



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE PAR :

Suzanne K. TCHUTCHOUA

ANNEE 1989-1990

CONTRIBUTION A L'ETUDE
DES PERFORMANCES DE LA
FILIERE LIT BACTERIEN
BASSIN DE MATURATION DANS
LA STEP E.I.E.R.

Mention :

Encadrement

C. TOURE

103 BIS. /90

DEDICACE

MON ILS

Si ce modeste travail est insuffisant pour justifier mon absence à tes côtés à un moment si précieux de ton enfance, puisse-t-il au moins servir d'argument pour adoucir ton jugement à mon égard.

AMOUR MATERNEL

MA MERE

Comme toute bonne mère, tu avais un seul souhait :

- Me voir Heureuse ;

et tu n'as ménagé aucun effort pour que j'arrive à ce niveau.

La séparation a parfois été difficile ...

Et si ce modeste travail pouvait te faire oublier toutes ces peines et ces souffrances.

AMOUR FILIAL

MON PERE

Papa, Toi qui avait toujours su me comprendre et qui malheureusement nous a vite quitté. Reçois ce travail, comme preuve d'un amour que je n'ai pas pu exprimer à temps.

AMOUR FILIAL

MES FRERES ET SOEURS

Le fruit de notre séparation, ce sont ces quelques pages.
Je vous les dédie.

AMOUR FRATERNEL

///)
/// (E M E R C I E M E N T S

Enfin, l'occasion m'est offerte d'exprimer ma gratitude au corps enseignant de l'EIER pour les connaissances qu'il a su inculquer en moi.

Tout particulièrement, j'exprime ma reconnaissance à l'endroit du Docteur Cheick Sidia TOURE ; Directeur du CREPA (Centre Régional de Recherche pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût) et Professeur de Génie Sanitaire à l'EIER. Je loue son encadrement et sa disponibilité.

Je tiens à remercier Monsieur Ousseynou GUENE (Ingénieur Hydraulicien) qui m'a initié aux pratiques du laboratoire et m'a soutenu tout au long de ce travail.

Que Monsieur Sidiki SANGARE (Exploitant de la Station) et Inoussa TAONSA (Gardien au CREPA) reçoivent, pour leur serviabilité, l'expression de ma profonde gratitude.

J'exprime mes sincères remerciements à :

- Monsieur Adama OUEDRAOGO H.
- Mademoiselle Chantal DIARRA
- " Philomène NGOUEGNI.

Le soutien moral qu'ils ont témoigné à mon endroit durant ma formation est irremplaçable.

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont toujours soutenu ; à la Famille EIER toute entière, j'exprime toute ma reconnaissance.

<u>TITRES</u>	<u>PAGES</u>
<u>INTRODUCTION</u>	
- Problématique de l'Épuration dans les Pays Africains	1
- Transfert de Technologie : Dilemme et Choix	3
<u>CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STATION PILOTE DE L'EIÉR</u>	
1.1 - <u>DESCRIPTION GENERALE</u>	5
1.2 - <u>PRESENTATION DE LA FILIERE ETUDIEE</u>	6
1.2.1 - Le Lit Bactérien	6
1.2.2 - Le Décanteur Secondaire	7
1.2.3 - Le Bassin de Maturation	8
1.2.4 - Les Eléments Annexes à la Filière III	8
<u>CHAPITRE 2 : THEORIES SUR LES ELEMENTS DE LA FILIERE III</u>	
2.1 - <u>GENERALITES SUR LES LITS BACTERIENS</u>	11
2.1.1 - Définition	11
2.1.2 - Fonctionnement du Lit Bactérien	11
2.1.3 - Avantages et Inconvénients des Lits Bactériens	13
2.1.4 - Classification des Lits Bactériens	13
2.1.5 - Modélisation de la Performance des Lits Bactériens	15
2.2 - <u>LES DECANTEURS SECONDAIRES</u>	19
2.3. - <u>LES BASSINS DE MATURATION</u>	20
2.3.1 - Fonctionnement des Bassins de Maturation	20
2.3.2 - Performance	22
<u>CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE D'ANALYSE</u>	
3.1 - <u>ECHANTILLONNAGE</u>	23
3.2 - <u>PARAMETRES HYDRODYNAMIQUE</u>	23
3.2.1 - Débit Journalier dans la Filière III	

3.2.2 - Distribution du Temps de Séjour dans le Bassin de Maturation	
3.2.3 - Surface Spécifique des Briques	
3.2.4 - Porosité des Briques	
3.3 - <u>PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES</u>	24
3.4 - <u>PARAMETRES CHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES</u>	25
3.4.1 - La DBO	
3.4.2 - La DCO	
3.5 - <u>BACTERIOLOGIE</u>	26
3.6 - <u>REPRESENTATIVITE DES ECHANTILLONS ET ERREURS COMMISES</u>	26
 <u>CHAPITRE 4 : RESULTATS ET INTERPRETATION</u>	
4.1 - <u>PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES</u>	28
4.1.1 - Débit	28
4.1.2 - Porosité des Matériaux de Garnissage	29
4.1.3 - Surface Spécifique des Matériaux de Garnissage	30
4.1.4 - Temps de Séjour Moyen dans le Bassin de Maturation	30
4.2 - <u>PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES</u>	31
4.2.1 - pH	31
4.2.2 - Température	31
4.2.3 - Oxygène Dissous	32
4.3 - <u>PARAMETRES BIOCHIMIQUES ET CHIMIQUES</u>	34
4.3.1 - DCO et DBO ₅ Solubles	34
4.3.2 - Performance du Lit Bactérien	35
4.4 - <u>PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES</u>	37

CHAPITRE 5 : ETUDE COMPARATIVE DE LA QUALITE DE L'EFFUENT
DES FILIERES DE LA STEP - EIER

39

CONCLUSION

42

BIBLIOGRAPHIE

44

- ANNEXE 1 : Détermination de la DBO
- ANNEXE 2 : Détermination de la DCO
- ANNEXE 3 : Les Paramètres physiques et hydrodynamiques
- ANNEXE 4 : Présentation des Paramètres physico-chimiques
- ANNEXE 5 : Paramètres chimiques et biochimiques
- ANNEXE 6 : Résultat de la bactériologie - Rendement.

R E S U M E

Cette étude vise à déterminer la performance de la filière lit bactérien - bassin de maturation dans la station d'épuration EIER. Cette filière est constituée d'un lit bactérien à deux compartiments, l'un garni de cailloux de quartz, l'autre de briques de latérite cuite. Ce lit est précédé d'un décanteur primaire et suivi d'un décanteur secondaire. Après le décanteur, l'épuration s'achève dans un bassin de maturation.

Cette étude qui présente les résultats des paramètres hydrodynamiques, physicochimiques et biochimiques obtenu en un mois de mesure et essaye de les interpréter, a abouti à quelques conclusions :

- le garnissage en briques épure moins bien que le garnissage en quartz. Ceci est une conséquence des paramètres hydrodynamiques et physicochimiques qui ont lieu dans chaque support.
- Le rabattement de la population microbienne au niveau du lit bactérien comme au niveau du bassin de maturation est assez appréciable (2 Ulog). Par conséquent, le rendement obtenu en combinant ces deux réacteurs est satisfaisant (élimination des germes : 5,90 Ulog), tant au niveau des autres filières de la station qu'au niveau des autres stations d'épuration.
- L'effluent de la filière étudiée contient près de 6 400 germes fécaux par 100 ml d'échantillons. La valorisation de cet effluent en agriculture exige un traitement tertiaire

S U M M A R Y

The study aims to determine the performance of the die trickling filter maturation pond of EIER treatment station. This die is compounded of a double vaulted trickling filter, one with granule rocks of quartz, the other with bricks of backed laterite.. This die is preceded by a primary setteled tank and followed by a secondary setteled tank, treatment is ended in a maturation pond.

This study shows the parameters of hydrodynamic results, physico-chemistry and biochemistry obtain in a monitor of one month and trying to convert resulted to conclusions.

The brick treatment is less efficacious than the treatment in quartz. This is the consequence of hydrodynamical parameters and physic chemistry which is :

- The flattening of microbial population on a trickling filter level as well as maturation pond is somehow good (2/UOG). consequently, the efficiency obtained by combining these 2 reactors is satisfactory (elimination of germes : 5,9 U/OG) on the other dies level of the station rather than the other treatment stations.

The effluent of the studied die contains about 6400 fecal germes by sample of 100 ml.

Increase of the value of this effluent in agriculture requires a tertiary treatment.

_ /) / O T A T I O N

As	Surface Spécifique du Support	L ²
C _H	Charge Hydraulique Superficielle	L. T ⁻¹
C _O	Charge Organique	M.L ⁻³ .T ⁻¹
h	hauteur du lit bactérien	L
K _T	Constante cinétique à la température T	T ⁻¹
N _e	Population bactérienne à l'entre du réacteur	-
N _s	Population bactérienne à la sortie du réacteur	-
r	Coefficient de recirculation	-
R	Rendement épuratoire	-
S	Concentration en substrat de l'effluent	M.L ⁻³
S _o	Concentration en substrat de l'affluent	M.L ⁻³
T	Température	°C
V	Valeur du réacteur	L ³
O	Temps de séjour	T
θ _m	Temps de séjour dans le bassin de maturation	T
η (%)	Performance du réacteur $(= \frac{S}{S_o})$	-

/ N T R O D U C T I O N

PROBLEMATIQUE DE L'EPURATION DANS LES PAYS AFRICAINS

Depuis les origines, l'homme a toujours considéré le milieu dans lequel il vit comme un dépotoir, en y rejetant divers déchets. Certains déchets engendrés par l'homme et non biodégradables ont pour corollaires : la pollution, les nuisances, mieux le déséquilibre de l'écosystème. Avec la prolifération des industries, la croissance démographique et le surpeuplement, le problème de pollution de l'environnement est devenu l'un des grands maux qui pèsent sur notre planète ces dernières décennies ; compromettant ainsi ce bien-être tant recherché par l'homme. Si dans les pays développés, ce problème fait de plus en plus l'objet d'une attention particulière grâce à une prise de conscience collective et effective, tel n'est pas le cas dans les pays en voie de développement, et particulièrement en Afrique. Pour s'en convaincre, citons quelques faits :

- Dans certains de nos centres urbains, plus de la moitié de la population ne dispose pas de structures sanitaires adéquates.
- Nos pays ne disposent pas d'arsenal administratif et judiciaire protégeant leur environnement.

Sans toutefois faire de l'assainissement une priorité, les africains sont néanmoins conscients de la dégradation de l'écosystème terrestre et maritime et essayent d'y remédier. Parmi les remèdes à ces maux, nous pouvons citer les systèmes collectifs d'épuration des déchets industriels et domestiques. Malheureusement, l'épuration des déchets se heurte aux problèmes d'ordre

- Financier : les stations d'épuration exigent un investissement important et parfois un fonctionnement onéreux (cas des STEP classiques).
- Technique : les stations d'épuration européennes, conçues et expérimentées sous climat tempéré, ne sont toujours pas adaptées sous climat tropical sahélien. De plus, les modèles de STEP proposés jusqu'alors, ne satisfont pas entièrement l'ingénieur praticien. En effet, des phénomènes très complexes, pas encore maîtrisés par les modélisateurs, se produisent dans les STEP.

- Social : En Afrique, le niveau de vie et d'éducation de la population ne contribuent pas à la maîtrise d'un système d'assainissement collectif.

Une solution à ces problèmes serait la prise en compte des réalités climatiques et économiques de chaque pays dans la conception et le dimensionnement des stations d'épuration.

LE TRANSFERT DE TECHNOLOGIE : DILEMME ET CHOIX

Diverses technologies sont conçues et expérimentées dans les pays développés. Le transfert et l'implantation de ces technologies dans les pays africains posent souvent le problème d'adaptation. Les stations d'épurations ne sont pas épargnées par cette assertion. Le souci de tenir compte des réalités africaines dans la conception des stations d'épuration a conduit à la réalisation d'une station pilote à l'EIER.

- La prise en compte, lors de la conception de cette station des phénomènes physiques et biochimiques naturels, de même que la simplicité des installations, permettent d'utiliser une main-d'oeuvre peu qualifiée pour l'exploitation de la STEP.
- L'utilisation des matériaux locaux (peu onéreux) dans la réalisation des bassins de lagunage et le garnissage des lits bactériens, la quasi absence d'automatisation, permettent de réduire les frais d'investissement et de fonctionnement de la STEP.
- La présence de plusieurs filières en parallèle ; les études faites sur la qualité de l'épuration de ces filières, permettront de proposer à la longue, non seulement la filière efficace pour l'épuration, mais aussi un modèle pour une épuration optimale sous climat tropical sahélien.

Le présent travail, qui s'inscrit dans le cadre du mémoire de fin d'études du cycle d'ingénieurs de l'équipement rural, a pour objectif :

- de présenter les premiers résultats physicochimiques et biologiques des composantes de la filière lit bactérien, bassin de maturation de la STEP - EIER
- d'étudier la performance de chacun des éléments de cette filière.
- de comparer les caractéristiques des effluents des différentes filières.

.../...

Notons que ce travail pionnier n'est qu'une modeste contribution à l'étude des performances de la filière lit bactérien, bassin de maturation de la STEP - EIER. Les résultats de cette étude, quoique peu représentative (un mois de mesures) pourront éventuellement servir de première approche pour une étude plus affinée sur la performance de la filière lit bactérien, bassin de maturation sous climat sahélien.

H A P I T R E I

) RESENTATION DE LA STATION PILOTE DE L'EIER

1.1 - DESCRIPTION GENERALE

La station expérimentale de l'EIER reçoit des eaux provenant essentiellement des installations de l'école (toilettes, chambre des Etudiants, cuisines ...). A cause leur teneur en produits toxiques, (acide, base forte, métaux ...) les eaux usées provenant du laboratoire de génie sanitaire ne sont pas traitées dans la station. Elles sont déviées dans le réseau d'eaux pluviales. Les eaux domestiques, quant à elles, sont acheminées vers la station par un mini réseau séparatif.

Tout commence par une bache de pompage, de forme rectangulaire, profonde de 1,90 m (volume 3,5m³). Les eaux brutes qui arrivent dans cette bache passent au travers d'un dégrilleur (largeur de mailles : 2,5 cm). Deux pompes immergées, montées en parallèle, permettent de refouler ces eaux dans le décanteur primaire. Le fonctionnement des pompes, régulé par système de flotteurs, peut être automatique ou manuel. Un tableau de commande permet le choix de la pompe devant fonctionner en priorité et la durée de pompage est enregistrée par un compteur.

Le décanteur primaire a une forme cylindro-conique, un volume utile de 16 m³ pour une hauteur utile 3,3 m. Ce décanteur, de par sa forme, permet de piéger les boues dans sa partie inférieure. Celles-ci sont soutirées par siphonnage et acheminées vers le digesteur. Les boues digérées sont à leur tour séchées dans trois lits de séchage.

Après le décanteur primaire, les eaux usées sont réparties dans les différentes filières de la station.

- Filière I : C'est une filière à lagunes. Elle est constituée de deux bassins. Les caractéristiques de ces bassins sont mentionnées dans le tableau 11 ; leurs berges sont faites d'un mélange ciment-latérite.

.../...

- Filière II : C'est aussi une filière à lagunes. Ses deux bassins ont des berges recouvertes d'une toile en polystyrène noire.
- Filière III : C'est une filière à lit bactérien. Ce lit, de forme rectangulaire, est divisé en deux compartiments. L'un est rempli de briques de latérite cuite et l'autre de cailloux de quartz. Un décanteur secondaire fait suite au lit bactérien. Un bassin de maturation termine l'épuration dans cette filière.
- Filière IV : C'est une filière à lit bactérien, de forme circulaire. Il est prévu un spinkler pour la répartition du débit dans les deux compartiments de ce lit. Notons que c'est la seule filière non fonctionnelle de la station.

