

Traitement des eaux usées par culture de micro-algues : influence de la composition du milieu sur la croissance de *Scenedesmus* sp

J. de la Noüe¹
R. van Coillie²
L. Brunel¹
Y. Pouliot³

Mots clés : Eaux usées, biotraitement, micro-algues, milieu de croissance, vitamines.

Après une brève revue des projets de traitement d'effluents polluants par culture de micro-algues, les résultats d'un travail de laboratoire, réalisé avec un effluent urbain, sont présentés. Le pouvoir épurateur et la croissance des cultures de *Scenedesmus* sur milieux modifiés ont été comparés dans le but de connaître les facteurs contrôlables pouvant en influencer la performance. Un épaissement supérieur à 90 % est obtenu en 48 h pour l'azote et le phosphore. A partir d'un inoculum de faible importance (2 mg/L), l'accroissement de biomasse se poursuit jusqu'au 7^e jour alors que celle-ci atteint environ 350 mg (matière sèche)/L, sans différence notable entre les trois milieux de culture (effluent brut, effluent filtré et effluent filtré enrichi de CO₂). L'ajout de vitamines à l'effluent brut ou à un effluent synthétique est sans effet significatif sur la croissance de *Scenedesmus* sp. Parmi les neuf milieux étudiés, il ressort que l'effluent brut assure une croissance supérieure au milieu synthétique et comparable à l'effluent filtré, même enrichi en CO₂. Les résultats obtenus font ressortir le potentiel de *Scenedesmus* comme agent de traitement tertiaire.

Wastewater treatment by microalgal cultures : influence of the composition of the medium on the growth of *Scenedesmus* sp.

Keywords : Wastewaters, biotreatment, microalgae, culture medium, vitamins.

After a short review of the present knowledge concerning the treatment of polluting effluents with microalgal cultures, the results of a laboratory work done with a domestic effluent are presented. The epuration capacity and growth of cultures of *Scenedesmus* made with modified media have been compared in order to identify the controllable factors that may effect performance. For nitrogen and phosphorus a removal of more than 90 % has been obtained within 48 h. Starting with a small inoculum (2 mg/L) the biomass increased up to the 7th when it reached about 350 mg dry weight/L, without any noticeable difference between the three culture media used (raw effluent, filtered effluent and filtered CO₂ -enriched effluent). The addition of vitamins to the raw effluent or to an artificial effluent was without significant effect on *Scenedesmus* sp. growth. Among the nine media studied, the raw effluent produced a growth superior to that of synthetic medium and similar to that of filtered effluent, even when enriched with CO₂. The results obtained demonstrate the potential of *Scenedesmus* sp. as a tertiary treatment agent.

Introduction

L'algue *Scenedesmus* est largement utilisée depuis une vingtaine d'années dans les systèmes expérimentaux de traitement et valorisation des eaux usées

d'origine domestique ou agricole (Tableau I). Le principal facteur ayant freiné les applications réside dans la difficulté de récupérer la biomasse. Quoique de nombreux travaux aient exploré différentes méthodes de récolte (cf. Richmond & Becker 1986), aucun système n'a encore donné de résultat satisfaisant sur le plan de l'efficacité et du coût d'opération. Certaines souches d'algues filamenteuses ont été étudiées et permettent de résoudre le problème de récolte (Buclna et al., 1987), mais ces algues n'atteignent pas les rendements de *Scenedesmus* sur

1. Groupe de recherche en recyclage biologique et aquaculture (GREREBA) Département de Sciences et technologie des aliments, Université Laval, Ste-Foy (Québec), Canada G1K 7P4.

2. Environnement Canada, SCPE, 1179 Bleury, Montréal, Canada, H3B 3H9.

3. Bionov CNP., 81 St-Pierre, suite 480, Québec 4A3.

milieu riche en matière organique et en ammoniacque comme, par exemple, les eaux usées brutes ou le lisier de porc (Pouliot et al. 1986). En dépit de cet inconvénient majeur, pour lequel certains travaux laissent présager des solutions éventuelles (Lavoie & de la Noüe 1983, Proulx & de la Noüe 1985, Buelna et al. 1989), cette algue, par les qualités qu'elle rassemble (Tableau II), présente un intérêt certain pour la culture en masse.

