

VALORISATION DES REJETS URBAINS ET THERMIQUES  
EN ZONE LITTORALE - PRODUCTION PRIMAIRE

par

M. BAZZON, H. LEPAILLEUR\*, M. ROGGER\*\*

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE CHIMIQUE APPLIQUEE  
B.P. N° 1 - 91710 - VERT-le-PETIT  
\* Service Ecologie-Biochimie-Eau (R. CABRIDENC)  
\*\* Service Analyse (C. HENNEQUIN)

RESUME

Les rejets d'eaux résiduares urbaines et les calories industrielles peuvent être utilisés pour une aquaculture marine moderne

Un effluent brut urbain dilué à 30 % en eau de mer échauffée de 10 à 15° C assure une productivité primaire équivalente à celle d'un milieu de culture référencé.

Ce bio-traitement, qui intègre un apport de calories en eau de mer, élimine le phosphore et les nitrates jusqu'à 90 %.

ABSTRACT

Discharges of urban sewage water and waste heat from industries or power plants can be used in modern saltwater aquaculture.

Urban sewage water diluted to 30 % in seawater which temperature is increased of 10 to 15° C gives a primary productivity equal to the productivity of a standard culture medium.

That bio-treatment which includes the addition of calories to the seawater, eliminates up to 90 % of the phosphorus and the nitrates.

MOTS - CLES : Eau résiduaire urbaine, calories, algues marines, aquaculture, nutriments.

KEY WORDS : Urban sewage water, calories, marine algae, aquaculture, nutrients.

## INTRODUCTION

L'utilisation des rejets urbains et des calories des centrales thermiques et électronucléaires est une voie intéressante pour la production aquacole en milieu clos. Les centrales en circuit ouvert élèvent les eaux de 12 à 15° centigrades pendant leur passage dans les tubes des condenseurs et peuvent permettre de porter l'eau de bassins aménageables dans ces sites à un degré optimal pour les espèces pendant une grande partie de l'année. Les débits d'eaux réchauffées, disponibles, sont importants puisqu'une unité nucléaire de 1.000.000 de kilowatts utilise 45 m<sup>3</sup>/seconde.

Cet apport de calories à de l'eau de mer diluée avec des eaux résiduaires urbaines, riches en éléments nutritifs, peut-être l'objet d'un bio-traitement et le point de départ d'une aquaculture moderne qui exige la production de micro-algues pour la nourriture du zooplancton. Ce plancton peut servir de proie à des espèces animales commercialisables dont les cycles de reproduction sont parfaitement maîtrisés en milieu fermé.

Dans ce contexte qui vise à résoudre les problèmes de pollution urbaine et le rejet de thermies industrielles en zone côtière, nous abordons :

- l'étude poussée d'effluents résiduaires urbains par mise en oeuvre de procédés d'épuration par voie biologique ou physico-chimique,
- l'utilisation de ces effluents dilués en eau de mer échauffée comme substrat de croissance pour les micro-algues,
- l'étude de quelques paramètres de la qualité des eaux avant et après culture de ces algues.

### 1. METHODES ET MATERIEL

#### 1.1. Techniques analytiques

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux ont été déterminées par des techniques normalisées ou codifiées. Nous avons fait appel aux projets de norme A.F.N.O.R. T.90101 et T.90105 pour la détermination de la demande biochimique en oxygène (D.B.O.<sub>5</sub>) et l'évaluation des matières en suspensions (M.e.S.). Pour la demande chimique en oxygène (D.C.O.), nous avons appliqué la norme T.90103 en prenant en compte l'annexe : application du rapport  $\text{HgSO}_4/\text{Cl} = 10$  et ajout de 0,6 g de  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$ .

Pour l'étude des critères de la qualité des eaux, au niveau des bio-essais, nous avons eu recours à la filtration sur membrane filtrante de 1,2 μ afin d'éliminer la matière organique insoluble. Cette filtration équivaut à une décantation optimisée au terme des traitements d'épuration biologique ou physico-chimique ou au terme du bio-traitement avec les algues.