1.2 - PRESENTATION DE LA FILIERE ETUDIEE

Cette étude porte sur la filière III de la station d'épuration. Après le décanteur primaire, les éléments spécifiques à cette filière sont :

1.2.1 - Le Lit Bactérien

C'est un ouvrage en béton, de forme rectangulaire, divisé en deux compartiments d'égale dimension (tableau 12) par un mur longitudinal de séparation. L'un d'eux est garni de briques latéritiques ; l'autre de cailloux de quartz. Les caractéristiques de ces matériaux sont indiquées dans le tableau 13.

LE SYSTEME DE DISTRIBUTION DU DEBIT DANS LE LIT BACTERIEN

Les eaux usées arrivent du décanteur primaire et se déversent sur un auget basculant. Cet auget constitue l'élément de distribution du débit dans les deux compartiments du lit. Le débit d'eaux usées sur un lit est fonction du temps de recirculation ; il est régulé par des vannes situées juste en amont de l'auget basculant. Le choix d'un tel élément de distribution a été dicté par :

.../...

- la simplicité et la fiabilité du fonctionnement ;
- la simplicité de la technologie. Notons qu'une mise en oeuvre correcte de l'auget est nécessaire pour une répartition régulière de l'affluent.

Les mesures faites à la sortie des deux compartiments du lit bactérien montrent que la répartition du débit affluent n'est pas uniforme. Les 40 % du débit vont dans le support en quartz tandis que les 60 % vont dans le support en brique.

De l'auget basculant, les eaux usées déversent sur les tôles ondulées perforées placées au-dessus de chaque garnissage et permettant une meilleure répartition du débit sur le lit. Ces eaux percolent entre les garnissages et le film biologique. A la sortie de chaque compartiment, l'effluent est drainé par une conduite vers le décanteur secondaire (figure 1).

1.2.2 - Le Décanteur Secondaire

C'est un bloc rectangulaire avec un fond en trémie. Ses dimensions sont les suivantes :

- Profondeur utile 2,55 m - Volume utile 6,53 m³
- Profondeur totale 2,90 m - Volume totale 7,58 m³
- Longueur 2,00 m
- Largeur en crête 1,50 m.

Ce décanteur permet de piéger les boues dues à l'autocurage du lit bactérien. Les boues encore fluides, sont refoulées dans le décanteur primaire où elle subissent une décantation avant d'être acheminées vers le digesteur. L'effluent du décanteur secondaire est acheminé vers le bassin de maturation.

.../...

1.2.3 - Le Bassin de Maturation

C'est le dernier élément épurateur de la filière III. C'est un bassin, de profondeur moyenne d'eau 0,75 m, de superficie 174 m² ; soit un volume total d'eau de 131 m³. Le temps de séjour dans ce bassin est de 3,9 jours. A la sortie de cet étang, une conduite draine l'effluent dans un regard ; puis vers le bassin de stockage.

1.2.4 - Les Eléments Annexes à la Filière III

1.2.4.1 - Le Bassin de Stockage

C'est un ouvrage rectangulaire divisé en deux compartiments ; l'un d'eux pouvant être utilisé pour isoler l'effluent d'une filière déterminée. Cet ouvrage, d'une capacité de 20 m³, reçoit les effluents de la station. Les eaux épurées du bassin de stockage peuvent être déversées dans l'exutoire ou utilisées pour une recirculation dans le décanteur primaire.

Les Caractéristiques du Bassin de Stockage (6)

	COMPARTIMENT I	COMPARTIMENT II
Longueur (m)	6,50	6,50
Largeur (m)	1,00	2,10
Profondeur utile (m)	1,05	1,05
Profondeur totale (m)	2,12	2,12
Volume d'eau (m ³)	6,83	13,65

1.2.4.2 - Le Digesteur

C'est un ouvrage en acier, de forme cylindrique, qui sert à stabiliser les boues produites par la station. Les boues digérées sont ensuite déshydratées dans des lits de séchage de capacité 10 m³.

Tableau 1.1 - Dimensions des Bassins des Filières I et II (6)

	Profondeur (m)		Superficie (m ²)		Volume (m ³)
	Projetée	Réelle	Projetée	Réelle	Réel
BI . 1	1,50	1,22	100	62	76
BI . 2	0,75	1,07	400	340	364
BII . 1	1,50	1,30	100	67	87
BII . 2	0,75	0,85	400	300	255

Bij : Bassin j de la filière i

Tableau 1.2 - Dimensions d'un Compartiment du Lit Bactérien

Longueur (m)	2,50	Surface (m ²)	3,125
Largeur (m)	1,25	Volume utile (m ³)	6,25
Hauteur utile (m)	2,00	-	-

Tableau 1.3 - Caractéristiques des matériaux de garnissage

	Surface spécifique (m ² /m ³)	Ponosité (%)
Brique en latérite cuite	102	79
Cailloux de quartz (5)	69	39

H A P I T R E I I
----- // THÉORIES SUR LES ELEMENTS DE LA FILIERE III
-----2.1 - GENERALITES SUR LES LITS BACTERIENS2.1.1 - Définition

Les lits bactériens sont des réacteurs de hauteur plus ou moins grande, remplis d'un garnissage inerte, sur lequel vont se fixer des microorganismes ; formant ainsi ce qu'on appelle "film biologique".

Ces microorganismes, responsables de la biodégradation, utilisent la matière organique comme source d'énergie et de carbone.

2.1.2 - Fonctionnement du Lit Bactérien
(figure 2.1)

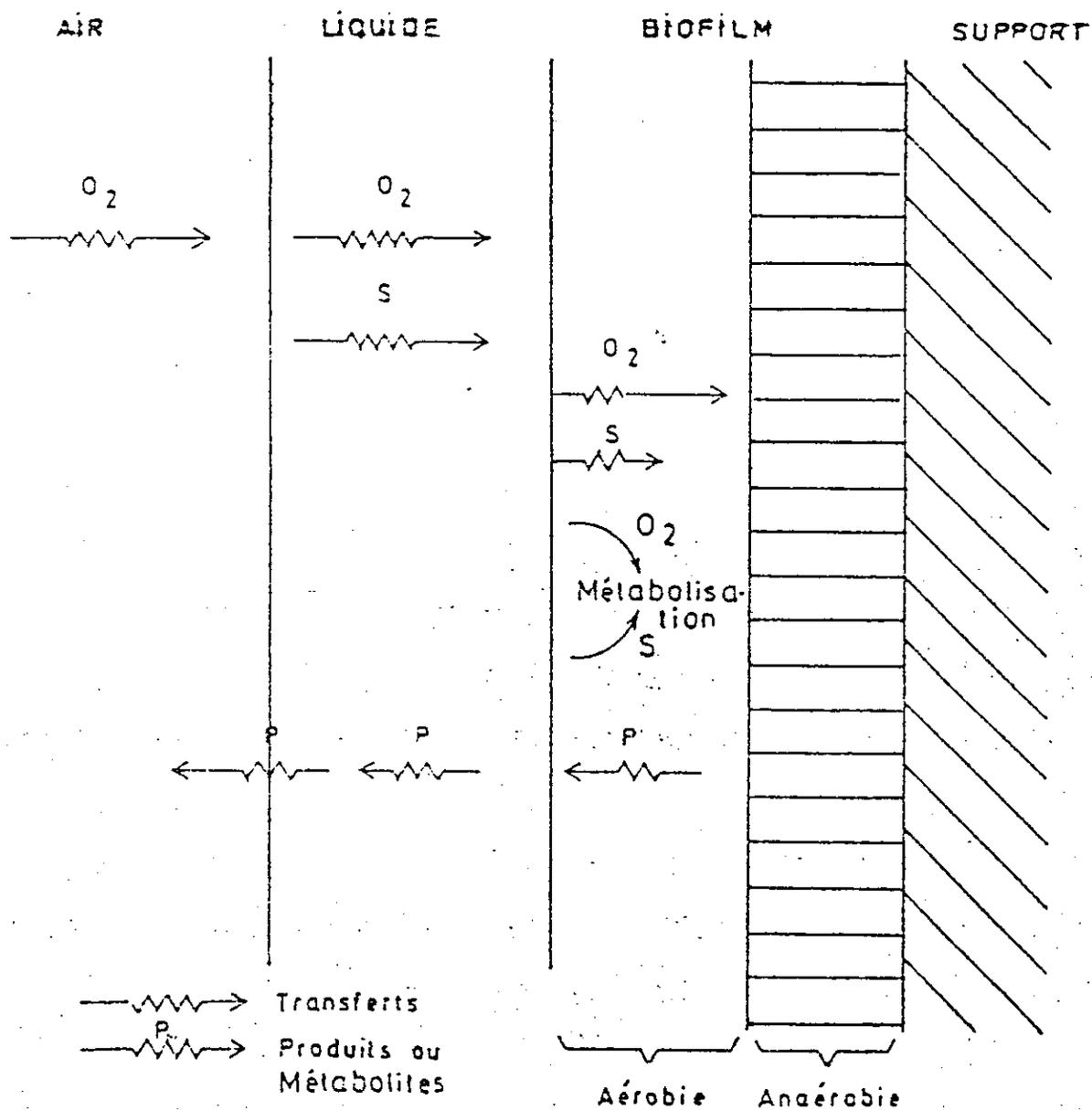
L'eau à traiter, contenant de la matière organique (substrat) et des bactéries, ruisselle sur le matériau de garnissage. Cette eau percole jusqu'au fond du lit. En percolant, elle forme un film liquide où s'effectuent les échanges gazeux (O_2 de l'air entrant ; CO_2 formé par le métabolite microbien sortant).

Le substrat est absorbé par le biofilm puis dégradé par les microorganismes aérobies. Avec la multiplication des microorganismes, l'épaisseur du biofilm augmente. L'oxygène diffusé est alors consommé avant d'avoir traversé toute cette épaisseur. Par conséquent, il s'établit un environnement anaérobie ^{au} niveau de la surface du support. Ce phénomène s'accroissant, les microorganismes anaérobies n'auront plus de source organique externe. La flore bactérienne va se détacher et être entraînée avec l'effluent. C'est le phénomène de l'autocurage.

Le support remis à nu sera à nouveau recolonisé. C'est le début d'un nouveau cycle.

.../...

Figure 2.1 (D'après MEHTA) (4)



S = Substrat

P = Produits ou Metabolites

2.1.3 - Avantages et Inconvénients des Lits Bactériens

Comparativement aux autres systèmes d'épuration, les lits bactériens présentent les avantages suivants :

- une simplicité d'exploitation
- une minimisation des pertes d'eau par infiltration et par évaporation
- un temps de séjour court et une emprise au sol modéré ; d'où un investissement (côté terrain) peu élevé

La littérature signale les inconvénients suivants :

- l'exigence des affluents à charges polluantes relativement élevée pour l'obtention d'un bon rendement
- le dégagement des odeurs
- la prolifération des mouches (psychoda)
- le risque de colmatage du lit.

Les particularités du lit bactérien de la STEP - EIER sont les suivantes :

- un coût équivalent habitant élevé par rapport aux systèmes d'épuration par lagunes. Cela étant dû aux contraintes d'une station pilote.
- l'absence des mouches (psychoda).

2.1.4 - Classification des Lits Bactériens

On classe les lits bactériens selon la charge organique - le type de garnissage - le mode de fonctionnement. Le tableau 2.1 indique les différentes classes de lit bactérien.

Le lit bactérien de la STEP - EIER peut être considéré comme un lit à faible charge.

.../...

Tableau 2.1 - Classification des Lits Bactériens

Spécification	Lit à faible charge	Lit à charge normale	Lit à forte charge	Lit à Super charge
Charge hydraulique $m^3 m^{-2} LB J^{-1}$	1,5 - 4,5	4,5 - 25	25 - 100	100 - 1000
Charge organique $kg D8O_5 m^{-3} J^{-1}$	0,08 - 0,4	0,4 - 1	1 - 10	10 - 300
Hauteur	1,5 - 3,0 (moyen.2,1)	1,5 - 4	1 - 2 (moyen.1,5)	Jusqu'à 12
Recirculation	non	oui	courante	courante
Coefficient de recirculation	0	0 - 1	0 - 6	1 - 6
Effluent	Nitrifié	Nitrifié	Partiellem. Nitrifié	Nitrifié à faible charge
Support	Conventionnel (Coke, cailloux, lave...avec $\emptyset = 2 - 10$ cm) Plastique : généralement à empilage en vrac (flacon RC - Biopac Euromatic ...) utilisé en charge normale.		Plastique à empilage régulier (flocon, cloisonyl, surfpac, Bioprofil ...) ou en vrac (Biopac - Filterpac)	

2.1.5. - Modélisation de la Performance
des Lits Bactériens

a/ - Introduction

Dans les lits bactériens, vivent plusieurs sortes de bactéries. Les bactéries facultatives prédominent sur les autres. On y note aussi la présence des encaryotes (algues, champignons, lichens, protozoaires) ; les procaryotes (bactéries et cyanophycées ou algues bleues) ; les nematodes, les rotifères, les escargots, les larves d'insectes A cette écologie peu maîtrisable, vient s'ajouter les paramètres physiques, rendant ainsi plus difficile l'appréhension des phénomènes qui se produisent dans le lit. C'est pourquoi, un siècle après son introduction, le dimensionnement et la modélisation des lits bactériens restent encore un objectif à atteindre. Toutefois, certains modèles, plus ou moins fiables ont déjà été proposés.

b/ - Les Modèles Empiriques

Dans les modèles empiriques, on essaye d'adapter une loi mathématique à un système existant, étudié (mesure des paramètres physiques et biochimiques). Ce modèle considère le lit bactérien comme une boîte noire alimentée par un affluent S_0 et évacuant un effluent S . Les résultats de diverses études montrent que l'effluent S est conditionné par plusieurs autres paramètres : $S = f(S_0, h, CH, r, T, V \dots)$.

Le tableau 2.2 illustre quelques modèles représentatifs de ce genre d'approche.

Une étude faite sur les lits bactériens sous climat sahélien a conduit C.S. TOURE a proposé, en 1986, les modèles du tableau 2.3.

.../...

Tableau 2.2

Modèle Empirique de Dimensionnement des Lits Bactériens (4)

$\eta (\%) = \frac{100}{1 + 0,443 \left(\frac{L_o}{F} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (*)$ $F = \frac{1 + r}{(0,1r + 1)^2}$	National Research Council, USA (1946)
$S = \frac{0,468 S_o^{1,19} Q_s^{0,13} (1+r)^{0,28}}{\left(1 + \frac{H}{0,3} \right)^{0,67} T^{0,15}} \quad (*)$	Galler et Gotaas, USA (1964)
$\eta (\%) = 93 - 17 L_o \quad (*)$	Triebel W/ATV, RFA (1974)
$\frac{S}{S_o} = \frac{1}{1 + 0,0204 x 1,111^{(T-15)} x \frac{A_s^{1,407}}{Q_x^{1,249}}} \quad (**)$	Water Pesearch Center R.U (1978)

(*) relations établies uniquement pour garnissages conventionnes

(**) Garnissage en vrac uniquement

Tableau 2.3

Modèles de dimensionnement des lits sous climat sahelien (5)

Modèles	Garnissage	Surface Spécifique
$\frac{S}{S_o} = \frac{\exp(-0,0083 x 1,04^{(T-29)} x A_s h^{0,757}}{C_H^{0,711}}$	Latérite	83 m ² /m ³
$\frac{S}{S_o} = \frac{\exp(-0,0099 x 1,065^{(T-20)} x A_s h^{0,749}}{C_H^{0,744}}$	Quartz	49 m ² /m ³

c/ - Les Modèles Théoriques

Ces modèles reposent sur une approche locale de la vitesse d'épuisement du substrat. Des études faites par HOEHN et RAY ont montré que la vitesse de dépollution croît avec l'épaisseur du biofilm jusqu'à une certaine limite ($e = 0,2$ mm) au delà de laquelle elle devient constante.

La vitesse d'épuisement du substrat peut être limitée "soit par le transfert du substrat limitant dans la phase liquide, soit par le transfert de substrat limitant dans le biofilm, soit par la cinétique enzymatique des bactéries du film ; soit encore par une combinaison quelconque de ces trois processus." (4).