L'algue *Scenedesmus* peut être cultivée sur divers milieux (cf. Tableau I) qui présentent chacun une incidence importante sur les conditions d'exploitation du système. Dans le but de connaître les facteurs potentiellement contrôlables pouvant influencer la performance des cultures de *Scenedesmus* sur eaux usées, nous avons comparé le pouvoir épurauteur et la croissance de celles-ci sur des milieux (eaux usées) modifiés. Les facteurs étudiés furent la présence de matières particulaires en suspension dans le milieu et l'abondance du carbone dissous. A cet

Tableau II. Avantages et inconvénients de l'algue *Scenedesmus* pour le traitement et la valorisation des eaux usées.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Résistance aux milieux riches en matière organique (permet d'utiliser des effluents bruts et d'effectuer un traitement secondaire-tertiaire simultané) -Taux de croissance élevée -Résistance envers les contaminants (métaux lourds, pesticides, etc.) et dégradation de certains d'entre eux. -Possibilité d'exclure la croissance d'algues filamenteuses par tamisage constant de la culture -Présence spontanée dans les eaux usées -Ubiquité du genre 	<ul style="list-style-type: none"> -Récolte difficile (coûteuse) -Faible digestibilité de la biomasse (présence d'une paroi cellulosique) -Faible valeur marchande de la biomasse

effet, nous avons mené des expériences sur l'effet d'une filtration du milieu brut et sur l'enrichissement des cultures en CO₂.

Les eaux usées constituent un milieu de prédilection pour la croissance de micro-algues. Aubert & Daniel (1968) ont observé une croissance phytoplantonique sur eaux d'égoûts supérieure à celle obtenue avec les meilleurs milieux artificiels. Une hypothèse proposée est la production de facteurs de croissance par les bactéries des eaux d'égoûts. Dans le but de vérifier l'effet possible des métabolites bactériens, nous avons donc réalisé des cultures sur effluent brut, filtré autoclavé, et ultrafiltré. Le traitement à l'autoclave élimine de l'effluent certaines vitamines et les bactéries productrices. L'ultrafiltration élimine également les bactéries ainsi que les facteurs éventuels de croissance de poids moléculaire supérieur à 50 000.

Bougis (1974) rapporte que 70 % du phytoplancton marin requiert de la vitamine B₁₂. Il conclut aussi que la thiamine est liée à la production primaire phytoplantonique, sans qu'on sache exactement comment. Par contre il n'observe pas d'amélioration de la croissance avec la biotine. L'idée généralement admise est que les algues vertes d'eau douce sont insensibles aux vitamines (cf. les travaux d'Aubert 1963, sur *Scenedesmus*, *Chlamydomonas* ou *Chlorella*). Jorgensen (1979) donne, après revue bibliographique, un tableau des besoins en vitamines (biotine, thiamine, B₁₂) des différentes familles d'algues. Pour les Chlorophycées, un petit nombre

Tableau I. Liste des principaux projets de biotechnologies solaires appliquées au traitement des effluents dans le monde (liste non exhaustive, adaptée de Goldman 1979).