A la suite d'une minéralisation de l'échantillon en présence d'acide sulfurique et d'un catalyseur approprié, la détermination de l'azote total (N-Kjeldahl) s'effectue par distillation des ions  $\text{NH}_4^+$  et dosage volumétrique.

La détermination colorimétrique des nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) se fait par diazotation avec la sulfanilamide en présence de N-naphtyl-1-éthylène diamine dichlorhydrate (N.F. T.90013). Le dosage des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) est réalisé par passage de l'échantillon sur une colonne Cd-Cu pour réduction de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NO}_2^-$ , puis la détermination de l'ion  $\text{NO}_2^-$  se fait comme précédemment.

Pour le phosphore total, l'échantillon est minéralisé au sulfo-perchlorique puis il est procédé à la détermination colorimétrique de l'ion  $\text{PO}_4^{3-}$  par formation d'un complexe avec le para-molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et potassium. Ce complexe est réduit par l'acide ascorbique.

La détermination du carbone organique et les mesures de pH et d'oxygène dissous sont réalisées à l'aide d'appareils BECKMAN. Le dosage volumétrique des chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) est réalisé à l'aide de nitrate mercurique à pH 3 en présence d'un indicateur de virage mixte (diphényl-carbazone xylène cyanol et bleu de bromophénol) passant du vert au violet.

## 1.2. Caractéristiques des installations pilotes d'épuration et des effluents

L'effluent urbain, dégrillé, non décanté, est soumis soit à des stades de traitement par voie biologique (lit bactérien Cloisonyle breveté I.R.CH.A., boues activées ou couplage de ces deux procédés) soit à un traitement physico-chimique de floculation-décantation au chlorure ferrique à 1 g/litre et régulation à pH 8 par la chaux.

L'effluent urbain est admis sur un lit bactérien Cloisonyle de 0,5 m<sup>3</sup> avec un débit de 0,4 m<sup>3</sup>/heure, un temps de rétention de 1 heure 15 minutes et un recyclage des boues de 1 % avant de subir une décantation de 1 heure 20 minutes. Dans un autre cas, cet effluent de sortie passe au même débit sur un deuxième lit bactérien d'un volume double au premier avant d'être admis dans un décanteur pour un temps de rétention de 2 heures 48 minutes.

En traitement boues activées, l'effluent urbain est soumis à une oxydation ménagée dans un bassin de 4,7 m<sup>3</sup> avec un débit d'admission de 0,8 m<sup>3</sup>/heure. Après un temps de séjour de 6 heures, l'effluent subit une décantation finale de 3 heures 45 minutes.

Lors du couplage lit-bactérien-boues activées, l'effluent est admis, dans un premier temps, sur le lit de Cloisonyle de 1 m<sup>3</sup> avec un débit de 1,1 m<sup>3</sup>/heure et avec un taux de recyclage des boues de 0,5 %. Ensuite cet effluent passe dans une boue activée expérimentale. L'effluent est admis au même débit que précédemment dans un bassin d'aération de 1,67 m<sup>3</sup> pour un temps de rétention de 1 heure 30 minutes. L'effluent ainsi traité subit un temps de rétention de 2 heures 40 minutes.

Les caractéristiques physico-chimiques de ces effluents sont reportés dans le tableau I.

Ces effluents ont été congelés afin d'avoir à disposition un milieu constant d'enrichissement de l'eau de mer pour tous les bio-essais.

**TABLEAU N° I.**

Caractéristiques physico-chimiques des effluents (exprimées en mg/litre)

	D.B.O.	D.C.O.	M.e.S.	Azote Kjeldahl (en - N)	Phosphore total (en - P)	N/P	D.B.O./N/P	DBO/DCO
Effluent urbain brut	220	696	282	67	10,25	6,5	100/30/4,6	0,3
Effluent 11t Cloisonyle (Brevet I.R.C.H.A.)	63	187	26	35	7,5	4,6	100/55/11,9	0,33
Effluent 11t Cloisonyle + Boues activées	33	155	47	53	7,5	7	100/160/22,7	0,21
Effluent deux lits Cloisonyle en série	21	96	14	33	6,75	4,2	100/157/32	0,22
Effluent boues activées	10	100	52	52	6,5	8	100/520/65	0,10
Effluent traitement floculation - décantation	91	204	24	64	0,24	269	100/70/0,26	0,45

