du bassin S1 n'ont reçu aucun aliment en provenance de l'extérieure.

Dans les deux cas, les poissons peuvent se nourrir aussi du plancton et de détritits contenus dans les effluents.

#### **5.2.3.2 Récolte des lentilles d'eau :**

Les lentilles d'eau sont récoltées une fois tous les deux jours dans chaque bassin. Les récoltes sont faites à l'aide des tamis de 0,8 à 1 mm de diamètre. L'estimation de la densité au m<sup>2</sup> est faite à l'aide d'un carré fabriqué sur place avec un tuyau en PVC.

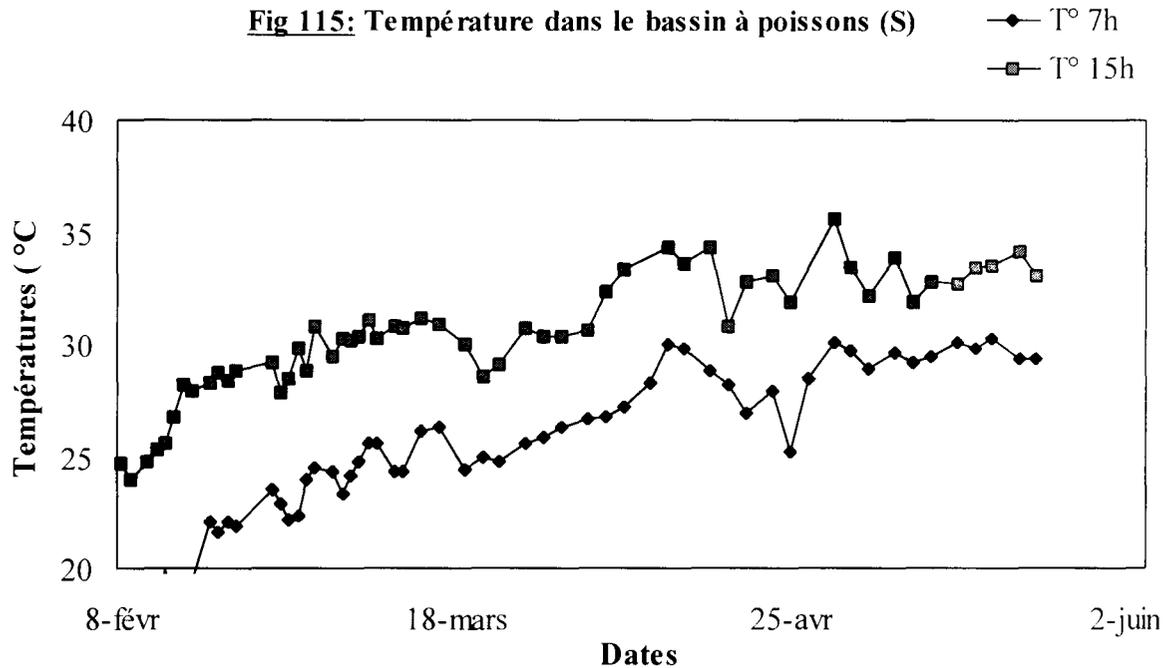
Du 01/02/02 au 11/03/02, les lentilles sont d'abord récoltées par m<sup>2</sup> puis par bassin. A compter du 12/03/02, on a récolté d'abord les lentilles par bassin puis on homogénéise le milieu et on effectue la récolte par m<sup>2</sup>.



## **5.2.4 RESULTATS EXPERIMENTAUX :**

Le bassin S étant compartimenté par une cloison grillagée, les effluents contenus dans les deux compartiments S1 et S2 sont identiques. Les paramètres sont de ce point de vue mesurés en un seul point à savoir à la sortie du bassin.

### **5.2.4.1 Evolution de la température :**

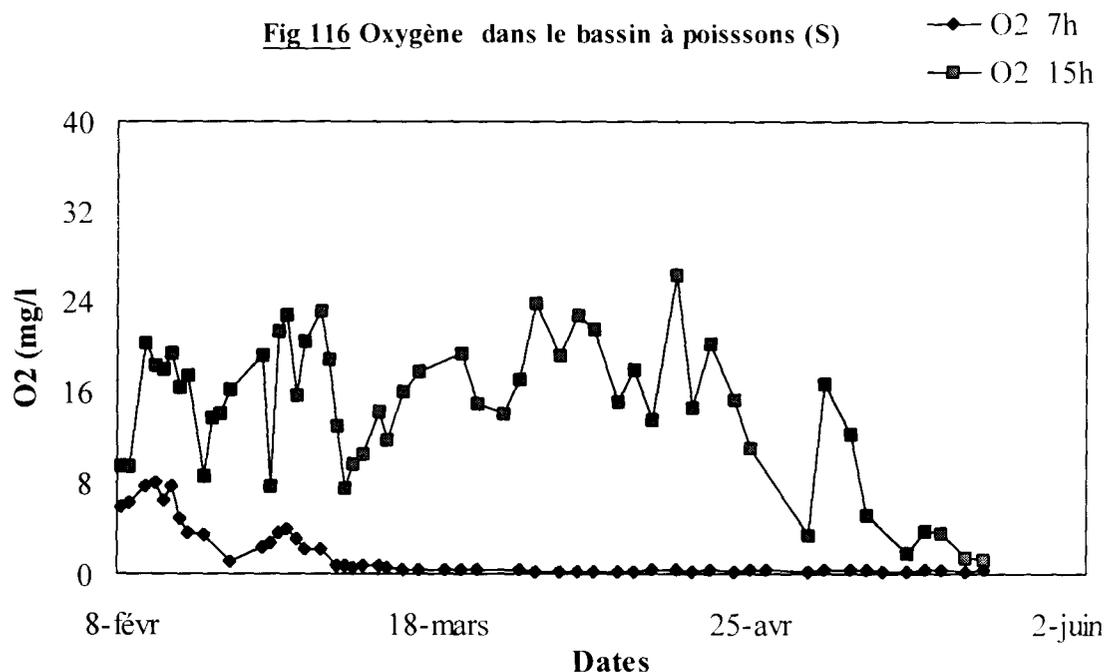


Dans le bassin à poissons, les températures matinales ont évolué entre 18 et 25°C de février jusqu'au 20 mars et entre 25 et 30°C pour le restant de la période expérimentale. Les températures dans la journée ont évolué entre 25 et 31°C de février jusqu'au 20 mars et 30 à 35°C au-delà.

Ces températures sont très favorables au développement des tilapias dont l'optimum de croissance se situe entre 25 et 28°C. Elles peuvent cependant être préjudiciables du fait de l'augmentation de l'ammoniac que les valeurs élevées de ces températures peuvent provoquer. Ces remarques sont aussi valables pour les lentilles d'eau qui ont un optimum de croissance autour de 30°C.

La conjugaison de l'effet de la température et de la production de l'ammoniac dans le bassin à lentilles, a fait chuter la productivité de ces dernières.

### 5.2.4.2 Evolution de l'oxygène dissous :



La figure 116 donne l'évolution de l'oxygène dissous dans le bassin S relevé le matin à 7 heures et dans la journée à 15 heures. Du mois de février jusqu'au 15 mars du fait de l'absence du phytoplancton dans le bassin à poisson, l'oxygène dissous provient essentiellement du brassage air-eau. Les valeurs enregistrées sont comprises entre 0,4 et 8 mg/l pour les valeurs matinales.

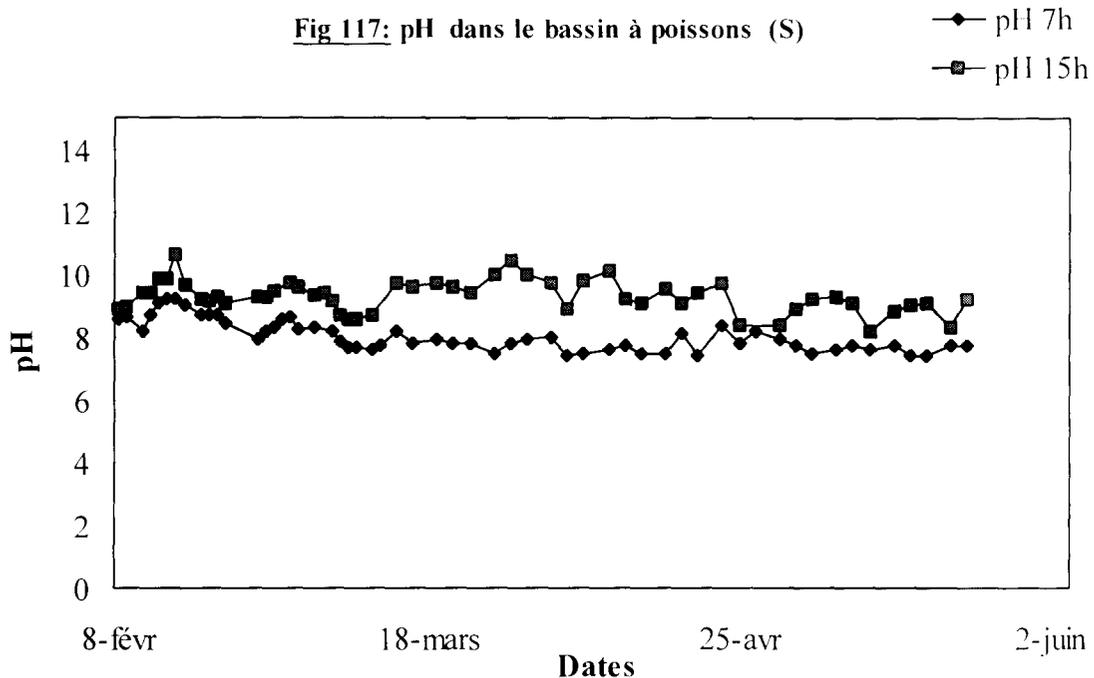
Au-delà du 15 mars, du fait de la présence d'algues en abondance dans le bassin, les valeurs de l'oxygène dissous relevées le matin sont quasiment nulles. En effet dans la nuit la production d'oxygène est nulle par manque de photosynthèse. Le peu d'oxygène qui reste dans les eaux est d'autre part consommé par les algues en décomposition.

Dans la journée, les valeurs de l'oxygène dissous ont varié entre 8 et 24 mg/l en l'absence d'algue c'est à dire du mois de février au 15 mars. De plus cette période correspond aux valeurs de températures les plus basses de l'expérience. Du 15 mars à la fin du mois d'avril, l'oxygène dissous a varié dans la journée entre 12 et 25 mg/l. C'est la période d'ensoleillement maximale qui correspond au bloom planctonique dans le bassin.



A partir du mois de mai, l'effet de la chaleur a commencé à se faire sentir sur la production d'oxygène du fait de la diminution d'algues vertes dans le bassin ; diminution provoquée par une remontée de boue en provenance du fond du bassin.

### 5.2.4.3 Evolution du pH :



Les courbes des pH représentées sur la figure 117, font ressortir trois zones : La période qui couvre le mois de février jusqu'au 15 mars, la période qui va de la deuxième quinzaine de mars à fin avril et la période qui couvre le mois de mai.

Au cours de la première période, le pH a varié entre 8 et 9 pour les valeurs matinales et entre 8,5 et 9,8 pour les valeurs relevées à 15 heures dans la journée. Cette période correspond aux faibles concentrations en algues vertes du bassin et qui coïncide avec les plus faibles valeurs de températures de cette expérience. Les variations entre le pH matinal et le pH de la journée se situent entre 0,5 et 0,8 unité. Ce faible écart explique les faibles activités photosynthétiques des algues dans le bassin au cours de cette période.

Au cours de la deuxième période, le pH matinal a varié entre 7,5 et 8 et celui de 15 heures entre 9 et 10. C'est la période où nous avons observé les concentrations les plus importantes en algues vertes. Les valeurs élevées des pH

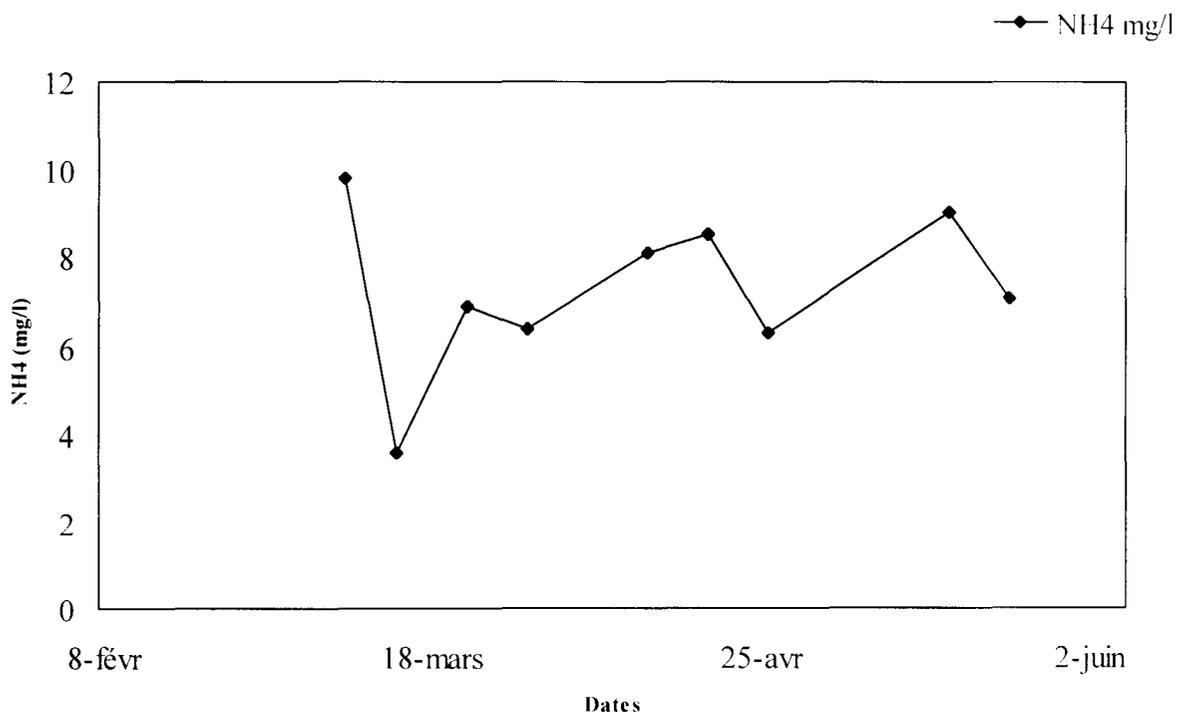
dans la journée et celles relativement faibles des pH le matin, s'expliquent par l'importante activité des algues vertes, qui absorbent le gaz carbonique dans la journée pour leur photosynthèse. La nuit, par manque de photosynthèse, le CO<sub>2</sub> fait baisser le pH du milieu. Les écarts entre les valeurs du pH relevées le matin et celles relevées dans la journée tournent au tour de 2 unités soit trois à quatre fois plus que les écarts observés au cours de la première période.

Au cours de la troisième période, les pH ont varié entre 7,5 et 7,8 le matin et 8 à 9 pour les valeurs de la journée.

#### **5.2.4.4 Evolution du NH<sub>4</sub>:**

Le NH<sub>4</sub> représenté par la figure 118, a varié entre 4 mg/l et 9,8 mg/l avec une moyenne de 7 mg/l. Ces valeurs très élevées pour un bassin piscicole sont dues aux valeurs à l'entrée qui sont en moyenne de 15 mg/l. Malgré ces valeurs, nous n'avons pas observé de mortalité des poissons dans nos bassins. Il faut signaler que nous avons bénéficié de la faveur du pH matinal qui est compris entre 7,5 et 8 ; valeurs qui n'ont pas favorisé la forme toxique de l'ammoniac à savoir le NH<sub>3</sub>.

**Fig 118: Evolution du NH<sub>4</sub> dans le bassin à poissons (S)**



### 5.2.4.5 Evolution du poids moyen individuel :

La figure 119 représente l'évolution des poids moyens individuels des poissons dans les compartiments S1 et S2.

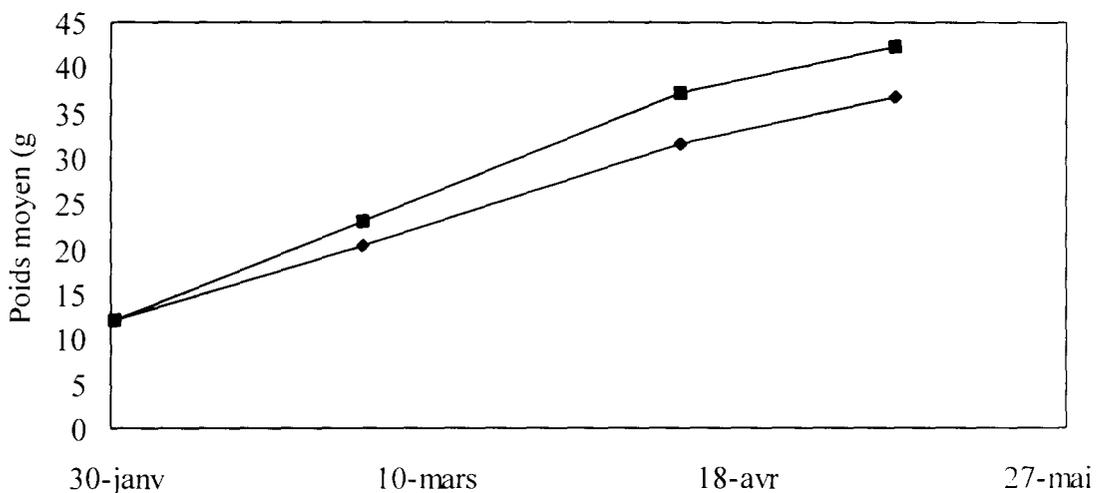
Dans le compartiment S1, qui a abrité les poissons non alimentés par les lentilles, les poids moyens sont passés de 12 g à l'empoissonnement le 30/01/02, à 36,7 g le 08/05/02. Ce qui correspond à un gain en poids de 24,7 g en trois mois environ.

Dans le compartiment S2 les poissons ont reçu 500 g de lentilles d'eau fraîches par jour soit l'équivalent d'environ 7 g par jour et par poisson. Le poids moyen dans ce compartiment est passé de 12 g à 42,3 g en trois mois. Soit un taux de croissance de l'ordre de 1,5 g/m<sup>2</sup>/j.

Comparé au poisson du compartiment S1, celui du compartiment S2 avec un gain en poids de 30,3 g par poisson en trois mois, il dépasse de 5,6 g le poisson du compartiment S1.

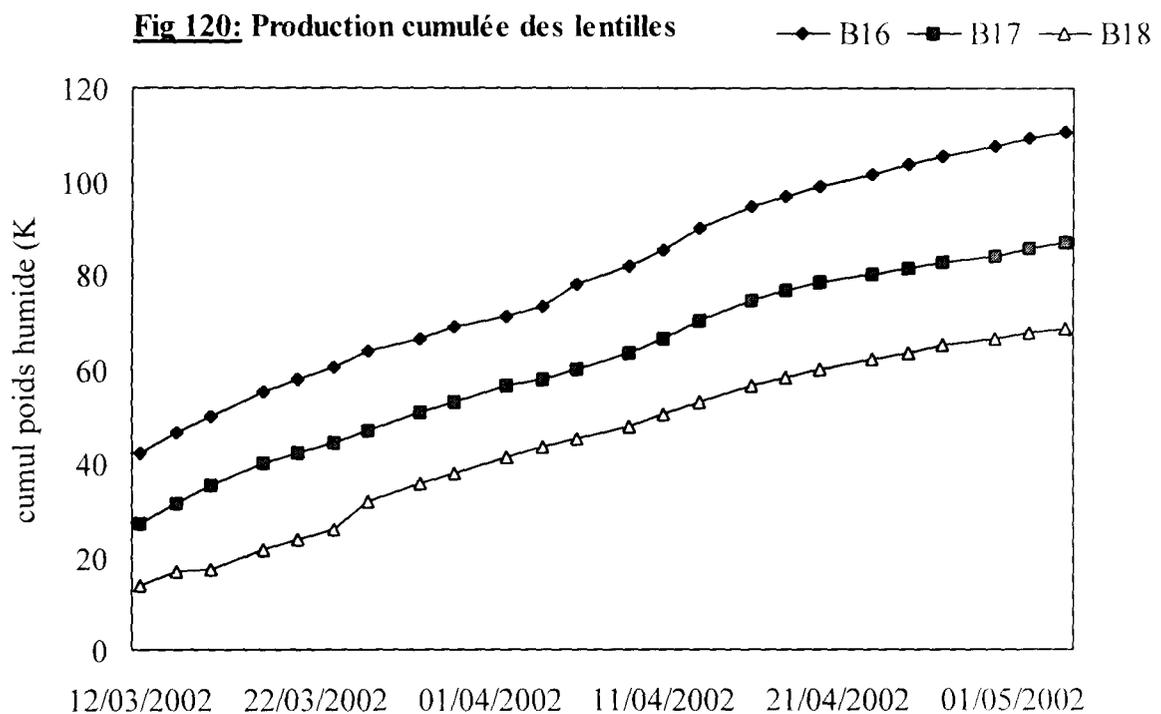
**Fig 119:** Evolution du poids moyen des poissons

—◆— S1  
—■— S2



#### 5.2.4.6 La production des lentilles d'eau dans les bassins d'épuration :

La récolte des lentilles d'eau a été effectuée manuellement une fois tous les deux jours à l'exception des dimanches et jours fériés. On récolte entre un tiers et la moitié de la surface du bassin selon la densité observée visuellement. Après ré-étalage des lentilles, la densité exacte est déterminée à l'aide d'un carré en plastique d'un mètre de coté. L'ensemble de la biomasse récoltée est pesé pour obtenir la production cumulée pour chaque bassin. Cette méthode de récolte a été instituée à compter du 12 mars. La figure 120 représente cette production.



#### 5.2.4.7. CONCLUSION :

L'étude a montré que les poissons ayant reçu des lentilles d'eau en complément d'aliments en plus de ceux contenus dans les effluents, se développent beaucoup plus rapidement que les poissons n'ayant pas reçu les lentilles.

La production de poissons tilapia au cours de notre expérience a atteint environ 500kg/ha/mois ce qui représente environ 500 000 f cfa de revenu par mois sur un hectare.

### **5.3 LA JACINTHE D'EAU DANS LA FABRICATION DU PANNEAU AGGLOMERE.**

#### **INTRODUCTION :**

La jacinthe d'eau de son nom scientifique *Eichhornia crassipes*, est une plante aquatique flottante, présente dans de nombreux étangs et cours d'eau des régions tropicales et tempérées.

La plante est composée d'un pétiole ou tige verticale et charnue, à partir de laquelle les racines, les feuilles et les fleurs se développent. Elle est enflée et spongieuse ce qui permet la libre flottation de la plante.



**la Jacinthe d'eau sur le fleuve Niger**

Un pied isolé comporte à la base de chaque pétiole des membranes gonflées d'air appelées rhizome servant de bouées et dont la structure interne ressemble à celle de la mousse plastique. La rosette des pétioles forme donc un anneau de bouées maintenant à flot la plante et l'empêchant de se retourner.

La jacinthe d'eau se reproduit à la fois végétativement ( par rejet ) et sexuellement ( par graines ).