Année	Lieu	Surface des installations (m ²)	Espèces	Milieu	Sources
1961	États-Unis Richmond, Calif	2 700	Mélange (Chlorophycées)	Eau usée	Oswald, 1969
1970-71	Israël Jerusalem	300	<i>Chlorella</i>	Eau usée	Shelef & al., 1976
1974	États-Unis Fort-Pierce, Fla	8	Diatomées	Eau usée eau de mer	Goldman & Ryther, 1975
1975-76	États-Unis Woods Hole, Mass.	1 080	Diatomées	Eau usée + eau de mer	D'Eka & al., 1977
1965-79	Israël Haifa	270	Mélange (Chlorophycées)	Eau usée	Shelef & al., 1980
1976-82	Singapour	2 900	Mélange (<i>Microactinium</i>)	Lisier de porc	Goh, 1986
1977	Israël Yagur	2 000	Mélange (Chlorophycées)	Eau usée	Shelef & al., 1977
1977	États-Unis Richmond, Calif	27 000	<i>Microactinium</i>	Eau usée	Benemann & al., 1980
1978	Inde Mysore	150	<i>Scenedesmus</i> <i>Spirulina</i>	Déchets liquides	Venkataraman, & al., 1980
1978	États-Unis Gainesville, Fla	1 000	<i>Scenedesmus</i>	Lisier de porc	Lincoln & Hill, 1980
1982	Canada Valcartier, Qué	100	<i>Scenedesmus</i>	Eau usée	de la Noüe & al., 1983
1984	Irlande	30	<i>Chlorella</i>	Lisier de porc	Fallowfield & Barret, 1985
1984	Canada Montmorency, Qué	33	<i>Scenedesmus</i>	Eau usée	Pouliot & de la Noüe, 1985
1985-86	Canada St Eberne, Qué	20	<i>Horridum</i>	Eau usée	Serodes & al., 1986
1987	États-Unis Hollister, Calif	60 000	Mélange	Eau usée	Oswald, 1988

nécessite de la thiamine (B_1) et un grand nombre de la cyanocobalamine (B_{12}), la biotine, elle, n'étant jamais indispensable. Dans le but d'évaluer l'importance des vitamines pour la croissance de *Scenedesmus*, nous avons enrichi un milieu artificiel en thiamine, biotine et B_{12} .

1. Matériel et méthodes

1.1. Milieux de culture

L'effluent est celui de la station d'épuration de la base militaire de Valcartier, située aux environs de Québec. Les eaux usées sont des rejets classiques de type urbain ayant subi une décantation (traitement primaire) et un traitement secondaire par boues activées. L'effluent est alors rejeté en rivière. La teneur moyenne en phosphore de l'effluent secondaire est de $20 \text{ à } 75 \mu\text{M P-PO}_4^{3-}$, et la teneur moyenne en azote (N-NH_4^+) de $600 \text{ à } 900 \mu\text{M}$. Les teneurs en nitrate et nitrite sont négligeables (de la Noué et al 1980). Le pH observé est neutre et stable, autour de 7,3. Au laboratoire, l'effluent est conservé à l'obscurité, à 4°C . La filtration des effluents est effectuée, le cas échéant, avec des filtres Whatman 94-AH. Le milieu artificiel utilisé est le milieu de base pour les micro-algues d'eau douce (Nichols 1973).

1.2. Mode de culture

Les cultures, menées en duplicata ou en triplicata, sont réalisées au laboratoire, en vrac (« batch »), dans des erlenmeyers de 1 ou 6 litres dans des chambres de cultures thermostatées à $22 \pm 1^\circ \text{C}$. La lumière est fournie par des tubes fluorescents (intensité incidente de $150 \mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) selon un rythme nycthéral 12/12 qui reproduit les conditions climatiques estivales moyennes. Le bullage des cultures est assuré par l'injection d'air atmosphérique, à l'exception des cultures enrichies en CO_2 pour lesquelles un mélange (5 % de CO_2) sous pression est fourni.

1.3. Méthodes d'analyse

Les nutriments (N-NH_4^+ et P-PO_4^{3-}) sont dosés à l'aide d'un autoanalyseur II Technicon selon les méthodes décrites par Strickland & Parsons (1972). Les numérations cellulaires sont réalisées à l'aide d'un hémocytomètre Malassez (précision $\pm 5\%$, pour des dénombrements d'environ 1 000 cellules). La biomasse sèche est estimée par pesée sur une balance Mettler H51AR, après séchage durant 24 h à 95°C d'une aliquote filtrée sur Whatman GFC

(précision $\pm 5 \text{ mg.L}^{-1}$). Selon plusieurs auteurs (Sorokin 1973, Cloern 1976) la densité optique à 678 nm représente une variable d'état, caractérisant la biomasse des algues. Nous avons donc mesuré la densité de nos cultures à l'aide d'un spectrophotomètre Bausch et Lomb-Spectronic 600 (cuves de 1 cm).