L'objectif de ces modèles est de prédire le flux de substrat limitant dans l'eau usée et à l'interface couche liquide-biofilm. Le flux du substrat de l'eau vers le biofilm s'écrit :

$$N_x = 0 = \frac{DL}{L_f} (S - S^*) = KL (S - S^*) \quad (4)$$

DL = Coefficient de diffusion du substrat limitant dans la couche liquide

Lf = épaisseur de la couche liquide à laquelle le transfert peut être ou supposé être décrit par une seule diffusion moléculaire

KL = Coefficient de transfert de la matière dans la couche liquide

S* = Concentration en substrat à l'interface couche liquide - biofilm.

Le figure 2.2 présente quelques concepts des modèles théoriques.

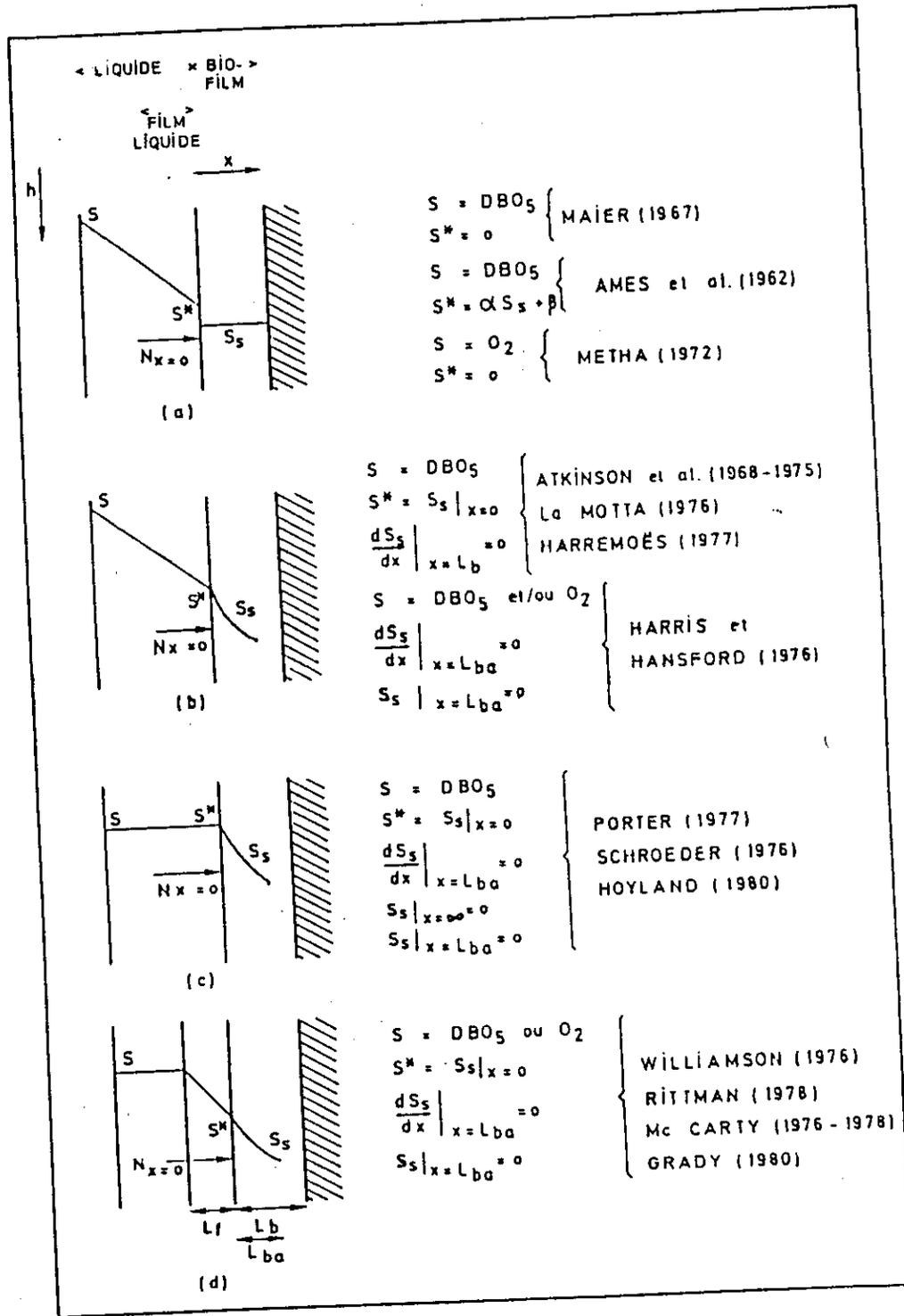


figure 2.2 - Concepts physiques et profils de la concentration en substrat. (4)

2.2 - LES DECANTEURS SECONDAIRES

La décantation est un procédé qui permet de séparer des particules de densités différentes, rien qu'en exploitant la force de gravité de chaque particule. Un décanteur est un réacteur conçu pour favoriser une décantation (grande profondeur ; surface horizontale relativement faible). En épuration, les décanteurs secondaires sont généralement précédés par des lits bactériens. Ils ont pour but de piéger les boues dues à l'autocurage du lit. Ils améliorent ainsi la qualité de l'épuration.

La fonction première du décanteur secondaire n'étant pas de faire de la biodégradation, son rendement épuratoire est faible et ne fait pas encore l'objet d'études approfondies.

Dans le cadre de notre travail, nous nous limiterons à présenter les résultats obtenus.

.../...

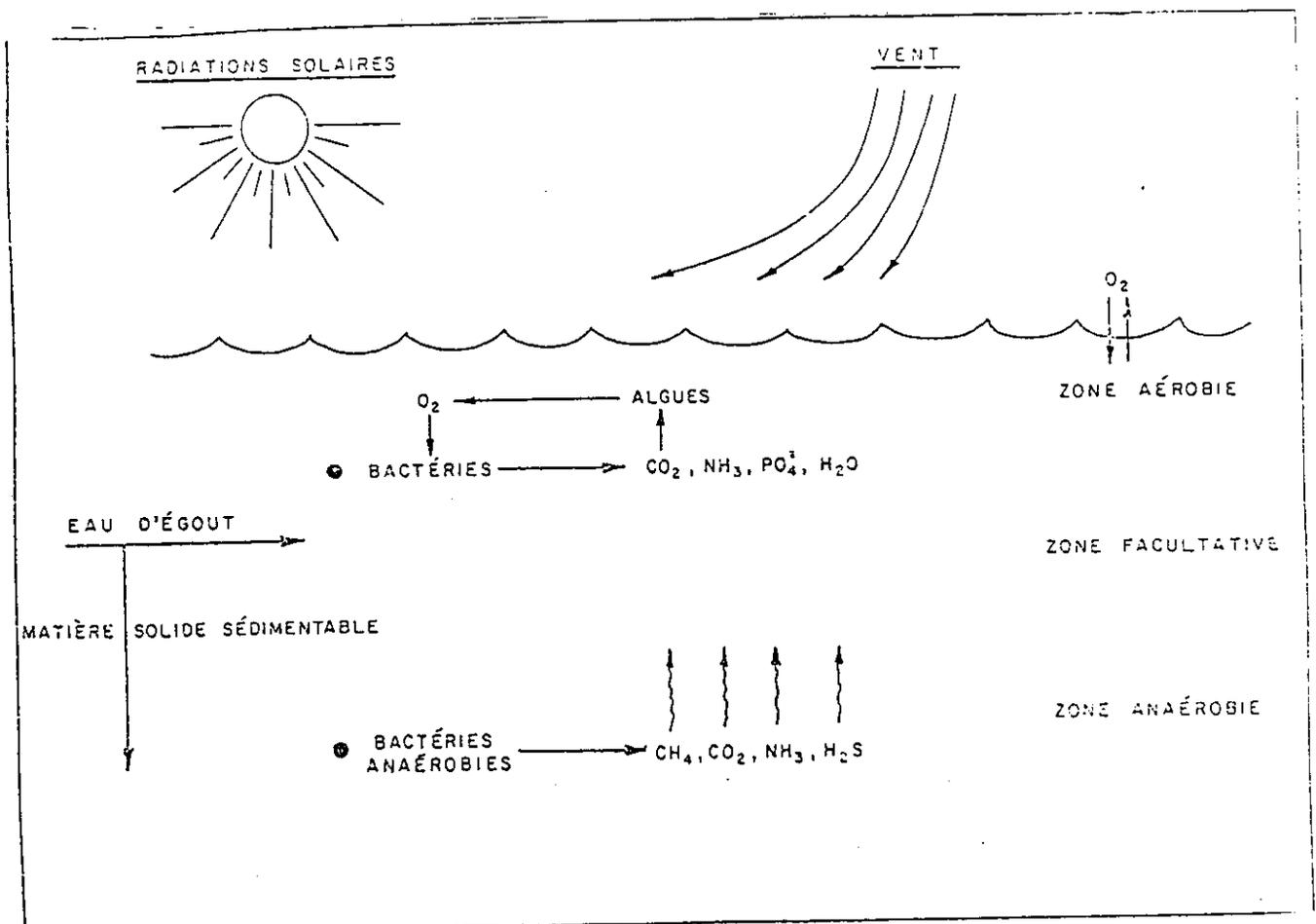
2.3 - LES BASSINS DE MATURATION

Les bassins de maturation sont généralement les derniers éléments d'une filière d'épuration. Ce sont des étangs de faible profondeur ($h \leq 80$ cm), recevant une faible charge organique ($Co = 100 - 150$ kg/ha/j). Leur principale fonction est de rabattre considérablement la population microbienne contenue dans l'affluent.

2.3.1. - Fonctionnement des Bassins de Maturation

Comme l'illustre la figure suivante (issue de 9), les phénomènes conduisant à l'épuration naturelle des eaux dans les étangs sont complexes.

Schéma écologique général d'un étang d'oxydation



Les bassins de maturation sont considérés comme étangs aérobies. Les conditions anaérobies, dans les profondeurs des étangs, ont pour conséquence :

- la fermentation de la matière organique avec dégagement des gaz. $(\text{CH}_4, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{S}, \text{NH}_3)$
- et l'appauvrissement de l'effluent en oxygène. Or ces deux caractéristiques ne sont pas souhaitables pour un effluent qui va être rejeté dans le milieu naturel.

L'apport d'oxygène dans l'étang est le résultat de plusieurs facteurs physico-chimiques et biologiques tels que :

- les échanges gazeux au niveau de la lagune : ces échanges sont favorisés par une agitation naturelle (le vent) ou artificielle (les réacteurs).
- La photosynthèse : son intensité est liée au nombre d'organismes chlorophylliens ; à la présence de la lumière, à la température.

Dans les étangs aérobie, les réactions typiques sont :

- l'oxydation biologiques : $(\text{CH}_2\text{O})_x + x\text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + x\text{H}_2\text{O}$
- l'oxygénation photosynthétique :
 $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + h\nu^* \rightarrow (\text{CH}_2\text{O}) + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 (* — énergie lumineuse) (tiré de 4)

Le rabatement de la population microbienne dans les bassins de maturation peut s'expliquer par :

- L'action des rayons U.V. du soleil, considérée comme bactéricide
- L'action des bactériophages (les cladocères, certains protozoaires)
- L'existence des paramètres tels que : pH, température, pas toujours favorables à la survie des bactéries.

2.3.2 - Performance des Bassins de Maturation

Le dimensionnement des bassins de maturation tient essentiellement compte de la dégradation de la population microbienne; pas de la ~~dégradation~~ de la matière organique. Par conséquent, leur rendement en DBO est faible et leur performance se définit par rapport à l'élimination des bactéries .

On a la formule :
$$\frac{N_s}{N_e} = \frac{1}{1 + K_T \theta_m}$$

.../...

H A P I T R E I I I

 / / / ETHODOLOGIE 'ANALYSE

3.1 - ECHANTILLONNAGE

Les échantillons sont prélevés à l'entrée et à la sortie de chaque élément de la filière (fig. 1). Pour certains d'entre eux, le prélèvement est continu (P₁, P₄, P₅) ; pour d'autres, il est ponctuel (P₂, P₃). La durée moyenne de prélèvement journalier est de 6 heures en P₄ et P₅, soit deux séances de 3 heures chacune ; et 11 heures d'affilé en P₁. Le type et la durée de prélèvement sont fonction de la disponibilité et de la résistance des pompes.

La période expérimentale s'est étendue sur un mois et a coïncidé avec la période de forte consommation en eau (mois d'Avril).

3.2 - LES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

3.2.1 - Le Débit Journalier dans
La Filière III

La méthode volumétrique a été utilisée pour la détermination du débit journalier dans la filière III. Pour cette expérience, nous disposions d'un chronomètre et d'un seau de capacité 10 l, précis à 0,5 l. Les résultats sont consignés dans les tableaux de l'annexe A 31.

3.2.2 - Distribution du Temps de Séjour dans
le Bassin de Maturation

Une masse M de chlorure de lithium est injectée à l'entrée du bassin de maturation. Toutes les 24 heures après cette injection, on prélève un échantillon à la sortie du bassin et détermine sa teneur en

lithium. Le dosage de la teneur en lithium se fait sur un échantillon filtré ; on utilise un spectrophotomètre à flamme type PFP 7. Les prélèvements s'étalent sur une durée égale au double du temps de séjour théorique dans le bassin. La méthodologie de calcul du temps de séjour réel est exposée en annexe A 32.

3.2.3 - Surface Spécifique des Briques

On dispose de trois cubes métalliques fermés (10,5 cm de côté) et de six briques saturées. On détermine le poids initial de chacun de ces matériaux. Les cubes et trois briques sont immergées dans la peinture acrylique. Après égouttage de tous ces matériaux, on détermine le poids final de chacun d'eux. On lie ainsi la surface spécifique du matériau au poids moyen de peinture nécessaire pour enduire cette surface. Les calculs sont présentés en annexe A 33.

3.2.4 - Mesure de la Porosité des Briques

Un récipient de volume V est rempli de briques. Les briques ont la même disposition dans le récipient et dans le lit bactérien. On détermine le volume d'eau V_1 pouvant occuper les vides dans le récipient. La porosité des briques ainsi disposées est $\frac{V_1}{V}$.

Les calculs sont présentés en annexe A 34.

3.3 - LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

(Température - Oxygène dissous - pH)

Ces mesures sont faites in situ avec des appareils appropriés. Pour la mesure de l'oxygène dissous, on utilise OXY 85 T (Merk LMC système) ; pour la mesure du pH, on utilise pH 85 T (Merk LMC système). Ces deux appareils nous indiquent aussi la température du fluide dans lequel baigne l'électrode.

.../...

3.4 - LES PARAMETRES CHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES

3.4.1 - La Demande Biochimique en Oxygène DBO

Chaque échantillon est filtré sur une membrane de porosité 3μ . Cette filtration, qui permet d'éliminer les algues contenues dans l'échantillon est d'autant plus nécessaire que, dans l'obscurité, les algues entrent en compétition avec les microorganismes pour la consommation de l'oxygène, et c'est aussi dans l'obscurité que se fait la détermination de la DBO.

La demande biochimique en oxygène a été déterminée après cinq jours (DBO_5). La DBO_5 se définit comme étant la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique en 5 jours et à $20^\circ C$. Pour la mesure de la DBO_5 , nous avons utilisé la méthode respirométrique (HACH) et la méthode de Winkler. Le processus expérimental de ces mesures est en annexe A 1.

Les résultats sont consignés dans le tableau de l'annexe A 5.2.

3.4.2 - Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO se mesure sur un échantillon préalablement filtré. Elle permet de déterminer la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes et les éléments oxydables contenus dans l'échantillon. Le processus expérimental de la détermination de la DCO est en annexe A 2. Les résultats obtenus sont en annexe 5.1. Il existe une relation de linéarité entre la DCO et la DBO_5 d'une solution.

.../...

3.5 - BACTERIOLOGIE

Les paramètres coliformes fécaux et streptocoques fécaux nous ont permis de déterminer la pollution microbienne des différents échantillons. Pour les coliformes fécaux, la détermination est effectuée après filtration d'un volume de 100ml de l'échantillon sur une membrane 0,45 μ et incubation dans un milieu de culture Tergital 7. Agar à 44°C pendant 24 heures. L'incubation des streptocoques fécaux se fait sur un milieu de culture microbiologie à 37°C pendant 48 heures.