Le mode de reproduction végétative c'est à dire non sexué, se fait par l'intermédiaire de minces lianes appelées stolons qui s'étirent sur la surface de l'eau et dont les extrémités donnent un nouvel individu entourant ainsi la plante mère de nombreux rejetons en quelques jours.

Dans les conditions tropicales, la productivité de la jacinthe d'eau est estimée à 3000 tonnes de matières fraîches par hectare et par an .

Parmi toutes les plantes connues de l'homme, c'est probablement celle qui croît le plus rapidement.

Originnaire d'Amérique tropicale, et connue jadis uniquement au Venezuela, la jacinthe d'eau est actuellement implantée dans presque la totalité des cours d'eau des pays tropicaux. On estime qu'elle pousse à présent dans environ 50 pays répartis sur toute la surface du globe terrestre.

Sa propagation au cours du siècle dernier est due à son aspect attrayant. Elle est en effet constituée par une rosette flottante composée de feuilles vertes ornée de délicates fleurs blanches légèrement bleutées.

Mais la beauté de la jacinthe d'eau eut tôt fait de s'effacer devant les problèmes que créait cette plante.

En effet par son pouvoir prolifique, elle est capable d'envahir complètement des étendues d'eau en causant des dommages très importants par obstruction des installations de pompage d'eau et de canaux d'irrigation, entravant la navigation des cours d'eau, et accroître par son évapotranspiration intense, l'évaporation de certains plans d'eau, ce qui nuit à la pisciculture en gênant la circulation des poissons.

Les tentatives d'élimination totale de cette plante par des procédés mécaniques ou phytosanitaires sont restées vaines jusqu'à nos jours.

Dans son environnement naturel d'origine c'est à dire en Amérique latine, la croissance explosive de la jacinthe d'eau est équilibrée par la destruction que les insectes et les virus opèrent, minimisant ainsi tout effet négatif sur cet environnement.

Dans d'autres parties du monde où l'homme a introduit ce végétal, sa croissance débridée ne fut freinée par aucun régulateur naturel; et les tentatives de circonscrire si non d'éliminer ce sont restées vaines jusqu'à nos jours.

Depuis quelques années, les chercheurs se sont rendus compte que cette prolifération pouvait être domestiquée et qu'une valorisation de la plante était envisageable.

Actuellement avec l'évolution des techniques et des connaissances, plusieurs travaux de recherche à travers le monde visent non plus la destruction de la plante mais à la mise en valeur de certaines de ses propriétés. C'est dans ce cadre que nous avons montré la possibilité de fabriquer des « contre-plaquets » sous forme de panneaux agglomérés à partir de la jacinthe d'eau. Cette ingéniosité a conduit à l'obtention d'un brevet et nous a valu de nombreux prix au cours des concours régionaux dont :

- le prix du CAMES lors du Forum sur la recherche scientifique et l'innovation technologique (FRSIT) tenu à Ouagadougou au Burkina Faso en Avril 2000.
- Le prix de l'IFIA (fédération internationale des inventeurs) lors du 2<sup>ème</sup> salon Africain de l'invention et de l'innovation technologique, tenu à Lomé au Togo en Décembre 2000.

### 5.3.1 Productivité de la jacinthe dans les bassins d'épuration

Tableau N°48 : productivité de la jacinthe d'eau dans le premier bassin

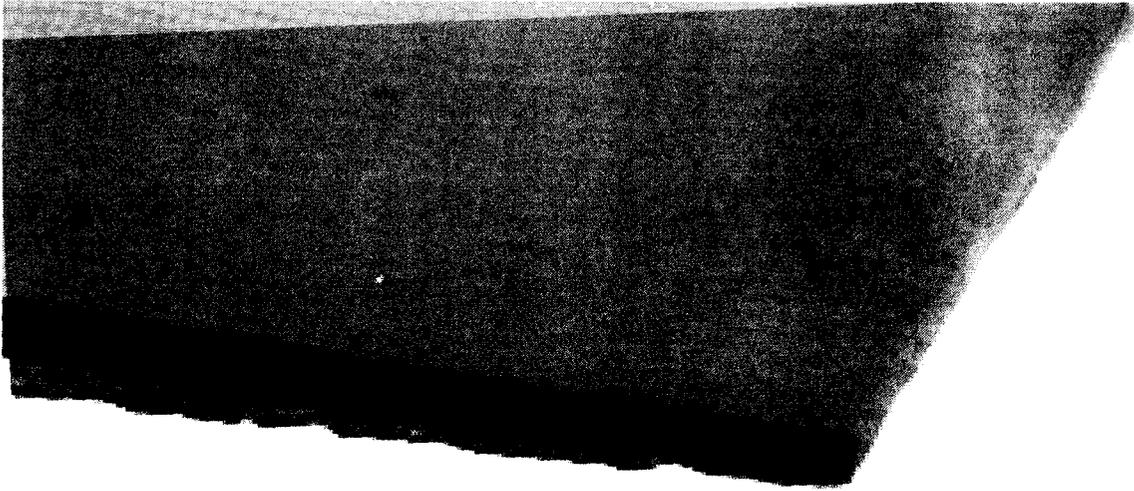
Période	24/05 au 04/06	04/06 au 14/06	14/06 au 25/06	25/06 au 05/07	05/07 au 16/07	16/07 au 26/07	26/07 au 06/08
Production par bassin	90 Kg	89 Kg	102 Kg	88 Kg	87 Kg	80 Kg	89 Kg
Production par m <sup>2</sup> /j	1,2 Kg	1,2 Kg	1,4 Kg	1,1 Kg	1,2 Kg	1,1 Kg	1,2 Kg

La production de jacinthes d'eau dans le premier bassin est presque constante durant toute la période de l'expérience. Elle est en moyenne de 1,2 Kg de matière fraîche par mètre carré et par jour. En considérant un taux de matière sèche de 8%, cela revient à une moyenne de 96 g de matière sèche par mètre carré et par jour. Soit l'équivalent de 350 tonnes de matière sèche par hectare et par an.

Pour les panneaux d'une épaisseur de 2 cm, qui utilisent 5 kg de jacinthes par mètre carré, on peut en fabriquer 70 000 m<sup>2</sup> par an avec un hectare de bassin.

### 5.3.2 Principe de fabrication du panneau aggloméré:

Les panneaux que nous proposons, sont fabriqués à partir de la jacinthe d'eau séchée puis broyée. Les particules obtenues sont ensuite encollées à l'aide d'un adhésif synthétique de type urée-formol. Le mélange est alors introduit dans un moule où, sous l'effet de la chaleur et de la pression donnera un panneau qui sera généralement recouvert d'un papier de finition.



#### **Panneau aggloméré à base de la jacinthe d'eau.**

Ces panneaux sont principalement utilisés pour des applications où la stabilité dimensionnelle est fondamentale telles que la fabrication des meubles haut de gamme, de recouvrement de planchers ou de faux-plafonds.

### 5.3.3 Principales étapes de fabrication du panneau aggloméré:

- Récolte de la plante et séchage au soleil :

La plante, une fois retirée de l'eau, est mise au séchage au soleil, pendant quelques jours afin de faciliter le broyage.

- Broyage :

Le broyage doit permettre d'obtenir des particules fines et des particules de taille moyenne. Les particules fines permettront d'avoir une surface lisse et les particules de taille moyenne permettront une meilleure liaison de toutes les particules au sein du panneau.

- Encollage :

L'encollage consiste à recouvrir uniformément les particules d'une fine couche de colle.

- Dosage :

Le dosage consiste à introduire dans le moule une quantité bien définie de particules. On déverse d'abord dans le moule une quantité de particules fines qui formera la couche extérieure. Puis on déverse une couche de particules moyennes qui formera la couche intermédiaire. En fin, on recouvre d'une couche de particules fines, pour obtenir une structure parfaitement symétrique.

- Pressage :

Il s'agit d'exercer une grande pression sur un « gâteau » de façon à lier solidement les particules les une aux autres. La pression doit être uniforme sur l'ensemble du gâteau.

- Séchage :

Le gâteau pressé, doit être mis au séchage. Tout comme le pressage, le séchage doit être uniforme sur l'ensemble de la surface et aussi uniforme en surface qu'à l'intérieur.

Une fois que les panneaux sont secs, on procède au calibrage, c'est à dire qu'on coupe les arrêtes bien droites.

- Ponçage :

Pour terminer, on procède au ponçage des panneaux de manière à avoir des surfaces lisses et planes pour mieux poser le papier formica.

## **CONCLUSION :**

La jacinthe d'eau, considéré comme fléau à cause des multiples problèmes qu'elle cause dans les cours d'eau présente actuellement une nouvelle image grâce aux diverses possibilités de valorisation qu'elle offre : Epurer les eaux usées et fabriquer des panneaux agglomérés.

Avec un hectare de jacinthes d'eau, on peut en une année produire 70 000 m<sup>2</sup> de panneaux d'une épaisseur de 2 cm.

## CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES :

Les essais que nous venons de mener ont permis de dégager un certain nombre de constats sur le traitement en lagunage intégral par la jacinthe d'eau et les lentilles d'eau. Une étude comparative par rapport au lagunage naturel à microphytes a permis d'effectuer un classement des différentes techniques d'épuration.

- La filière F<sub>mac</sub>, composé de deux bassins à jacinthes d'eau suivie d'un rock-filter planté de bourgou a donné des rendements épuratoires particulièrement satisfaisants en ce concerne les principaux paramètres de pollution : 95% sur les MES, 94% sur les orthophosphates, 85% sur la DCO, 80% sur la DBO et 62% sur le NTK.

En plus de ces performances épuratoires, nous avons remarqué que la filière F<sub>mac</sub> supporte très bien les variations de charge à l'entrée.

Les performances de la filière F<sub>mac</sub> sont de loin supérieures à celles de toutes les filières testées au cours de notre expérience. Pour maintenir ces performances, on doit récolter tous les 10 à 12 jours la moitié de la surface du bassin.

Comparée à la filière de référence ( F<sub>ref</sub>), composée d'un bassin anaérobie qui a fonctionné comme bassin facultatif, suivi de deux bassins à microphytes, la filière F<sub>mac</sub> produit des effluents dont la valeur de certains paramètres est trois à huit fois plus faibles à celle de la filière F<sub>ref</sub>.

moyenne	DCO filtrée mg/l	MES mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l
Sortie F <sub>mac</sub>	42	13	0,3
Sortie F <sub>ref</sub>	116	98	2,3

- La filière F<sub>lem</sub>, composée de deux bassins à lentilles, suivis d'un bassin à microphytes, a aussi donné des rendements appréciables : 64% sur les MES, 59% sur la DCO brute, 57% sur la DBO brute, 56% sur les orthophosphates, et 59% sur le NTK.

Malgré ces résultats appréciables, les valeurs des paramètres à la sortie de la filière restent élevées : 115 mg/l pour la DCO filtrée contre 236 mg/l pour l'effluent brut ; 85 mg/l pour les MES et 1,7 mg/l pour les orthophosphates.

En plus de ces valeurs relativement élevées, le premier bassin de la filière F\_lem, qui a reçu des effluents bruts, a supporté difficilement les teneurs en ammoniacale qui sont en moyenne de 47,5 mg/l. Les mois les plus difficiles ont été les mois de mars, avril et mai qui sont les mois les plus chauds de l'année.

La qualité des effluents à la sortie de la filière à lentilles d'eau s'est nettement améliorée après avoir fait transiter les eaux dans des bassins à microphytes avant leur introduction dans les bassins à lentilles. C'est le constat fait avec la filière F\_lemte. Les performances épuratoires restent tout de même en deçà de celles de la filière F\_mac.

Comparée à la filière de référence, F\_ref, les filières à lentilles n'ont pas apporté des améliorations significatives sur la qualité des effluents traités.

L'avantage de la filière à lentilles par rapport au lagunage naturel, est l'importante production de la biomasse qui peut être directement valorisable.

De toutes les filières testées, seule la filière F\_mac respecte les normes de la législation nigérienne relative aux rejets des effluents, en son arrêté du 01/11/76 N°014/MMH/MDR/MI/MTP/T/U/MAECI, qui impose pour un déversement à proximité de prise d'eau pour l'alimentation, de lieux de baignade ou de pêche les valeurs suivantes pour les principaux paramètres : 30 mg/l pour les MES, 40 mg/l pour la DBO et 15 mg/l pour le NTK exprimé en ions ammoniums.

Les effluents issus du traitement par lagunage, de par leurs qualités physico-chimiques et bactériologiques, nous ont permis de tester leur efficacité dans la production forestière et la pisciculture.

Dans la production forestière, où nous avons utilisé le *Moringa oleifera* et le *Leptadenia Hastata*, les essais ont montré le pouvoir fertilisant des eaux épurées très supérieur à celui des eaux claires de la ville. Ce pouvoir fertilisant se fait encore plus ressentir quand on associe les eaux épurées à du compost. On peut produire jusqu'à 9,2 tonnes de matière fraîche de *Moringa* à l'hectare en trois mois. Ce qui équivaut à un revenu mensuel de près de 85 000 F cfa.

Dans le cas de la pisciculture, nous avons effectué une étude comparative de la production de Tilapia dans des eaux épurées sans apport extérieur de

nourriture et dans les mêmes eaux avec incorporation de 5 à 7 g de lentilles d'eau fraîches par jour et par poisson.

Les essais ont montré un gain de poids beaucoup plus important chez les poissons ayant reçu des lentilles. La production dans ce cas peut atteindre jusqu'à 500 kg de poissons par hectare en un seul mois. Ce qui équivaut à une valeur marchande de l'ordre de 500 000 F cfa.

Le lagunage à macrophytes permet de produire une importante quantité de biomasse directement valorisable. Dans notre cas : les lentilles d'eau, le bourgou et la jacinthe d'eau.

- Les lentilles d'eau sont utilisées dans l'alimentation des poissons et de la volaille. La production peut atteindre 700 kg de matière fraîche de lentilles par hectare en une seule journée.
- Le bourgou peut être utilisé dans l'alimentation des ruminants.
- La jacinthe, de par sa composition, peut être utilisée dans la fabrication des panneaux agglomérés.

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

Agendia, P. L., Noumsi, Y. M. K., Fonkou, Mefenya, R. and Sonwa, J. D. (1997). "Compost production from pistia stratiotes biomass generated by a macrophyticsewage treatemet system in Yaoundé (Cameroun)." Cahiers Agriculture 6(1): 15-19.

Agendia, P.L. (1987). Bioaccumulation of mineral nutrients by some typical aquatic macrophytes : application in the purification of Byem-Assi domestic sewage. Doctorat de spécialité / University of Yaoundé. 161 p.

ALAERTS G.J. et al ( 1996) " Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon water research; Vol.30, N°4, pp 843-852.

Aquadev (2000). Assainissement Urbain en Afrique : Actes du séminaire International de Gorée (Dakar). Gorée - Dakar, Aquadev. 104 p.

Armstrong , W. (1978). Root aeration in in wetlands conditions . Plant life in anaerobic environments . Hook, D.D.and Crawford, R.M.M Ann Arbor – Mich ., Ann Arbor Science : 269-297

Bachand , P.A.M. and Horne , A.J. (1999) "Denitrification in constructed free-water surface Wetlands :II. Effects of vegetation and temperature " Ecological Engineering 14(1-2): 17-32

BCEOM (1990). Rapport d'expérimentation sur le projet pilote de Dabou, Côte d'Ivoire. Epuration des eaux usées par lagunage. Mission Française de Coopération en Côte d'Ivoire; Abidjan. 39p.

BHANTHOMANVIN et al ( 1971) " Wolffia arhiza as a possible source of inexpensive protein". Nature, 232, pp495.

BOUARAB L. ( 1988) « Contribution à l'étude des différentes formes du phosphore dans le lagunage naturel : station expérimentale de Marrakech. Thèse de doctorat université Cadi Ayyad. Marrakech.

BOUBACAR Y. (2002) " Possibilités d'utilisation des eaux usées dans la production forestière". Mémoire d'ingénieur Fac d'agro Niamey.

Boudin, C., Robert, V., Carnevale, P. and P., A. T. (1992). " Epidemiology of plasmodium falciparum in rice field and savana area in Burkina Faso. Comparative study on the acquired immuno protection in the native populations." Act. Trop. (51): 103-111.

BOUTIN C. (1983) « Etude sur le site réel de l'exploitation d'éléments nutritifs par lentilles d'eau ». Mémoire ENITRIS Strasbourg.

Brix , H.(1994). " Functions of Macrophytes in constructed Wetlands." Water Science and Technology 29(4):71-78

Brix, H. (1997) " Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlandsN" Water Science and technology 35(5):11-17

Bungener, J.- L. (1991). Observation de l'activité biologique sur les lagunes de l'EIER. EIER; Ouagadougou - BF. 6p.

Charbonnel, Y. (1989). Manuel du lagunage à macrophytes en régions tropicales. Paris, A.C.C.T. 37p.

Charbonnel, Y. and Simo, A. (1986). Procédé et systèmes de traitement biologiques d'eaux résiduaires. Université de Yaoundé, Brevet OAPI n° 8320. 11.

CHASSANY DE CASABIANCA (1982) " Production de biomasse macrophytique flottante et épuration des eaux résiduaires". Tech. Eaux et Assaini. N°422.

CIEH (1972). Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques – " Etude économique comparative de différents procédés de traitement des eaux usées sous climat tropical". CIEH; Ouagadougou. 24 p.

CIEH (1993). Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques – "Etude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain". CIEH; ouagadougou. 66p.

CREPA (2002). Atelier de restitution du programme régional de recherche appliquée de la phase IV du CREPA, Rapport Général. CREPA; Ouagadougou, BF. 17 p + annexes.

CULLEY DD. JR. (1973) « Utilisation des lentilles d'eau pour le traitement des eaux usées et l'alimentation animale ». J. Wat. Pollut. Control Feder. Vol 45, N°2 pp 337-347.

CULLEY et al ( 1978) " Water quality renovation of animal waste lagoons utilising aquatic plants". U.S. Env. Port. Agency. EPA. Publ. N°600/2.

CULLEY, EPPS (1973) " Use of duckweeds for waste traitement and animal food" J.W.P.C.F. 45 ( 2) pp 337-347.

Darriulat, C. (1991). Bassins de stabilisation en climat sahélien : comportement physico-chimique et description de la biomasse pour une charge donnée. Travail pratique de diplôme. Travail de diplôme EPFL; Lausanne.

DeBusk, T.A. and Reddy, K.R. (1987). "Bod Removal in Floating Aquatic Macrophyte Based Waste water Treatment Systems" Water Sci Technol 19(12): 273-279

DeBusk, T.A. and Ryther, J.H. (1984). Nutrient removal from domestic waste water by water hyacinth : Importance of plant growth, detritus production and denitrification In : proc on future of water reuse. Am. Water Works Ass. 2/3: pp. 713-722

Delgado, M., Bigeriego, M., Walter, I. And Guardiola, E. (1994). "Optimization of conditions for growth of Water Hyacinth in biological treatment." Rev Int cnotam ambient 10(2): 63-68.

Dinges, R. (1978). "Upgrading stabilization pond effluent by water hyacinth culture" Journal Water pollution control Federation 50(5): 833-845.

Drakides, C. and Gervais, M. (1987). Potentialités désinfectantes du lagunage par microphytes en climat chaud - premières observations. Wastewater treatment in waste stabilisation ponds and aerated lagoons. Vander Borgh, P. and Vasel J-L. (Eds). Arlon - Belgium, FUL, Editions Cebedoc: 73-81

DUBOIS J.J. (1983) « Epuration des eaux usées en lagunage expérimental à macrophytes lentilles d'eau, jacinthe d'eau et cresson de fontaine : essais de Saint-Saveur ». Thèse de Doctorat CNRST 57212 (1-2).

DUTHU G.S. et al ( 1975) « Aquarium studies on the selectivity of 16 aquatic plants as food by fingerlings hybrids of the cross". J. Fish biol. 7, pp 203-208.

Eckenfelder, W. W. (1982). Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, caractérisation, techniques d'épuration, aspects économiques. Paris, Technique & Documentation Lavoisier. XVI, 503 p.

Edeline, F. (1993). L' épuration biologique des eaux théorie & technologie des reacteurs. Liège, Cebedoc Editeur (etc.). 303p

EDWARDS D.J. 1975 " Weed preference and growth of yong grass corp in new zealand". Journal of marine and freshwater research. 8,2, pp 341-350.

ENDA (2000). Enda Tiers Monde. L'épuration extensive de eaux usées par leur réutilisation dans l'agriculture urbaine : de technologies appropriées en zone sahélienne pour la lutte contre la pauvreté projet 04367. Enda Tiers Monde - ; Dakar. 69 p.

F.SAUZE (1984) « Culture de jacinthe d'eau sur eaux résiduaires » EDF, Bulletin de la direction de recherche serie A, N°3/4, pp. 29-34.

FAO (10 march 2000). A Climatic Database for CROPWAT.

FAO (1979) " Handbook of utilisation of aquatic plants".

Fonkou, T., Agendia, P. L., Kengne, I. M., Amougou, A. and Nya, J. (2002). Potentials of water lettuce (*pistia stratiotes*) in domestic sewage treatment with macrophytic lagoon systems in Cameroun. In: Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste management, " EPCOWM' 2002", Tunis- Tunisia. INRST, J., INRST, JICA. 2/2: pp. 709-714

Gonzaga, H. S. G. and Monteiro, C.A.F. (2000). "Composicao quimica de quatro especies de macrofitas aquaticas e possibilidades de uso de suas biomassas. [Chemical composition of four aquatic macrophyte species and use potential of your biomass.]." *Naturalia Rio Claro*. [print] 25: 111-125.

Gopal, B. (1987) Water hyacinth. Amsterdam (etc.) , Elsevier. 471p Jedicke, A., Furch , B.

Guène, O. (1989). Contribution à l'étude du fonctionnement et de la modélisation de l'épuration de la pollution carbonée et microbienne des lagunes naturelles sous climat sahélien. Cas de la station pilote de l'EIER . Rapport de recherche / EPFL; Lausanne. 65p.

Guène, O. , and Touré, C. S. (1991). " Fonctionnement du lagunage naturel au sahel." *La Tribune de l'eau* 44(552): 31-42.

Guiral, D., Bouvy, M., Arfi, R. and Bambara, S. (1993). "Ecology of oxidation ponds in the treatment of domestic sewage in a humid tropical zone (Côte-d'Ivoire)." *J. Ivoir. oceanol. Limnol.* 2(1): 19-41

HARVEY, Fox (1973) « Nutrient removal using *lemna minor* ». *J.W.P.C.F.* 45 (9), pp 1928-1938.

Hassane, A. (1986). " Séminaire international sur l'assainissement urbain en Afrique de l'Ouest et du Centre." *Bulletin de liaison du CIEH(63)*: 2-10.

HUBAC J.M. et al (1984) « Les plantes aquatiques utiles : les lentilles d'eau ou lemnaeées. Utilisation en phyto-épuración et valorisation ». Association française pour l'étude des eaux. DA. 115 p

Iketuonye, M. M. (1987). A contribution to the study of aquatic macrophytes in Cameroon Their biology, ecology, and phytosociology in natural ecosystems and in phytodepurational systems. PhD Thesis / University of Yaoundé; Yaoundé. 161p.

IQBAL SASCHA (2001) " Duckweed aquaculture potentials possibilities and limitation for combined wastewater and animal feed production in developing countries". EAWAG SANDEC.