### 1.3. Milieux de croissance des algues

Les effluents ainsi définis, non stérilisés, sont dilués à 10 et 30 % en eau de mer. Ces milieux à base d'un des effluents précités sont soumis à une filtration (1,2  $\mu$ ) pour élimination de la matière organique insoluble afin d'être utilisés comparativement avec une eau de mer stérilisée par filtration (0,22  $\mu$ ) et un milieu dérivé de l'erd-Schreiber. Ce dernier milieu à base d'eau de mer est enrichi en nitrates ( $\text{NaNO}_3$  : 100 mg/l), en phosphates ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$  : 20 mg/l) et par 0,5 ml des solutions d'oligo-éléments du milieu "E-C oligo" utilisé pour la culture de certaines algues d'eau douce.

Les caractéristiques analytiques de ces milieux avant et après leur utilisation dans les bio-essais sont données dans les tableaux II et III.

TABLEAU N°II

Caractéristiques analytiques des milieux de croissance  
(avant et après culture)

	Témoins et souches	D.C.O. Entrée	D.C.O. Sortie	Carbone organique entrée	Carbone organique sortie
Effluent "Lit Cloisonyle + Boues activées" à 30 % en eau de mer	Témoïn - bactéries	78	70	9,5	8,5
	Phaeodactylum	78	100	9,5	16,75
	Platymonas	78	116	9,5	23,75
Effluent "boues activées" à 30 % en eau de mer	Témoïn - bactéries	68	69	10,5	6
	Phaeodactylum	68	89	10,5	17,5
	Platymonas	68	109	10,5	22
Effluent brut urbain à 30 % en eau de mer	Témoïn - bactéries	126	84	23,5	11
	Phaeodactylum	126	84	23,5	16,5
	Platymonas	126	110	23,5	23,75
Erd-Schreiber modifié	Témoïn -bactéries	54	55	3	5
	Phaeodactylum	54	75	3	10
	Platymonas	54	53	3	15
Eau de mer		57		4	

TABLEAU N°III

Caractéristiques analytiques des milieux de croissance (avant et après culture)

	témoins et souches	Phosphore total (entrée) en P	Phosphore total (sortie) en P	Azote Kjeldahl (entrée) en N	Azote Kjeldahl (sortie) en N	NO <sub>2</sub> (entrée) en NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> (sortie) en NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub> (entrée) en NO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub> (sortie) en NO <sub>3</sub>	Chlorures g/litre en Cl <sup>-</sup>
Effluent lit Cloisonyle + Boues activées à 30 % en eau de mer	témoïn-bactéries	2,25	2,24	12,30	11,1	0,01	0,04	2,25	2,14	
	Phaeodactylum	2,25	0,20	12,30	6,1	0,01	0,06	2,25	0,84	13,5
	Platymonas	2,25	0,16	12,30	3,4	0,01	0,031	2,25	0,65	
Effluent "boues activées" à 30 % en eau de mer	témoïn-bactéries	1,95	1,83	11,8	10,4	4,38	6,92	3,04	1,92	
	Phaeodactylum	1,95	0,33	11,8	4,75	4,38	0,75	3,04	0,25	13,5
	Platymonas	1,95	0,155	11,8	3,4	4,38	1,43	3,04	1,20	
Effluent brut urbain à 30 % en eau de mer	témoïn-bactéries	2,4	2,05	16,2	15,9	0,27	0,035	2,02	0,20	
	Phaeodactylum	2,4	0,215	16,2	4,5	0,27	0,36	2,02	0,86	13,5
	Platymonas	2,4	0,215	16,2	3,5	0,27	0,158	2,02	0,128	
Erd-Schreiber modifié	témoïn-bactéries	2,25	2,23	≤ 0,4	≤ 0,4	0,015	0,016	81	80	
	Phaeodactylum	2,25	0,15	≤ 0,4	≤ 0,4	0,015	1,46	81	9,1	19,5
	Platymonas	2,25	0,13	≤ 0,4	≤ 0,4	0,015	0,088	81	4,4	
Eau de mer		0,30		≤ 0,4		0,016		3,1		19,4

#### 1.4. Les souches

Il s'agit de souches monospécifiques d'algues marines unicellulaires en provenance de l'algothèque de Plymouth (G.B.) ou isolées par nos soins (LEPAILLEUR 1968 - 1971) et dont nous donnons une brève description.