2. Résultats et discussion

2.1. Epuration du milieu sur divers effluents

Les données relatives à l'épuisement des nutriments sont présentées aux figures 1 et 2. Après 24 h, l'enlèvement est d'environ 30 % pour l'azote et 50 % pour le phosphore. Une épuration pratiquement complète ($\geq 90\%$) de l'azote et du phosphore est obtenue après 48 heures. Le système considéré joue donc parfaitement son rôle d'épuration de la charge minérale en excès dans l'effluent.

Les vitesses d'élimination de N-NH_4^+ et P-PO_4^{3-} , estimées à partir des quantités de nutriment consommé pendant les 15 premières heures, sont

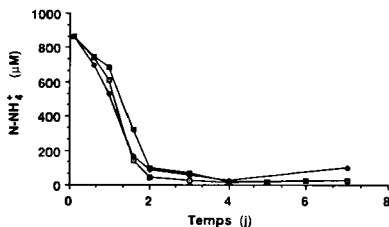


Fig. 1. Enlèvement de l'azote ammoniacal dans les cultures de *Scenedesmus* sp. sur effluents brut (■), filtré (◆) et filtré & enrichi en CO_2 (●).

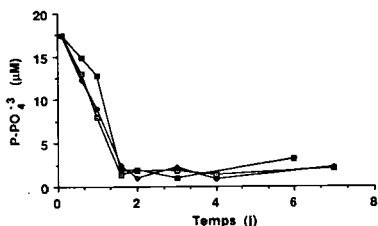


Fig. 2. Enlèvement du phosphore inorganique dans les cultures de *Scenedesmus* sp. sur effluents brut (■), filtré (◆) et filtré et enrichi en CO_2 (●).

Tableau III. Vitesses d'enlèvement de l'azote ammoniacal (V_N) et de l'orthophosphate (V_P) pour les différents types d'effluents.

Milieu de culture	V_N ($\mu\text{g-at N}\cdot10^9\text{cell}\cdot\text{h}^{-1}$)	V_P ($\mu\text{g-at P}\cdot10^9\text{cell}\cdot\text{h}^{-1}$)
Effluent brut	209	6
	131	6
Effluent filtré	254	8
	196	8
Effluent filtré + CO ₂	203	5
	148	3

présentées au tableau III. Ces résultats rendent compte des vitesses moyennes et non maximales ; en effet, les 15 premières heures incluent la phase obscure, où la consommation d'azote est réduite. En outre, on n'obtient la vitesse maximale de consommation qu'avec des algues initialement en état de jeûne.

Des travaux antérieurs (Dauta et al 1982) ont permis de calculer pour *Scenedesmus crassus* les vitesses maximales de consommation pour l'azote ($V_N = 310 \mu\text{g-at N}\cdot10^9 \text{cell}\cdot\text{h}^{-1}$) et le phosphore ($V_P = 62 \mu\text{g-at P}\cdot10^9 \text{cell}\cdot\text{h}^{-1}$). Jorgensen (1979) rapporte, pour les Chlorophytes, une vitesse de prise en charge de $4\,000 \mu\text{g-at N}\cdot10^9 \text{cell}\cdot\text{h}^{-1}$, ce qui semble énorme. Il mentionne également une vitesse de $12 \mu\text{g-at P}\cdot10^9 \text{cell}\cdot\text{h}^{-1}$ pour le genre *Scenedesmus*, résultat comparable au nôtre. Dans l'ensemble, les résultats indiquent qu'il n'y a pas de différence notable, dans le rendement épuratoire du système, entre les différents milieux.