Keñgne, I. M., Agendia, P. I., Amougou, A., Brissáud, F., Jiagho, E. R., Ndikeyfor, E.A; Temgbet, Z., Menyengue, P., Ngniado, P., Ayissi, I., t., F., and R., M. (2000). Epuración des eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes et développement des moustiques : un dilemme. In: Impacts sanitaire et nutritionnels des hydro- aménagements en Afrique. Colloque International "Eau/Santé-Ouaga 2000", Ouagadougou. IRD. 1/2: pp. 24-31

Kengne, I., M., (2000). Evaluation d'une station d'épuración d'eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes, Yaoundé : Performances épuratoires, développement et biocontrôle des Diptères culicidae. Doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle en Biologie Végétale / Université de Yaoundé; Yaoundé. 138p.

Kim, Y. and Kim, W.J.(2000) "Roles of water hyacinths and their roots for reducing algal Concentration in the effluent from waste stabilization ponds . " *Water Research.(print)* September 34(13): 3285-3294.

Klutsé, A. (1995). Epuration des eaux usées domestiques par lagunage en zone soudano-sahélienne (Ouagadougou, Burkina Faso). Thèse de Doctorat / Université Montpellier II. 160p.

KONE D. (2002) " Epuration des eaux usées par lagunage à microphytes et à macrophytes en Afrique de l'ouest et du centre. Etat des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse de Doctorat N° 2653 EPFL.

Koné, D. (2000). Le traitement des eaux usées par lagunage : une décennie de recherche à l'EIER. In: Assainissement urbain en Afrique, Actes du séminaire international de Gorée, Gorée-Dakar. Aquadev. pp. 53-56

Koné, D., Cissé, G., Seigneux, C., and Holliger, C. (2002a). "Le lagunage à laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) à Ouagadougou : une alternative pour l'épuration des eaux usées domestiques destinées à l'irrigation." Cahiers Agricultures 11 : 39-43

Koné, D., Seigneux, C. and Holliger, C. (2002b). Assessing design criteria for BOD<sub>5</sub> removal under Sahelian climate conditions. In: 5<sup>th</sup> International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, Pond Technology for the new millennium, Auckland. IWA, NZWWA. 1/2: pp. 191-199

Koné, D., Seigneux, C. and Holliger, C. (2002c). Etats des lieux du lagunage en Afrique de l'Ouest et du Centre. In: Proceedings of International symposium on Environmental Pollution control and waste management, "EPCOWM'2002", Tunis-Tunisia. INRST, J., INRST, JICA. 2/2: pp. 698-707

Koné, D. (1998). "Problématique de l'épuration des eaux usées dans le contexte de l'Afrique de l'ouest" Info-CREPA(20): 8-13.

Koottatep, T. and Polprasert, C. (1997). "Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics." Water Science and Technology 36(12):1-8

Kopieu, G. (1992). Expérience de la Côte-d'Ivoire dans l'épuration des eaux usées par bassin de stabilisation ou "lagunage". In: Atelier de réflexion sur l'environnement, 27-31 janvier 1992, Yamoussoukro- Côte-d'Ivoire. pp. 283-307

ku, W.C. , Digiano, F.A. and feng, T.H. (1978)."Factors affecting phosphate adsorption equilibria in lake sediment." *Wat. Res.* 12: 1069-1074.

Kumar, P. And Garde, R.J. (1989)."Potentials of water hyacinth for sewage treatment." *Journal Water Pollution control federation* 61(11-12):1702-1706

Kumar, P. And Garde, R.J. (1990). "Upgrading waste water treatment by water hyacinth in Developing countries." *Water Science and Technology* 22(7-8) : 153-160

KVET J. REJMANKOVAE et al (1979) " Higther aquatic plants and biological waste water treatment". Proceeding of the aktiu jihoceskych vodo hospodarv conference.

LACROIX Y.(1957) *Le contrôle statistique en chimie analytique*. Masson et C<sup>ie</sup>.

LAOUALI M.S. (1990) « Mise au point d'une filière complète de traitement des eaux usées pour les régions tropicales » Thèse de Doctorat Montpellier 1990

LAOUALI M.S. (1996) « Possibilités de valorisation de la jacinthe d'eau » annales université Niamey 1996.

LAOUALI M.S. et al (1990) « Lagunage et pisciculture » dans *Aqua revue* 1990

LAOUALI, G., Delisle, C. E., Vincent, G., Couillard, D. and Laouali, S. (1996). "Etude Expérimentale de traitement des eaux usées par les lagunes facultatives et à hydrophytes libres au Niger." *Water Qual. Res. J. Canada* 31(1): 37-50.

LAOUALI, M. S. and Idder, T. (2000). *Projet pilote Niamey VII: épuration des eaux usées de Niamey*. In: *Assainissement Urbain en Afrique: actes du séminaire international de Gorée (Dakar), Gorée- Dakar*. Aquadev, Aquadev. pp. 57-63

Mara, D. D. (1976). *Sewage treatment in hot climates*. London a.o., Wiley.XV, 168p.

Mara, D. D. (1987)."Waste Stabilization Ponds: Problems and controversies." *Water Quality International* (1): 20-22.

- Mara, D. D. (1996). Low-cost sewerage. Chichester, UK, John Wiley & Sons.
- Mara, D. D. (1996). Low-cost urban sanitation. Chichester, UK, John Wiley & Sons.
- Mara, D. D. (1997). Design manual for waste stabilization ponds in India. Leeds, Lagoon
- Mara, D. D. and Guimaraes, A. S. P. (1999). "simplified sewerage: potential applicability in industrialized countries." *Urban Water* 1(3): 257-259.
- Mara, D. D. and person, H.W. (1998). Design Manual for Waste stabilization ponds in mediterranean countries. Leeds, Lagoon International Technology Ltd. 112p.
- Mara, D. D. and Silva, S. A. (1979). "Sewage treatment in the waste stabilization ponds: Recent research in the Northesat Brasil." *Prog. Wat. Tech* 11(1/2): 341-344.
- Marais, G. V. (1966). "New factors in the design, operation and performance of waste-stabilization ponds." *Bull World Health Organ* 34(5): 737-63.
- Martin J.F. ( 1978) « Le lagunage en traitement tertiaire expérimental à partir des plantes aquatiques supérieures. Le cresson et les lentilles d'eau. *Tech. Eau Assainiss.* N° 377 pp 21-37.
- Martin Seidl, Laouali M.S., Tahar I., Mouchel J.M. (2002) « Lentilles d'eau et Tilapia : une solution écologique pour le traitement des eaux usées dans les pays en voie de développement » *Conf. Envirowater Ouagadougou.*
- Marty (1984) « La lentille d'eau ( lemna minor) dans l'épuration tertiaire des eaux usées ». *Rapport Ministère de l'environnement /Neuilly-sur -seine*
- Moorhead, K.K. and Reddy ,K.R. (1988b)"Oxygen Transport through selected Aquatic Macrophytes "*J. Environ . Qual.*17(1) : 138-142
- Moorhead, K.K. and Reddy, K.R. (1988a). "Oxygen transport through selected aquatic Macrophytes. "*J. Environ. Qual;* 17(1):138-143.

Morel, M. (1996). L'utilité des végétaux aquatiques pour le traitement des eaux usées sous climat tropical. Thèse de Doctorat / Ecole Nationale d'Agronomie et des Industries Alimentaires. 139 p

Musil, C.F. and Breen, C.M. (1977). "the application of Growth kinetics to the control of *Eicchornia crassipes* (Marts) Sloms. Through nutrient removal by mechanical

Mustin M. (1983) « Dans le marais poitevin : l'exemple des lentilles d'eau ». Biomasse actual. N°12

MUZTAR et al ( 1976) " nutritive value of aquatic plants of chicks" – Poultry Science, 55 pp 1917-1922.

N. Miland (1981) " Energies nouvelles: la jacinthe d'eau" Mot. Et tech. Agric.

Nelson, S.G. Smith, B.D. and Best , B.R. (1981). "Kinetics of nitrate ammonium uptake By the tropical freshwater macrophyte *Pistia stratiotes* L." Aquaculture 24: 11-19

Niang, S., Diop, B. S., Mbeguere, M. and Radoux, M. (1996). "Urban wastewater purification by natural eputation systems in Sahel countries: The experimental plant of Camberene (Dakar-Senegal)." Vecteur Environnement 29(5): 31-36.

Nya, J., Brissaud, F., Kengne, I. M., Drakides, C., Amougou, A., Atangana, E. R., Fonkou, T. and Agendia, P. L. (2002). Traitement des eaux usées domestiques au Cameroun : Performances épuratoires comparées du lagunage à macrophytes et du lagunage à microphytes. In: Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste management, "EPCOWM'2002", Tunis - Tunisia. INRST, J., INRST, JICA. 2/2: pp. 726-736

Ower, J., Cressewell, C.F. and Bate, G.C. (1981). "The effects of varying culture nitrogen and phosphorus levels on nutrient uptake and storage by the water hyacinth *Eicchornia crassipes* (Mart) Sloms ." Hydrobiol. 85:22

P.LETOURNEL (1984) " Production intensive d'alevin de tilapia" pp 63.

Palprasert, C. and Khatiwada , N.R. (1998). " An integrated kinetic model hyacinth Ponds used for waste water treatment ." Water Res 32(1):179-185.

POLPRASERT C. et al ( 1998) “ an integrated kinetic model for water hyacinth ponds used for wastewater treatment”. *Water Res.* 32 (1) pp 179-185.

Radoux, M. (1989). "Épuration des eaux usées par Hydrosère constituée." *Tribune de l'eau* 42(8): 62-68.

Reddy , K.R. and Tucker, J.C.(1983). "productivity and nutrient uptake of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* . 1. Effect of Nitrogen source . " *Econ . Bot.* 37(2) 237-247

reddy, K.R. and DeBusk , T.A. (1984)."Growth characteritics of aquatic macrophythes cutured in nutrient- enriched water : I, Water hyacinth , water lettuce and pennywort." *Econo. Bot .* 38(2) : 229-239

Reddy, K.R. and DeBusk ,T.A. (1985)." Nutrient removal potential of selected aquatic Macrophythes ." *J. Environ . Qual.* 14(4) :459-462

Reddy, K.R. (1983) "Fate of nitrogen and phosphorus in a waste-water retention reservoir Containing aquatic macrophytes. " *J. Environ. Qual.* 12(1): 137-141.

Reddy, K.R. , Patrick, W.H. and Lindau, C.W. (1989d). " Nitrification-denitrification at the Plant root- sediment Interface in Wetland." *Limnol Oceanogr.*34(6) :1004-1013

Reddy, K.R. .(1984) Nutrient transformation in aquatic macrophytes filter used for water Purification. In : *proc . on future of water reuse . Am . Water works Ass.* 2/3: pp. 660- 678

Reddy, K.R. and D'Angelo, E.M.(1990). " Biomass yield and nutrient removzal by water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) as influenced by harvesting frequency." *Biomass*

RICHARDSON C.J. et al ( 1993) “ Efficient phosphorus retention in wetlands” *Lewis publishers* pp 271-282.

Roduit, J. (1993). *Bassin de stabilisation en climat sahélien: contribution à l'étude de la modélisation de l'épuration de la pollution carbonée et suivi des paramètres physico- chimiques pour une charge fixée. Cas de la station pilote de l' EIER . Travail pratique de diplôme / EPFL; Lausanne.* 69. p

RUSOFF et al ( 1980) “Duckweeds lemnacee family, a potentiel source of protein and amino-acids”. *J.agric.Food.chem,* 28(4) pp 848-850.

SKILLICORN P. et al ( 1993) " Duckweed agriculture. The new aquatic farming system for developing countries". The World Bank. Washington DC. USA.

SUTTON et ORNESS (1975) " Phosphorus removal from static sewage effluent using duckweed". J.Env.Qual. 4, N°3 pp 363-370.

SUTTON, ORNES (1977) « Growth of *Spirodela polyrhiza* in static sewage effluent". Aquatic botany, 3, pp 231-237.

Synthèse bibliographique (1982) " Les lentilles d'eau: utilisation dans l'épuration des eaux » DA Envr-Mer CNRS-RP 185 (1038) A.

Synthèse bibliographique (1982) « Premier rapport d'expériences sur l'utilisation des Lemnacees dans l'épuration tertiaire des eaux : sélection d'une population de lentilles d'eau adaptée au milieu d'expérience ». DA Envr-Mer CNRS-RP 185 (1038) B.

tucker, C.S. and DeBusk, T.A. (1989)"Seasonal variation in the Nitrate content of water hyacinth (*Eichhornia Crassipes* (Mart) Sloms) "Aquatic Botany 15(4):419-422

UADE and OIEAU (1993). Assainissement urbain en Afrique : Gestion des déchets liquides et solides dans les centres urbains d'Afrique. Rapport final du séminaire Assainissement urbain en Afrique. Ministère Français de la coopération.

urbanc, B.O. and Gaberscik, A (1989). "The influence of temperature and light intensity on activity of water hyacinth(*Eichhornia crassipes*(Mart) Sloms.) " Aquat.Bot . 35:3-4

VUILLOT M. et al ( 1983) " Conditions de production de biomasse dans les lagunes d'épuration" Biomasse actualité N°3 pp 44-46.

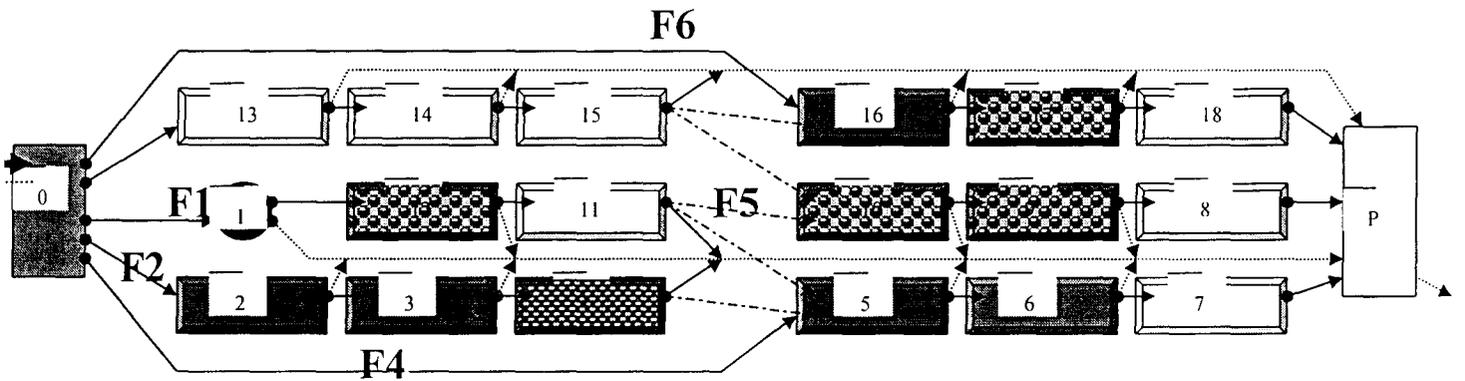
Wolverton , B.C. and McDonald , R.C. (1979). "The water hyacinth- from prolific pest to Potential provider " Ambio 8(1):2-9.

Wolverton B.C. (1987) " Aquatic plants for waste water traitement." Aquatic plants for water traitement and ressource recovery or lando. K.R.Reedy pp.3-16.

ANNEXES



# EXPERIENCE N° 1



Filière 1 : Anaérobie + Jacinthes + Microphytes = Bassins: {1 ; 12 ; 11}

Filière 2 : Microphytes + Microphytes + Macrophytes enracinées = Bassins : {2 ; 3 ; 4}

Filière 4 : Microphytes + Microphytes + Microphytes = Bassins: {5 ; 6 ; 7}

Filière 5 : Jacinthes + Jacinthes + Microphytes = Bassins : {10 ; 9 ; 8 }

Filière 6 : Microphytes + Jacinthes + Microphytes = Bassins: {16 ; 17 ; 18 }

B 10 Expérie- nceN°1	T° 7h (°C)	pH 7h	O2 7h (mg/l)	T° 15h (°C)	pH 15h	O2 15h (mg/l)		T° 7h (°C)	pH 7h	O2 7h (mg/l)	T° 15h (°C)	pH 15h	O2 15h (mg/l)
3/5/99	28,6	6,91	0,08	33,9	7,03	0,3	30/7/99	28,3	6,73	0,09	29,1	6,9	0,15
4/5/99	28,9	6,89	0,06	32,5	7,06	0,04	31/7/99	27,6	6,76	0,05	27,5	6,8	0,11
5/5/99	28,9	6,92	0,07	33	6,97	0,04	2/8/99	27,4	6,64	0,09	29,6	7,1	0,08
6/5/99	29,3	6,9	0,09	33,5	6,97	0,35	4/8/99	27,2	6,6	0,08	27,9	7,0	0,13
7/5/99	29,4	6,87	0,4	33,8	6,97	0,09	5/8/99	27,2	6,66	0,09	29,7	7,1	0,65
8/5/99	29,2	6,84	0,18	32,8	6,94	0,22	6/8/99	27,6	6,66	0,09	27	6,7	0,09
10/5/99	29,2	6,83	0,18	32,1	6,85	0,18	7/8/99	26,7	6,7	0,09			
11/5/99	29,9	6,82	0,04	31,3	6,83	0,11	9/8/99	27,1	6,72	0,09	28,5	7,1	0,43
12/5/99	29,1	6,8	0,05	31,4	6,83	1,11	10/8/99	27	6,72	0,09	29,4	7,1	0,1
13/5/99	28,9	6,78	0,08	30,9	6,78	0,12	11/8/99	27	6,7	0,08	28,5	7,1	0,25
14/5/99	28,6	6,75	0,26	30,4	6,74	0,08	12/8/99	27,3	6,72	0,08	29,3	7,3	0,33
15/5/99	28,9	6,7	0,07	30,6	6,76	0,08	13/8/99	27,6	6,71	0,08	28,6	7,2	0,2
17/5/99	28,7	6,7	0,08	30,2	6,78	0,12	14/8/99	27,1	6,6	0,07	30,2	7,1	0,11
18/5/99	29	6,74	0,09	30,4	6,72	0,12	16/8/99	27,3	6,7	0,12	28,6	7,0	0,09
19/5/99	28,8	6,75	0,22	30,6	6,74	0,27	17/8/99	27,5	6,55	0,09	29,1	7,1	0,11
20/5/99	28,9	6,73	0,17	30,5	6,74	0,21	18/8/99	27,9	6,66	0,08	30,5	7	0,14
21/5/99	28,7	6,65	0,37	32,9	6,88	0,32	19/8/99	28,2	6,65	0,08	29,7	7,1	0,1
22/5/99	29,3	6,71	0,18	30,8	6,76	0,45	20/8/99	28,5	6,55	0,09	28,9	7,0	0,09
24/5/99	28,5	6,7	0,24	29	6,75	0,2	21/8/99	27,9	6,53	0,09	31,3	7,1	0,18
25/5/99	28,4	6,76	0,33	31,8	6,8	0,22	23/8/99	27,2	6,59	0,07	28,5	7,0	0,09
26/5/99	28,9	6,75	0,15	31,4	6,83	0,2	30/8/99	28	6,63	0,08	29	7,1	0,11
27/5/99	29,1	6,8	0,3	29,7	6,88	0,26	31/8/99	27,3	6,7	0,09	29,2	7,1	0,17
28/5/99	28,4	6,76	0,15	30	6,81	0,27	1/9/99	27,8	6,6	0,09	29	7,1	0,24
29/5/99	28,7	6,75	0,12	31	6,78	0,2	2/9/99	28	6,57	0,09	30,7	7,2	0,13
31/5/99	28,8	6,75	0,18	31,1	6,85	0,17	3/9/99	28,3	6,65	0,08	30,2	7	0,09
1/6/99	29	6,71	0,08	30,6	6,81	0,22	4/9/99	28,6	6,65	0,45			
2/6/99	28,8	6,69	0,2	30,3	6,68	0,13	9/9/99	29	6,94		30	6,9	
3/6/99	28,2	6,65	0,09	29,1	6,75	0,12	10/9/99	27,5	6,78		29,2	7,0	
4/6/99	28,2	6,64	0,12	29,7	6,84	0,22	11/9/99	28,1	6,78	0,12	27,8	6,9	
5/6/99	27,8	6,79	0,15	29,5	6,93	0,12	13/9/99	28	6,74		30,9	6,9	
7/6/99	28,2	6,71	0,12	30,2	6,83	0,14	14/9/99	28,8	6,79		33,4	6,9	0,11
8/6/99	28,5	6,7	0,07	30,1	6,85	0,07	15/9/99	28	6,85	0,11	32,6	7,2	0,31
9/6/99	28,1	6,74	0,06	29,6	6,95	0,12	16/9/99	28,5	6,85	0,07	32	7,0	0,24
10/6/99	28,2	6,73	0,1	29,9	6,96	0,13	17/9/99	28,9	6,9	0,09	30,2	7,2	0,1
11/6/99	28,6	6,72	0,11	30,3	6,78	0,07	18/9/99	27,8	6,89	0,08	31,7	7,0	0,15
12/6/99	28,7	6,68	0,08	29,7	6,87	0,1	20/9/99	29,1	6,87	0,07	32,1	7,1	0,09
14/6/99	28,7	6,65	0,11	32,3	6,87	0,12	21/9/99	28,1	6,93	0,07	31,2	7,3	0,09
15/6/99	28,9	6,74	0,14	32,3	6,92	0,41	22/9/99	27,8	6,88	0,06	29,8	7,2	0,09
16/6/99	28,5	6,73	0,15		7,01	0,13	23/9/99	27,7	6,82	0,09	29,4		0,13
17/6/99	28,7	6,75	0,12	30,6	6,92	0,1	24/9/99	28	6,8	0,07	31	7,2	0,1
18/6/99	28,2	6,76	0,09	29,8	6,91	0,17	25/9/99	28,4	6,72	0,08	30,1	7,1	0,09
19/6/99	28,2	6,75	0,12	29,6	6,88	0,18	27/9/99	27,6	6,77	0,08			
21/6/99	28,5	6,74	0,1	30,2	6,84	0,09	28/9/99	28	6,76	0,09			
22/6/99	28,2	6,72	0,12	29	6,76	0,25	29/9/99	28	6,75	0,07			
23/6/99	28,5	6,7	0,12	29,6	6,82	0,1	30/9/99	27,7	6,8	0,09	30,6	7,0	0,09
24/6/99	28,1	6,68	0,13	28,3	6,82	0,22	1/10/99	28,3	6,78	0,09			
25/6/99	27,9	6,72	0,11	30,6	6,88	0,09	2/10/99	28,7	6,79	0,08			
26/6/99	28,2	6,77	0,1	30,4	6,94	0,43	4/10/99	28,4	6,8	0,08	30,5	6,9	0,09
28/6/99	28,8	6,82	0,09	30,8	6,97	0,14	5/10/99	28,7	6,84	0,07	30,1	6,9	0,09
29/6/99	27,6		0,1	30,2	6,97	0,1	6/10/99	28,1	6,83	0,07	29,4	6,9	0,1
30/6/99	28,4	6,82	0,11	30,5	6,97	0,14	7/10/99	27,5	6,72	0,07	28,7	6	0,2
1/7/99	28,7	6,82	0,1	30,5	6,96	0,1	8/10/99	27,6	6,81	0,09	29,4	6,8	0,09
2/7/99	27,8	6,81	0,09	28,5	7,03	0,14	9/10/99	28,2	6,75	0,07			
3/7/99	27,6	6,81	0,17	29,1	7,01	0,1	11/10/99	28,7	6,82	0,08	31,2	6,9	0,46