3.6 - REPRESENTATIVITE DES ECHANTILLONS ET ERREURS COMMISES

L'oeuvre de l'homme est toujours entachée d'erreurs. Conscients de cette réalité, nous essayerons d'énumérer nos sources d'erreurs et de les quantifier. Ce qui nous imposera une certaine souplesse dans l'interprétation de nos résultats.

3.6.1 - Echantillonnage

Comme nous l'avons déjà souligné, le prélèvement des échantillons a été ponctuel ou quasi continu. Le mieux aurait été de faire des prélèvements continus et proportionnels au débit. Ce qui n'a pas toujours été possible, compte tenu des infrastructures en place. Toutefois, nous admettons la représentativité des prélèvements journaliers effectués. De plus, la période d'expérimentation et sa durée ne sont pas suffisants pour caractériser la filière étudiée.

3.6.2 - Représentativité des Analyses Effectuées

Les différentes méthodes d'analyses utilisées comportent des erreurs systématiques (manque de justesse, étalonnage...) et des erreurs aléatoires (fidélité d'une méthode) pas toujours contournables par le manipulateur.

L'évaluation de ces erreurs et la crédibilité des résultats obtenus passent par la détermination des paramètres statistiques :

- la moyenne
- l'écart-type
- l'intervalle de confiance (que nous ne représenterons pas dans cette étude).

.../....

//--- H A P I T R E I V

//---) ESULTATS ET ---//--- NTERPRETATIONS

4.1 - PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

4.1.1 - Débit

Les tableaux de l'annexe 31 présentent les résultats de mesure des débits dans la filière III. De ces tableaux, il ressort que la filière III reçoit un débit de 1,4 m³/h quand l'une des pompes de la bêche fonctionne. Ce débit vaut 2,67 m³/h quand la pompe de recirculation est en fonctionnement. La répartition du débit par l'auget basculant n'est pas uniforme. Le support de quartz reçoit les 40 % du débit de la filière alors que le support en brique reçoit les 60 %.

Cette inégale répartition du débit affluent à une influence certaine sur la qualité de l'épuration. En effet, si nous admettons que :

- l'affluent du lit bactérien est homogène
- les deux compartiments du lit ont les mêmes dimensions
- la croissance des bactéries biodégradeurs est exponentielle alors, pour un débit relativement élevé, l'épaisseur du biofilm augmentera rapidement ; et aussi rapidement se feront sentir des carences en substrat (quelques profils de concentration en substrat (fig.3.2) illustre cette carence).

Le débit dans le support de brique étant de 50 % supérieur au débit dans le support de quartz, l'augmentation de l'épaisseur du biofilm serait plus accéléré dans les briques. Les observations faites in situ montrent que l'effluent des briques a plus de matières en suspension que l'effluent du quartz. Ceci pourrait s'expliquer par un auto-curage plus fréquent dans les briques ; autocurage dû à l'insuffisance du substrat. La faiblesse du rendement épuratoire dans le support de brique serait liée à la grandeur de son débit et par conséquent, de sa

charge hydraulique. Il a d'ailleurs été établi que le rendement décroît quand la charge hydraulique croît (5).

4.1.2 - Porosité des Matériaux de Garnissage

Pour la détermination de la porosité des matériaux de garnissage, nous nous sommes limités à faire une seule expérience sur les briques. Les résultats sont en annexe 33. La porosité dans ce support a été estimée à 79 % ; tandis que celle du quartz est de 39 % (d'après 5). Etant donné le rôle fondamental de la porosité des matériaux de garnissage dans l'hydrodynamisme des lits bactériens, ce paramètre a attiré notre attention. Certains, d'auteurs (Charpentier et Al., Broadbent et Hammersley...) ont montré que le fonctionnement des lits bactériens est caractérisé par :

- l'hétérogénéité de la distribution du liquide
- le processus de percolation
- la présence d'un écoulement préférentiel.

Cet écoulement préférentiel s'accroît quand la porosité du matériau devient importante. La distribution du liquide est alors proche d'un écoulement piston idéal et le temps de séjour du liquide devient relativement court. Ceci a une influence négative sur la performance du lit bactérien. Notons qu'une porosité minimale du matériau de garnissage est nécessaire si on veut éviter un colmatage de lit.

Au vu des résultats de porosité que nous avons, nous pouvons dire que le temps de séjour du liquide est plus faible dans les briques que dans le quartz, il en est de même des surfaces mouillées. L'écoulement dans les briques n'est donc pas favorable pour une bonne épuration.

En dépit de son importance dans la compréhension de l'hydrodynamisme des lits bactériens, la distribution du temps de séjour dans ce réacteur n'a pas pu être étudiée.

.../...

4.1.3 - Surface Spécifique des matériaux de Garnissage

La surface spécifique est une notion directement liée au concept des lits bactériens et à leur performance. Il a été démontré que la qualité de l'épuration devient meilleure quand la surface spécifique du matériau augmente. Les résultats de mesure (Annexe 3.2) montrent que la surface spécifique des briques ($102 \text{ m}^2/\text{m}^3$) dépasse de 48 % celle du quartz. Au vu de ces résultats, on peut s'attendre à un bon rendement épuratoire dans le support des briques. Ce qui n'est pas le cas. Cette contradiction apparente témoigne juste de l'importance d'autres facteurs hydrodynamique sur la qualité de la dépollution dans le lit bactérien.

Une grande surface spécifique est une condition nécessaire, mais pas suffisante, pour assurer une bonne dégradation biologique dans les lits bactériens.

4.1.4 - Temps de Séjour Moyen dans le Bassin de Maturation

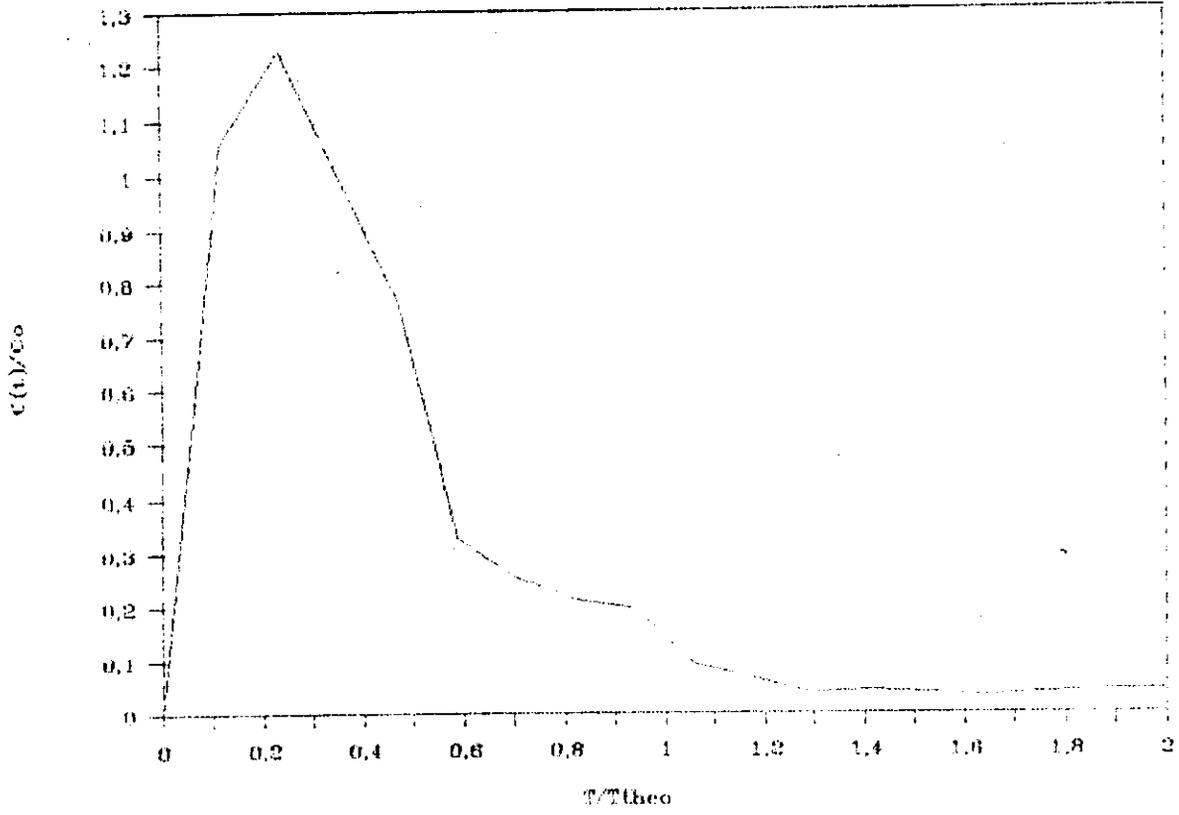
L'étude de la distribution du temps de séjour dans le bassin de maturation nous a permis d'obtenir une courbe (fig. 4.1) ayant les caractéristiques suivantes :

- Un extremum proche de l'instant initial d'injection : ceci témoigne de la présence des court-circuits dans le bassin. Ces court-circuits sont favorisés par les phénomènes de stratification thermique.
- Une légère décroissance de la courbe sur une longue période (deuxième moitié de la durée expérimentale) : ceci témoigne de la présence des zones mortes dans le bassin.

Le temps de séjour dans le bassin de maturation a été estimé à 3,9 Jours (annexe 3.2). Théoriquement et pratiquement, ce temps est suffisant pour un rabattement de la population microbienne dans le bassin de maturation. Notons cependant que la destruction de certains germes tels les kistes exige un temps beaucoup plus long ($\theta \gg 11$ Jours).

Figure 4.1

DISTRIBUTION DU TEMPS DE SEJOUR
DANS LE BASSIN DE MATURATION



4.1 - PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

4.2.1 - PH

Les conditions optimales de fonctionnement des réacteurs exigent, entre autre, un pH compris entre 6,5 et 8 pour les lits bactériens et pour le bassin de maturation, on doit avoir un pH compris entre 7 et 9. Les mesures de pH, faites in situ sur nos échantillons sont comprises dans ces intervalles (voir annexe 4.1).

L'effluent du support de brique est plus basique que celui du support de quartz. Ceci sera dû :

- à la nature (alcalinité) des matériaux de garnissage
- à la présence de certains germes qui acidifient le milieu dans le support du quartz.

4.2.2 - Température

Les températures des différents prélèvements ont été mesurées in situ. Les résultats sont en annexe 4.2. La moyenne et l'écart type sur la température des effluents des éléments, de la filière III sont représentés sur la figure 4.2. Les observations suivantes peuvent être faites :

- L'affluent du lit bactérien (P1) a une température relativement élevée. Ceci pourrait s'expliquer par la réaction exothermique de dégradation de la matière organique en milieu anaérobie et par la forte intensité de l'activité bactérienne dans le décanteur primaire.
- Dans le lit bactérien, la température du liquide baisse. Ceci semble normale quand on sait que le lit bactérien se comporte comme une tour de refroidissement (phénomène de ventilation et d'évaporation). Cette baisse de température est plus marquée dans le support des briques. Plusieurs paramètres semblent se superposer pour expliquer ce phénomène.

- La capacité calorifique des matériaux : la capacité calorifique des briques serait supérieure à celle du quartz. Ce qui entrainerait un grand refroidissement de l'affluent dans le support en brique ($T_3 < T_2$).
- Les chocs intermoléculaires : dans les compartiments du quartz, l'affluent est plus sujet aux chocs intermoléculaires ; ce qui contribue à élever sa température ($T_2 > T_3$).
- L'énergie de biodégradation : l'intensité de l'activité bactérienne dans les supports pourrait aussi expliquer la différence de température des effluents des deux garnissages. De façon générale, les paramètres hydrodynamiques ne sont pas favorables pour une bonne dépollution dans le support en brique ; par conséquent, les réactions exothermiques y sont moins fortes ; d'où $T_3 < T_2$.

Dans le bassin de maturation, on note une légère augmentation de la température de l'affluent. Ce phénomène serait dû aux échanges thermiques superficielles entre le liquide et l'air ambiant ; et à l'énergie exothermique de biodégradation.

4.2.3 - Oxygène Dissous

Tout comme le bassin de maturation, le lit bactérien est un réacteur qui nécessite la présence de l'oxygène pour dégrader la matière organique. Il a été établi que la concentration en oxygène dans un fluide décroît quand la température croît.

$$C = \alpha P_{O_2} \quad (\text{loi de HENRY}) \quad (4).$$

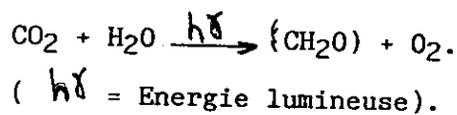
C = Concentration limite de l'oxygène dans l'eau.

P_{O_2} = pression partielle de l'oxygène dans la phase gazeuse.

α = coefficient de BUNSEN ; α décroît quand la température croît.

.../...

Les résultats de mesure d'oxygène dissous sont en annexe 4.3. Les valeurs moyennes de l'oxygène dissous, mesurées à 8 heures du matin et à 17 heures du soir sont consignées sur la figure 4.3. De cette figure, il ressort que la concentration en oxygène dans les échantillons est plus élevée le matin. Dans le lit bactérien, la concentration en oxygène dissous décroît quand la température augmente. Ce qui cadre bien avec la loi de HENRY. Par contre, au niveau du bassin de maturation, on constate une augmentation de la teneur en oxygène dissous avec l'élévation de la température. Cet état de fait peut s'expliquer par le phénomène de photosynthèse qui a lieu dans le bassin. En effet, dans le bassin de maturation, on note un développement d'algues. En présence de la lumière solaire, les plantes chlorophylliennes consomment du CO_2 et libère de l'oxygène. La réaction d'oxygénation photosynthétique est la suivante :



La concentration en oxygène due à l'activité photosynthétique est suffisamment importante pour combler le déficit en oxygène dissous dû à l'élévation de la température et augmenter la teneur en oxygène dans le bassin.

De la figure 4.3, il apparait une différence de teneur en oxygène dissous dans les deux supports du lit. Quoique ces supports soient soumis aux mêmes conditions atmosphériques, le compartiment des briques est moins oxygéné que le compartiment du quartz. Ce phénomène pourrait être dicté par l'hydrodynamisme dans le lit. Comme nous l'avons déjà souligné, l'hétérogénéité de la distribution serait plus marquée dans le support en brique ; et le temps de séjour du liquide dans le quartz serait long. Par conséquent, dans le support de quartz, le brassage air-liquide a une durée plus importante et a lieu sur une surface mouillée plus grande. L'oxygène de l'air se solubilise mieux dans le liquide du support de quartz ; d'où O_2 (quartz) > O_2 (brique).