2.2. Croissance sur différents effluents

Afin d'obtenir plus de fiabilité dans l'interprétation des résultats, trois types de mesures ont été effectuées : biomasse en suspension, densité optique et numération cellulaire. Les résultats relatifs à la densité optique sont présentés à la figure 3. Les courbes de croissance obtenues sont typiques des cultures de micro-organismes : période de latence, phase exponentielle, puis inflexion des courbes après 4 ou 5 jours. La biomasse continue alors à augmenter jusqu'au 7^e jour. La biomasse d'algues obtenue est alors de 300 à $400 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (matière sèche) à partir d'une biomasse initiale faible, de l'ordre de $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, pratiquement indissociable de la biomasse résiduelle de l'effluent décanté (évaluée à 5 - $6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

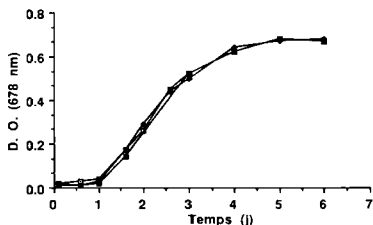


Fig. 3. Evolution de la densité optique dans les cultures de *Scenedesmus* sp. sur effluents brut (\square), filtré (\blacklozenge) et filtré et enrichi en CO₂ (\bullet).

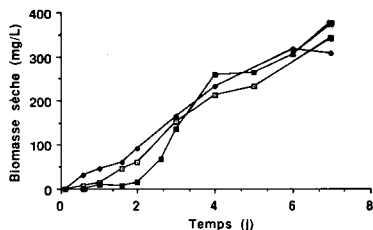


Fig. 4. Evolution de la biomasse (matière sèche) dans les cultures de *Scenedesmus* sp. sur effluents brut (\square), filtré (\blacklozenge) et filtré et enrichi en CO₂ (\bullet).

Tarifeno-Silva et al (1982) et Kawasaki et al (1982) ont obtenu, sur effluent brut, une biomasse de *Scenedesmus* de $180 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ après 2 jours, mais avec une biomasse initiale de 70 - $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Aucune différence marquée n'est décelable entre les cultures sur effluent brut, effluent filtré et effluent filtré et enrichi en CO₂ (fig. 3 et 4).

La figure 5 présente les résultats de la même expérience en termes de populations cellulaires dans les cultures. Bien que la position relative des courbes soit la même que celles obtenues selon la densité optique et la biomasse, on remarque une diminution du nombre de cellules en fin de culture. Cette apparente contradiction (la biomasse augmente alors que la population cellulaire est stable ou diminue) indique en réalité que la croissance s'effectue probablement plus par agrandissement des cellules (jours 4 à 7) que par leur

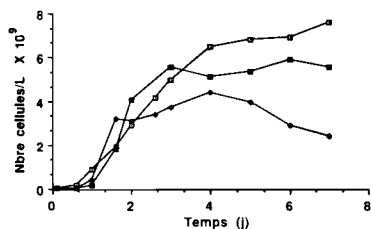


Fig. 5. Evolution de la population cellulaire dans les cultures de *Scenedesmus* sp. sur effluents brut (■), filtré (◆) et filtré et enrichi en CO₂ (*).

division (jours 1 à 3). Les taux de croissance calculés pendant la phase exponentielle ne devraient donc pas être très différents.

Les estimations de densité optique sont moins entachées d'erreur que celles de biomasse, en particulier pour les faibles concentrations d'algues. De plus, on dispose facilement de données plus nombreuses. C'est donc à partir de ces résultats que nous pourrions évaluer de la manière la plus fiable le taux de croissance des cultures. La croissance d'une population « A » se définit dans le temps par l'expression $dA/dt = \mu A$, où « t » est le temps en jour et « μ » est le taux de croissance de la population (j^{-1}). L'expression « μ » peut s'écrire sous la forme d'un taux de croissance maximal « μ_{max} », spécifique de la population, affecté de facteurs de réduction traduisant des conditions non optimales en lumière, température et nutriments (azote et phosphore). La connaissance de « μ », bien qu'essentielle à la compréhension et à la précision de la croissance d'une population est extrêmement délicate. Différents mécanismes interviennent : assimilation, variation des stocks internes, taille de la population, etc... avec de nombreux contrôles en retour d'un facteur sur un autre. Afin d'obtenir une valeur la plus représentative possible de la croissance de chacune des cultures, nous avons calculé le taux moyen de croissance (désigné μ_{moy}) pour la phase exponentielle (arbitrairement assignée à la période comprise entre le jour 1 et le jour 4).