B 11 Expérie- nceN°1	T° 7h (°C)	pH 7h	O2 7h (mg/l)	T° 15h (°C)	pH 15h	O2 15h (mg/l)		T° 7h (°C)	pH 7h	O2 7h (mg/l)	T° 15h (°C)	pH 15h	O2 15h (mg/l)
3/5/99	28	8,88	0,17	38,7	10,63	23	28/7/99	28,8	7,46	2,17	35,8	8,7	27,8
4/5/99	28,2	8,82	0,12	36,9	10,69	20,9	29/7/99	29,1	7,5	2,55	36	8,8	29,3
5/5/99	28	8,72	0,1	37,9	10,62	26,6	30/7/99	29,1	7,48	2,41	32,3	8,6	23,8
6/5/99	28,5	8,65	0,03	38,5	10,62	21,5	31/7/99	28	7,26	1,17	31,5	8,	21,4
7/5/99	28,7	8,43	0,35	38,7	10,57	23,3	2/8/99	28,1	7,21	1,3	37,8	8,9	38,6
8/5/99	28,7	8,24	0,03	38,7	10,61	23,9	4/8/99	27,8	7,15	0,93	31,5	8,	15,3
10/5/99	28,3	8,23	0,2		10,61	21,6	5/8/99	27,9	7,1	1,25	37,7	8,7	30
11/5/99	29,6	7,82	0,05	36,5	9,96	30,2	6/8/99	28,9	7,26	3,08			5,33
12/5/99	28,3	7,88	0,14	38,1	10,57	24,4	7/8/99	26,9	7,05	0,5			
13/5/99	28,3	8,11	0,23	37,9	10,64	35,2	9/8/99	28	7,35	2,32	31,2	9,3	32
14/5/99	28	8,26	0,22	37,8	10,64	23,2	10/8/99	27,6	7,22	1,48	33,6	9,1	36,4
15/5/99	28,2	8,3	0,18	36,9	10,64	30,5	11/8/99	27,1	7,05	0,75	32,3		37,7
17/5/99	27,2	8,33	0,11	37,9	10,58	25,1	12/8/99	27,7	7,2	3,23	34,2	9,6	47,1
18/5/99	27,5	8,7	0,25	38,5	10,68	30,2	13/8/99	28,2	7,68	5,78	33,1	9,4	36,8
19/5/99	27,2	8,09	0,48	38,3	10,69	42,3	14/8/99	27,4	7,1	0,63	38,4	9,4	41,5
20/5/99	27,7	8,04	0,34	39,6	10,62	35	16/8/99	28,1	7,5	3,8	33,4	9,9	27,5
22/5/99	28,9	7,3	0,18	39,3	10,62	28,6	17/8/99	28,3	6,97	0,72	36,6	9,9	40,1
24/5/99	27,1	7,55	0,4	33,3	10,31	25,1	18/8/99	28,7	7,24	2,33	36,6	10,1	46,6
25/5/99	27,9	7,62	0,09	38,2	10,58	27,3	19/8/99	28,8	7,24	3,77	35,7	9,7	40,8
26/5/99	28,4	7,77	0,35	37,2	10,66	49,7	20/8/99	28,9	7,15	2,46	33,2	9,3	38,2
27/5/99	28,5	7,82	0,25	33,4	10,26	37,1	21/8/99	28,3	7,04	1,62	35,8	9,7	40,6
28/5/99	27,8	7,87	0,2	35,5	10,59	39,6	23/8/99	27,3	6,84	1,71	32,7	9,9	32,3
29/5/99	28,3	7,85	0,12	37	10,58	42,3	30/8/99	29,1	6,96	3,76	35,4	9,7	45,4
31/5/99	28,3	7,88	0,35	37,8	10,61		31/8/99	27,8	6,95	1,8	37,9	9,8	
1/6/99	28,7	7,85	0,23	36,6	10,09	44,1	1/9/99	28,7	6,98	1,69	35,3	9,5	43,5
2/6/99	28,2	6,62	0,07	36,6	8,88	20,2	2/9/99	28,7	6,85	0,52	36,8	9,8	46,3
3/6/99	28,1	7,45	0,11	34,7	8,06	8	3/9/99	28,8	7,1	0,33	38,7	9,8	45,7
4/6/99	28,5	7,48	0,16	32,4	8	7,43	4/9/99	29	7,01	1,28			
5/6/99	27,5	7,31	0,16	34,1	8,71	22,2	9/9/99	29	8,09		38,4	10,3	
7/6/99	28,7	7,37	0,18	37,7	9,04	26,3	10/9/99	27,9	7,93		36	10,4	
8/6/99	28,7	7,47	0,15	37,9	8,44	14,04	11/9/99	28,6	7,67	3,8		9,0	
9/6/99	27,9	7,42	0,1	36,4	8,08	8,98	13/9/99	28,3	7,87		36,6	10,3	
10/6/99	28,3	7,4	0,15	36,6	8,58	21,9	14/9/99	29,1	7,68		37,2	10,2	27,8
11/6/99	29	7,46	0,15	38,4	9,14	42,3	15/9/99	28,4	7,55	1,73	37,5	10,3	31,4
12/6/99	28,9	7,51	0,26	37,1	9,77	45,6	16/9/99	28,6	7,57	1,88	38,8	10,3	46,3
14/6/99	28,9	7,61	0,21	39,4	10,2	35,1	17/9/99	29,2	7,7	1,81	33,1	9,5	34,2
15/6/99	28,7	7,46	0,16	38,1	9,06	27,1	18/9/99	27,6	7,4	1,26	36,8	10,1	44,2
16/6/99	27,8	7,48	0,2	38,8	10,14	38	20/9/99	29	7,72	1,15	36,4	9,	41,3
17/6/99	28,1	7,6	0,11	37,4	10,5	35,5	21/9/99	28	7,88	1,64	36,5	10,1	38,8
18/6/99	27	7,65	0,13	37,5	10,21	41,3	22/9/99	27,7	7,28	0,08	34	9,2	34,2
19/6/99	27,4	7,75	0,1	37,5	10,36		23/9/99	27,3	7,28	0,25	34,4	8,9	25,1
21/6/99	28,2	7,88	0,17	37,5	10,33	43,1	24/9/99	28	7,2	0,46	33	8,4	21,8
22/6/99	27,6	7,85	0,2	37,2	10,22	31,07	25/9/99	28,3	7,06	0,47	34,7	8,4	18,66
23/6/99	27,9	7,87	0,33	37,2	10,12		27/9/99	27,6	7,06	0,28			
24/6/99	27,2	7,54	0,13	31,5	8,96	17,12	28/9/99	28,7	7,13	0,09			
25/6/99	27,1	7,43	0,17	37,8	10,38	38,1	29/9/99	28	7,04	0,16			
26/6/99	27,7	7,56	0,17	36,7	9,8	31,6	30/9/99	27,7	7,07	0,17	35	8,6	36,5
28/6/99	28,9	8,12	0,09	34,5	8,88	21,1	1/10/99	28,2	7,1	0,14			
29/6/99	27,3	7,8	0,1	36,2	10,05	31,5	2/10/99	28,7	7,05	0,17			
30/6/99	28,2	7,64	0,08	38,5	10,48	37	4/10/99	28,9	7,17	0,07	36,7	8,9	38,7
1/7/99	28,7	7,76	0,09	38,6		33,1	5/10/99	29,1	7,29	0,09	34,5	8,5	26,4
2/7/99	27,1	7,89	0,12	35	10,52	26,1	6/10/99	28,3	7,28	0,15	34,5	8,6	24,6
3/7/99	27	8,2	0,15	37,2	10,6	42,6	7/10/99	27,7	7,19	0,28	32,7	8,	22,2
5/7/99	26,5	7,72	0,19	38	10,58	43,8	8/10/99	27,6	7,34	0,09	32,9	8,7	22,8

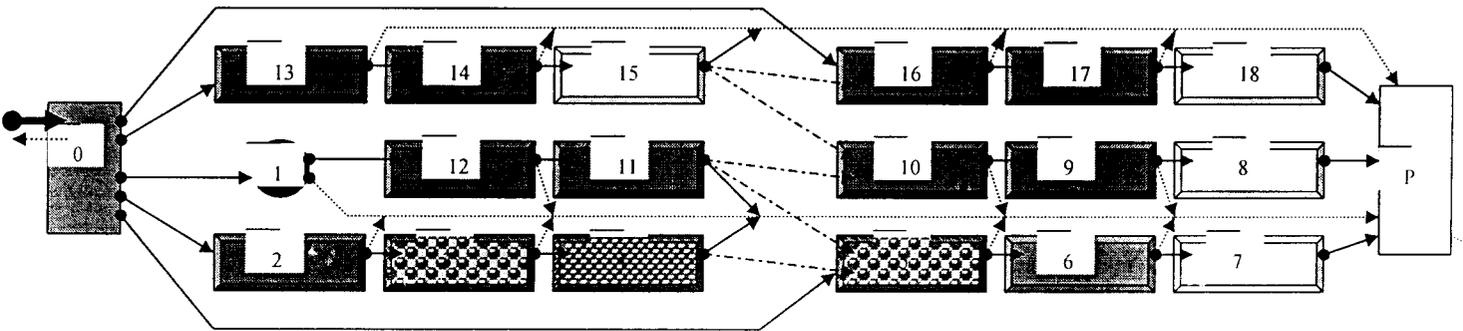
B 12 Expérie- nceN°1	T° 7h (°C)	pH 7h	O2 7h (mg/l)	T° 15h (°C)	pH 15h	O2 15h (mg/l)		T° 7h (°C)	pH 7h	O2 7h (mg/l)	T° 15h (°C)	pH 15h	O2 15h (mg/l)
3/5/99	27,3	7,75	0,2	36,5	9,7	1,7	29/7/99	28,3	6,82	0,09	30,8	7,18	0,13
4/5/99	27,8	7,55	0,05	35,1	9,0	14,75	30/7/99	28,3	6,79	0,09	29,2	7,01	0,3
5/5/99	27,7	7,31	0,04	35,4	8,2	0,48	31/7/99	27,7	6,87	0,09	28,8	7,14	0,4
6/5/99	28,3	7,22	0,32	36,6	8,4	11,46	2/8/99	27,4	6,71	0,11	30,5	7,19	0,48
7/5/99	28,5	7,13	0,06	36,3	8,0	6,6	4/8/99	27,3	6,7	0,07	27,2	7,16	0,12
8/5/99	28,7	7,11	0,14	36,3	7,8	9,6	5/8/99	27,3	6,66	0,09	30	7,15	0,38
10/5/99	28,4	7,06	0,24	35,5	7,9	9,05	6/8/99	27,8	6,6	0,08	27	6,93	0,2
11/5/99	29,6	7,06	0,33	33,3	7,4	3,04	7/8/99	26,7	6,75	0,09			
12/5/99	28,6	7,02	0,12	33,4	7,3	5,36	9/8/99	27,4	6,72	0,09	28,4	7,24	0,22
13/5/99	28,6	7,01	0,08	33,5	7,3	6,29	10/8/99	27,3	6,77	0,08	29,4	7,25	0,15
14/5/99	28,2	6,95	0,07	33,1	7,	6,41	11/8/99	27	6,73	0,08	28,5	7,26	0,25
15/5/99	28,6	6,95	0,1	33	7,	3,05	12/8/99	27,2	6,67	0,07	29,3	7,13	0,16
17/5/99	27,7	6,87	0,08	33	6,9	1,72	13/8/99	27,5	6,6	0,07	28,1	7,08	0,17
18/5/99	28,4	6,87	0,27	32,1	6,9	0,42	14/8/99	27	6,55	0,07	30,3	6,9	0,18
19/5/99	28,2	6,84	0,25	32,2	6,9	0,3	16/8/99	27,1	6,72	0,08	28	7,05	0,17
20/5/99	28,6	6,77	0,14	32,5	6,8	3,5	17/8/99	27,4	6,65	0,08	28,6	7,14	0,1
21/5/99	28,6	6,77	0,12	31,7	6,8	0,12	18/8/99	27,7	6,67	0,07	30,4	7,34	0,12
22/5/99	29,1	6,72	0,2	31,7	6,8	0,15	19/8/99	28,1	6,61	0,07	30,3	7,01	0,13
24/5/99	27,9	6,66	0,34	28,6	6,6	0,4	20/8/99	28,3	6,61	0,07	29,2	7,03	0,18
25/5/99	28,4	6,53	0,12	30,1	6,5	0,2	21/8/99	27,6	6,61	0,09	30,5	7,17	0,55
26/5/99	28,6	6,66	0,12	30	6,6	0,2	23/8/99	27,1	6,46	0,08	28,3	7,2	0,08
27/5/99	28,8	6,63	0,15	28,9	6,6	0,19	30/8/99	27,7	6,6	0,08	29,5	7,16	0,13
28/5/99	27,8	6,52	0,15	28,9	6,5	0,17	31/8/99	26,9	6,62	0,08	29,4	7,12	0,17
29/5/99	28,2	6,57	0,14	29,6	6,	0,2	1/9/99	27,5	6,56	0,08	28,7	7,1	0,09
31/5/99	28,3	6,55	0,11	29,6	6,6	0,45	2/9/99	27,5	6,46	0,1	30,8	7,43	0,3
1/6/99	28,3	6,56	0,07	29	6,6	0,07	3/9/99	27,9	6,6	0,08	31	7,33	0,64
2/6/99	28,8		0,25	29,1	6,	0,2	4/9/99	28,2	6,65	0,18			
3/6/99	27,9	6,52	0,07	28,4	6,6	0,05	9/9/99	27,8	6,7		31	6,95	
4/6/99	27,9	6,68	0,08	29,4	6,7	0,08	10/9/99	27	6,53		28,9	7,06	
5/6/99	27,6	6,8	0,14	29,6	6,9	0,14	11/9/99	27,7	6,78	0,12	27,2	6,96	
7/6/99	28,1	6,81	0,11	30,3	6,8	0,12	13/9/99	27,4	6,72		31,1	6,82	
8/6/99	28,8	6,77	0,1	30,1	6,8	0,06	14/9/99	28,2	6,83		32,2	6,92	0,07
9/6/99	26,1	6,76	0,08	29,6	6,9	0,14	15/9/99	27,6	6,88	0,08	30,5	7,13	0,2
10/6/99	28,2	6,73	0,08	29,8	6,9	0,11	16/9/99	28	6,89	0,06	31	7,08	0,07
11/6/99	28,6	6,77	0,21	30,3	6,8	0,18	17/9/99	28,3	6,84	0,09	29,1	7,04	0,08
12/6/99	28,6	6,72	0,08	29,9	6,8	0,12	18/9/99	27,3	6,85	0,08	30,8	7,09	0,08
14/6/99	28,7	6,73	0,08	32,3	6,8	0,13	20/9/99	28,6	6,84	0,08	32	6,97	0,09
15/6/99	28,7	6,83	0,09	31,3	6,7	0,18	21/9/99	27,7	6,88	0,08	30	7,2	0,08
16/6/99	28,3	6,83	0,11	31,4	6,8	0,1	22/9/99	27,5	6,86	0,08	29,9	7,24	0,12
17/6/99	28,5	6,85	0,09	31,1	6,9	0,23	23/9/99	27	6,82	0,1	30,4	7,18	0,17
18/6/99	27,9	6,88	0,08	29,5	6,9	0,1	24/9/99	27,8	6,71	0,08	31	7,25	0,15
19/6/99	28,1	6,85	0,08	29,9	6,9	0,12	25/9/99	28,1	6,6	0,07	30	7,14	0,13
21/6/99	28,5	6,88	0,09	30	6,9	0,22	27/9/99	27,5	6,76	0,09			
22/6/99	28,2	6,86	0,15	29,3	6,9	0,07	28/9/99	27,7	6,79	0,08			
23/6/99	28,3	6,84	0,12	29,4	6,9	0,1	29/9/99	27,7	6,72	0,08			
24/6/99	27,9	6,82	0,12	28,3	6,9	0,1	30/9/99	27,4	6,73	0,07	30,4	7,05	0,1
25/6/99	27,9	6,82	0,08	31,4	6,9	0,14	1/10/99	28	6,74	0,08			
26/6/99	28,8	6,83	0,09	30,5	6,9	0,39	2/10/99	28,2	6,48	0,08			
28/6/99	28,6	6,92	0,09	29,7	7,0	0,25	4/10/99	28,2	6,79	0,09	31,5	7,09	0,84
29/6/99	27,6	6,91	0,1	30,4	7,1	0,13	5/10/99	28,4	6,85	0,07	29,5	6,98	0,12
30/6/99	28,5	6,92	0,09	30,6	7,	0,1	6/10/99	27,8	6,86	0,09	29,1	7,06	0,09
1/7/99	28,8	6,91	0,08	31,4	7,0	0,12	7/10/99	27,1	6,7	0,08	28,4	6,9	0,5
2/7/99	27,6	6,87	0,09	28,7	7,	0,1	8/10/99	27,2	6,86	0,09	29,3	6,96	0,2
3/7/99	27,4	6,91	0,1	29,6	7,0	0,1	9/10/99	27,7	6,8	0,06			

DBO5 Exp1	10/6/9	18/6/99	24/6/99	26/6/9	28/6/99	1/7/99	6/7/9	8/7/99	14/7/99	15/7/9	22/7/99	29/7/99	5/8/9	7/8/99	12/8/99	19/8/9	2/9/99	9/9/99	16/9/9	23/9/99
B0 Brut	40			40		360		380	280		480	320	24		260	34	380	460	62	500
B0 Filtré																				
B1 Brut	28	300				260		340			320	280	20		240	26	340	340	50	320
B1 Filtré	20	220		16		160		160			280	260	20		220	10	180	160	18	180
B2 Brut	23	230		22		185		170	150		180	175	15		125	14	160	145	22	160
B2 Filtré	8	70		5		50		60	90		120	70	11		105	11	130	130		
B3 Brut	11	145		20		140		195	115		110	140	13		100	12	140	115	20	130
B3 Filtré	6	55		3		35		90	115		80	80	6		100	8	110	80	11	
B4 Brut	4	40		4		45		45	30		85	75	7		55	10	48	35	7	105
B4 Filtré	4	20		2		15		65	45		65	60	5		55	8	35	25	5	30
B5 Brut	22	205		20		190		195	190		185	160	12		135	16	150	170	20	165
B5 Filtré	7	85		6		45		70	50		85	105	12		95	11	120	95	9	60
B6 Brut	6	150		14		160		185	115		160	160	13		100	9	130	140	17	180
B6 Filtré	7	70		5		50		55	85		45	65	6		90	7	70	125	10	40
B7 Brut	10	120		17		170		185	145		160	135	11		60	7	90	90	13	85
B7 Filtré	4	65		3		30		50	60		35	30	3		60	3	80	45	3	45
B8 Brut	5	60		9		80		80	60		85	85	6		45	5	60	60	9	65
B8 Filtré	4	20		2		45		45	50		45	20	2		30	2	40	40	2	40
B9 Brut	4	60		7		65		55	35		65	55	4		50	7	110	155	18	95
B9 Filtré	5	40		3		25		40	40		55	65	7		50	4	75	110	11	65
B10 Brut	9	105		12		140		95	150		105	180	13		115	15	180	210	20	145
B10 Filtré	8	70		7		65		65	120		100	125	10		55	6	100	165	14	105
B11 Brut	5	65		9		90		70	115		125	55	10		90	9	95	60	9	65
B11 Filtré	6	20		2		15		80	95		45	110	4		45	6	40	55	7	45
B12 Brut	9	70		11		95		115	145		90	105	11		115	12	125	110	17	110
B12 Filtré	8	70		7		60		70	125		85	90	10		115	9	110	100	16	105
B16 Brut	22	195		21		115		190	175		165	170	12		90	11	120	170	19	175
B16 Filtré	7	100		9		95		65	90		145	60	4		80	7	80	75		
B17 Brut	8	85		11		95		115	110		120	70	11		100	8	85	115	14	100
B17 Filtré	6	30		5		65		55	45		80	85	6		55	8	40	55	11	45
B18 Brut	7	100		13		135		80	95		110	115	8		85	7	40	55	11	100
B18 Filtré	5	35		4		45		100	75		110	90	8		70	7	35	30	7	25
P Brut	7	60		9		125		115	75		130	130	12		85	7	80	65	9	70
P Filtré	4	45		3		35		65	25		35	75	4		55	6	75	55	6	45

DCO Exp1		10/6/99	18/6/99	24/6/99	26/6/99	28/6/99	1/7/99	6/7/99	8/7/99	14/7/99	15/7/99	22/7/99	31/7/99	5/8/99	7/8/99	9/8/99	12/8/99	2/9/99
B0	Brut	503	398	499	502	480	455	545	488	398	377	394	428	359	224	251	240	457
	Filtré	492	420	442														
B1	Brut	340	386	350	234	225	310	333	338		243	220	208	233	162	173	128	231
	Filtré	304	165	212	170	136	200	190	180		140	123	112	70	50	50	61	126
B2	Brut	422	420	356	396	291	329	353	333	283	257	274	235	236	213	209	207	242
	Filtré	234	80	132	101	114	110	115	115		86	53	75	59	60	56	59	66
B3	Brut	234	375	315	357	314	307	285	263	213	154	128	181	233	213	209	120	137
	Filtré	246	57	109	92	86	108	118	135		97	87	101	56	45	46	70	84
	Filtré	141		98	47	42	31	53	63		23	8	21	20	11	22	34	12
B5	Brut	340	375	350	374	325	343	313	310	318	257	262	299	202	160	179	134	220
	Filtré	164	119	178	123	108	145	188	125		103	81	64	67	45	70	56	63
B6	Brut	222	375	350	385	369	377	318	295	310	275	265	245	191	146	201	106	121
	Filtré	258	108	132	140	117	135	143	140		129	70	75	50	78	92	61	47
	Filtré	210	74	120	114	136	140	145	120		117	81	107	62	62	81	75	53
	Filtré	129		46	67	61	80	98	65		57	50	53	34	31	59	36	37
B9	Brut	141	170	120	112	86	92	33	85	58	46	61	64	42	45	36	45	42
	Filtré	141		75	67	50	75	65	63		34	28	43	31	28	25	28	21
B10	Brut	199	284	161	190	158	165	158	145	100	74	95	107	73	70	53	73	135
	Filtré	211	45	143	98	86	125	93	100		63	42	70	45	39	47	42	68
	Filtré	176	45	98	67	50	75	55	58		49	42	43	48	39	57	39	29
B12	Brut	152	250	149	156	111	137	115	113	108	69	78	75	62	50	47	59	76
	Filtré	199	75	160	106	97	125	98	98		57	47	53	45	34	47	34	47
B16	Brut	351	432	464	391	322	352	335	315	298	257	212	208	185	168	184	184	181
	Filtré	211	80	189	137	130	160	135	140		91	87	80	45	50	47	39	60
B17	Brut	164	205	178	207	203	204	173	185	130	134	123	107	92	76	84	70	47
	Filtré	164	51	120	112	105	133	113	105		74	67	69	42	34	50	34	39
	Filtré	176	85	109	98	81	105	90	88		66	59	72	59	34	59	34	29
P	Brut	152	193	155	175	186	221	183	165	128	131	140	155	121	95	98	112	71
	Filtré	141	28	103	84	94	110	100	75		51	61	96	59	34	62	53	32