Figure 4.2-VARIATION DE LA TEMPERATURE
DANS LA FILIERE

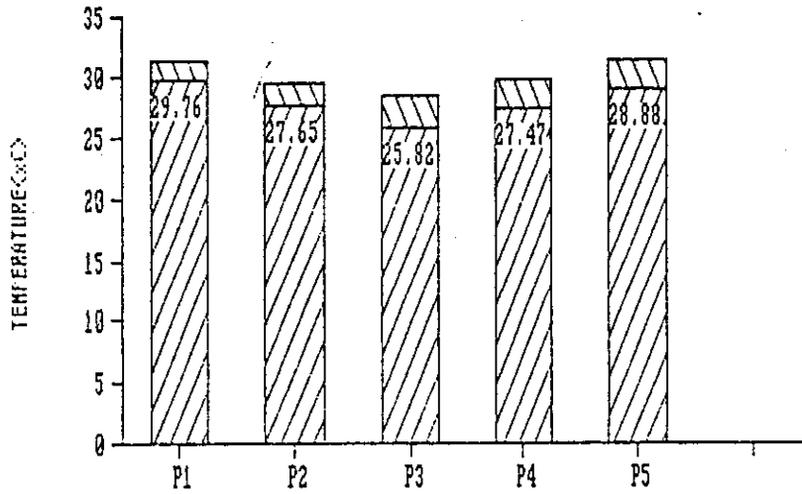
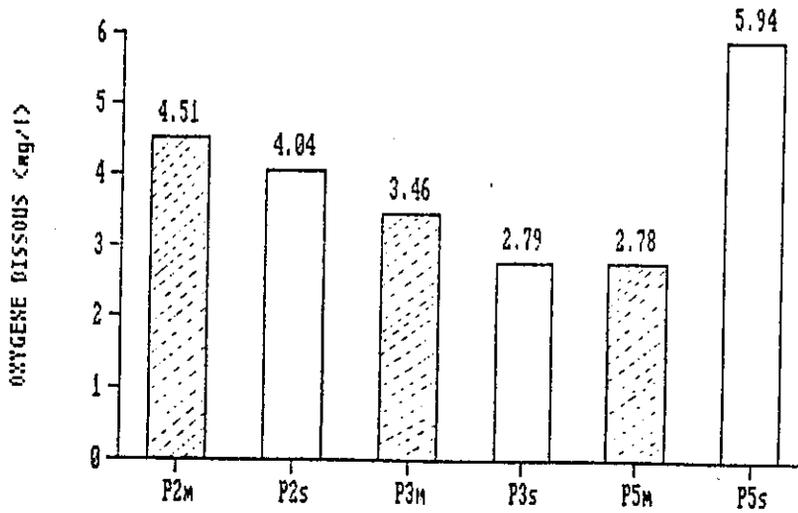


Figure 4.3-VARIATION MOYENNE DE L'OXYGENE DISSOUS



4.3. - PARAMETRES BIOCHIMIQUES ET CHIMIQUES

4.3.1 - DCO et DBO₅ Solubles

Les résultats des mesures de DCO sont en annexe 5.1. Au vu de ces résultats, le rendement en DCO dans le bassin de maturation est négatif (-10 %). Ceci peut s'expliquer par la remise en suspension des éléments oxydables et autres dépôts du fond du bassin, favorisée par l'effet thermocline.

Les mesures de DBO₅ sont présentées en annexe 5.2. On constate une biodégradation effective de l'amont vers l'aval de la filière.

Le Rapport DCO / DBO₅

Il a été établi que la DCO et DBO₅ sont liées par une relation linéaire. La détermination de cette relation est nécessaire. Elle permet pour chaque mesure de DCO (facile à acquérir) d'associer une mesure de DBO₅ (dont la détermination dure 5 jours). Un grand échantillon de DBO₅ est nécessaire car c'est ce paramètre qui est utilisé pour qualifier la biodégradation dans les stations d'épurations.

La conversion de la DCO en DBO₅ est effectuée par regressions linéaires. Les coefficients de corrélations obtenus varient entre 0,60 et 0,94. Ces coefficients, pas toujours intéressants, témoignent de la nécessité d'avoir un échantillon de couple (DCO, DBO₅) encore plus important. D'où l'intérêt de continuer les mesures. Les figures 4.4 nous présentent les courbes de regressions en différents points de prélèvements.

La figure 4.5 nous présente le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$ pour les éléments de la filière III. Nous remarquons une croissance de ce rapport de l'amont vers l'aval de la filière. Ceci confirme une fois de plus la bonne dégradation de la matière organique tout au long du traitement.

.../...

Figure 4.4

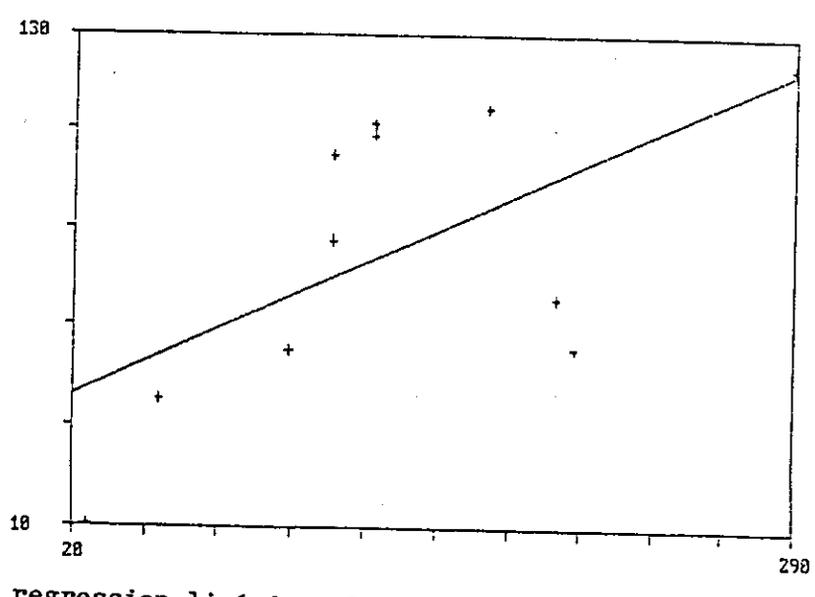
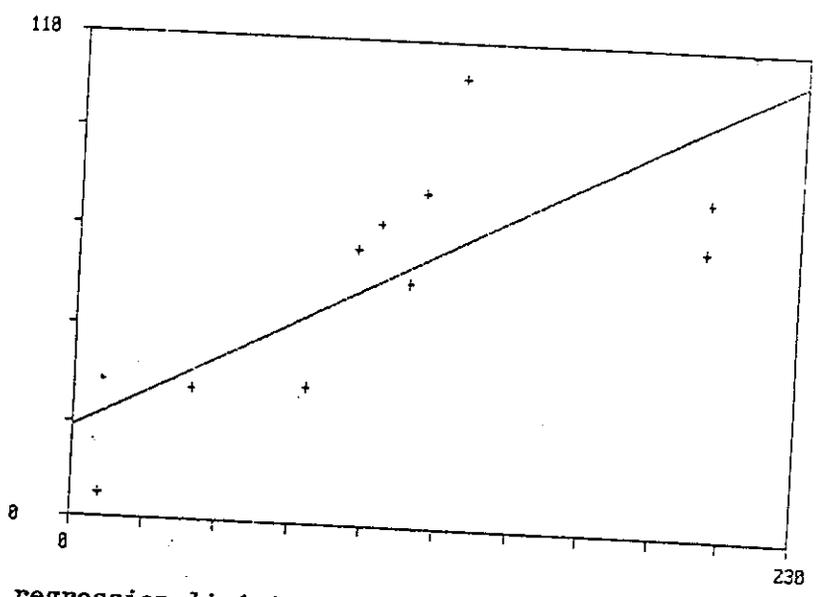
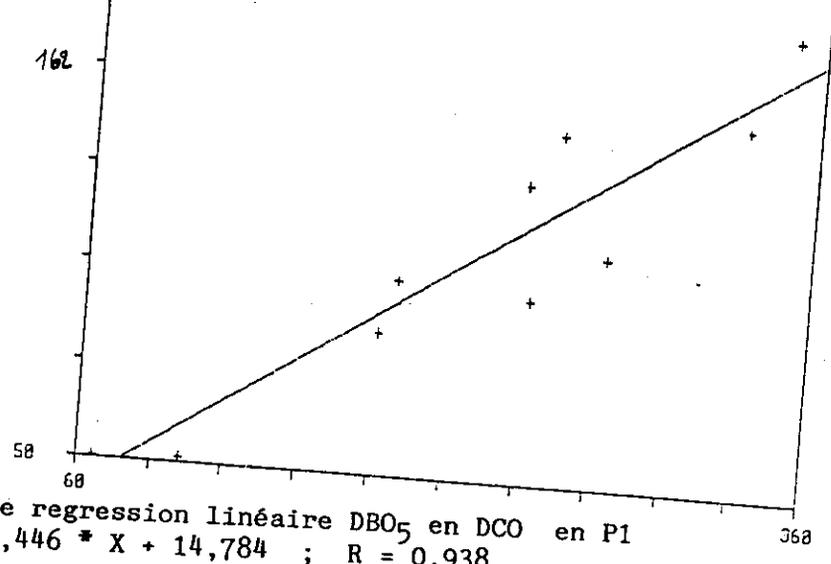
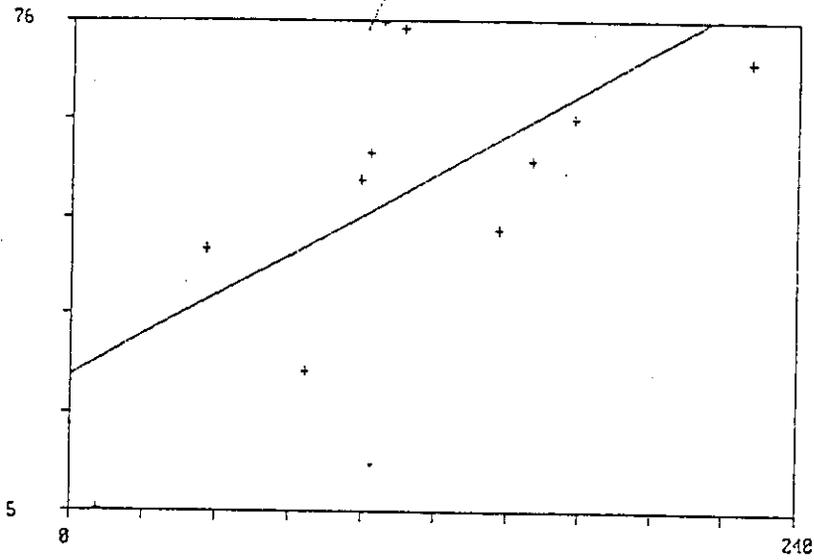
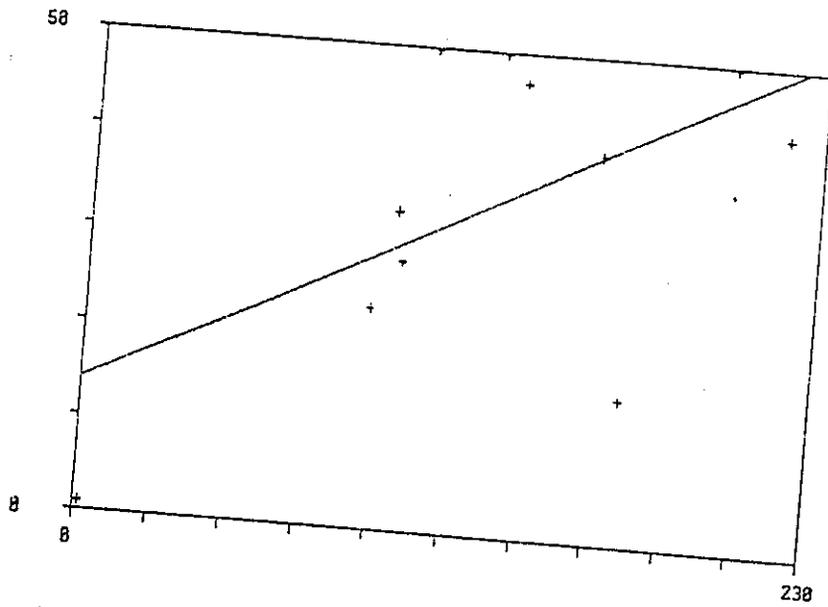


Figure 4.4



Courbe de regression linéaire DBO₅ en DCO en P4
 $y = 0,243 * X + 24,705$; $R = 0,672$



Courbe de regression linéaire DBO₅ en DCO en P5
 $y = 0,163 * X + 13,780$; $R = 0,600$

4.3.2 - Performance du Lit Bactérien

Le rendement épuratoire d'un réacteur est obtenu par la formule $R = \frac{S_0 - S}{S_0}$. La figure 4.6 nous indique la performance de chaque élément de la filière. Le rendement épuratoire de la filière est de 70 % (décanteur primaire exclu) et de 81 % (décanteur primaire inclu). La performance du décanteur primaire a été obtenu par O. GUENE (1988 - 1989). De la figure 4.6, il ressort que le support en quartz épure mieux que le support en brique. Ceci n'est qu'une conséquence logique des processus hydrodynamiques et physicochimiques qui se déroulent dans les deux compartiments du lit. En dehors de la surface spécifique qui est favorable pour une bonne épuration dans le support en brique ; le débit, la porosité, l'oxygène dissous ... sont défavorables pour une bonne efficacité dans ce compartiment du lit.

Une étude sur le comportement des lits bactériens en climat sahelien (C. S. TOURE - 1986) a abouti aux conclusions suivantes :

- Dans les lits bactériens à faible charge, l'influence de la charge organique sur le rendement est nul
- Pour $C_H \text{ max} = 6,7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{j}$; $S_0 \text{ max} = 200 \text{ mg/l}$, la performance des lits bactériens est traduite par l'équation.

$$(\lambda) \frac{S}{S_0} = \exp \left(-0,00911 \times 1,053^{(T-20)} \times A_s \times h^{0,753} / Ch^{0,727} \right).$$

(équation valable pour un garnissage de quartz et de latérite).

L'application est formulée sur les valeurs moyennes conduit aux résultats suivants :

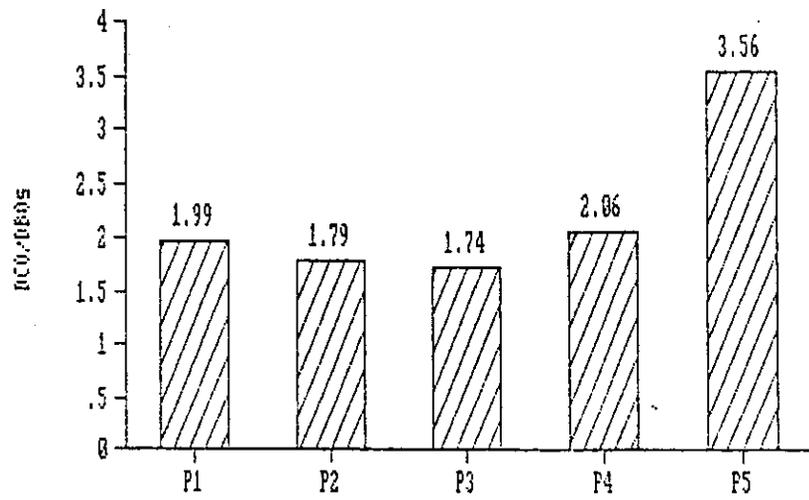
.../...

	SUPPORT EN QUARTZ	SUPPORT EN BRIQUE
A_S (m^2/m^3)	69	102
C_H ($m^3/m^2_{LK}/J$)	2,8	4,2
T ($^{\circ}C$)	27,65	25,82
$\frac{S}{S_o}$ (Théorique)	48 %	47 %
$\frac{S}{S_o}$ (expérimental)	53 %	70 %
Erreur relative $\frac{S_{théo} - S_{exp}}{S_{théo}}$	10 %	49 %

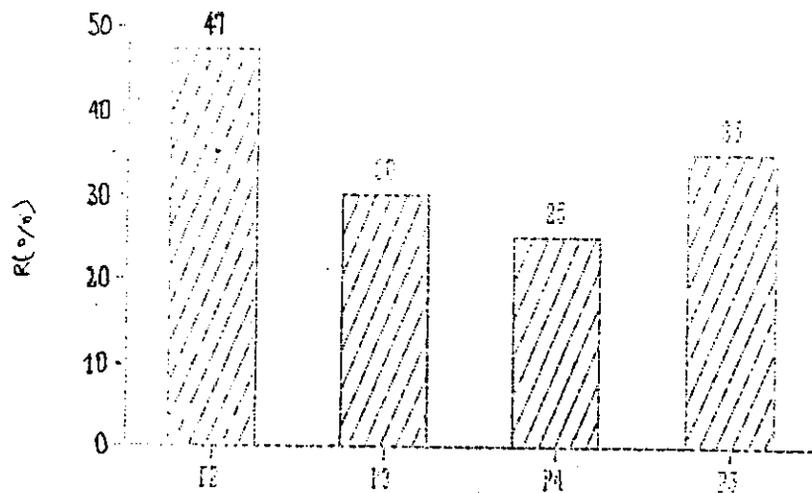
Généralement, on admet qu'un résultat expérimental vérifie une loi semi-empirique quand l'erreur relative commise est inférieure ou égale aux erreurs de mesures (10 %). Ceci étant, nous pouvons admettre que la relation (λ) n'est pas applicable dans le garnissage en brique.