Les taux de croissance calculés (Tableau IV) pour l'effluent brut se situent donc autour de 1,00 j^{-1} , soit

Tableau IV. Taux de croissance (μ_{moy}) de *Scenedesmus* sp sur différents types d'effluents.

Milieu de culture	Taux de croissance (j^{-1})	Nombre de divisions par jour
Effluent brut	0,99	1,43
	0,92	1,33
	1,09	1,58
Effluent filtré	0,94	1,36
	1,07	1,55
Effluent filtré + CO ₂	1,08	1,57
	1,13	1,64

environ 1,45 division par jour ($\mu/\ln 2$). En dépit d'une stimulation attendue de la croissance par le CO₂ de la Nouë et al (1984), on remarque que le taux de croissance en présence de CO₂ (1,11 j^{-1}) n'est guère supérieur à celui mesuré pour les algues cultivées sur effluent brut ou filtré (Tableau IV). Dans des travaux antérieurs (Brunel & Guerri 1980) avec *Scenedesmus crassus*, un taux de croissance maximal de 1,62 j^{-1} a été obtenu alors que Mur et al (1978) donnent pour le genre *Scenedesmus* 1,58 j^{-1} . Ces valeurs sont inférieures à celle (2,08 j^{-1}) que donnent Lehman et al (1975) pour les algues vertes. Jorgensen (1979) relève pour le phytoplancton des taux de 1,3 à 2,5 j^{-1} dans la littérature. Les croisances obtenues dans nos conditions sont donc comparables à celles de la littérature.

2.3. Influence des vitamines

Avec les effluents autoclavés et ultrafiltrés, les résultats, non présentés ici, montrent que ces traitements n'influencent pas grandement la croissance de *Scenedesmus*. Il n'y a pas non plus de différence évidente avec les cultures sur effluent brut ou filtré. Nous avons donc, dernière étape de l'expérience, réalisé des cultures sur effluents brut et synthétique enrichi en vitamines.

L'examen des résultats (Tableau V), exprimés en μ_{moy} , montre que l'ajout de vitamines n'a pas d'action significative sur la croissance de *Scenedesmus*. De plus, toutes les valeurs obtenues sur milieux vitaminés sont inférieures à celles obtenues sur effluent brut, ces dernières se situant même parmi les valeurs de μ_{max} mentionnées dans la littérature (voir ci-dessus).

Tableau V. Taux de croissance (μ moy) de *Scenedesmus* sp sur milieu artificiel enrichi ou non en vitamines et sur effluent brut.

Milieu de culture	Taux de croissance (μ^1)	Nombre de divisions par jour
Artificiel	1,04	1,51
	1,21	1,75
* + Thiamine	0,97	1,41
	1,33	1,93
* + Biotine	1,04	1,51
	1,18	1,71
* + B ₁₂	1,10	1,59
	1,23	1,78
Effluent brut	1,65	2,39
	1,66	2,41

3. Conclusion

Aucune des conditions étudiées, à l'exception de l'enrichissement en CO₂, ne semble justifiée, puisque c'est l'effluent brut qui assure la meilleure croissance de *Scenedesmus*. Par ailleurs, la présence ou non de vitamines dans un milieu artificiel ne semble pas influencer la croissance de cette dernière. Comme le souligne Kuentzel (1970), le carbone d'origine bactérienne pourrait expliquer la bonne croissance observée sur effluent brut. Plus précisément, on peut proposer une stimulation spécifique de la part des bactéries sur la croissance de la microalgue. Dakhama et al (1988) ont en effet démontré l'existence d'interactions inhibitrices ou stimulatrices de certains taxons bactériens sur la croissance de Chlorophycées et de cyanobactéries.