*Platymonas suecica* BUTCHER est une algue verte flagellée de 8 à 10  $\mu$  de longueur dans sa phase mobile et qui appartient à l'ordre des Volvovales.

*Isochrysis galbana* PARK (ordre des Isochrysidales) est, dans sa phase monadotique, une cellule nue en forme de poire à section aplatie avec deux plastes pariétaux latéraux, un stigma et deux fouets apicaux. Sa taille est de l'ordre de 5 à 6  $\mu$ .

*Monochrysis lutheri* DROOP. (ordre des Chromulinales) est une cellule chromuloïde avec rouet à insertion ventrale, deux ou trois plastes simples et une taille voisine à la précédente espèce.

*Phaeodactylum tricornerutum* BOHL est une Bacillariophycée longtemps confondue à une Chrysophycée et placée dans les Stichogloales.

*Chlorella salina* BUTCHER est une cellule sphérique qui libère à maturité huit cellules-filles. Sa taille est de 7 - 8  $\mu$ .

*Heterogonium salinum* P.A. DANGEARD est une Chlorophycée ovoïde (5 x 7) x (3 - 5)  $\mu$  dont le mode de reproduction rappelle les levures.

## 2. REALISATION DES ESSAIS BIOLOGIQUES - RESULTATS

Les essais biologiques sont réalisés en triple exemplaires dans des fioles erlenmeyers mises à incuber pendant 21 jours dans des enceintes "Gallenkamp" de photopériode 12/12 heures et régulées à la température de 15 et 25° C + 1° C de façon à recréer artificiellement les conditions d'échauffement d'un milieu aquatique marin clos recevant un apport de calories. L'éclairage est assuré par des lampes "warm white" 29, lumière du jour 33 de 8 Watts. L'éclairage est d'une intensité de 8,1 lumens/cm<sup>2</sup>. La biomasse algale est évaluée au cours du temps par néphélométrie doublée dans les essais définitifs par une numération cellulaire.

Les essais préliminaires avec les six espèces testées dans les deux milieux de référence (eau de mer, eau-Schreiber modifié) et les milieux eau de mer à base de chacun des effluents (10 et 30 %) et aux températures de 15 et 25° C ont permis de se rendre compte que la meilleure croissance est obtenue à 25° C avec deux souches ; et lorsqu'elles sont cultivées : en eau de mer diluée avec 30 % soit d'effluent urbain brut, soit d'effluent de sortie de boues activées ou d'effluent de sortie de traitement biologique mixte (BAZZON - LEPAILLEUR - 1977).