MES	10/6/99	18/6/99	24/6/99	26/6/99	28/6/99	1/7/99	6/7/99	8/7/99	14/7/99	15/7/99	22/7/99	29/7/99	30/7/99	5/8/99	7/8/99	9/8/99	12/8/99	19/8/99	2/9/99	9/9/99
B0	175	132	177	162	163	143	168	144	102,5	131,5	124,5	203	183,5	185	111	119	102,5	175	190,5	167
B1	88	87,5	109	67	56	76	82,5	88		59,3	72	142	46	67	51	87	38,5	54	66	70
B2	200		219	220,5	134	178,5	184,5	163	126	140	160	120	157	121,5	127	144	104	68	130	154
B3	83		162	247	179	194	136	101	73	59,5	25	80	82,5	150	137	142	27,5	37,5	42	91
B4	29	27	34	23,5	36,5	15,5	13	18,5	14	6	16	17	15	16	29,5	16	16,5	22	11,5	10
B5	170	190	158	170	199	160	89,5	128	157,5	129	116	176	173	94	76	80	56,5	96	118	156,5
B6	18	164	180	192	185,5	200	138,5	119	130,5	122	164	144,5	129	99	67,5	31	37	25	49	150,5
B7	121		193,5	239	186	208,5	199,5	189	154,5	146	155,5	92	100	115,5	87	79	16,5	10	29	53,5
B8	32	49	56	62	58,5	47,5	86,5	50,5	20	22,5	57,5	61	56,5	47,5	34	53,5	41	41	26,5	53
B9	19	25	26	24,5	23,5	24	13,5	17	8,5	9	9,5	13,5	11,5	5,5	2	1	1	5,5	6	17
B10	25	49,5	33,5	52,5	37	32,5	35,5	30	15	14	23	44	30,5	17,5	27	12	8	17	32,5	48
B11		106	111	139	132		117	51,5	28,5	21,5		31		33,5	28,5	61	50	66	78,5	132
B12	12	37	15	15	8	11,5	12,5	8	6	8,5	3	14	11,5	7	10	15,5	6	13	17	2
B16	172	176	138,5	141,5	151	142	136	131	134	114	83,5	115,5	101	104	78	96	102	98,5	72,5	154
B17	35	53	64	63	72,5	64,5	44	61,5	46	50	44	36,5	27	32	23	41	20	18,5	61,5	29,5
B18	72	127	86	105	99	122	114,5	105	99	73,5	57	63	65,5	13	11	20	26,5	17,5	11	34

# EXPERIENCE N°2



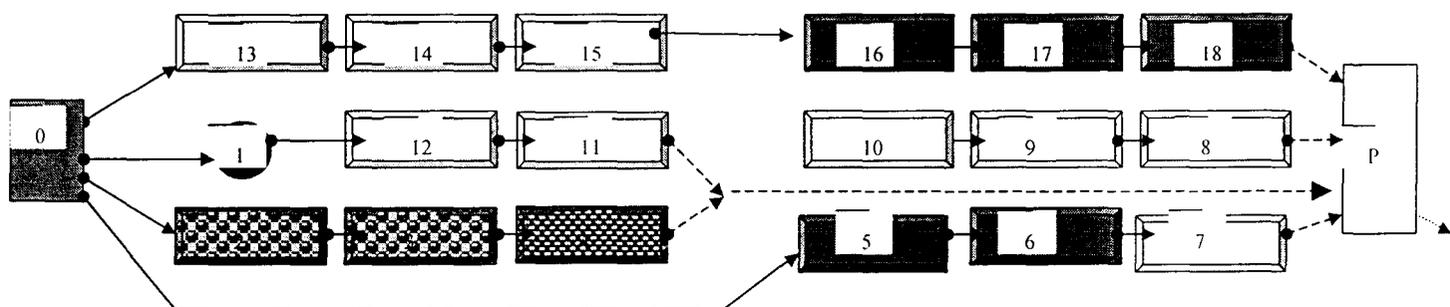
- F1 = Anaérobie + 5 bassins à microphytes
- F2 = Microphytes + Jacinthes + Macrophytes enracinées + Jacinthes
- F3 = Microphytes + Microphytes + Microphytes
- F4 = Microphytes + Microphytes + Microphytes



			F1		F2		F4	
	B0		B8		B5		B18	
Dates	DBO brute	DBO5 filtrée	DBO5 brute	DBO5 filtrée	DBO brute	DBO5 filtrée	DBO5 brute	DBO filtrée
8/2/00	280	180	0	0	0	0	55	40
16/2/00	360	180	0	0	0	0	105	85
24/2/00	265	0	120	55	0	0	115	105
3/3/00	245	160	105	50	0	0	130	80
11/3/00	225	165	55	60	0	0	180	40
22/3/00	240	180	75	75	80	75	210	0
30/3/00	235	160	125	50	120	30	195	0
7/4/00	265	160	115	55	55	35	215	0
15/4/00	275	195	115	65	105	0	145	75
25/4/00	230	140	95	45	150	0	125	55
3/5/00	240	140	135	0	125	0	110	30
11/5/00	230	0	185	0	170	0	220	0
19/5/00	215	180	95	0	80	40	185	0
27/5/00	280	200	80	0	60	35	165	0
6/6/00	260	140	75	0	50	25	110	0
14/06/0	200	155	100	40	70	55	150	0
22/06/0	240	140	0	0	30	25	135	0
30/06/0	220	140	80	0	35	35	90	0
08/07/0	220	80	100	0	55	25	100	0
18/07/0	100	80	60	0	35	25	75	0
26/07/0	100	100			30	30	75	0

			F1		F2		F4			
	B0		B8		B5		B18		B16	
Dates	DCO brute	DCO filtrée								
8/2/00	642	224					198	167	313	157
16/2/00	809	209					224	167	443	157
24/2/00	610	180	255	200			305	200	345	190
3/3/00	528	146	337	221			302	131	276	141
11/3/00	431	176	309	294			553	132	216	93
14/3/00	470						353		230	
22/3/00	472	192	288	264	144	117	424	144	355	120
30/3/00	651	136	319	207	148	49	407	93	361	76
7/4/00	151	307	318	221	167	89	391	86	282	76
15/4/00	352	148	306	189	184	87	209	102	225	97
17/4/00	347	124	291	224	373	86	465	119	174	102
25/4/00	248	93	299	160	253	72	227	72	253	98
3/5/00	375	108	395	175	277	113	257	113	308	133
11/5/00	347	102	301	184	153	89	255	87	220	87
19/5/00	350	158	370	169	154	115	312	125	326	136
27/5/00	320	126	258	142	134	108	330	119	315	124
29/5/00	297	120	266	130	157	115	365	125	323	110
6/6/00	403	143	245	112	133	102	332	138		
14/6/00	384	73	226	79	79	56	254	102		
22/6/00	341	142			163	131	252	136		
30/6/00	270	108	253	146	124	102	237	49		
36715	170	48	233	117	80	58	244	58		
10/7/00	110	21	224	109	68	63	256	47		
18/7/00	71	11	196	131	38	22	240	44		
26/7/00	78	26	115	83	42	26	157	99		

## *EXPERIENCE N°3*



F\_ref = Anaérobie + microphytes + microphytes ( bassins N°1+N°12+N°11)  
 F\_mac = Jacinthes + Jacinthes + Macrophytes enracinées ( bassins N°2+N°3+N°4)  
 F\_lem = Lentilles d'eau + Lentilles d'eau + Microphytes ( bassin N°5+N°6+N°7)  
 F\_lemte = Microphytes + Microphytes + Microphytes + Lentilles d'eau+ Lentilles d'eau+  
 Lentilles d'eau ( bassins N°13+N°14+N°15+N°16+N°17+N°18)

B1 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
8/2/02	25	6,94	0,23	760	25,6	6,57	0,24	742
9/2/02	24,8	6,68	0,32	760	25,5	6,68	0,36	702
11/2/02	24,9	6,7	0,31	720	25,6	6,46	0,33	726
12/2/02	24,8	7,04	0,32	740	25,3	6,98	0,28	814
13/2/02	24,8	7,2	0,23	817	25,5	6,89	0,26	779
14/2/02	24,5	7,05	0,37	812	25,2	7,29	0,43	750
15/2/02	25,1	6,92	0,59	798	26,2	6,63	0,23	726
16/2/02	25,2	6,78	0,27	717	26,1	6,59	0,22	652
18/2/02	25,8	6,72	0,53	682	24,5	6,92		669
19/2/02	25,5	6,94		728	27,8	6,79	0,47	716
20/2/02	26,1	6,83		780	26,9	6,76	0,32	739
21/2/02	26,2	6,72	0,27	797	27,4	6,84	0,22	767
25/2/02	27,3	6,81	0,24	606	28,3	6,8	0,24	614
26/2/02	27	7,22	0,28	712	27,8	7,08	0,32	739
27/2/02	27,2	7,3	0,4	825	28	6,92	0,43	786
28/2/02	27	7,2	0,64	824	28		0,32	726
1/3/02	27,7	7,2	0,4	718	28,2	7	0,17	718
2/3/02	27,7	6,73	0,5	720	29,1	6,86	0,4	639
4/3/02	28,1	6,81	0,7	666	28,9	6,77	0,46	656
5/3/02	28	6,75	0,61	696	29,1	6,63	0,56	681
6/3/02	28,2	6,83	0,61	734	28,9	6,73	0,41	704
7/3/02	28,5	6,74	0,51	760	29,4	6,78	0,56	737
8/3/02	29,1	6,62	0,61	768	30	6,52	0,46	690
9/3/02	29	6,72	0,48	738	30,2	6,56	0,52	655
11/3/02	29,1		0,43	744	29,6	6,46	0,33	757
12/3/02	29,1	6,52	0,36	784	30,1	6,54	0,51	716
14/3/02	29,7	6,9	0,24	748	30,5	6,8	0,23	699
16/3/02	30,3	6,4	0,65	652	31,2	6,3	0,55	560
19/3/02	29,8	6,6	0,35	670	30,3	6,5	0,29	664
21/3/02	30,2	6,5	0,27	744	30,3	6,7	0,22	720
23/3/02	29,9	6,7	0,21	812	30,2	6,8	0,19	823
26/3/02	30,3	6,2	0,24	756	30,7	6,4	0,44	697
28/3/02	30,6	6,2	0,22	748	30,8	6,6	0,27	760
30/3/02	30,7	6,6	0,21	704	31,2	6,6	0,32	716

B1 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
2/4/02	31,2	6,5	0,26	753	31,3	6,7	0,25	758
4/4/02	30,9	5,9	0,27	714	31,8	6,2	0,4	705
6/4/02	31,3	6,2	0,19	731	32,6	6,8	0,25	675
9/4/02	31,8	6,2	0,38	700	32,3	6,5	0,26	714
11/4/02	32,8	6	0,38	726	33,6	6,8	0,43	653
13/4/02	32,9	6,4	0,24	693	33,5	6,8	0,27	647
16/4/02	32,6	6,3	0,32	657	33,2	6,8	0,23	629
18/4/02	32,1	6,8	0,26	685	32,6	6,6	0,2	659
20/4/02	31,6	6,5	0,5	682	32,9	6,6	0,38	634
23/4/02	32,7	6,4	0,26	632	33,1	6,8	0,26	629
25/4/02	32,5	6,3	0,28	682	33,8	6,5	0,32	600
27/4/02	33	6,5	0,32	706				
30/4/02	33,9	6,4		663	34,3	6,9		638
2/5/02	33,8	6,9	0,16	649	34,4	6,8	0,15	634
4/5/02	33,7	6,5	0,34	695	33,8	6,7	0,36	678
7/5/02	33,8	6,5	0,23	694	34,7	6,7	0,28	663
9/5/02	33,6	6,6	0,2	741	34	6,8	0,18	717
11/5/02	33,7	6,7	0,13	740	34,8	6,8	0,2	660
14/5/02	34	6,7	0,16	688	34,8	6,8	0,17	658
16/5/02	33,9	6,4	0,5	728	34,6	6,6	0,19	702
18/5/02	33,5	6,3	0,28	734	35,4	6,6	0,54	681
21/5/02	34,2	6,3	0,21	705	35,1	6,7	0,18	636
23/5/02	34,5	6,3	0,25	616	35,2	6,7	0,25	582
28/5/02	34,6	6,7	0,44	657	35,1	6,8	0,37	630
30/5/02	34,5	6,4		687	35	6,8	0,31	660

<b>B2 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
8/2/02	20,4	7,15	0,26	626	25,7	7	0,24	607
9/2/02	19,6	7,08	0,42	636	25,4	7,31	0,36	606
11/2/02	20,1	7,08	0,28	629	25,3	7,6	0,31	600
12/2/02	19,8	7,18	0,32	636	24,4	7,66	0,25	630
13/2/02	20,5	7,3	0,24	668	25,4	7,53	0,29	643
14/2/02	20,3	7,32	0,46	690	26	7,51	0,54	668
15/2/02	21,1	7,21	0,26	707	27,5	7,09	0,28	661
16/2/02	21,2	7,04	0,25	691	24,8	7,26	0,24	664
18/2/02	22,2	7	0,22	677	25,4	7,16		661
19/2/02	22,3	7,06		690	29,6	7,4		652
20/2/02	22	7,08		717	26	7,03	0,87	694
21/2/02	22,3	6,85	0,15	726	25,9	7,28	0,35	707
25/2/02	22,9	6,66	0,31	568	25,1	6,84	0,39	579
26/2/02	22,6	6,87		601	24,5	7,02	0,48	625
27/2/02	22,2	7,1	0,49	655	24	6,82	0,43	660
28/2/02	22,1	6,98	0,44	667	25,9		0,42	661
1/3/02	23,1	7,3	0,36	670	24,5	7	0,24	666
2/3/02	26,8	6,7	0,42	659	26,5	6,78	0,46	646
4/3/02	24	6,67	0,41	620	25,2	6,67	0,69	620
5/3/02	23,7	6,66	0,57	619	25,5	6,51	0,5	612
6/3/02	23,7	6,74	0,55	631	25,1	6,7	0,55	624
7/3/02	24,2	6,6	0,48	638	25,6	6,54	0,52	630
8/3/02	24,5	6,7	0,45	650	26,1	6,59	0,45	625
9/3/02	24,7	6,73	0,48	643	26,2	6,6	0,47	625
11/3/02	23,8	6,6	0,5	619	25,4	6,59	0,35	618
12/3/02	23,7	6,67	0,39	618	25,1	6,7	0,55	615
14/3/02	24,8	7,1	0,28	619	25,7	7	0,26	605
16/3/02	25,6	6,7	0,31	615	26,4	6,8	0,31	611
19/3/02	24,4	6,8	0,43	566	25,2	6,8	0,35	564
21/3/02	24	6,8	0,38	559	25,2	6,9	0,28	550
23/3/02	25	6,8	0,37	601	26	6,7	0,42	616
26/3/02	24,9	6,5	0,29	604	26,3	6,7	0,58	620
28/3/02	25,2	6,5	0,25	648	26,6	6,8	0,25	637
30/3/02	26,1	6,8	0,19	602	27,1	6,8	0,3	609

B2 Expé- rienceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
2/4/02	25,6	6,	0,21	627	26,	6,8	0,27	60
4/4/02	25,6	6,	0,22	640	27,	6,3	0,35	63
6/4/02	27,1	6,	0,19	662	28,	6,9	0,38	66
9/4/02	27,5	6,	0,3	666	28,	6,7	0,3	68
11/4/02	28,8	6,	0,2	711	29,	6,8	0,32	70
13/4/02	28,9	6,	0,2	708	29,	6,9	0,28	70
16/4/02	27,5	6,	0,26	672	28,	6,8	0,28	66
18/4/02	26,6	6,	0,27	651	2	6,7	0,23	64
20/4/02	25,5	6,	0,46	629	26,	6,7	0,34	61
23/4/02	25,3	6,	0,27	585	27,	7	0,31	58
25/4/02	25,9	6,	0,27	603	27,	6,8	0,3	60
27/4/02	26,8	6,	0,42	610				
30/4/02	28,1	6,		575	29,	7		56
2/5/02	28,1	6,	0,19	545	3	6,9	0,16	52
4/5/02	28,6	6,	0,32	547	28,	6,8	0,38	54
7/5/02	28,7	6,	0,26	521	30,	6,8	0,25	51
9/5/02	28,6	6,	0,22	564	29,	6,9	0,22	57
11/5/02	28,7	6,	0,22	604	29,	6,8	0,33	60
14/5/02	28,3	6,	0,25	572	29,	6,9	0,22	56
16/5/02	28,8	6,	0,36	580	29,	6,8	0,22	58
18/5/02	29,4	6,	0,52	603	30,	6,7	0,44	59
21/5/02	28,9	6,	0,32	598	29,	6,8	0,27	60
23/5/02	28,4	6,	0,38	572	28,	6,8	0,25	57
28/5/02	28,3	6,	0,36	524	29,	7	0,44	53
30/5/02	28,5	6,		555	30,	6,9	0,27	55
moyenne	25	6,	0,33	625,24	2	6,9	0,36	618,1
maxi	29,4	7,3	0,57	726	30,	7,66	0,87	70
mini	19,6	6,	0,15	521	2	6,3	0,16	51

B3 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	19,9	7,0	0,27	483	23,	7,06	1,12	50
09/02/2002	19,2	7,1	0,36	515	22,	7,26	1,36	52
11/02/2002	19,9	6,8	0,29	547	23,	6,77	0,79	55
12/02/2002	19,8	6,9	0,35	548	22,	7,02		55
13/02/2002	19,9	7,	0,23	561	22,	7,09	0,43	57
14/02/2002	19,8	7,0	0,38	580	24,	7,03	0,41	55
15/02/2002	20,3	6,9	0,26	597	2	6,83	0,24	58
16/02/2002	20,4	6,8	0,29	606	22,	7,32	0,2	59
18/02/2002	21,3	6,7	0,16	607	22,	6,82		60
19/02/2002	21,2	6,8		611	22,	6,65	0,55	59
20/02/2002	21,3	6,8		609	22,	6,7	0,32	60
21/02/2002	21,5	6,6	0,2	617	23,	6,68	0,45	61
25/02/2002	22	6,	0,49	569	22,	6,69	0,23	56
26/02/2002	21,9	6,8	0,32	549	22,	6,8	0,48	54
27/02/2002	21,5	6,	0,53	543	22,	6,46	0,49	53
28/02/2002	21,2	6,7	0,46	549	23,	7,24	0,4	53
01/03/2002	21,9		0,44	558	22,	6,7	0,27	55
02/03/2002	22,5	6,6	0,44	556	24,	6,58	0,61	53
04/03/2002	22,5	6,5	0,84	554	23,	6,53	0,78	55
05/03/2002	22,5	6,5	0,78	542	2	6,3	0,61	52
06/03/2002	22,4	6,6	0,72	538	22,	6,56	0,56	53
07/03/2002	22,8	6,5	0,54	536	23,	6,38	0,55	52
08/03/2002	23	6,5	0,54	537	24,	6,59	0,43	54
09/03/2002	23,2	6,	0,5	538	2	6,42	0,44	53
11/03/2002	22,7	6,		517	25,	6,35	0,71	51
12/03/2002	22,8	6,4	0,8	512	24,	6,52	0,47	50
14/03/2002	23,8		0,28	509	26,	7	0,3	55
16/03/2002	24,5	6,	0,37	538	25,	6,8	0,35	54
19/03/2002	23,3	6,	0,36	507	24,	6,8	0,34	50
21/03/2002	23,3	6,	0,35	466	24,	6,7	0,31	45
23/03/2002	23,6	6,	0,31	487	24,	6,7	0,42	49
25/03/2002	23,3	6,	0,28	515	25,	6,7	0,24	51
28/03/2002	23,8	6,	0,25	535	2	6,8	0,24	52
30/03/2002	24,8	6,	0,22	558	2	6,9	0,33	56

<b>B3 Expé- rienceN°3</b>	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	24,5	6,	0,18	527	25,	6,7	0,28	52
04/04/2002	24,4	6,	0,21	513	26,	6	0,35	50
06/04/2002	25,7	6,	0,22	526	27,	6,7	0,42	52
09/04/2002	26,4	6,	0,34	576	27,	6,7	0,27	57
11/04/2002	27,6	6,	0,19	592	3	6,8	0,56	58
13/04/2002	27,7	6,	0,21	599	28,	6,7	0,26	59
16/04/2002	26,7	6,	0,25	583	27,	6,7	0,4	57
18/04/2002	25,6	6,	0,29	578	26,	6,7	0,23	57
20/04/2002	24,7	6,	0,48	556	25,	6,7	0,39	55
23/04/2002	24,4	6,	0,6	515	26,	6,9	0,42	51
25/04/2002	24,6	6,	0,33	515	26,	6,7	0,45	50
27/04/2002	25,8	6,	0,46	512				
30/04/2002	27,1	6,		474	28,	6,9		47
02/05/2002	27	6,	0,19	545	3	6,9	0,16	52
04/05/2002	27,5	6,	0,32	455	27,	6,9	0,35	45
07/05/2002	27,8	6,	0,21	425	28,	6,5	0,26	42
09/05/2002	27,6	6,	0,3	439	28,	6,7	0,2	44
11/05/2002	27,9	6,	0,22	604	29,	6,8	0,46	46
14/05/2002	27,9	6,	0,32	408	28,	6,7	0,3	40
16/05/2002	28	6,	0,45	424	28,	6,5	0,26	42
18/05/2002	28,5	6,	0,5	462	29,	6,5	0,35	44
21/05/2002	27,9	6,	0,32	492	28,	6,7	0,3	48
23/05/2002	27,8	6,	0,46	476	28,	6,6	0,23	47
28/05/2002	27,7	6,	0,49	424	29,	6,9	0,43	41
30/05/2002	27,8	6,		429	29,	6,8	0,23	46

B4 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	18,3	7,1	4,04	387	26,	8,53		37
09/02/2002	17,9	7,3	0,72	420	26,	8,66		36
11/02/2002	18,6	7,0	0,67	478	26,	8,32		40
12/02/2002	18,4	7,1	0,53	466	27,	8,46		40
13/02/2002	18,8	7,	0,47	482	26,	8,31	3,92	42
14/02/2002	18,2	7,2	0,42	502	28,	8,51		45
15/02/2002	19	7,2	0,32	521	29,	8,32		46
16/02/2002	19	7,1	0,26	596	2	8,22		49
18/02/2002	20,3	7,0	0,23	561	29,	8,07	4,94	50
19/02/2002	20,1	7,0		560	31,	8,04		46
20/02/2002	20	7,1		552	27,	7,69		50
21/02/2002	20,1	6,9	0,52	564	26,	7,89		53
25/02/2002	20,9	6,7	0,53	561	25,	6,98	1,4	54
26/02/2002	20,3	7,0	0,3	546	25,	6,92	0,9	52
27/02/2002	19,7	7,	0,38	536	2	6,74	0,97	53
28/02/2002	20,5	6,9	0,74	525	25,		0,63	50
01/03/2002	21,5	7,	0,45	527	25,	6,9	0,32	51
02/03/2002	22	6,8	0,4	525	27,	6,82	0,56	52
04/03/2002	21,3	6,7	0,54	523	25,	6,62	0,62	50
05/03/2002	20,5	6,6	0,62	515	28,	6,57	0,7	48
06/03/2002	20,7	6,	0,43	507	23,	6,61	0,55	49
07/03/2002	21,5	6,6	0,52	497	28,	6,6	0,71	45
08/03/2002	22,3	6,7	0,34	492	26,	6,52	0,52	48
09/03/2002	22,2	6,		492	24,	6,53	0,62	47
11/03/2002	21,4	6,6	0,44	497	25,	6,6	0,42	56
12/03/2002	21,5	6,6	0,45	504	2	6,55	0,52	53
14/03/2002	22,6		0,25	457	26,	7	0,35	45
16/03/2002	22,9	6,	0,29	480	25,	6,9	0,34	46
19/03/2002	21,3	6,	0,42	494	24,	6,9	0,5	55
21/03/2002	22,2	6,	0,36	493	26,	7,1	0,54	49
23/03/2002	22,4	7,	0,31	460	26,	7,4	0,77	44
26/03/2002	22,6	6,	0,36	493	27,	7	0,4	47
28/03/2002	22,9		0,21	485	27,	6,9	0,39	45
30/03/2002	23,1	6,	0,2	514	27,	7	0,45	49