Dans la littérature, il est indiqué que le rendement en DBO_5 d'un lit bactérien à faible charge est compris entre 85 - 90 %. Les rendements théoriques et expérimentaux que nous avons obtenu sont inférieurs à 53 %. Cet écart pourrait s'expliquer par le fait que les paramètres physico-chimiques (Température ; pH ; Oxygène dissous) ne sont pas favorables pour un fonctionnement optimal des bactéries dans le lit et par le nombre très limité des mesures obtenues.

Figure 4.5- RAPPORT DCO/DBO5



Rendement Epuratoire
de la Filière III



4.4 - PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES

La méthode de dénombrement a été utilisée pour identifier les germes responsables de la pollution fécale. Les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux ont été identifiés. Les résultats obtenus sont en annexe 5. Remarquons que la méthode utilisée pour la détermination de ces germes fécaux (plusieurs dilutions, dénombrement des colonies) multiplie les erreurs sur les résultats obtenus. Toutefois, nous nous sommes contentés de ces résultats, faute de mieux.

Au vu de ces résultats, nous pouvons dire que :

- le rabattement moyen de la population microbienne tant au niveau du lit bactérien que du bassin de maturation est de 2 U log. pour 100 ml d'échantillons
- au niveau de la filière III, le rabattement est de 4,5 U log. (décanteur primaire exclu) et de 5,9 U log sur toute la filière.

Le tableau 4.4.1 présente le rabattement en U log des différents ouvrages de la filière. Les résultats présentés au niveau du décanteur primaire sont issus de (6).

L'effluent du bassin de maturation a une population microbienne de 3,8 U log pour 100 ml d'échantillon. Cette qualité de l'effluent ne peut être jugée bonne que compte tenu de son utilisation. Pour une réutilisation des eaux usées en agriculture (légumineuses), la population microbienne de l'effluent doit être inférieure à 1 000 coliformes (3 U log) pour 100 ml d'échantillons. Toutefois, une eau qui contient moins de 100 000 coliformes fécaux pour 100 ml d'échantillons, peut être utilisée pour l'irrigation des arbres et des arbres fruitiers. Dans ce dernier cas, on doit arrêter l'irrigation prêt de deux semaines avant la cueillette des fruits.

Tableau 4.4.1

Rabattement de la Population Microbienne en Ulog

	Décanteur primaire (D.P.)	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Filière III	
						D.P exclu	D.P inclu
C.F	1,5	2,42	0,42	0,25	1,83	4,36	5,86
ST.F	-	2,06	2,02	0,62	1,98	4,64	-

H A P I T R E V

TUDES COMPARATIVES DE LA QUALITE DE L'EFFLUENT DES FILIERES DE LA STEP - EIER

Une étude faite sur les filières I et II de la station d'épuration (GUENE 1988 - 1989) a conduit aux résultats suivants :

Tableau 5.1

Rendement Epuratoire des Filières I et II

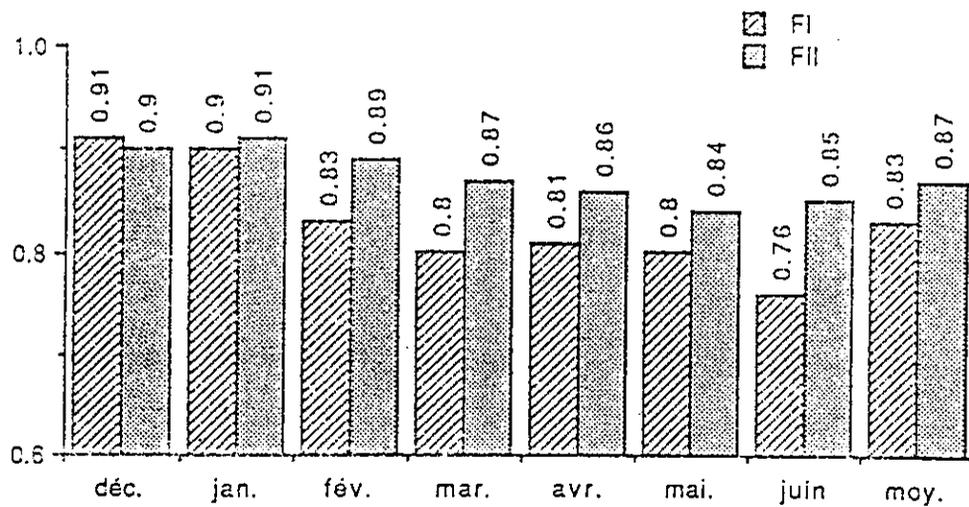


Tableau 5.2Rabattements en unité log des différents ouvrages

	Décanteur	Filière I			Filière II			Filière III
		BI 1	BI 2	FI	BII 1	BII 2	F II	F III
C.T	1,4	1,4	1,9	4,7	1,2	2,2	4,8	6
C.T	1,5	1,3	1,9	4,7	1,2	2,1	4,9	5,9

Pour essayer de se placer dans les mêmes conditions expérimentales ; nous allons comparer les résultats obtenus au mois d'Avril. Nous admettons que dans le décanteur primaire, le rendement épuratoire est de 36 % de DBO₅. On a alors un rendement épuratoire en DBO₅ de :

- 81 % dans la Filière I
- 86 % dans la Filière II
- 81 % dans la Filière III. (Dans des conditions hydrodynamiques et biologiques plus défavorables).

Ces chiffres nous permettent de conclure que la Filière III épure autant que la filière I, mais moins que la filière II.

Les résultats de rabattement de la population microbienne (tableau 5.2) montrent la supériorité de la filière III par rapport aux autres. La filière III a un rabattement en 5,9 Ulog contre 4,7 Ulog pour les filières I et II.

.../...

Le tableau 5.3 qui présente le rabattement de la population microbienne dans quelques stations d'épuration nous permet de dire qu'un rabattement de deux unités log (par 100 ml d'échantillons) au niveau d'un réacteur est une meilleure performance.

La destruction des bactéries dans la filière III est appréciable mais la valorisation de l'effluent en agriculture exige un traitement tertiaire.

Tableau 5.3: Comparaison des performances de la station de l'E.I.E.R à celles réalisées par d'autres opérant dans des contextes différents

localisation	entrée ulog par 100 mi	sortie ulog par 100 mi	rabattemt ulog par 100 mi	nombre de bassins	tempé- rature (°C)	temps de séjour (j)	source
nord est BRESIL	7.7	5.6	2.1	4	25 - 27	9.4	11
.	7.7	1.2	6.5	5	.	11.7	.
Kansas U.S.A	6.4	4.5	1.9	1	-	97	14
Paraiba BRESIL	7.7	1.5	5	5	26	17	28
.	7.7	5.5	2.2	4	26	52	28
SIM. mer FRANCE	6.6	2.3	4.3	3	été	-	21
Vidiguera PORTUGAL	6.7	4.9	1.8	2	été	27.7	38
Portimao PORTUGAL	9.4	5.3	4.1	2	hiver	16.9	38
Chapelle T. FRANCE	6.8	3.2	3.6	4	-	-	38
Odienne R.C.I	9.6	6.9	3	3	-	27	36
Melbourne(AUSTR..)	.	2	-	8 - 11	-	30 - 70	48
C.G. BRESIL	.	2.7	-	4	-	23	48
Ammane JORDANIE	.	1.5	-	10	-	42	48
Lima (PEROU)	.	2	-	5	-	38	48
E.I.E.R fil I	9.6	4.9	4.7	2	18-30	18.6	
E.I.E.R fil II	"	4.8	4.8	2	"	15.2	
E.I.E.R fil III	"	3.7	5.9				

II O N C L U S I O N

Depuis sa création, la station d'épuration de l'EIER a fait l'objet de plusieurs études. Celles-ci ont parfois conduit à des réaménagements. C'est ainsi qu'après l'étude de la filière lit bactérien (TOURE 1984), l'expérimentation d'un nouveau type de matériau de garnissage de même que la construction d'un bassin de maturation, s'est avérée nécessaire. Le présent travail avait pour objectif de se pencher sur cette nouvelle filière (lit bactérien - bassin de maturation) et d'étudier sa performance. Les résultats obtenus ont parfois été surprenants et intéressants. Nous avons néanmoins essayé de les justifier. Compte tenu de la période d'expérimentation relativement courte (un mois de mesures), une étude étalée sur une longue période et beaucoup plus affinée est nécessaire pour mieux appréhender le "mystère" des lits bactériens.

En ce qui concerne le bassin de maturation, nous pouvons dire qu'il joue pleinement son rôle: "rabatteur" de la population microbienne. Il participe aussi à la dépollution de la matière biodégradable. Les paramètres hydrodynamiques, physicochimiques et biologiques observés à ce niveau cadrent avec la littérature. Toutefois, la qualité de l'effluent n'est pas satisfaisante pour sa réutilisation en agriculture. Un second bassin de maturation, en série avec le premier, s'avère nécessaire pour affiner l'épuration. L'expérimentation des plantes aquatiques supérieures pourrait aussi être envisagée dans ce traitement tertiaire.

Au niveau du lit bactérien, l'aération naturelle est assez satisfaisante. Pendant la période d'expérimentation, la concentration en oxygène dissous des effluents a toujours été supérieure à 1 mg/l.

Le comportement hydrodynamique du lit a nettement varié d'un support à l'autre. En effet, la porosité dans les supports va du simple (quartz) au double (brique) ; la surface spécifique des briques est supérieure à celle du quartz de 48 % ; le support en briques reçoit un débit supérieur à celui du quartz de 50 %.

.../...

Cette nette différence dans le comportement hydrodynamique semble justifier ^{valeurs des} les paramètres physicochimiques et biologiques qui se produisent dans les compartiments du lit bactérien. La mauvaise performance du support en brique (36 % d'élimination de DBO_5 contre 47 % pour le quartz) en dépit de l'importante surface spécifique des briques témoigne de l'intérêt des autres paramètres hydrodynamiques sur la dégradation biologique.

Afin d'appréhender au mieux l'influence de chacun de ces paramètres sur la performance du lit bactérien, une étude plus représentative et plus rigoureuse est nécessaire. Le présent travail ne peut donc être considéré que comme une "vue globale" sur le filière lit bactérien - bassin de maturation de la STEP - EIER.

) I B L I O G R A P H I E
) _____

- 1 - F. EDELINE 1988
 "L'épuration biologique des eaux résiduaires - Théorie et Technique."
 Cebedoc/Liège, Technique et Documentation /Paris - 304p
- 2 - C. S. TOURE 1988
 "Technologies appropriées d'assainissement à faible coût dans les pays en voie de développement. Synthèse des systèmes d'épuration biologique classique. Réutilisation des effluents d'épuration en agriculture."
 EPFL / CREPA / EIER - 50p - 243p
- 3 - C. JUNKER 1982
 "Le Lit Bactérien"
 8ème Semestre GRG - 44p
- 4 - CEBEDEAU 1984
 "La biomasse fixée dans le traitement des eaux. Use of fixed biomass for water and waste water treatment".
 Cebedoc / Liège - 364p
- 5 - C. S. TOURE 1986
 "Elimination de la pollution carbonée dans deux réacteurs à biomasse fixée sur support de latérite et quartz en conditions climatiques tropicales et sahéliennes".
 Thèse N° 653 (1986) - EPFL - Lausanne - 159p
- 6 - O. GUENE 1988 - 1989
 "Contribution à l'étude du fonctionnement et de la modélisation de l'épuration de la pollution carbonisée et microbienne des lagunes naturelles sous climat sahélien. Cas de la STEP de l'EIER".
 Rapport de recherche - EPFL / EIER - 82p

.../...

- 7 - D. D. MARA - H.W PEARSON 1986
"Waste stabilisation ponds"
World health organisation, Discussion document, Lyon
- 8 - A. WYSS 1899
"Contribution à l'étude de la modélisation des rendements
d'épuration en pollution carbonée dans les bassins facultatifs
et de maturation sous climat tropical".
EPFL - Lausanne - 65p
- 9 - A. J. DRAPEAU - S. JANKOVIC 1977
"Manuel de microbiologie de l'environnement".
OMS / Genève - 148p
- 10 - WHO EMRO 1987
"Waste water stabilisation ponds. Principles of
Planning and Practice".
Who EMRO Technical publication n°10
World health organization, Alexandria - 138p
- 11 - WHO Scientific Group 1989
"Health guidelines for the use of waste water in agriculture
and aquaculture."
Technical report series 778, World Health Organisation,
Geneva - 74p
- 12 - F. DEMOULIN - M. DUBOIS - A.M. COEURY - 1981
"Le lagunage : Synthèse des connaissances actuelles"
Fondation Universitaire Luxembourgeoise - 162p
- 13 - KOKOU - DENYGBA - 1987
"Cahier de travaux pratiques de microbiologie des eaux". Tome 1
EIER - Ouagadougou - 55p
- 14 - M. AMADOU - H. MAIGA - 1987
"Traitement des eaux de consommations"
EIER - Ouagadougou - 77p.

- 15 - C. S. TOURE - L. Y. MAYSTRE - 1987
"Epuration des eaux usées domestiques sur lits bactériens à support de latérite et de quartz. Aptitude des sols ferrugineux tropicaux à recevoir les eaux usées épurées".
La tribune CEBEDEAU - N° 519 - 40 - P. 3 - 20
- 16 - AGHTM 1979
"Facteurs influant sur l'oxygénation de bassin de lagunage de station d'épuration. Avantages et inconvénients d'aérateurs par B. BERTHET.
Technique et Sciences Municipales - Août - Septembre -
P. 463-- 470
- 17 - AGHTM 1976
"La biodégradation et les procédés d'épuration biologique par P. Laboureur".
Technique et Sciences Municipales - N° 2 - 76, P. 45-51
- 18 - ARPEA 1988
"Cours de formation pour exploitant et chef de station d'épuration". - Volume I.
Laboratoire et Analyse
- 19 - J. RODIER 1984
"L'analyse de l'eau : Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire, eau de mer".
DUNOD Technique.

[] -) N N E X E S

ANNEXE 1 : DETERMINATION DE LA DBO

ANNEXE 1.1 - PROTOCOLE POUR LA DETERMINATION DE LA DBO PAR LA METHODE HACH

5.1 Range, Volume, Scale Selection

Because the BOD apparatus can measure various waste substances, a variety of total oxygen demand results can be obtained. Four direct-reading scale ranges (0-35, 0-350, 0-70, and 0-700 mg/L) BOD are provided with the BOD apparatus. Use Table 1 for selecting the volume and scale corresponding to the expected sample BOD range. For example, when using a sample with an expected BOD of 35 mg/L or less, use a 420-ml volume and a 0-35 mg/L scale. To change instrument scales, remove the two knobs and place the selected scale on the instrument.

Table 1: Volume-Scale Relationships

Sample BOD Range	Required Volume	Required Scale
0-35 mg/L	420 ml	0-35 mg/L
0-70 mg/L	355 ml	0-70 mg/L
0-350 mg/L	160 ml	0-350 mg/L
0-700 mg/L	95 ml	0-700 mg/L

5.2 Sample Dilutions

5.2.1 When Oxygen Demand Exceeds 700 mg/L

When the oxygen demand exceeds 700 mg/L in a sample, the sample must be diluted. Dilute with high-quality distilled water that does not contain organic matter and toxic substances—such as trace quantities of chlorine, copper and mercury. Demineralizers can release undetected organic matter that will create an objectionable oxygen demand. The most practical method to produce water of low organic content consistently is by distillation from alkaline permanganate. The Hach Water Still, Cat. No. 14867-00, automatically produces high-quality distilled water. Put 3 L (¾ gal) distilled water in a jug and bring the water temperature to 20°C. Add the contents of one BOD Nutrient Buffer Pillow, Cat. No. 14861-98, to ensure sufficient nutrient concentration for diluted samples. Cap the jug and shake it vigorously for one minute to saturate the dilution water with oxygen from the air in the jug. Do not store the solution.

5.2.2 When Preparing Several Identical Samples

When several identical samples are needed, perform one dilution and dispense samples from this dilution. After dilution, the scale reading must be multiplied by the dilution factor. For example, a 1-to-5 dilution is prepared by multiplying the

original sample volume by 5 and adding dilution water until this new resulting volume is obtained. Thus:

If sample volume = 200 ml, then
 $5 \times \text{sample volume} = 5 \times 200 \text{ ml} = 1000 \text{ ml}$

Dilute the 200 ml sample to 1000 ml using the dilution water.