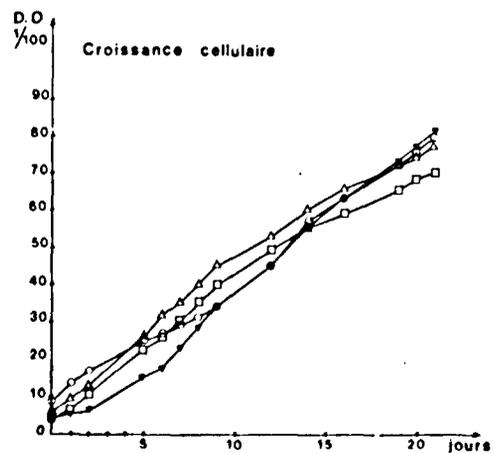
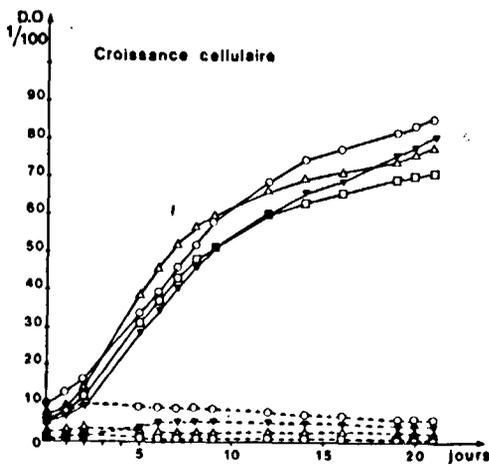
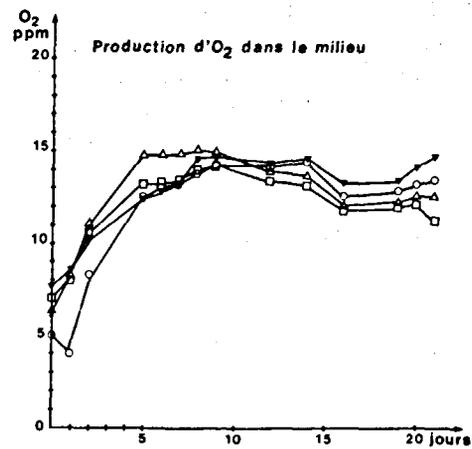
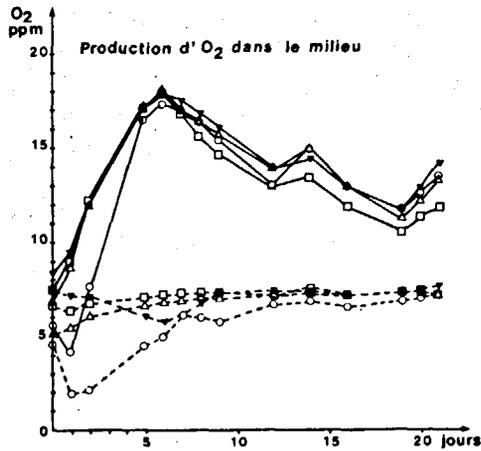
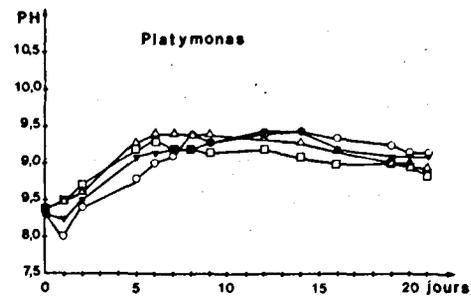
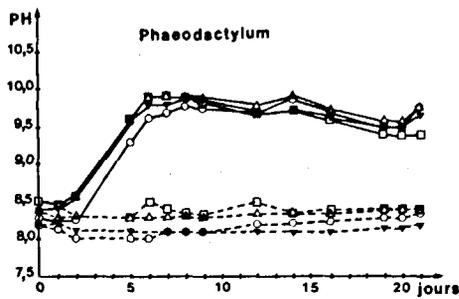
## TABLEAU IV

Evolution de divers paramètres, dans différents milieux de culture (à base de 30 % d'un effluent)

Incubation 21 jours à 25 °C

### Légende

- ▼ milieu Erd Schreiber
- à base d'eau urbaine
- △ à base d'effluent du traitement mixte
- à base d'effluent (boues activées)
- en pointillé: témoin non ensemencé



Dans les essais définitifs à 25° C avec *Ph. tricornutum* et *Pl. suecica*, nous avons repris les trois milieux performants pour la croissance ainsi que le milieu de référence erd-Schreiber modifié.

Les biomasses obtenues pour chacune des souches sont reportées dans les tableaux IV et V et indiquent que la meilleure productivité est assurée, en ordre décroissant, par le milieu à base d'effluent urbain brut, par l'erd-Schreiber modifié, par le milieu à base d'effluent de sortie du traitement biologique mixte puis par le milieu à base d'effluent de sortie de la boue activée expérimentale.

### 3 - ETUDE DES CRITERES DE QUALITE DES EAUX - DISCUSSION

L'évolution de quelques uns des paramètres de la qualité des milieux avant et après la réalisation des essais biologiques définitifs est étudiée à l'aide des techniques analytiques décrites.