<b>B4 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
02/04/2002	23,3	6,	0,24	528	26,	6,8	0,3	53
04/04/2002	23,4		0,21	508	27,		0,4	48
06/04/2002	25,4	6,	0,19	492	28,	6,8	0,54	47
09/04/2002	25,4	6,	0,36	505		6,7	0,32	
11/04/2002	27	6,	0,22	537	29,	6,8	0,53	52
13/04/2002	27	6,	0,25	535	28,	6,7	0,52	53
16/04/2002	24,9	6,	0,46	564	27,	6,9	0,41	58
18/04/2002	24,1	6,	0,2	584	26,	7	0,58	55
20/04/2002	23,4	6,	0,49	553	26,	7,1	0,71	55
23/04/2002	23,6		0,58	583	26,	7,2	0,55	60
25/04/2002	23,5	6,	0,48	573	25,	6,8	0,49	62
27/04/2002	24,9	7,	0,48	543				
30/04/2002	26,4	6,		543	28,	6,9		61
02/05/2002	27	6,	0,2	495	29,	6,9	0,38	47
04/05/2002	27,3	6,	0,24	457	28,	6,7	0,54	44
07/05/2002	28,1	6,	0,31	467	31,	6,8	0,4	42
09/05/2002	27,3	6,	0,4	423	32,	7,2	0,42	41
11/05/2002	27,5		0,24	457	30,	7,5	0,24	47
14/05/2002	28,3	6,	0,36	461	30,	7,8	0,48	49
16/05/2002	28,4	6,	0,38	453	32,	7,2	0,62	43
18/05/2002	29,1	6,	0,33	439	32,	6,9	0,34	40
21/05/2002	28,3	6,	0,23	447	30,	6,9	0,28	45
23/05/2002	28,2	6,	0,35	472	30,	6,9	0,32	48
28/05/2002	28,4	6,	0,4	559	30,	7	0,44	56
30/05/2002	28,3	6,		556	3	7	0,27	52

<b>B5 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
08/02/2002	20,1	7,5	0,27	739	27,	7,54	0,24	68
09/02/2002	19,6	7,5	0,46	718	27,	8,1	0,64	64
11/02/2002	19,9	7,2	0,32	653	26,	7,63	0,41	59
12/02/2002	19,5	7,4	0,48	642	24,	8,32	0,74	62
13/02/2002	19,1	7,	0,28	639	26,	8,31	3,92	56
14/02/2002	18,4	7,6	0,32	634	28,	8,97		50
15/02/2002	18,9	7,2	0,2	619	2	8,05	2,75	53
16/02/2002	19,8	7,4	0,24	596	2	8,39	3,54	50
18/02/2002	21,3	7,3	0,16	681	27,	7,96	3,32	57
19/02/2002	21,4	7,4		590	30,	8,34	2,51	50
20/02/2002	21,1	7,4		608	26,	7,58	0,75	57
21/02/2002	21,3	7,1	0,47	624	26,	7,61	0,28	60
25/02/2002	22,7	7,0	0,32	662	27,	7,21	0,31	56
26/02/2002	22,3	7,2	0,34	583	25,	7,24	0,43	59
27/02/2002	21,9	7,	0,33	631	25,	7,28	0,33	61
28/02/2002	21,8	7,2	0,53	643	2		0,36	59
01/03/2002	23	7,	0,43	636	25,	7,3	0,4	61
02/03/2002	23,5	6,9	0,5	631	31,	7,32	0,43	57
04/03/2002	21,3	6,7	0,54	523	25,	6,62	0,62	50
05/03/2002	22,9	6,9	0,62	598	27,	7,06	0,65	56
06/03/2002	23,2	7,0	0,35	608	27,	7,1	0,32	58
07/03/2002	23,9	6,9	0,49	614	2	7,03	0,57	59
08/03/2002	24,6	6,8	0,36	623	2	6,8	0,43	59
09/03/2002	24,6	6,8	0,76	630	2	6,84	0,48	59
11/03/2002	22,9	6,7	0,5	615	23,	6,63	0,4	61
12/03/2002	22,5	6,	0,51	613	26,	6,97	0,69	59
14/03/2002	24,8	7,	0,27	605	30,	7,2	0,28	57
16/03/2002	25,6	6,	0,33	591	30,	7,1	0,46	55
19/03/2002	24,1	6,	0,36	584	29,	6,9	0,3	54
21/03/2002	24,6	6,	0,34	598	27,	7	0,4	58
23/03/2002	24,5	6,	0,34	636	26,	6,9	0,25	62
26/03/2002	24,7	6,	0,3	646	26,	6,7	0,35	65
28/03/2002	24,4	6,	0,28	670	26,	6,7	0,36	66
30/03/2002	25,6	6,	0,14	645	27,	6,5	0,63	61

<b>B5 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
02/04/2002	25,1	6,	0,2	662	26,	6,5	0,26	66
04/04/2002	26,2	6,	0,22	693	2	6,1	0,34	68
06/04/2002	26,7	6,	0,25	721	30,	6,7	0,43	70
09/04/2002	26,7	6,	0,25	725		7	0,38	
11/04/2002	28,9	6,	0,22	697	32,	7	0,46	64
13/04/2002	29,2	6,	0,3	671	32,	6,9	0,34	64
16/04/2002	28,1	6,	0,42	627	3	7,2	0,49	61
18/04/2002	27,1	6,	0,19	633	29,	7,1	0,39	61
20/04/2002	25,3	6,	0,43	626	30,	7,3	0,67	59
23/04/2002	26,9	6,	0,56	578	30,	7,1	0,56	55
25/04/2002	26,4	6,	0,5	580	30,	7,1	0,52	55
27/04/2002	27,8		0,45	589				
30/04/2002	29,4	6,		594	32,	6,8		57
02/05/2002	28,8	6,	0,2	591	34,	6,9	0,25	56
04/05/2002	28,4	6,	0,35	578	3	6,9	0,63	56
07/05/2002	29,1	6,	0,32	558	32,	7,1	0,36	54
09/05/2002	28,5	6,	0,38	574	31,	7,3	0,26	56
11/05/2002	28,7	6,	0,3	595	31,	6,9		57
14/05/2002	29,3	6,	0,36	601	31,	6,9	0,31	59
16/05/2002	29,1	6,	0,5	622	30,	6,7	0,33	61
18/05/2002	29,8	6,	0,43	645	32,	6,6	0,3	63
21/05/2002	28,5	6,	0,24	674	31,	6,8	0,31	64
23/05/2002	28,6	6,	0,4	679	33,	6,8	0,34	63
28/05/2002	28,7	7,	0,44	624	37,	8,7	7,54	53
30/05/2002	29,7	7,		613	36,	8,5	17,6	53

<b>B6 Expé- rienceN°3</b>	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	19	7,6	0,32	770	26,	7,7	0,31	72
11/02/2002	17,8	7,	0,41	693	24,	8,13		62
12/02/2002	17,9	7,4	0,5	673	2	8,5		61
13/02/2002	17,8	8,	0,52	653	24,	8,67		57
14/02/2002	17,7	8,3	3,76	628	28,	9,22		45
15/02/2002	17,9	8,5	4,28	599	2,	8,69		50
16/02/2002	18,3	8,4	2,82	584	24,	8,96		50
18/02/2002	20	8,1	0,22	572	27,	8,66		51
19/02/2002	20,2	8,0		571	31,	9,36	4,62	43
20/02/2002	20	8,1		561	27,	8,78		49
21/02/2002	19,9	7,	0,15	560	27,	8,64		50
25/02/2002	21,3	7,5	0,43	547	27,	8,4		50
26/02/2002	20,9	7,8	0,32	538	25,	8,73	3,89	51
27/02/2002	20,4		0,38	540	24,	7,82	0,47	53
28/02/2002	20,4	7,6	0,4	546	26,		0,62	54
01/03/2002	21,6	7,	0,52	554	25,	8	0,79	55
02/03/2002	22,6	7,2	0,46	562	29,	7,52	0,52	54
04/03/2002	22,2	7,2	0,44	558	25,	7,33	1,05	54
05/03/2002	21,5			556	2	7,21	0,73	54
06/03/2002	21,6	7,2	0,38	554	25,	7,3	0,53	54
07/03/2002	22,4	7,1	0,49	558	26,	7,2	0,75	55
08/03/2002	22,9	7,1	0,44	563	2	7,17	0,58	55
09/03/2002	23,1	7,2	0,9	569	26,	7,16	0,42	53
11/03/2002	22	7,0	0,47	568	23,	6,97	0,84	55
12/03/2002	21,8	7,	0,55	563	25,	7,44	0,72	55
14/03/2002	23,6	7,	0,32	546	29,	8,4	0,75	53
16/03/2002	24,3	7,	0,31	552	29,	8,1	1,15	53
19/03/2002	23,1	7,	0,38	543	30,	8,3	0,69	51
21/03/2002	23,2	7,	0,28	542	28,	8,2	0,6	52
23/03/2002	23,2	7,	0,27	553	26,	8,2	0,83	54
26/03/2002	23,7	7,		568	27,	8,4	0,25	54
28/03/2002	23,8	7,	0,26	569	27,	8,3	0,37	55
30/03/2002	24,6		0,14	580	28,	8,2	0,79	56

B6 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	24,3	6,	0,2	572	28,	8,6	2,18	54
04/04/2002	25,1	6,	0,2	585	3	7,6	0,53	55
06/04/2002	25,9	6,	0,21	585	33,	7,7	0,64	56
09/04/2002	26	6,	0,19	592		7,7	0,29	
11/04/2002	27,8	7,	0,2	595	31,	7,5	0,51	59
13/04/2002	28,5	7,	0,24	609	32,	8	0,68	59
16/04/2002	27,4	7,	0,41	607	33,	8,2	0,45	56
18/04/2002	26,5	7,	0,2	595	30,	7,7	0,53	54
20/04/2002	24,9	7,	0,32	582	31,	8,5		53
23/04/2002	26,1	7,	0,26	568	32,	9	0,5	52
25/04/2002	25,3	7,	0,37	560	31,	7,4	0,66	52
27/04/2002	27	7,	0,35	558				
30/04/2002	28,4	7,		568	33,	7,3		54
02/05/2002	27,8		0,24	572	33,	7,3	0,41	54
04/05/2002	27,7		0,4	563	3	7,2	1,58	54
07/05/2002	28,3		0,38	568	33,	7,4	0,54	55
09/05/2002	28	7,	0,35	570	32,	7,6	0,36	55
11/05/2002	27,8	7,	0,26	574	30,			57
14/05/2002	28,3	7,	0,23	577	32,	7,4	0,45	55
16/05/2002	28,4	6,	0,36	588	32,	7,4	0,67	57
18/05/2002	29		0,4	596	34,	7,9	0,72	56
21/05/2002	28,2	7,	0,24	583	32,	7,9	2,51	57
23/05/2002	28,2	7,	0,4	585	32,	7,8	0,6	58
28/05/2002	28,3	7,	0,32	584	35,	8,8		50
30/05/2002	28,7	7,		578	35,	9	0,51	48

B7 Expé- rienceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
19/02/2002	21,	7,8		54	32,7	8,44	14,	512
20/02/2002	21,	7,73		55	29,7	7,88	4,6	548
21/02/2002	21,	7,44	0,28	56	29,6	8,08	10,	540
25/02/2002	22,	7,46	0,4	58	30,6	7,94	4,0	557
26/02/2002	2	7,66	0,42	58	27,9	8,37	3,3	565
27/02/2002	21,	7,8	0,45	56	29,3	8,32		549
28/02/2002	21,	7,58	0,42	58	31,6		1,4	524
01/03/2002	22,	7,9	0,34		29	8,7	3,	551
02/03/2002	23,	7,5	0,28	57	33,5	8,06	4,7	521
04/03/2002	23,	7,49	0,48	57	29,9		1,5	568
05/03/2002	22,			58	29	8,6	5,2	566
06/03/2002	22,	7,55	0,34	57	32,4	7,9	2,2	542
07/03/2002	23,	7,47	0,55	57	33,7	8,53	3,2	523
08/03/2002	25,				32,6			491
09/03/2002	24,	7,42	0,72	57	30,3	8,28	8,	551
11/03/2002	23,	7,33	0,43	58	30,9	7,98		543
12/03/2002	23,	7,41	0,4	57	29,5		6,2	543
14/03/2002	24,	8,1	0,29	53	33		8,	467
16/03/2002	24,	7,8	0,38	52	30,5		2,8	492
19/03/2002	23,	7,5	0,38	52	31,8	9,6	0,5	487
21/03/2002	23,	7,4	0,39	53	29,7	9,3	0,6	486
23/03/2002	23,	7,5	0,32	53	28,8	9,1	0,8	503
26/03/2002	2	7,2		54	30,8	8,3	4,6	510
28/03/2002	24,	7,5	0,26	54	30,8	8,9	5,5	484
30/03/2002	2	7,5	0,2	54	31,9	8,6	17,	480

<b>B7 Expé- rienceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
02/04/2002	25,	7,4	0,41	53	32,3	9	26,	465
04/04/2002	25,	6,8	0,43	53	34,2	8,5	29,	443
06/04/2002	26,	7	0,34	53	35,9	8,8	25,	454
09/04/2002	27,	7,1	0,25	52		9,1	23,	
11/04/2002	28,	7,1	0,24	50	35,6	9,2	5,5	444
13/04/2002	28,	7,1	0,22	52	33,2	9,1	10,	506
16/04/2002	27,	7,2	0,35	55	33,8	9,2	12,	482
18/04/2002	26,	7,4	0,28	54	30,5	8,5	8,2	487
20/04/2002	25,	7,2	0,33	53	32,8	9,1	9,5	463
23/04/2002	26,	7,5	0,28	52	32	9,4	9,5	480
25/04/2002	25,	7,3	0,38	52	31,6	8,7	7,2	458
27/04/2002	27,	7,6	0,32	50				
30/04/2002	28,	7,3		50	34,6	8,2		452
02/05/2002	28,	7,4	0,21	49	34,1	8,9	3,5	444
04/05/2002	27,	7,4	0,58	48	31,5	8,1	3,1	433
07/05/2002	28,	7,4	0,48	48	33,3	9,1	4,	441
09/05/2002	27,	7,6	0,38	48	31,9	9,7	5,4	424
11/05/2002	27,	7,6	0,25	48	31,6	8		452
14/05/2002	28,	7,5	0,23	50	33,4	8,5	2,3	416
16/05/2002	28,	7,3	0,38	49	33,1	9,2		445
18/05/2002	2	7,4	0,29	49	34,5	9,7	3,	417
21/05/2002	28,	7,8	0,26	47	34,9	10	7,0	410
23/05/2002	28,	7,7	0,31	47	34,7	9,3	7,1	417
28/05/2002	28,	7,6	0,36	51	34	9,6	10,	433

B8 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	19,3	7,1	1,36	225	2	8,32	6,33	22
09/02/2002	19,1	7,4	1,96	228	26,	8,63	11,2	22
11/02/2002	18,5	8,2	8,73	225	2	9,9	33,1	27
12/02/2002	18,4		12,3	227	2	10,3	29,2	29
13/02/2002	18,9	9,	11,5	233	26,	10,6	23,2	32
14/02/2002	19	9,8	12,7	240	28,	10,5	24,4	30
15/02/2002	19,3	9,8	10	243	28,	10,6	25,5	33
16/02/2002	19,1	9,	11,1	250	27,	10,4	28,6	33
18/02/2002	21,1	9,6	9,45	258	30,	10,5	7,1	
19/02/2002	21,3	9,		263	30,	10,3	26,4	34
20/02/2002	21,3	9,7		268	29,	10,1	18,6	29
21/02/2002	21,3	9,1	3,91	274	29,	9,34	10,5	28
25/02/2002	22,8	7,6	2,03	317	30,	9,87	21,5	32
26/02/2002	22,4	8,1	2,06	323	2	9,95	19,3	33
27/02/2002	22	8,	2,54	330	30,	9,6	14,1	33
28/02/2002	22,1	8,4	2,46	337	31,		20,8	34
01/03/2002	23,7		4,84	339	30,	10,6	22,6	40
02/03/2002	23,8	9,	6,7	347	3	10,4	22,8	40
04/03/2002	24,1	9,4	5,92	353	30,	10,5	22,2	41
05/03/2002	23,3			361	3	10,2	23,4	42
06/03/2002	23,7	9,5	5,12	367	3	10,7	25,5	43
07/03/2002	24,5	9,5	6,21	373	32,	10,4	16,7	48
08/03/2002	25,2	9,	7,31	377	32,	10,6	30,7	49
09/03/2002	25,2	9,5	6,66	382	3	10,5	27,2	48
11/03/2002	24,1	9,3	4,51	389	33,	10,6	25,8	46
12/03/2002	24,4	9,2	2,56	392	32,	10,2	15,4	47
14/03/2002	25,5	9,	3,76	389	33,	10,6	21	47
16/03/2002	25,8	9,	4,14	400	34,	10,4	24,6	49
19/03/2002	24	9,	1,71	415	32,	10,6		51
21/03/2002	24	9,	4,05	427	29,	10,8	32,6	54
23/03/2002	23,7	9,	4,96	438	29,	10,6	27,6	53
26/03/2002	24,9	9,		455	32,	10,2	26,2	51
28/03/2002	25,5	9,	2,66	465	32,	10,1	15,4	49
30/03/2002	25,8	8,	0,38	486	32,	9,5	16,1	48

B8 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	26,3	7,	0,79	527	32,	9,3	17,7	52
04/04/2002	26,7	7,	0,53	540	3	8,9	22,9	52
06/04/2002	27,1	7,	0,74	546	36,	9,8	29,7	54
09/04/2002	27,8	8,	1,83	539		10,4	27,3	
11/04/2002	29,4	8,	0,56	542	35,	9,8	18,9	57
13/04/2002	29,4	8,	0,24	564	35,	9,4	16,2	55
16/04/2002	28,3	7,	0,32	583	35,	9,2	20,2	55
18/04/2002	27,6	7,	0,91	595	31,	9,2	18,2	56
20/04/2002	26,4	7,	1,35	582	35,	9,7	28,8	55
23/04/2002	26,9	8,	1,48	546	35,	10,9	35,8	70
25/04/2002	26,1	8,	1	536	3	9,7	30,7	71
27/04/2002	27,8	9,	0,28	534				
30/04/2002	29,7	8,		543	37,	9,6		55
02/05/2002	29,5	8,	0,5	567	36,	10,1	27,3	60
04/05/2002	29,1	8,	1,38	548	34,	10	31,3	56
07/05/2002	29,3	8,	0,4	547	37,	10,5	22,5	69
09/05/2002	29	9,	0,44	552	34,	10,5	19,6	67
11/05/2002	28,7	9,	0,53	557	36,	10,3		57
14/05/2002	29,4	9,	0,38	555	36,	10,4	25,1	71
16/05/2002	29,4	8,	0,85	559	36,	10,3	26,6	72
18/05/2002	29,8	8,	1,68	568	35,	10,2	17,2	71
21/05/2002	29,1	9,	2,76	576	37,	10,8	20,9	74
23/05/2002	29,1	9,	3,21	578	37,	10,5	24	77
28/05/2002	29,2	1	4,41	599	3	10,8	17,1	75

<b>B11 Expérie- nceN°3</b>	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	18,8	8,17	3,86	304	23,6	8,51	5,82	295
09/02/2002	18,2	7,72	0,58	372	25,1	8,57	6,19	326
11/02/2002	18,8	6,85	0,53	357	26,5	7,02	4,58	345
12/02/2002	19,4	7,38	0,38	401	24,7	8,24	6,6	432
13/02/2002	19,8	7,5	0,3	448	27,9	7,6	0,46	476
14/02/2002	19,8	7,48	0,48	486	28,1	7,54	2,06	504
15/02/2002	20,1	7,41	0,33	518	29,9	7,37	1,07	542
16/02/2002	20,2	7,3	0,2	546	29,3	7,52	3,05	548
18/02/2002	21,5	7,34	0,17	586	29,9	7,61	4,01	579
19/02/2002	21,4	7,49		598	31,8	7,12	4,63	577
20/02/2002	21,3	7,51		605	29,7	7,6	2,5	596
21/02/2002	21,4	7,38	0,38	611	30,8	7,7	5,48	593
25/02/2002	22,4	7,44	0,47	607	29,2	8,06	4,58	560
26/02/2002	21,8	7,73	0,52	593	28,1	8,64	3,39	540
27/02/2002	21,3	7,8	0,38	583	27,7	7,92	1,52	561
28/02/2002	21,2	7,62	0,53	579	32	8,59	2,52	484
01/03/2002	22,9	7,9	0,37	575	29,7	8,6	2,4	551
02/03/2002	23,8	7,49	0,38	581	31,7	8,26	1,88	563
04/03/2002	23,5	7,45	0,6	587	30,5	8,15	3,2	530
05/03/2002	22,8	7,45	0,52	580	33,5	9,01	5,4	445
06/03/2002	23	7,61	0,34	571	32,6	8,89		472
07/03/2002	23,9	7,54	0,47	562	32,7	8,82	7,86	477
08/03/2002	24,7	7,57	0,4	559	32,4	8,24	9,71	520
09/03/2002	24,7	7,47	1	566	30,2	7,85	6,28	538
11/03/2002	23,7	7,31	0,65	586	33	7,48	2,4	570
12/03/2002	24,1	7,33	0,44	593	32,5	7,9	3,79	575
14/03/2002	25,5	7,8	0,35	579	34,1	8,2	5,86	566
16/03/2002	25,6	7,5	0,36	593	35	7,6	1,49	580
19/03/2002	23,8	7,5	0,45	609	32,6	8,5	10,9	550
21/03/2002	24,3	7,4	0,38	610	29,4	8,6	11,9	559
23/03/2002	24,1	7,6	0,33	588	29,3	10,2	10,1	520
26/03/2002	24,3	7,4	0,49	536	29,5	10,2	10,9	529
28/03/2002	24,8	7,7	0,24	523	30,3	10,2	6,48	461
30/03/2002	25,3	7,8	0,24	511	29,6	9,8	11,2	475
02/04/2002	25,4	7,7	0,3	488	29,9	10,1	5,96	465
04/04/2002	25,7	6,8	0,48	496	34,3	9,3	16,3	445