Le système de culture de *Scenedesmus* sur eaux usées présente un potentiel élevé à la fois pour le traitement tertiaire (et secondaire) des eaux usées et pour la production de biomasse. Des travaux visant à améliorer les moyens de récolte sont encore nécessaires avant de permettre la mise en application de ce système sur une plus vaste échelle.

Remerciements

Ce travail a été rendu possible grâce au support financier du Conseil des recherches en sciences naturelles et génie du Canada (thématique-biotechnologie), du Fonds FCAR du Québec et de la Compagnie Eco-Recherches, Montréal.

Travaux cités

- Aubert (M.). 1963. — Possibilité d'adaptation diététique de la biomasse planctonique. *Cahiers du Cerbom*, 2 : 24-34.
- Aubert (M.) & Daniel (S.). 1968. — Eaux résiduaires et plancton. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 10 : 93-110.
- Benemann (J.R.), Koopman (B.), Weissman (J.), Eisenberg (D.) & Geopel (R.). 1980. — Development of microalgae harvesting and high-rate pond technologies in California. In : G. Shelef, G. & Soeder, C. J. (eds), *Algal Biomass*, Elsevier/Holland Biomedical Press, Amsterdam : 457-495.
- Bougis (P.). 1974. — *Ecologie du plancton marin*. 1. *Le phyto-plancton*, Masson, Paris, 196 p.
- Brunel (L.) & Guerri (M.M.). 1980. — *Cinétique d'assimilation et de croissance de Scenedesmus crassus, étude expérimentale et modélisation*. Thèse de 3^e cycle, Université Paul-Sabatier, Toulouse, 226 p.
- Buelna (G.), Pouliot (Y.) & de la Noüe (J.). 1987. — Performance and operating parameters of a photobioreactor. In : Stadler T., Mollion J., Verdu M.C., Karamanos Y., Morvan H & Christiaen D. (eds), *Algal Biotechnology*, Elsevier Applied Science Publ., Barking, England : 189-198.
- Buelna (G.), Bhattarai (K.K.), de la Noüe (J.) & Taiganides (E.P.). 1989. — Evaluation of various flocculants for the recovery of algal biomass grown on pigwaste. *Biol. Wastes* 31 : 211-222.
- Cloern (J.E.). 1976. — Population dynamics of *Cryptomonas ovata*. A laboratory field and computer simulation study. Thèse Ph. D., Washington State University, Department of Zoology. 102 p.
- Dakhama (A.), de la Noüe (J.) & Lavoie (M.). 1988. — Effets stimulateurs et inhibiteurs de *Pseudomonas* sur la croissance de micro-algues. Comptes-rendus, 15^e Colloque annuel sur la toxicologie aquatique, Montréal, 28-30 novembre : 45-50.
- Dauta (A.), Brunel (L.) & Guerri (M.M.). 1982. — Détermination expérimentale des paramètres liés à l'assimilation de l'azote et du phosphore par *Scenedesmus crassus*. *Annls Limnol.*, 18 (1) : 33-40.
- D'Elia (C.F.), Ryther (J.H.) & Losordo (T.M.). 1977. — Productivity and nitrogen balance in large scale phytoplankton culture. *Water Res.*, 11 : 1031-1040.
- de la Noüe (J.), Picard (G.), Piette (J.P.) & Kirouac (C.). 1980. — Utilisation de l'algue *Oocystis* sp. pour le traitement tertiaire des eaux usées. II. Effet de conditionnement préalable des cellules en cyclostasat sur leur vitesse de prise en charge de l'azote lors d'incubation de longue durée. *Wat. Res.* 14 : 1125-1130.
- de la Noüe (J.), Thellen (C.) & Van Coillie (R.). 1983. — *Traitements tertiaires d'eaux usées municipales par production de biomasses d'algues*. Rapport de recherche présenté à Agriculture Canada, Eco-Recherches Ltée et Centre de recherche en nutrition, 155 p.
- de la Noüe (J.), Cloutier-Mantha (L.), Walsh (P.) & Picard (G.). 1984. — Influence of Agitation and Aeration Modes on Biomass Production by *Oocystis* sp. Grown on Wastewaters. *Biomass* 4 : 43-58.
- Fallowfield (H.D.) & Barret (M.K.). 1985. — The photosynthetic treatment of pig slurry in temperate climatic conditions : a pilot plan study. *Agricult. Wastes*, 12 : 111-136.
- Goh (A.). 1986. — Production of microalgae using pig waste as a substrate. In Barclay W.R. & McIntosh, R.P. (eds), *Algal Biomass Technologies* J. Cramer, Berlin : 235-244.