Les valeurs du pH et de l'oxygène dissous, mesures faites en discontinu, sont reportées sur les graphiques du tableau IV tandis que les autres résultats analytiques figurent dans les tableaux II et III.

Les courbes des mesures du pH et de l'oxygène dissous ont une allure identique quelque soit le milieu support de croissance et la souche d'algue utilisée. A quelques dizaines d'unités près, les valeurs du pH présentent un pic maximal vers le 6ème - 7ème jour suivi d'un plateau relativement stable jusqu'à la fin de la période d'incubation. Il en est de même pour l'oxygène dissous avec un pic voisin de 18 ppm pour *Ph. tricornutum* et de 15 ppm pour *Pl. suecica*. Cette teneur décroît dans les cultures à 11 et 14 ppm pour les deux souches et suivant le milieu.

Pour les autres critères, les milieux sont préalablement filtrés, avant la mise en culture, puis après l'incubation, pour éliminer la matière organique insoluble.

TABLEAU N°V

Productivité finale des milieux à la température de 25° C

Milieux de croissance	Platymonas suecica		Phaeodactylum tricornutum	
	D.O. en 1/100ème	Nombre de cellules par ml	D.O. en 1/100ème	Nombre de cellules par ml
Eau de mer diluée avec 30 % d'effluent urbain	79	2,3.10 <sup>6</sup>	85	9,3.10 <sup>6</sup>
Erd-Schreiber modifié	81	2,4.10 <sup>6</sup>	80	8,8.10 <sup>6</sup>
Eau de mer diluée avec 30 % de l'effluent de sortie du traitement mixte	78	2,3.10 <sup>6</sup>	77	8,5.10 <sup>6</sup>
Eau de mer diluée avec 30 % de l'effluent de sortie "boues activées"	70	2,1.10 <sup>6</sup>	70	7,7.10 <sup>6</sup>

En dépit de l'application stricte des normes, les résultats de la demande biochimique en oxygène (D.B.O.<sub>5</sub>) et de la demande chimique en oxygène (D.C.O.) sont décevants. A titre indicatif et pour comparaison avec la mesure du carbone organique, mesure fiable, nous reportons uniquement les valeurs trouvées pour la D.C.O. A l'exclusion des fioles-témoins bactéries, dans lesquelles la minéralisation se poursuit, une augmentation du carbone organique et de la D.C.O. est notée à la fin des essais. Cette augmentation semble liée d'une part à la nature du milieu de croissance et d'autre part à la souche d'algue elle-même qui intervient dans ce processus. A défaut d'une étude plus approfondie sur l'évolution au cours du temps de ces deux paramètres, il est permis de supposer que cette augmentation est due à la lyse de cellules âgées ou plus probablement à l'excrétion de substances carbonées d'origine cellulaire dans les milieux de culture.

En tenant compte des fioles-témoins bactéries, l'élimination du phosphore total est remarquable dans tous les milieux et quelque soit la souche expérimentée (83 - 94 %). Cette élimination est plus marquée dans le milieu minéralisé erd-Schreiber modifié (84 - 94 %), en milieu à base d'effluent de traitement mixte 91 - 92 % puis viennent les milieux à base d'effluent boues activées (83 - 92 %) et à base d'effluent urbain (91 %).

L'azote total limité à l'azote ammoniacal et aminé (N-Kjeldahl) a une teneur élevée avant toute incubation dans les milieux à base d'effluent et notamment dans celui renfermant l'effluent urbain brut. La diminution de cette forme d'azote (40 à 78 %) dans les cultures correspond davantage à un processus d'oxydation conduisant à la forme nitrite, forme fugace, qui se trouve parfois en augmentation dans certaines cultures plutôt qu'à un processus d'assimilation.

Les nitrates, terme ultime de l'oxydation et forme très assimilable par les algues, accusent une diminution très nette dans les cultures. Cette diminution atteint 60 à 94 % suivant le milieu de culture.