B11 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
11/04/2002	28,7	7,	0,21	479	36,	9,6	6,3	43
13/04/2002	28,6	7,	0,23	486	35,	10,1	13,5	43
16/04/2002	27,6	7,	0,3	487	35,	10	13,6	40
18/04/2002	26,6	8,	0,66	460	31,	9,8	17,2	41
20/04/2002	25,8	7,	0,41	463	35,	9,7	18,7	40
23/04/2002	26,8	8,	0,38	463	34,	10,8		39
25/04/2002	25,6	7,	0,64	449	33,	8,7	16,3	40
27/04/2002	27,3		0,32	451				
30/04/2002	29,3	7,		462	37,	8,7		40
02/05/2002	29,8	7,	0,2	478	36,	8,8	3,98	39
04/05/2002	28,7	7,	0,32	472	3	8,3	6,46	40
07/05/2002	29,1	7,	0,26	503	37,	8,3	6,62	47
09/05/2002	28,8	7,	0,34	507	34,	9,2	13,5	42
11/05/2002	28,8	7,	0,2	502	35,	9,6		41
14/05/2002	29,4	7,	0,26	504	35,	8,5	6,18	45
16/05/2002	29,1	7,	0,44	523	36,	9,8	13,4	44
18/05/2002	29,8	7,	0,5	511	37,	8,5	9,82	41
21/05/2002	29	7,	0,22	536	35,	8,5	9,34	46
23/05/2002	29	7,	0,36	552	35,	8,7	2,15	47
28/05/2002	28,6	7,	0,38	567	34,	8,5	1,32	50
30/05/2002	29,1	7,		564	3	8,7	5,71	51

<b>B13 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
08/02/2002	19,9	7,3	0,34	620	26,	7,8	0,26	56
09/02/2002	19,6	7,3	0,27	609	26,	8,55	0,57	52
11/02/2002	19,8	7,2	0,27	594	25,	7,73	0,32	55
12/02/2002	19,7	7,4	0,3	586	24,	7,94	0,28	54
13/02/2002	20,4	7,	0,25	636	24,	7,81	0,33	60
14/02/2002	20,2	7,4	0,24	651	27,	7,95	0,47	57
15/02/2002	20,7	7,3	0,21	670	27,	7,59	0,4	59
16/02/2002	20,5	7,2	0,18	628	27,	7,88	0,15	56
18/02/2002	21,2	7,	0,19	588	26,	7,92	1,2	54
19/02/2002	21,5	7,2		585	32,	8,3	1,33	47
20/02/2002	20,5	7,2		642	28,	7,78	0,53	57
21/02/2002	21,1	7,1	0,32	646	28,	8,32	0,24	61
25/02/2002	22,7	7,0	0,24	532	27,	7,78	0,3	50
26/02/2002	22	7,	0,32	575	27,	8,33	0,32	57
27/02/2002	21,4	7,	0,44	670	27,	7,64	0,36	63
28/02/2002	21,4	7,4	0,42	698	29,	8,13	0,3	61
01/03/2002	22,9	7,	0,28	696	27,	8,4	0,44	65
02/03/2002	23,8	7,0	0,66	679	29,	8,12	2,09	60
04/03/2002	23	7,	0,19	640	27,	7,95	0,6	60
05/03/2002	22,4	7,0	0,54	636	30,	7,8	0,62	56
06/03/2002	22,9	7,1	0,42	654	28,	7,71	0,81	60
07/03/2002	24	7,0	0,44	654	30,	8,35	1,8	58
08/03/2002	24,6	7,0	0,39	664	31,	7,94	0,84	57
09/03/2002	24,6	7,0	0,61	638	3	7,91	0,6	57
11/03/2002	22,4	6,	0,79	602	27,	7,23	0,39	57
12/03/2002	22,4	6,8	0,46	596	27,	7,61	3,17	56
14/03/2002	24,8	7,	0,24	630	31,	8,9	0,26	58
16/03/2002	25,6	6,	0,31	596	30,	7,9	0,3	54
19/03/2002	24,5	6,	0,34	584	29,	8,4	0,33	57
21/03/2002	26,2	6,	0,32	663	28,	6,7	0,28	68
23/03/2002	25,3	6,	0,23	750	27,	6,6	0,25	72
26/03/2002	25,9	6,	0,25	700	28,	6,4	0,27	67
28/03/2002	25,8	6,	0,25	728	28,	6,3	0,26	69
30/03/2002	27	6,	0,33	660	29,	6,4	0,3	63

B13 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	27,2	6,	0,43	608	28,	6,6	0,27	64
04/04/2002	27,5		0,24	708	31,	6,2	0,28	70
06/04/2002	28,1	6,	0,22	750	30,	6,8	0,66	72
09/04/2002	28,8	5,	0,33	728	30,	6,4	0,25	73
11/04/2002	29,8	6,	0,21	778	32,	6,6	0,44	72
13/04/2002	29,9	6,	0,22	753	32,	6,8	0,26	72
16/04/2002	27,7	6,	0,3	736	31,	6,9	0,29	68
18/04/2002	27,4	6,	0,21	715	30,	6,7	0,22	68
20/04/2002	27,1	6,	0,41	684	30,	6,7	0,26	65
23/04/2002	28	6,	0,31	646	31,	6,8	0,34	63
25/04/2002	27,8	6,	0,27	656	3	6,6	0,36	66
27/04/2002	28,5	6,	0,33	695				
30/04/2002	30,8	6,		658	33,	6,8		64
02/05/2002	29,8	6,	0,26	660	32,	6,7	0,22	63
04/05/2002	30,2	6,	0,32	674	31,	6,7	0,37	65
07/05/2002	30,9	6,	0,28	647	3	6,8	0,27	63
09/05/2002	30,2	6,	0,23	705	31,	6,6	0,15	71
11/05/2002	30,3	6,	0,12	741	32,	6,7	0,24	71
14/05/2002	31,1	6,	0,15	681	3	6,8	0,19	66
16/05/2002	30,5	6,	0,36	725	32,	6,5	0,26	70
18/05/2002	30,7	6,	0,37	759	33,	6,7	0,4	72
21/05/2002	30,3	6,	0,3	715	32,	6,7	0,28	68
23/05/2002	30,4	6,	0,4	662	32,	6,6	0,3	63
28/05/2002	30,9	6,	0,35	637	33,	6,8	0,33	62
30/05/2002	30,6	6,		688	33,	6,8	0,25	67



<b>B14 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
08/02/2002	19,3	7,9	0,52	474	2	8,71	14,5	41
09/02/2002	19,1	8,0	0,27	484	2	8,67	15,5	43
11/02/2002	19,2	7,6	0,31	505	2	8,25	11,6	46
12/02/2002	19,4	7,9	0,3	507	23,	8,6	13,7	47
13/02/2002	19,8	7,	0,3	522	25,	8,56	8,1	48
14/02/2002	19,8	7,8	0,28	540	2	8,49	8,05	51
15/02/2002	20,3	7,6	0,22	558	28,	8,33	2,69	49
16/02/2002	20,1	7,4	0,18	566	28,	8,64	4,06	51
18/02/2002	21,8	7,3	0,2	566	28,	8,6	5,09	49
19/02/2002	21,1	7,3		561	33,	8,82	2,26	44
20/02/2002	20,6	7,		566	28,	8,5	2,05	50
21/02/2002	20,6	7,	0,32	578	27,	8,82	0,42	55
25/02/2002	21,6	7,2	0,4	546	27,	8,1	1,34	52
26/02/2002	21,6	7,	0,28	539	26,	8,87	5,46	51
27/02/2002	21,2	7,	0,43	547	27,	8,3	9,55	49
28/02/2002	21,4	7,5	0,38	563	32,	8,91	20,4	45
01/03/2002	22,6		0,28	568	29,	9,1	14,9	51
02/03/2002	23,2	7,5	0,42	584	27,	8,27	6,64	55
04/03/2002	23,4	7,4	0,7	590	28,	8,5	10,4	54
05/03/2002	22,7	7,4	0,52	586	3	8,75	9,55	47
06/03/2002	23	7,5	0,37	585	29,	8,53	8,4	52
07/03/2002	23,8	7,4	0,51	586	30,	8,57	8,07	49
08/03/2002	24,4	7,5	0,39	664	31,	7,94	0,84	52
09/03/2002	24,4	7,	1,32	583	3	7,91	0,6	57
11/03/2002	23	7,3	0,42	568	28,	8,06	4,12	52
12/03/2002	22,8	7,6	0,51	556	28,	8,74	7,66	50
14/03/2002	24,5	7,	0,2	542	29,	9	0,27	52
16/03/2002	24,7	7,	0,28	554	29,		9,3	53
19/03/2002	23,6	7,	0,33	543	29,	8,7	0,59	51
21/03/2002	24,7		0,3	587	29,	9,1	0,28	55
23/03/2002	24	7,	0,32	611	27,	8,7	0,25	60
26/03/2002	24,6	6,	0,22	626	3	8,7	0,21	60
28/03/2002	24,8		0,26	617	29,	8,7	0,2	60
30/03/2002	25,5	6,	0,23	616	29,	9	0,27	59

B14 Expérience N°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	26	6,	0,22	601	31,	8,6	1,03	56
04/04/2002	26,1	6,	0,18	601	32,	8	0,2	56
06/04/2002	26,8	6,	0,16	624	34,	8,1	0,76	58
09/04/2002	28	6,	0,2	655	3	8,5	7,54	56
11/04/2002	29,2	6,	0,21	663	33,	7,2	0,74	63
13/04/2002	29,2	6,	0,21	662	3	8,5	0,36	63
16/04/2002	27,8		0,23	633	33,	8,4	3,9	58
18/04/2002	27,2	7,	0,22	614	30,	8,1	0,41	59
20/04/2002	26,2	7,	0,38	621	32,	7,9	0,28	57
23/04/2002	27	7,	0,29	595	32,	8,5	0,41	56
25/04/2002	26,4	6,	0,27	596	31,	7,5	0,26	56
27/04/2002	28,1	7,	0,33	601				
30/04/2002	29,9	7,		602	36,	7,4		55
02/05/2002	29,5	7,	0,19	600	35,	7,5	0,44	51
04/05/2002	29,5	7,	0,22	592	33,	7,5	3,45	57
07/05/2002	30,2	7,	0,26	607	36,	7,4	0,37	60
09/05/2002	29,7	7,	0,19	645	34,	8,2	0,28	58
11/05/2002	29,7	7,	0,16	652	34,	8,2		59
14/05/2002	30,3	7,	0,37	636	34,	8,4	4,8	60
16/05/2002	30	7,	0,53	627	35,	8,5	5,03	58
18/05/2002	30,3		0,46	626	35,	8	7,03	59
21/05/2002	30	7,	0,25	651	36,	8,8	13,8	54
23/05/2002	30,2	7,	0,39	642	36,	8,6	14,3	52
28/05/2002	29,8	7,	0,38	584	36,	8,9	3,77	49
30/05/2002	30,3	7,		595	37,	8,7	16,7	49

B15 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	19,5	7,	0,91	399	25,	8,4	10,6	38
09/02/2002	19	7,5	0,84	484	2	8,67	15,5	41
11/02/2002	19,2	7,2	0,85	471	25,	8,17	15	44
12/02/2002	19,5	7,5	0,85	486	2	8,35	15,9	45
13/02/2002	20	7,	0,67	502	2	8,6	14,3	47
14/02/2002	20	7,5	0,7	522	26,	8,39	17	48
15/02/2002	20,3	7,4	0,41	541	28,	8,48	14,9	49
16/02/2002	20,5	7,3	0,42	552	27,	8,4	18,7	51
18/02/2002	21,6	7,3	0,33	569	28,	8,45	8,03	52
19/02/2002	21,5	7,4		575	31,	8,44	29,6	50
20/02/2002	21,1	7,4		580	29,	8,61	18,4	51
21/02/2002	21,1	7,	0,3	583	29,	8,51	22,2	52
25/02/2002	22	7,2	0,72	587	29,	9,05	22,5	50
26/02/2002	21,7	7,6	0,48	574	27,	8,86	13,2	51
27/02/2002	21,4	7,	0,52	573	27,	8,52	12,1	52
28/02/2002	21,8	7,	0,52	573	31,		20,4	50
01/03/2002	23,1	7,	0,27	571	28,	8,7	13,9	52
02/03/2002	23,8	7,	0,38	581	31,	8,98	14,7	51
04/03/2002	23,9	7,4	0,53	579	29,	8,54	15,8	51
05/03/2002	23	7,4	0,37	577	31,	8,59	15,4	47
06/03/2002	23,6	7,5	0,44	575	3	8,72	17,6	50
07/03/2002	24,4	7,4	0,52	571	30,	8,68	12,1	49
08/03/2002	25,2	7,5	0,41	570	31,	8,57	14,1	48
09/03/2002	25,2	7,5	0,95	570	30,	8,56	13,1	51
11/03/2002	23,8	7,3	0,15	569	32,	8,49	14,4	49
12/03/2002	24	7,2	0,37	564	3	8,47	7,79	51
14/03/2002	25,5	7,	0,25					
16/03/2002	25,5	7,	0,34	512	31,	9,5	7,33	45
18/03/2002	24	7,	0,35	512	3	8,8	5,78	46
21/03/2002	24,6	7,	0,31	531	2	8,9	1,86	50
23/03/2002	24,1	7,	0,35	540	28,	9	2,92	51
25/03/2002	24,9		0,3	571	31,	8,7	9,81	52
28/03/2002	25,4	7,	0,31	574	30,	8,9	2,55	53
30/03/2002	25,9	7,	0,21	576	30,	8,8	4,12	54

B15 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	25,7	7,	0,19					
04/04/2002	26,4	6,	0,2	572	33,	8	9,95	49
06/04/2002	27,1	7,	0,16	624	34,	8,7	5,08	50
09/04/2002	28,2	6,	0,17	605	35,	8,3	7,01	52
11/04/2002	29,5		0,22	597	34,	8,2	4,66	53
13/04/2002	29,3	7,	0,21	592	34,	8,4	6,5	52
16/04/2002	27,6	7,	0,29	556	3	8,6	9,19	52
18/04/2002	27,1	7,	0,21	543	30,	8,6	9,45	51
20/04/2002	26,5	7,	0,34	551	31,	8,6	10,5	47
23/04/2002	27,2	7,	0,4	543	32,	8,9	8,43	47
25/04/2002	26,7	7,	0,26	536	33,	8,2	11	42
27/04/2002	28,4	7,	0,31	534				
30/04/2002	30,2	7,		542	37,	8,2		45
02/05/2002	29,6	7,	0,2	545	35,	8,4	8,2	45
04/05/2002	29,8	7,	0,22	550	3	7,6	0,89	53
07/05/2002	30,4	7,	0,23	610	36,	7,5	0,47	58
09/05/2002	29,7	7,	0,22	630	33,	7,8	3,87	60
11/05/2002	29,6	7,	0,27	629	35,	8,3		55
14/05/2002	30,5	7,	0,32	617	3	8,5	12,4	53
16/05/2002	30,1	7,	0,57	600	35,	8,6	22	52
18/05/2002	30,3	7,	0,45	582	35,	8,1	9,05	52
21/05/2002	29,8	7,	0,26	584	35,	8,6	11,4	50
23/05/2002	29,9	7,	0,32	583	35,	8,6	11,7	50
28/05/2002	29,6	7,	0,41	578	34,	7,9	0,85	54
30/05/2002	30,2	7,		589	36,	8,1	7,08	55

<b>B16 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
08/02/2002	18,4	7,1	0,65	281	23,	7,86	4,42	30
09/02/2002	18	7,3	0,88	306	24,	8,08	8,05	31
11/02/2002	18,1	6,8	0,6	357	22,	7,47	6,4	37
12/02/2002	18,3	7,1	0,65	375	22,	7,58	6,3	38
13/02/2002	18,7		3,66	397	24,	8,76	11,2	41
14/02/2002	18,8	7,6	0,34	423	2	7,6	4,1	43
15/02/2002	19,2	7,	0,33	446	24,	7,48	2,54	46
16/02/2002	18,9	7,2	0,28	462	27,	7,24	0,38	46
18/02/2002	20,2	7,2	0,2	484	26,	7,95	8,5	44
19/02/2002	20,4	7,3		493	27,	7,83	2,13	48
20/02/2002	20,1	7,3		498	26,	8,12	5,03	47
21/02/2002	20			509	26,	8,02	11,9	49
25/02/2002	21	7,2	0,42	542	24,	7,66	7,2	52
26/02/2002	20,9	7,5	0,41	549	25,	7,71	3,44	54
27/02/2002	20,5	7,	0,44	550	26,	8,2	8,4	53
28/02/2002	20,6	7,4	0,44	550	28,		2,26	52
01/03/2002	21,9	7,	0,3	543	26,	7,7	1,02	54
02/03/2002	22,7	7,	0,36	446	29,	8,55	3,73	51
04/03/2002	23	7,3	0,34	554	27,	7,66	4,5	54
05/03/2002	22,1	7,2	0,57	586	31,	8,59	15,4	47
06/03/2002	22,6	7,	0,32	555	28,	7,78	4,32	54
07/03/2002	23,2	7,3	0,53	553	29,	7,3	1,16	54
08/03/2002	23,9	7,3	0,42	554	29,	7,24	0,47	54
09/03/2002	23,6	7,2	0,72	560	28,	7,83	9,32	53
11/03/2002	22,6	7,1	0,37	552	25,	7,48	2,65	49
12/03/2002	22,4	7,	0,52	498	26,	7,36	1,12	53
14/03/2002	24,1	7,	0,27	487	29,	8,7	7,1	49
16/03/2002	24,4	7,	0,35	507	30,	8,9	11,6	44
19/03/2002	23,4	7,	0,35	496	28,	9	7,96	46
21/03/2002	24,2	7,	0,35	503	28,	8,9	2,06	48
23/03/2002	23,4	7,	0,36	512	2	9	1,41	48
26/03/2002	23,9	7,	0,21	542	31,	8,1	0,73	52
28/03/2002	24,2	7,	0,2	552	28,	8,9	1,08	53
30/03/2002	25	7,	0,22	556	29,	9,1	1,44	53

<b>B16 Expérie- nceN°3</b>	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
01/04/2002	25,4	7,	0,16	573	30,	8,8	0,43	53
04/04/2002	25,7	6,	0,19	574	30,	7,7	0,58	54
06/04/2002	26,6	7,	0,24	577	32,	8	7,44	50
09/04/2002	27,7		0,22	588		7,6	0,33	
11/04/2002	28,3	7,	0,19	578	33,	7,6	0,57	55
13/04/2002	28,7	7,	0,22	582	3	8,5	2,72	54
16/04/2002	27,2	7,	0,34	575	32,	8,6	9,19	52
18/04/2002	26,5	7,	0,19	555	29,	8,1	4,8	52
20/04/2002	25,9	7,	0,37	551	31,	8,6	8,7	49
23/04/2002	26,3	7,	0,4	548	33,	8,9	8,43	47
25/04/2002	25,9	7,	0,42	539	33,	7,8	7,01	44
27/04/2002	27,5	7,	0,33	519				
30/04/2002	29,3	7,		537	35,	8,2		47
02/05/2002	28,6	7,	0,18	553	34,	7,7	0,26	51
04/05/2002	29	7,	0,43	550	32,	7,5	0,61	53
07/05/2002	29,6	7,	0,33	588	34,	7,5	0,83	57
09/05/2002	29,1	7,	0,3	606	3	7,7	0,38	58
11/05/2002	28,7	7,	0,23	615	32,	7,5		60
14/05/2002	29,9	7,	0,28	622	33,	7,7	0,99	60
16/05/2002	29,6	7,	0,43	622	34,	8,2	0,43	58
18/05/2002	29,7	7,	0,31	611	34,	7,9	1,3	57
21/05/2002	29,5	7,	0,26	591	37,	8,5	9,7	52
23/05/2002	29,8	7,	0,64	558	35,	9,2	15,2	45
28/05/2002	29	7,	0,4	560	34,	8	0,63	55
30/05/2002	30,1	7,		565	35,	8,3	0,4	52

<b>B17 Expérie- nceN°3</b>	<b>T° 7h °C</b>	<b>pH 7h</b>	<b>O2 7h mg/l</b>	<b>Conduct 7h mS/cm</b>	<b>T° 15h °C</b>	<b>pH 15h</b>	<b>O2 15h mg/l</b>	<b>Conduct 15h mS/cm</b>
08/02/2002	18,6	9,7	13	202	23,	10,5		30
09/02/2002	18,4	9,7	10,9	206	24,	8,1		30
11/02/2002	18,4	8,6	0,6	357	22,	7,47	6,4	37
12/02/2002	18,5	8,4	6,35	260	23,	10,5	16,6	25
13/02/2002	18,9		0,5	292	24,	8,76	11,2	41
14/02/2002	19	7,6	2,58	326	24,	8,4	10,6	32
15/02/2002	19,6	7,4	1,86	354	25,	8,39	11,3	35
16/02/2002	18,9	7,2	0,28	462	25,	8,45	13,3	35
18/02/2002	20,3	7,4	4,18	386	26,	8,77	8,6	35
19/02/2002	20,5	7,3		396	29,	8,85	9,5	35
20/02/2002	20,2	7,3		402	26,	8,93	17,5	35
21/02/2002	19,9			414	25,	9	10,7	37
25/02/2002	20,9	7,1	0,94	457	23,	8,23	6,72	45
26/02/2002	20,7	7,5	0,42	390	2	8,77	8,21	37
27/02/2002	20,2	7,	0,44	550	25,	8,42	12,6	47
28/02/2002	20,5	7,4	0,6	492	27,		5,96	46
01/03/2002	21,5	7,	0,28	491	24,	7,9	2,58	48
02/03/2002	22	7,2	0,46	498	28,	9,65	14,5	44
04/03/2002	22,6	7,3	0,44	506	26,	8,02	9,58	50
05/03/2002	22	7,2	0,51	508	27,	8,51	14	47
06/03/2002	22,4	7,4	0,4	505	26,	8,42	10,9	48
07/03/2002	23,1	7,3	0,61	502	27,	8,46	8,18	43
08/03/2002	23,6	7,3	0,32	510	28,	7,37	2,14	51
09/03/2002	23,5	7,2	0,9	513	29,	8,56	11	47
11/03/2002	22,6	7,2	0,39	459	25,	7,48	2,65	49
12/03/2002	22,7	7,	0,52	498	26,	8,06	2,23	47
14/03/2002	23,8	7,	0,27	487	28,	8,8	9,92	46
16/03/2002	24,3	7,	0,4	482	29,	8,9	11,6	44
18/03/2002	23,1	7,	0,38	478	27,	9,1	8,28	45
21/03/2002	23,8	7,	0,36	484	27,	8,8	6,7	45
23/03/2002	23,4	7,	0,35	488	26,	9,4	1,51	46
25/03/2002	23,6	7,	0,33	505	28,	8,4	2,33	49
27/03/2002	23,7	7,	0,18	517	28,	9	2,4	50
30/03/2002	24,4	7,	0,14	529	2	8,9	1,93	51