The scale reading corresponding to the diluted sample also must be multiplied by five. After dilution of the sample, refer to Table 1 for selecting volumes and scales when using the diluted sample BOD range.

5.3 Sample Seeding

5.3.1 Determining BOD of Seed

Certain types of BOD sample (e.g., industrial discharge) do not contain sufficient bacteria to oxidize the organic matter present in the sample. Some wastewater treatment plant effluents are chlorinated to sterility. To test these samples, each bottle must be seeded by adding a measured volume of water known to contain an abundant bacterial population (e.g., raw sewage). Before calculating the BOD of the sample, the BOD of the seed must be determined. For determining the BOD of the seed, follow the same procedure used to determine the BOD of the sample. Run the BOD test on the seed at the same time as conducting the BOD on the sample.

5.3.2 Determining Combined Seed and Sample BOD

After determining the BOD of the seed, apply the following formula for determining the combined seed and sample BOD:

$$\text{BOD sample} = \frac{(\text{BOD observed}) - (\text{Decimal fraction of seed used} \times \text{BOD seed})}{\text{Decimal fraction of sample used}}$$

Example:

Given a seeded sample, 10 percent seed and 90 percent sample (by volume):

If the observed BOD is 60 mg/L and the pure seed BOD is 150 mg/L, then

$$\text{BOD sample} = \frac{(60 \text{ mg/L}) - (0.10 \times 150 \text{ mg/L})}{0.90} = 50 \text{ mg/L}$$

5.3.3 Effect of Variations in Initial Bacterial Populations

Variations in initial bacteria populations will have a minimal effect on the five-day BOD test if the

bacteria count exceeds 1×10^7 cells per ml in the sample. Because microbial counts of domestic sewage fluctuate each day and hour, bacterial counts usually are reported within a specified range. Domestic sewage contains between 1×10^4 cells per ml and 1×10^6 cells per ml. Low seed concentrations delay the start of oxidation and cause low five-day BOD results. Because proportionally more oxygen is consumed by a high percentage seed sample than by a low percentage seed sample, the resulting high correction factor is attributed to the low BOD seed. For determining the optimum concentration of seed for a specific waste material, the dilution and error method is the most reliable technique. However, it has been found that the addition of 10 percent raw domestic sewage seed to each BOD sample usually is sufficient. Various concentrations of seed should be tried and the respective BODs determined on the waste sample as well as on the seed itself. The seed concentration yielding the highest corrected waste sample BOD should be chosen. This seed percentage can range between two and 30 percent, depending on the waste material being tested.

1 Sample Temperature

1.1 Recommended Sample Temperature of 20°C

The APHA recommends a temperature of $20^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ (68°F) for conducting the BOD test. This temperature is obtained by placing the BOD unit in an appropriate incubator. A refrigerator can be connected easily and inexpensively into an incubator with a Hach IncuTrol®/2 Temperature Regulator. Write for more details about this regulator.

1.2 BOD Tests at Temperatures Higher Than 20°C

The BOD test can be conducted at temperatures higher than 20°C . Results at 35°C (95°F), shown by Figure 1, indicate the five-day, 20°C value can be obtained in two and one-half days. Middlebrooks,⁴ presents nomographs for converting BOD tests to temperatures other than 20°C . When wastewater temperature is above 49°C (120°F) during collection, or has previously exceeded 49°C , the sample should be cooled to $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Because of the high original sample temperature, the sample may contain insufficient numbers of bacteria and seeding may be necessary. (For seeding refer to Paragraph 5.3.) Determine the BOD of the seed at the same time as determining the BOD of the sample.

IncTrol is a trademark of Hach Chemical Company.

5.5 Nitrification

Because nitrifying bacteria usually impart their effect after five days, their influence on the BOD test is minimal. However, a high oxygen uptake is evidence that nitrification is affecting the test. Nitrification problems can be alleviated by inhibiting nitrification chemically with Hach Nitrification Inhibitor, Cat. No. 2533-35. Add the inhibitor directly to the wastewater sample by first dispensing the powder into an empty BOD bottle and then adding the sample. When using the Hach Dispenser Cup, dispense one measure (approximately 0.08 grams) into the empty BOD bottle.

5.6 Industrial Wastes

Industrial and chlorinated samples often require special consideration and handling. Experimentation with the specific sample usually indicates modification of the routine BOD test procedure is necessary to establish reliable BOD test results.

5.6.1 Chlorine a Toxic Material

The presence of toxic substances in the sample will cause BOD values to decrease. Toxic substances either must be removed or their effects eliminated by diluting the sample. Low concentrations of chlorine may be dissipated by maintaining the sample for one to two hours at room temperature. For high chlorine concentrations, determine the chlorine concentration and add sodium thiosulfate to remove the chlorine as follows:

- Add 10 ml of Sulfuric Acid Standard Solution 0.020N, Cat. No. 203-16, and 10 ml of Potassium Iodide Solution 100 mg/L, Cat. No. 12289-11, to a 100-ml portion of sample in a 250-ml Erlenmeyer flask.
- Add three dropperfuls of Starch Indicator Solution, Cat. No. 349-13, and swirl to mix.
- Titrate from dark blue to colorless with 0.025N Sodium Thiosulfate Standard Solution, Cat. No. 352-11.
- Using the following relationship, calculate the amount of Sodium Thiosulfate Standard Solution necessary to dechlorinate remaining sample:

$$\text{ml of 0.025N Sodium Thiosulfate} = \frac{(\text{ml used})(\text{ml sample to be dechlorinated})}{100}$$

³ H. R. Teal
"Manometric Measurement of the Biochemical Oxygen Demand," *Water and Sewage Works Journal*, 114: 216-218, 1967.

⁴ E. J. Middlebrooks
"A Nomograph For Solution of the BOD Equation," *Water and Sewage Works Journal*, 112: R230, 1965.

ANNEXE 1.2

DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE EN 5 JOURS A 20°C (DBO₅) : METHODE DE WINKLER

BUT:

La demande biochimique en oxygène en 5 jours à 20°C, ci-après DBO₅, sert essentiellement au contrôle de fonctionnement de la STEP.

La DBO₅ permet également de déterminer la charge organique et minérale, consommant de l'oxygène, rejetée dans les égouts (rejets industriels) et celle rejetée par la STEP à l'exutoire.

La mesure de la DBO₅ d'un échantillon, combinée avec d'autres mesures (KMnO₄, DCO, TOC) permet de tirer des conclusions quant à la dégradabilité des produits contenus dans cet échantillon.

La forme de la courbe de consommation biochimique en oxygène permet d'apprécier le temps d'adaptation nécessaire à la biologie pour dégrader tout ou partie d'un produit ou mélange de produits.

PRINCIPE:

La demande biochimique en oxygène correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique et à la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de certains composés minéraux (ammoniac, nitrites, sels ferreux, etc...).

La DBO dépend de:

- la nature et la concentration des composés en présence
- la nature, la quantité et degré d'adaptation des microorganismes présents
- la teneur en éléments nutritifs (azote, phosphore)
- certains facteurs physico-chimiques tels que: teneur en oxygène, température, turbulence dans l'échantillon durant la mesure, pH et lumière
- la durée de la mesure.

Par convention, la durée de la mesure a été fixée à 5 jours et la température à 20°C.

Il existe différentes méthodes de mesure dont les plus répandues en Suisse sont la méthode au Sapromat (mesure en continu avec production d'oxygène en continu), la méthode de Warburg (méthode barométrique en système clos) et la méthode selon Winkler.

Les résultats obtenus avec les différentes méthodes ne sont pas forcément comparables entre eux.

Ici, seule la méthode selon Winkler sera décrite.

MATERIEL:

Thermostat ou incubateur à 20°C

Flacons à oxygène, contenance env. 200 ml étalonnés (voir No 10)

1 bouteille 10 l avec robinet de prélèvement et filtre à ouate

1 cylindre gradué rodé 1000 ml.

REACTIFS:

Réactifs pour la mesure de la teneur en oxygène selon Winkler, voir No 10.

Eau de dilution: eau du réseau, exempte de chlore libre, saturée en oxygène, stockée au minimum 1 semaine à l'obscurité dans le flacon à décanter de 10 l (év. peint en noir ou enveloppé dans une feuille d'alu) à 20°C. La teneur en oxygène doit être au minimum de 8 mg O₂/l (réoxygéner si nécessaire).

Solution nutritive: Dissoudre 1.15 g de chlorure d'ammonium NH_4Cl et 0.44 g de dihydrogénophosphate de potassium KH_2PO_4 dans 1000 ml d'eau distillée (0.3 mg N/l et 0.1 mg P/l).

Stocker au frais et à l'obscurité.

Solution d'ensemencement: Eau décantée de la STEP.

MODE OPERATOIRE:

I. Eaux usées dans la STEP et eaux de surface:

a. Préparation de l'échantillon:

En règle générale, les mesures de DBO_5 d'échantillons d'eaux brutes sont effectuées sur de l'eau décantée pendant 2 heures.

Si les grosses particules en suspension doivent être incluses dans l'eau à examiner, il est nécessaire d'homogénéiser l'échantillon par mixage mécanique (mixer) ou par ultrasons. Si de tels appareils ne sont pas disponibles, il faut effectuer 3 ou 4 mesures sur le même échantillon.

Dans le cas des échantillons d'eaux décantées, épurées ou superficielles, il suffit de brasser l'échantillon avant la préparation pour la mesure de la DBO_5 .

b. Dilutions:

Afin d'obtenir des résultats corrects, il faut d'une part diluer l'eau à mesurer et, d'autre part, mesurer la DBO_5 à 2 dilutions différentes, de manière à obtenir dans les 2 cas, des teneurs en oxygène après 5 jours, plus grandes que 1.5 mg/l et des consommations d'oxygène de plus de 1.5. mg/l.

Il existe différentes méthodes de calcul des dilutions. Les trois méthodes présentées ci-après se basent sur la mesure de la consommation en permanganate pour estimer la DBO_5 présumée. Les dilutions effectuées à 1000 ml doivent toujours être effectuées dans des cylindres gradués rodés.

1. Le tableau ci-après permet de déterminer la quantité d'eau à diluer dans un litre d'eau aérée en fonction de la DBO_5 attendue (flacons de 200 ml env.).

Quantité d'eau à diluer ml	DBO_5 présumée mg O_2 /l	Quantité d'eau à diluer ml	DBO_5 présumée mg O_2 /l
600	2,5 - 10	75	20 - 80
500	3 - 12	50	30 - 120
400	3,75 - 15	40	37,5 - 150
300	5 - 20	30	50 - 200
250	6 - 24	25	60 - 240
200	7,5 - 30	20	75 - 300
150	10 - 40	15	100 - 400
100	15 - 60	10	150 - 600

La DBO_5 présumée est calculée comme suit:

Eaux décantées: $KMnO_4/DBO_5 = 2.5$ (1.5 - 4)

Eaux épurées: $KMnO_4/DBO_5 = 6$ (2 - 12)

$KMnO_4$ (mg/l)	DBO_5 présumée (mg/l)	Volume en ml de l'échantillon à prélever pour chaque flacon de	
		110 - 130 ml	250 - 300 ml
Jusqu'à 15	Jusqu'à 10	50 et 25	100 et 50
15 - 40	10 - 30	20 et 10	40 et 20
40 - 60	20 - 50	10 et 5	20 et 10
60 - 120	40 - 100	5 et 2	10 et 5

Pour des DBO_5 présumées de plus de 100 mg/l, mélanger 1 partie d'échantillon avec 9 parties d'eau de dilution et ensuite appliquer le tableau ci-dessus.

3. Les deux dilutions sont calculées comme suit (eaux épurées):

$$E_1 = \frac{6 \times (\text{Volume de la prise pour analyse du } KMnO_4)}{\text{Consommation de } KMnO_4 \text{ 0.1 N}} \text{ ml}$$

$$E_2 = \frac{3 \times (\text{Volume de la prise pour analyse du } KMnO_4)}{\text{Consommation de } KMnO_4 \text{ 0.1 N}} \text{ ml}$$

Les valeurs E_1 et E_2 calculées représentent le volume d'échantillon à diluer à 1000 ml avec de l'eau de dilution.

c. Mesure de la DBO_5 :

1. Pour chaque dilution, il faut préparer 3 flacons de Winkler.
2. Mesurer la teneur en oxygène dans l'un des flacons, immédiatement après la préparation (voir No 10).
3. Placer les 2 autres flacons dans une enceinte obscure thermostatée à 20°C.
4. Préparer 4 flacons remplis d'eau de dilution. L'eau de dilution devrait être stockée à 20°C.
5. Déterminer la teneur en oxygène dans 2 flacons immédiatement après la préparation.
6. Placer les 2 autres flacons d'eau de dilution dans l'enceinte thermostatée.
7. Laisser les 4 flacons pendant 5 jours à l'obscurité à 20°C.
8. Après 5 jours, déterminer la teneur en oxygène dans les 4 flacons selon la méthode No 10.

Dans le cas de mesures de DBO_5 sur des eaux usées brutes ou des effluents de STEP mécaniques, la marche à suivre est simplifiée, comme indiqué dans le schéma de mesure de la DBO_5 , cas 1.

CALCUL:

Méthode a, b et c:

$$DBO_5 = \left[(P_0 - P_5) - \frac{(K_0 - K_5) \times (1000 - E)}{1000} \right] \frac{1000}{E} \text{ mgO}_2/\text{l}$$

- E = Volume de la prise diluée à 1000 ml en ml
K₀ = Teneur initiale en oxygène de l'eau de dilution mg/l
K₅ = Teneur en oxygène de l'eau de dilution après 5 jours mg/l
P₀ = Teneur initiale en oxygène de la dilution mg/l
P₅ = Teneur en oxygène de la dilution après 5 jours mg/l

Seules les dilutions présentant une teneur résiduelle en oxygène de plus de 1.5 mg/l et des valeurs pour $(P_0 - (K_0 - K_5) - P_5)$ comprises entre 1.5 et 6 mg O₂/l, doivent être utilisées pour le calcul de la DBO₅.

EXPRESSION DES RESULTATS:

Demande biochimique en oxygène en 5 jours à 20°C: mg₂O₂/l

- < 30 mg O₂/l au mg près
30-100 mg O₂/l à 2 mg près
100-200 mg O₂/l à 5 mg près
> 200 mg O₂/l à 10 mg près

EXEMPLE:

Voir spécimen de protocole.

NORME FEDERALE:

20 mg O₂/l.

La moyenne calculée sur 24 heures est déterminante pour l'évaluation des résultats. Les valeurs que donnent au moins 4 examens comparables sur 5 doivent être égales ou inférieures à la valeur limite indiquée. En ce qui concerne les eaux usées décantées, l'effet d'épuration doit être au moins 85 %.

ANNEXE 2.2 :

Protocole de Détermination de la DCO par la méthode HACH

En principe, de la microméthode de la demande chimique en oxygène est de faire oxyder, en milieu acide, les matières organiques et les éléments oxydables. Cette oxydation a lieu grâce à la réduction du chorme VI (ion en biochromate de couleur orange) en chrome III (de couleur verte) complexant des chlorures : le sulfate de mercure.

Préparation

On dispose :

- d'une solution d'acide sulfurique (95 - 97 %) dans laquelle on a fait dissoudre 6,6 g de sulfate d'argent.
- d'une solution de biochromate de potassium ($K_2 Cr_2O_7$) 0,25 N.
- d'un bloc minéralisateur en aluminium avec système thermostatisé (température variant de 0 à 200 °C) comportant des trous de 16 mm de diamètre.
- des tubes de 16 mm de diamètre avec système de fermeture sorivel et des portes-tubes.
- de la solution à doser préalablement filtrée sur des membranes de 3 m.

Dans le tube, on met successivement :

- 100 l de bichromate de potassium $K_2 Cr_2O_7$
- 3,6 ml d'acide sulfurique $H_2 SO_4$
- 3 ml de l'échantillon
- quelques poudre de sulfate de mercure $Hg SO_4$

Après la fermeture du tube, le mélange est agité puis placé dans le bloc minéralisateur. La réaction à lieu à 160 °C pendant 2 heures.