## C O N C L U S I O N

Un effluent brut urbain dilué à 30 % en eau de mer, utilisé comme support de croissance des algues à une température de 25° centigrades qui intègre un rejet de calories, peut donner une biomasse aussi compétitive qu'un milieu de culture de référence. Ce milieu erd-Schreiber modifié renferme la même eau de mer enrichie en nitrates ( $\text{NO}_3^-$   $\neq$  80 mg/l) et phosphore (P  $\neq$  2 mg/l).

La résultante de cette productivité primaire se traduit par une élimination marquée du phosphore total et des nitrates qui atteint jusqu'à 90 %.

Ce résultat est à comparer d'une part aux pourcentages très identiques obtenus avec le milieu de référence erd-Schreiber et d'autre part avec les résultats de GOLDMAN (1974) qui indique une élimination de l'azote total à 95 % et du phosphore total à 45 - 60 %.

Bien que les données analytiques soient encore fragmentaires, ces résultats prouvent l'efficacité du système combiné de biotraitement d'eau résiduaire urbaine et de production primaire intégrant le facteur thermique. Une attention particulière devrait être portée sur l'évolution du carbone organique dans les cultures qui est probablement dû aux métabolites libérés par les algues.

#### B I B L I O G R A P H I E

- BAZZON M. - LEPAILLEUR H. - 1977 - Réalisation d'une chaîne alimentaire en eau marine réchauffée. Rapport C.N.E.X.O. réf. I.R.CH.A. A.5034
- GAYRAL P. - LEPAILLEUR H. - 1968 - Une rare Chlorophycée unicellulaire marine *Heterogonium salinum* P.A. Dangeard. Rev. Algol. Nouv. Sér., IX, 2, 131-135
- GODMAN J.C. - TENORE K.R. - RYTHER J.H. et CORWIN N. - 1974 - Inorganic nitrogen removal in a combined tertiary treatment - marine aquaculture system. I. Removal efficiencies. Water Research. 8, 1, p. 45 - 55
- LEPAILLEUR H. - 1971 - Contribution à l'étude de la végétation algale dans l'estuaire de l'Orne (France). IIIème Symp. europ. de Biol. mar., "Vie et milieu" suppl. 22, 233-241

Communication : M. BAZZON, H. LEPAILLEUR & M. ROGGER. Valorisation des rejets urbains et thermiques en zone littorale. Production primaire.

Q: MAESTRINI : Quelle est la concentration en éléments nutritifs dans vos milieux par rapport au milieu de Erschreiber ?

R: LEPAILLEUR: Dans le milieu de Erschreiber il y a 80 mg de nitrates et 2 mg de phosphore. Dans les mélanges il y a 3,04 mg de nitrates ainsi que de l'azote ammoniacal et des nitrites.

Q: DUFOUR : Est-ce-que le fait d'obtenir des productions équivalentes dans tous les milieux de culture n'est pas dû à la saturation ou à la limitation du milieu par un autre facteur que la concentration en nutriments. Le pH n'a-t-il pas une influence ?

R: LEPAILLEUR: Nous n'avons pas envisagé l'étude sous cet aspect. Pour nous le fait important est qu'une eau résiduaire diluée à 30 % permet une production équivalente à celle qui est obtenue dans un milieu de référence.

Q: DUFOUR : Le phosphore total dosé est-il la somme du phosphore dissous et de la matière particulaire.

R: LEPAILLEUR: Oui

Q: DUFOUR : Vos cultures sont-elles axéniques ? Si non, quel est le rôle des bactéries dans la mobilisation des sels nutritifs ?

R: LEPAILLEUR: Les cultures ne sont pas abactériennes. L'action des bactéries semble très faible dans le témoin. La microflore des eaux résiduaires n'est pas adaptée à cette salinité.

Q: LE MASSON : Par quelle méthode avez-vous mesuré la demande chimique en oxygène ?

R: LEPAILLEUR: Il s'agit de la norme AFNOR. Le rapport sulfate mercurique sur chlorure est égal à 10. On ajoute 0,6 g de sulfate de chrome. Cette technique n'est valable que pour de très faibles salinités.