B17 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	24,7	7,	0,18	551	3	8,9	0,2	52
04/04/2002	25,1	6,	0,21	551	31,	7,8	5,33	51
06/04/2002	26,2	7,	0,23	553	32,	8	7,44	50
09/04/2002	27,4	7,	0,24	562		7,9	0,32	
11/04/2002	28,3	7,	0,21	536	33,	7,7	1,26	52
13/04/2002	28,4	7,	0,22	555	31,	8,5	0,33	53
16/04/2002	26,7	7,	0,38	556	30,	8,4	1,9	53
18/04/2002	25,9	7,	0,21	548	28,	7,7	1,08	53
20/04/2002	25,5	7,	0,32	537	32,	8,9	10,4	46
23/04/2002	26	7,	0,31	528	33,	10,2	6,16	45
25/04/2002	25,5	7,	0,44	522	32,	8	0,4	48
27/04/2002	27	7,	0,33	519				
30/04/2002	28,9	7,		520	33,	8,1		49
02/05/2002	28,2	7,	0,16	529	34,	8,3	0,52	48
04/05/2002	28,6	7,	0,41	526	33,	7,9	3,74	49
07/05/2002	29,4	7,	0,35	550	34,	7,5	0,59	52
09/05/2002	28,8	7,	0,28	565	33,	7,6	0,27	54
11/05/2002	28,2	7,	0,27	574	32,	7,4		55
14/05/2002	29,1	7,	0,25		32,	7,5	0,31	58
16/05/2002	29,2	7,	0,28	605	33,	7,6	2,36	57
18/05/2002	29,4	7,	0,38	601	34,	7,7	0,62	56
21/05/2002	29,3	7,	0,25	576	37,	9,2		44
23/05/2002	29,8	7,	0,38	537	35,	8,6	1,52	47
28/05/2002	28,8	7,	0,32	531	33,	7,7	0,49	52
30/05/2002	29,8	7,		541	33,	7,5	0,26	51

<b>B18 Expérie- nceN°3</b>	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	19,2	10,	13,9	230	2	10,6	18,5	29
09/02/2002	18,9	10,	12,6	220	24,	10,5	20,3	29
11/02/2002	18,6	9,	10,8	207	2	10,3	25,6	30
12/02/2002	19	9,7	13,7	213	23,	10,5	27,4	31
13/02/2002	19	1	10,6	212	23,	10,7	22,4	32
14/02/2002	19	9,6	12,1	220	24,	10,5	26,6	30
15/02/2002	19,5	9,2	7,9	237	26,	10,2	22,5	28
16/02/2002	19,6	8,9	7,12	253	27,	9,98	20,4	27
18/02/2002	20,5	8,2	3,39	283	27,	9,48	9	27
19/02/2002	20,8	7,6		300	29,	9,27	17,9	28
20/02/2002	20,7	7,6		309	26,	9,31	15,2	28
21/02/2002	20,2			321	26,	9,24	13,3	29
25/02/2002	21,4	7,2	0,65	365	24,	8,2	7,52	35
26/02/2002	21,2	7,5	0,42	390	2	8,77	8,21	37
27/02/2002	20,7	7,	0,38	402	2	8,5	9,32	39
28/02/2002	20,6	7,	0,64	413	28,		1,46	36
01/03/2002	21,7	7,	2,35	410	26,	9,1	12	38
02/03/2002	22,3	7,3	0,7	421	28,	10,2	17,2	37
04/03/2002	22,9	7,4	0,92	442	27,	9,03	20,2	40
05/03/2002	22,3			447	27,	8,92	16,8	40
06/03/2002	22,5	7,	0,48	449	27,	8,92	14,4	41
07/03/2002	23,1	7,3	0,54	452	27,	8,46	8,18	43
08/03/2002	23,7	7,3	0,45	457	28,	8,01	7,8	44
09/03/2002	23,8	7,2	0,92	462	30,	8,98	8,02	40
11/03/2002	23	7,2	0,39	459	2	7,58	2,06	43
12/03/2002	22,9	7,2	0,42	457	26,		2,63	43
14/03/2002	24	7,	0,23	449	28,	9	8,52	42
16/03/2002	24,4	7,	0,34	452	29,	9,7	12,4	41
19/03/2002	23,2	7,	0,42	455	27,	8,9	22	43
21/03/2002	23,9	7,	0,33	463	2	9	9,8	44
23/03/2002	23,7	7,	0,32	464	2	9,5	1,68	44
26/03/2002	23,9	7,		472	27,	9	7,58	45
28/03/2002	24,3	7,	0,24	472	2	8,7	7,38	46
30/03/2002	24,5	7,	0,18	484	28,	9	5,38	47

B18 Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	24,5	7,	0,23	512	29,	9,2	4,36	49
04/04/2002	25,2	6,	0,2	522	29,	7,7	4,75	50
06/04/2002	26,3	7,	0,18	532	31,	8,3	6,98	50
09/04/2002	27	7,	0,28	545		7,7	1,1	
11/04/2002	28,3	7,	0,21	536	31,	7,9	1,27	51
13/04/2002	28,3	7,	0,22	538	32,	8,2	1,3	50
16/04/2002	27	7,	0,32	531	30,	9,5	2,88	50
18/04/2002	26	7,	0,22	529	27,	8	0,3	51
20/04/2002	25,5	7,	0,25	526	30,	8,9	9,48	48
23/04/2002	26		0,23	520	31,	9,1	13	46
25/04/2002	25,7		0,33	512	32,	8,1	6,41	44
27/04/2002	26,9	8,	0,27	507				
30/04/2002	28,8			504	35,	8,3		43
02/05/2002	28,2	7,	0,2	508	3	8,9	6,42	45
04/05/2002	28,5	7,	0,38	504	32,	7,9	2,52	45
07/05/2002	29	7,	0,37	517	33,	8,3	0,55	48
09/05/2002	28,7	7,	0,3	524	32,	8,8	2,11	49
11/05/2002	28,2	7,	0,25	527	33,	8,9		46
14/05/2002	28,9	7,	0,22	555	31,	7,8	0,61	54
16/05/2002	28,9	7,	0,26	563	32,	8	1,92	55
18/05/2002	29,4	7,	0,32	570	34,	8,5	0,64	53
21/05/2002	28,6	7,	0,23	570	34,	8,2	1	50
23/05/2002	28,6	7,	0,45	565	37,	9,3	18,1	43
28/05/2002	28,7	7,	0,33	512	32,	8,2	1,3	49
30/05/2002	29,5	7,		518	33,	8,2	0,34	48



Poisson Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
08/02/2002	20	8,5	6	131	25	8,89	9,43	145
09/02/2002	19	8,6	6,3	157	24	8,93	9,5	150
11/02/2002	19	8,2	7,6	176	25	9,39	20,2	172
12/02/2002	18	8,7	8	190	25	9,4	18,2	180
13/02/2002	20	9,1	6,4	180	26	9,85	18	181
14/02/2002	19	9,2	7,6	198	27	9,82	19,4	204
15/02/2002	19	9,2	4,8	227	28	10,6	16,4	248
16/02/2002	19	9	3,6	245	28	9,65	17,4	242
18/02/2002	22	8,7	3,3	227	28	9,22	8,46	222
19/02/2002	22	8,7		249	29	9,12	13,7	240
20/02/2002	22	8,7		255	28	9,3	14,1	244
21/02/2002	22	8,5	1,1	274	29	9,06	16,3	262
25/02/2002	24	8	2,3	333	29	9,26	19,2	300
26/02/2002	23	8,2	2,7	344	28	9,27	7,73	315
27/02/2002	22	8,3	3,6	356	29	9,49	21,4	325
28/02/2002	22	8,6	4	371	30		22,8	340
01/03/2002	24	8,6	2,9	386	29	9,7	15,7	358
02/03/2002	25	8,2	2,2	407	31	9,6	20,4	368
04/03/2002	24	8,3	2,2	430	30	9,31	23,1	388
05/03/2002	23			439	30	9,4	18,9	393
06/03/2002	24	8,2	0,8	446	30	9,15	12,9	407
07/03/2002	25	7,9	0,7	458	30	8,72	7,49	428
08/03/2002	26	7,7	0,5	469	31	8,55	9,61	442
09/03/2002	26	7,6	0,7	479	30	8,55	10,4	453
11/03/2002	24	7,6	0,7	484	31	8,71	14,3	440
12/03/2002	24	7,7	0,6	479	31		11,8	401
14/03/2002	26	8,2	0,4	396	31	9,7	16	363
16/03/2002	26	7,8	0,4	412	31	9,6	17,8	376
19/03/2002	24	7,9	0,4	443	30	9,7		398
21/03/2002	25	7,8	0,3	449	29	9,6	19,4	412
23/03/2002	25	7,8	0,3	463	29	9,4	14,9	426
26/03/2002	26	7,5		472	31	10	14	423
28/03/2002	26	7,8	0,3	468	30	10,4	17,1	420
30/03/2002	26	7,9	0,2	470	30	10	23,8	425

Poisson Expérie- nceN°3	T° 7h °C	pH 7h	O2 7h mg/l	Conduct 7h mS/cm	T° 15h °C	pH 15h	O2 15h mg/l	Conduct 15h mS/cm
02/04/2002	27	8	0,	463	31	9,7	19,2	427
04/04/2002	27	7,4	0,	470	32	8,9	22,7	428
06/04/2002	27	7,5	0,	485	33	9,8	21,5	440
09/04/2002	28	7,6	0,	499		10,1	15,1	
11/04/2002	30	7,7	0,	495	34	9,2	17,9	454
13/04/2002	30	7,5	0,	511	34	9,1	13,6	469
16/04/2002	29	7,5	0,	527	34	9,5	26,3	470
18/04/2002	28	8,1	0,	522	31	9,1	14,6	492
20/04/2002	27	7,4	0,	531	33	9,4	20,2	479
23/04/2002	28	8,4	0,	518	33	9,7	15,3	474
25/04/2002	25	7,8	0,	517	32	8,4	11	480
27/04/2002	29	8,2	0,	519				
30/04/2002	30	7,9		517	36	8,4		476
02/05/2002	30	7,7	0,	518	33	8,9	3,38	480
04/05/2002	29	7,5	0,	518	32	9,2	16,7	473
07/05/2002	30	7,6	0,	514	34	9,3	12,3	474
09/05/2002	29	7,7	0,	515	32	9,1	5,2	488
11/05/2002	30	7,6	0,	513	33	8,2		478
14/05/2002	30	7,7	0,	512	33	8,8	1,84	487
16/05/2002	30	7,4	0,	520	33	9	3,73	484
18/05/2002	30	7,4	0,	523	34	9,1	3,5	481
21/05/2002	29	7,7	0,	517	34	8,3	1,43	463
23/05/2002	29	7,7	0,	514	33	9,2	1,27	482
28/05/2002	30	7,8	0,	524	33	9,4	4,92	484

PROFILS DE DEBIT DU 03/04/02

B13		B14		B15		B16		B17		B18	
heure	Temps pour 1L (second)										
7:25	11	7:38	46	7:27	1329	7:36	1542	7:31	451	7:41	16
7:30	9	7:43	35	7:50	325	8:02	784	7:46	497	7:56	17
7:35	9	7:48	30	7:56	210	8:16	345	8:01	520	8:11	18
7:40	10	7:53	27	8:03	134	8:25	248	8:16	524	8:26	19
7:45	12	7:58	25	8:08	104	8:30	212	8:31	466	8:41	20
7:50	13	8:03	23	8:16	69	8:35	183	8:46	395	8:56	22
7:55	13	8:08	22	8:23	53	8:40	160	9:01	318	9:11	22
8:00	15	8:13	17	8:28	45	8:45	130	9:16	245	9:26	23
8:05	16	8:18	17	8:32	41	8:50	120	9:31	197	9:41	23
8:10	18	8:23	18	8:37	38	8:55	106	9:46	164	9:56	23
8:15	20	8:28	18	8:42	36	9:00	96	10:01	142	10:11	23
8:20	21	8:33	18	8:49	33	9:05	88	10:16	124	10:26	21
8:25	23	8:38	21	8:54	32	9:10	82	10:31	110	10:41	20
8:30	26	8:43	22	8:59	32	9:15	77	10:46	102	10:56	19
8:35	104	8:48	24	9:04	32	9:20	71	11:01	92	11:11	18
8:40	114	8:53	25	9:09	33	9:25	69	11:16	83	11:26	17
8:45	122	8:58	27	9:14	34	9:30	66	11:31	70	11:41	15
8:50	134	9:03	28	9:19	35	9:35	66	11:46	60	11:51	14
8:55	142	9:08	29	9:24	37	9:40	65	11:56	56	12:01	13
9:00	154	9:13	29	9:29	38	9:45	65	12:06	48	12:11	12
9:05	169	9:18	30	9:34	40	9:50	63	12:16	44	12:21	11
9:50	337	10:08	112	9:39	42	9:55	61	12:26	39	12:31	10
10:00	271	10:13	74	9:44	45	10:00	61	12:36	36	12:41	9
10:05	62	10:18	45	9:49	46	10:05	62	12:46	34	12:51	8
10:10	17	10:23	31	9:54	50	10:11	62	12:56	33	13:01	8
10:15	9	10:28	24	9:59	53	10:16	62	13:06	31	13:11	7
10:20	7	10:33	19	10:04	55	10:21	62	13:16	30	13:21	7
10:25	7	10:38	14	10:09	58	10:26	60	13:26	28	14:16	5
10:30	6	10:43	13	10:14	60	10:31	61	14:20	25	14:21	4
10:35	6	10:48	12	10:19	60	10:36	60	14:25	25	14:26	4
10:40	7	10:53	12	10:24	56	10:41	58	14:30	24	14:31	4
10:45	7	10:58	9	10:29	51	10:46	57	14:35	24	14:36	4
10:50	7	11:03	10	10:34	45	10:50	55	14:40	23	14:41	4
10:55	8	11:08	9	10:39	41	10:55	54	14:45	23	14:46	4
11:00	8	11:13	9	10:44	34	11:00	52	14:50	23	14:51	4
11:05	11	11:18	10	10:49	31	11:05	49	14:55	23	14:56	4
11:10	12	11:23	10	10:54	28	11:10	45	15:00	23	15:01	4
11:15	12	11:28	10	10:59	24	11:15	42	15:05	23	15:06	4
11:20	12	11:33	10	11:04	20	11:20	39	15:10	22	15:11	4
11:25	13	11:38	10	11:09	15	11:25	37	15:15	22	15:16	3
11:30	14	11:43	10	11:14	15	11:30	33	15:20	22	15:21	3
11:35	14	11:48	10	11:19	15	11:40	31	15:25	22	15:26	3
11:40	15	11:53	11	11:24	14	11:45	29	15:30	22	15:31	3
11:45	17	11:58	11	11:29	13	12:02	42	15:35	22	15:36	3
11:50	17	12:03	12	11:34	13	12:07	24	15:40	22	15:41	3
11:55	18	12:08	12	11:39	12	12:12	21	15:45	21	15:46	3

DBO	15/2/02	21/2/02	1/3/02	8/3/02	14/3/02	22/3/02	29/3/02	5/4/02	12/4/02	26/4/02	3/5/02	17/5/02	24/5/02	moyenne	Max	Min	
B0	Filtr			160	140	180	220	180	180	140	180	240	180	180,0	240,00	140,00	
B1	Filtr			180	220	140		130	190	150	160	180	200	172,2	220,00	130,00	
B2	Filtr			90	100	130	105	85	110	90	120	105	95	104,5	130,00	85,00	
B3	Filtr			45	70	75	60		45	40	45		30	51,2	75,00	30,00	
B4	Filtr			30	50	30	40	30	45	45	40	35	45	38,1	50,00	30,00	
B5	Filtr			95	130	85	105	140		90	105	140	145	119,5	160,00	85,00	
B6	Filtr			55	120	120	60	80	115	80	90	100	110	95,9	125,00	55,00	
B7	Filtr			60	75	100			45	75	85	90	105	82,7	110,00	45,00	
B8	Filtr			>	>	>			65	90				77,5	90,00	65,00	
B13	Filtr			75	110	105	195	230						209,0	300,00	135,00	
B14	Filtr			45	50	85	105							143,0	230,00	75,00	
B15	Filtr			55	75	85	90	100		60	60		70	60	72,7	100,00	55,00
B16	Filtr			50	80	60	45							95,8	160,00	45,00	
B17	Filtr			55		45	40							58,7	80,00	45,00	
B18	Filtr			35	60	35	30		45	75	60	30	50	40	90,0	160,00	40,00
S	Filtr			30	40	40	30	20	35		50	40	45	50	46,6	55,00	40,00
				30	40	40	30	20	35		50	40	45	50	38,0	50,00	20,00

DCO		8/2/02	15/2/02	21/2/02	1/3/02	8/3/02	14/3/02	22/3/02	26/3/0	5/4/02	12/4/02	19/4/0	26/4/02	10/5/02	17/5/0	24/5/02	31/5/02
B0																	
	Filtr		292	227	290	242	244	249	23	278	248	25	229	270	30	267	248
B1																	
	Filtr		197	201	129	268	205	180	14	289	193	20	247	238	21	287	207
B2																	
	Filtr	133	146	148	111	164	166	163	19	142							
B3																	
	Filtr		86	96	60	104	79	77	12	109	80	6	68	67	5	58	53
B4																	
	Filtr	57	51	87	17	95	52	13	5	33	40	3	34	34	1	33	29
B5																	
	Filtr		175	131	120	199	157	146	22		198	21	185	230	25	250	214
B6																	
	Filtr			113	77	117	96	86	9	92							
B7																	
	Filtr			113	120	156	131	141		92	96	7	77	177	11	109	85
B8																	
	Filtr	82	51	52	43	112	96	64		84	88		77	93	5	100	85
B13																	
	Filtr	107	121	148	94	147	166	266	31								
B14																	
	Filtr	74	78	114	69	87	96	137									
B15									66								
	Filtr	99	87	144	103	104	105	103			64	9	68	118	9	92	94
B16																	
	Filtr	91	61	114	120	95	122	94									
B17																	
	Filtr	107	104	114	103	95	105	86									
B18																	
	Filtr	107	95	105	120	95	92	77	10	109	112	6	77	110	8	92	94
S																	
	Filtr		35	35	26	74	61	51	5	84	80	8	77	93	7	84	

NTK	8/2/02	15/2/02	21/2/02	1/3/02	8/3/02	14/3/02	22/3/02	29/3/02	5/4/02	12/4/02	19/4/02	26/4/02	10/5/02	17/5/02	24/5/02	31/5/02	Max	Moyen	Mini	
B0	Filtr		65,2	61,7		47,3	52	60	40,2	59,7	60,8	50	43,2	44,2	48,6	39,2	49			
B1	Filtr		54,8	52	54	45,6	48,8	48,5	45,3	52	51,8	48	42	43,4	46	56,9	53	56,9	49,5	42,0
B2	Filtr	39,2	43,2		42,2		36,2	35,2	40	36	38	40	34	34	31	30	31,5	43,2	36,5	30,0
B3	Filtr		33,4		31,4		30,4	22,6	32,4		46	26,4	25,4	27,4	29	23,6	17,6	46,0	28,8	17,6
B4	Filtr	7,8	21,6		25,4		25,4	18,6	25,4		31,4	29,4	22,6	20,6	21,2	17,6	14,8	31,4	21,7	7,8
B5	Filtr	47			39,2		35,2	33,4	38,2	41	36	39	35	43	46	39	37	47,0	39,2	33,4
B6	Filtr				27,4		25,4	24,6	26,4	28	25	28	24	32	34	29	22	34,0	27,2	22,0
B7	Filtr				23,6		19,6	21,6		15,6	21,6	15,6	14,8	22,2	11,8	10,8	23,6	17,7	10,8	
B8	Filtr		1		3		3,92	2,8		5,8	5	4	5,8	8,4	3	4	8,4	4,2	1,0	
B13	Filtr	37,2	2,94		45		37,2	44,2	46											
B14	Filtr	13,8	29,2		30,4		27,4	31,4												
B15	Filtr	8,6	33	29,6	28,4	24,2	19,6	22,6	27,4		35,2	23,6	22,6	39,2	36,8	25,4	26,4	39,2	26,8	8,6
B16	Filtr		20,2		28,4	19,6		17,6												
B17	Filtr	1	14,4				16,6	24,6												
B18	Filtr		8,6	8,2	10,8	11,4	13,8	10,8	11,8		20,6	17,6	13,8	22,6	29	17,6	12,8			
S	Filtr		6,4				6,8	7,8	11,8		20,6	17,6	13,8	10,8	18,22	9,8				

MES	8/2/02	15/2/02	21/2/0	1/3/02	8/3/02	14/3/0	22/3/02	26/3/02	5/4/02	12/4/02	19/4/02	26/4/02	10/5/02	17/5/02	24/5/02	Moyenne
B0	152	152	25	170	197	19	422	220		158	195	150	255	331	474	238
B1		98	10	112	93	16	153	142		115	97	89	150	154	207	129
B2	57	59	5	38	25	1	31	50	41	48	35	52	57	35	63	44
B3	13	26		34	47	3	48	63	43	66	49	31	49	21	34	40
B4	27	32	1	5	7		22	13	13	13	9	7	14	5		13
B5	56		3	72	74	10	138	102		107	140	93	118	145	159	103
B6			9	73	78	10	151	203	147	102	97	100	115	164	136	120
B7			3	50	32	5	103		79	85	137	100	155	138	59	85
B8	25	51	2	27	55	6	76		42	46	24	67	75	45	82	50
B13	114	180	14	103	139	18	290									165
B14	92	173	17	105	159	17	175									150
B15	61	65	5	64	95	12	262			167	185	149	24	52	37	103
B16	16	30	5	32	45	7	195									63
B17	46	22	4	54	53	6	140									59
B18	45	49	3	64	83	8	109	145	170		155		82	48	66	87
S		25	2	48	34	6	86	71	120	63	75	105	106	93	84	72

NH4	8/2/02	15/2/02	8/3/02	14/3/02	22/3/02	29/3/02	12/4/02	19/4/02	26/4/02	17/5/02	24/5/02	31/5/02
B0		44	44,3	50,2	48,4	50,3	51,6	50,4	45,6	44,1	45,7	48
B1			46	49,8	50	45	49,3	46,8	54	48	42	53
B2	26,6	22,1	40,7	42,1	40,5	34,6	40	41,3	36	41	43,2	40,6
B3		18,1	33,7	33,4	28,7	28,7	46,2	42,3	35,11	25,6	28,8	24,9
B4	11,9	14,3	30	29	30,2	24,5	36,6	38,2	30,7	18,7	23,4	19,3
B5	29,5		36,2	32,9	38,3	32,5	27	30,2	25,9	18,8	20,7	19,1
B6			29	26,7	28,1	24,4	21	27,6	23,7	16,3	15,4	12,7
B7			20,1	19,2	20,5		13,4	22,4	18,3	14	11,8	8,7
B8	1,9	0	0	1,9	0,3		0	2,2	0	0	0	0
B11	4,4	14,5					8,5	11,5	10,4	13,5	19,6	19,7
B13	24,9	19,8	36,7	33,7	48,7	35,5						
B14	17,4	16,3	30,5	23	32,4							
B15	14,3	15,9	27,2	21	24,8	22,7	35,5	28,7	26,9	33,5	30	30,8
B16	6,6	11,8	23,2	21,4	19,2							
B17	0,6	7,3	17,1	16	15							
B18	0,1	1,3	9,3	8,9	12,5	9,15	20,2	20,3	15,7	25,4	20	11,2