.../...

Détermination de la DCO

Après la préparation, la mesure de la DCO se fait au spectrophotomètre. On mesure l'absorbance du chrome III restant en solution à 440 nm. Grâce à un étalonnage fait au préalable (mesure de l'absorbance des solutions de DCO connues), on établit une relation entre l'absorbance et la DCO d'une solution.

Détermination des Paramètres Hydrodynamiques

Annexe 3.1.1 - Détermination du débit dans la Filière III

A 3.1.1 - Pompe 1 de la Bâche en fonctionnement

Lieu des mesures	P ₂			P ₃			P ₄		
Volume (l)	4,5	7,5	8	5,7	4	7,8	5,9	5,2	6,2
Temps (o)	29,3	49	52	25	17,5	35,0	15	13	16,4
Débit (l/s)	0,154	0,153	0,154	0,228	0,229	0,223	0,393	0,400	0,378
Débit moyen (l/s)	0 , 154			0 , 227			0 , 390		
	0 , 381								

A 3.1.2 - Pompe 2 de la Bâche en Fonctionnement

Lieu des mesures	P ₂			P ₃			P ₄		
Volume (l)	3,5	6,5	7,5	4	7,30	6,20	6,3	6,9	5,7
Temps (o)	28	45	50	16	30	27	16,5	18	15
Débit (l/s)	0,159	0,144	0,150	0,25	0,243	0,230	0,382	0,383	0,380
Débit moyen (l/s)	0 , 151			0 , 241			0,382		
	0 , 392								

A 3.1.3 - Pompe de Recirculation en Fonctionnement

Lieu des mesures	P ₂			P ₃			P ₄		
	Volume (l)	6,6	8,6	5,5	8,10	9	7,0	3,20	6
Temps (o)	22	29,5	18,6	20	21	17	4,2	8	10
Débit (l/s)	0,300	0,292	0,296	0,405	0,429	0,418	0,762	0,75	0,72
Débit moyen (l/s)	0, 296			0, 417			0, 744		
	0, 713								

A 3.1.4 - Détermination du Débit Journalier dans la Filière III

Les résultats de mesures des débits montrent que :

- La Filière III reçoit un débit de 1,4 m³/h quand la bache refoule.
- Le débit est de 2,67 m³/h quand la pompe de recirculation fonctionne
- 40 % du débit de la filière passe dans le compartiment en quartz et 60 % passe dans celui des briques.

Le temps de fonctionnement journalier de la pompe de recirculation a été fixé à 3 heures. Celui des pompes de la bache a été évalué à 5, 7 heures.

Le débit journalier dans la filière III est donc de 16 m³/j.

Le temps de séjour théorique dans la bassin de maturation est :

$$T_{\text{théo}} = \frac{V}{Q}$$

$$T_{\text{théo}} = 8,5 \text{ jours}$$

A 3.3.2 - Temps de Séjour dans le Bassin de Maturation

Méthodologie de Calcul (1)

Pour des temps de séjour très petit, le temps de séjour moyen réduit est :

$$\tau_m = \frac{t_m}{\text{théo}}$$

$$\text{théo} = \frac{V}{Q}$$

$$C_o = \frac{m_{Li}}{V}$$

$$m_{Li} = \frac{M_{Li}}{M_{LiCl}} \cdot m_{LiCl}$$

m_{Li} = masse de lithium injectée

M_{LiCl} = masse du chlorure de lithium injectée (253 g)

M_{Li} = masse atomique du lithium (6,939 g)

M_{LiCl} = masse molaire du chlorure de lithium (42,39)

$$\text{donc } m_{Li} = \frac{6,939}{42,39} = 0,164 M_{LiCl}$$

$$\tau_o = 2$$

L'intervalle de temps séparant deux mesures est de un jour ;
est donc constant et l'équation ci-dessus devient

$$\text{En posant } X = \frac{t}{\text{théo}} \quad ; \quad Y = \frac{C(t)}{C_o}$$

On obtient :

Le temps de séjour moyen est de : $t_m = \tau_m \times \text{théo}$

Tableau de calcul du temps de séjour dans le bassin
de maturation

JOUR	$X = T/\text{Théo}$	$C(t)$	$Y = \frac{C(t)}{C_0}$	$Z = X \times Y$
0	0	0	0	0
1	0,118	0,335	1,057	0,125
2	0,235	0,39	1,230	0,289
3	0,353	0,310	0,978	0,345
4	0,471	0,243	0,767	0,361
5	0,588	0,104	0,328	0,193
6	0,706	0,080	0,252	0,178
7	0,824	0,067	0,211	0,174
8	0,941	0,062	0,196	0,184
9	1,059	0,029	0,091	0,096
10	1,176	0,020	0,063	0,074
11	1,294	0,012	0,039	0,050
12	1,412	0,014	0,044	0,062
13	1,519	0,012	0,038	0,58
14	1,647	0,010	0,032	0,053
15	1,765	0,012	0,038	0,067
16	1,882	0,014	0,044	0,083
17	2,000	0,014	0,044	0,088
		Somme	5,452	2,48

Temps de Séjour Moyen Séduit = 0,455

Temps de Séjour Moyen t_m = 3,9 jours

A 3.3.3 - Porosité dans le garnissage en briques

La porosité se définit comme étant le rapport du volume de vide sur le volume total d'un échantillon.

Pour la détermination dans la porosité des briques, nous avons superposé deux rangs de briques dans un récipient. Le volume V_v d'eau nécessaire pour immerger les briques est $V_v = 160$ l. Le volume total (brique + eau) est $V_t = 203$ l.

La porosité

$$P = \frac{V_v}{V_t}$$

$$P = 79 \%$$

A 3.3.4 - Surface Spécifique des Briques

Présentation des résultats

	1	2	3
P _i (Cube métallique)	5	6	6
P _K (Brique saturée d'eau)	53	53	55
P _j (brique saturée enduite de peinture)	50	55	48

$$\text{La surface spécifique} = A_s = \frac{6 a_i (P_j + P_k)}{V_j \times P_i} \quad (\text{m}^2/\text{m}^3)$$

$$a_i = \text{côte du cube} = 0,105$$

$$D P_i = \text{Poids moyen de pesature dans le cube} = 5,79$$

$$P_k = \text{Poids moyen d'eau évaporée pendant l'égouttage} = 53,7 \text{ g}$$

$$P_j = \text{Variation moyenne du poids de la brique enduite de peinture} : 51,0 \text{ g}$$

$$P_j + P_k = \text{Poids de peinture nécessaire pour enduire la brique}$$

$$V = \text{Volume brut de la brique} = 0,012 \text{ m}^3$$

$$A_s = \frac{6 \times 0,105^2}{0,012 \times 5,7} \times 104,7 = 102 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

ANNEXE 4.1: RESULTAT DES MESURES DU PH

DATE	HEURE	P1	P2	P3	P4	P5
3/3/90	17	7,93	7,27	7,37	7,07	7,32
11/3/90	17	7,32	7,47	7,54	7,72	7,80
17/3/90	17	7,21	7,19	7,41	7,22	7,36
27/3/90	8	7,52	7,14	7,50	7,62	6,90
28/3/90	8	7,27	7,50	7,60	7,23	7,31
	16	7,70	7,23	7,60	/	/
29/3/90	8	7,35	6,60	7,04	6,90	6,88
	18	7,55	7,38	7,68	7,50	7,70
30/3/90	8	7,31	7,56	7,58	7,60	7,07
	17	7,58	7,30	7,40	7,26	7,26
31/3/90	8	7,55	6,70	7,10	7,40	7,48
1/4/90	16	7,41	6,80	7,02	7,70	/
2/4/90	16	7,84	7,66	8,03	7,86	7,90
3/4/90	11	7,68	7,35	7,65	7,94	7,40
4/4/90	8	7,78	7,00	7,36	7,53	6,93
	17	7,90	/	/	/	/
5/4/90	8	7,80	6,75	7,37	8,07	7,58
6/4/90	17	7,82	7,32	7,61	7,43	7,51
7/4/90	8	7,82	7,16	7,50	7,78	7,28
8/4/90	8	8,17	7,60	7,90	7,81	7,64
9/4/90	17	8,00	6,90	7,81	7,94	7,35
10/4/90	8	8,03	7,07	7,40	7,30	7,37
11/4/90	18	8,18	7,50	7,85	7,82	7,85
12/4/90	8	7,22	7,16	7,60	7,27	6,99
13/4/90	17	7,87	7,83	8,20	7,83	7,85
16/4/90	17	7,54	7,13	7,50	/	7,80
17/4/90	8	/	/	/	/	/
18/4/90	8	7,50	7,20	7,70	7,45	7,30
19/4/90	17	8,17	7,67	8,02	7,91	8,15
20/4/90	8	7,68	7,80	8,00	7,40	7,32
22/4/90	18	7,89	7,70	8,10	7,75	8,00
23/4/90	8	7,36	7,50	7,80	7,80	7,82
24/4/90	11	/	/	/	/	/
25/4/90	8	7,50	7,40	7,90	7,85	7,87

ANNEXE 4.2: RESULTAT DES MESURES DE TEMPERATURE (°C)

DATE	HEURE	P1	P2	P3	P4	P5
3/3/90	17	26	25	23	24	26
11/3/90	17	28	25	20	25	31
17/3/90	17	28	25	24	24	33
27/3/90	8	28	26	23	23	25
28/3/90	8	27	26	22	23	23
	16	26	26	24	/	/
29/3/90	8	27	23	23	24	24
	18	29	26	23	25	27
30/3/90	8	28	26	22	26	24
	17	30	26	23	25	27
31/3/90	8	30	26	24	27	29
1/4/90	16	30	26	22	27	/
2/4/90	16	29	27	24	25	29
3/4/90	11	30	28	28	30	31
4/4/90	8	30	27	27	27	27
	17	29	29	27	27	29
5/4/90	8	31	28	27	29	29
6/4/90	17	33	30	30	31	31
7/4/90	8	31	28	27	29	28
8/4/90	8	30	28	27	28	29
9/4/90	17	32	29	28	31	31
10/4/90	8	30	28	27	28	29
11/4/90	18	32	29	28	30	31
12/4/90	8	30	30	28	29	29
13/4/90	17	32	30	29	30	32
16/4/90	17	30	27	25	/	28
17/4/90	8	29	28	26	28	28
18/4/90	8	30	29	28	29	30
19/4/90	17	31	30	29	29	32
20/4/90	8	30	29	27	28	29
22/4/90	18	32	31	29	30	32
23/4/90	8	31	29	28	29	31
24/4/90	11	32	31	29	30	30
25/4/90	8	31	29	27	29	30

ANNEXE 4.3: RESULTAT DES MESURES
OXYGENE DISSOUS (mg/l)

DATE	HEURE	P1	P2	P3	P4	P5
3/3/90	17	3,7	4,5	2,8	2,0	5,7
11/3/90	17	1,5	3,7	1,9	4,9	6,0
17/3/90	17	2,3	2,6	2,0	0,9	6,0
27/3/90	8	4,0	6,0	4,9	2,6	4,8
28/3/90	8	2,6	6,0	4,5	1,8	1,7
	16	3,2	4,5	3,7	/	/
29/3/90	8	3,5	3,4	3,2	2,4	3,5
	18	2,4	3,2	2,9	1,0	6,8
30/3/90	8	3,3	6,0	5,5	1,2	1,8
	17	2,3	4,1	3,8	2,0	4,2
31/3/90	8	1,7	4,5	4,3	4,2	3,0
1/4/90	16	2,3	4,0	1,8	3,5	/
2/4/90	16	/	/	/	/	/
3/4/90	11	3,5	5,7	3,8	5,0	3,0
4/4/90	8	3,0	3,6	1,8	3,4	2,0
	17	2,5	4,2	3,2	1,5	6,0
5/4/90	8	1,0	2,6	1,2	3,3	3,9
6/4/90	17	2,2	4,3	2,8	0,5	7,4
7/4/90	8	2,1	4,2	3,4	2,1	1,7
8/4/90	8	2,4	3,7	2,4	1,4	2,8
9/4/90	17	2,5	4,0	1,6	1,2	3,4
10/4/90	8	2,2	4,4	2,5	1,4	3,6
11/4/90	18	/	/	/	/	/
12/4/90	8	/	/	/	/	/
13/4/90	17	1,7	4,6	3,0	1,1	5,8
16/4/90	17	2,6	3,8	1,8	/	3,3
17/4/90	8	2,8	4,7	3,8	1,0	3,8
18/4/90	8	2,6	4,0	3,3	1,6	1,8
19/4/90	17	2,2	4,4	3,4	1,4	8,5
20/4/90	8	2,3	4,7	4,2	2,1	2,9
22/4/90	18	3,0	4,7	4,3	0,4	8,2
23/4/90	8	2,0	4,0	2,6	1,5	3,8
24/4/90	11	2,8	4,9	3,9	1,1	1,6
25/4/90	8	2,1	4,3	3,6	1,5	3,3

ANNEXE 5.1: RESULTATS DE LA DCO(mg/l)

DATE	P1	P2	P3	P4	P5
3/3/90	274	200	200	141	170
11/3/90	331	201	207	166	219
17/3/90	349	213	290	225	201
27/3/90	253	120	174	152	160
28/3/90	247	116	156	138	174
29/3/90	196	89	156	116	109
30/3/90	235	113	141	102	116
31/3/90	123	37	59	59	109
1/4/90	181	88	100	77	134
2/4/90	217	84	102	73	109
3/4/90	102	9	25	9	1
4/4/90	210	91	138	109	100
5/4/90	254	113	116	105	98
6/4/90	247	105	123	109	95
7/4/90	66	37	52	44	96
8/4/90	213	80	105	92	92
9/4/90	243	73	116	95	89
10/4/90	213	107	131	105	105
11/4/90	188	73	98	95	80
12/4/90	181	71	84	71	96
13/4/90	188	105	131	98	98
16/4/90	195	102	141	125	136
17/4/90	188	95	116	102	127
18/4/90	181	102	116	95	116
19/4/90	116	95	109	105	87
20/4/90	175	93	141	102	102
22/4/90	247	77	116	92	100
23/4/90	240	109	131	109	105
24/4/90	225	102	145	84	95
25/4/90	205	102	137	98	98

moyenne: 209 100 129 103 114
 ecart-type 59.7 43.3 48.9 39.2 40.3

53,7
104,3

ANNEXE 5.2: RESULTATS DE LA DBOS (mg/l)

DATE	P1	P2	P3	P4	P5
3/3/90	135	64	65	46	15
11/3/90	155	75	53	62	43
17/3/90	182	110	123	70	50
27/3/90	150	102	112	56	40
1/4/90	90	62	52	25	47
3/4/90	51	5	10	5	1
7/4/90	50	30	40	43	33
9/4/90	102	31	79	53	23
13/4/90	105	55	105	57	28
17/4/90	105	68	100	76	50
23/4/90	135	75	108	75	50

moyenne 116 61.6 77 51.6 34.5
 ecart-type 43.3 30.9 35.8 21.5 16.1

13.2
 50.5

ANNEXE 6: RESULTATS DE LA BACTERIOLOGIE

DATE	P1 (7)		P2 (5)		P3 (5)		P4 (5)		P5 (3)	
	CF	STF	CF	STF	CF	STF	CF	STF	CF	STF
11/3/90	20	50	80	40	30	10	7	2	25	13
17/3/90	30	40	20	10	10	30	5	3	2	1
28/3/90	80	10	5	5	4	6	1	3	5	4
1/4/90	10	7	5	8	5	8	2	2	2	1
4/4/90	17	9	15	6	11	14	10	8	10	5
10/4/90	30	5	40	26	/	43	31	8	19	4
13/4/90	/	/	/	38	/	23	6	2	15	3
18/4/90	8	3	15	4	/	/	/	/	3	1
20/4/90	18	23	3	5	2	7	2	4	25	6
<i>Vlog</i>	8.4		5.5		5.3		5.3		4.4	
Moyenne	27	18,4	23	16	10,2	17,6	8,0	4,0	11,8	4,2

Pi (j) : Les résultats des prélèvements faits en i ont pour facteur multiplicatif 10^j .

8.43