- Goldman (J.). 1979. — Outdoor algal mass cultures. I. Applications. *Wat. Res.*, 13 : 1-19.
- Goldman (J.C.) & Ryther (J.H.). 1975. — Nutrient transformations in mass cultures of marine algae. *J. Environ. Eng. Div. Am. Soc. Civ. Engin.*, 101, EE3 : 351-364.
- Jorgensen (S.E.). 1979. — *Handbook of environmental data and ecological parameters*. Jorgensen (éd.), Int. Soc. Ecol. Modell., 1 : 162 p.
- Kawasaki (L.Y.), Tarifeño-Silva (E.), Yu (D.P.), Gordon (M.S.) & Chapman (D.J.). 1982. — Aquacultural approaches to recycling of dissolved nutrients in secondarily treated domestic wastewaters. I. Nutrient uptake and release by artificial food chains. *Wat. Res.*, 16 : 37-49.
- Kuentzel (L.E.). 1970. — Bacteria-algae symbiosis : a cause of algal bloom. In *Bioresources of shallow water environments*. Proceedings of the Symposium of Hydrobiology. Ed. Weist-Greeson - the American Water Resources Association.
- Lavoie (A.) & de la Noüe (J.). 1983. — Harvesting microalgae with chitosan and economical feasibility. *J. World Maricult. Soc.*, 14 : 685-694.
- Lehman (J.T.), Botkin (D.B.) & Likens (G.E.). 1975. — The assumptions and rationales of a computer model of phytoplankton population dynamics. *Limnol. Oceanogr.* 20 : 343-364.
- Lincoln (E.P.) & Hill (D.T.). 1980. — An integrated microalgae system. In Shelif, G. & Soeder, C.J. (éds), *Algae Biomass*, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam : 229-244.
- Mur (L.R.), Gons (H.J.) & Vanlière (L.). 1978. — Competition of the green alga *Scenedesmus* and the blue green alga *Oscillatoria*. *Mitt. Int. Verh. Limnol.*, 21 : 473-479.
- Nichols (H.W.). 1973. — Growth media : freshwater. In J.R. Stein (éd.), *Handbook of phyecological methods.*, Cambridge : 7-24.
- Oswald (W.J.). 1969. — Current status of microalgae from wastes. *Chem. Eng. Prog. Symp. Ser.*, 65 : 87-92.
- Oswald (W.J.). 1988. — Micro-algae and waste-water treatment. In Borowitzka, M.A. & Borowitzka L.J. (éds), *Micro-algal biotechnology*, Cambridge University Press, Cambridge : 305-328.
- Pouliot (Y.) & de la Noüe (J.). 1985. — Mise au point d'une installation pilote de traitement tertiaire des eaux usées par micro-algues. *Rev. Frçse Sci. Eau*, 4 : 207-222.
- Pouliot (Y.), Buelna (G.) & de la Noüe (J.). 1986. — Caractérisation de différentes micro-algues pour la valorisation d'effluents polluants. Proceedings of the Renewable Energy Conference '86. « Solar Energy Society of Canada Inc », and « The Biomass Energy Institute Inc », Winnipeg, 23-26 June : 5-9.
- Proulx (D.) & de la Noüe (J.). 1985. — Growth of *Daphnia magna* on urban wastewater tertiarily treated with *Scenedesmus* sp. *Aquacult. Engineer.*, 4 : 93-111.
- Richmond (A.) & Becker (W.). 1986. — Technological aspects of mass cultivation - a general outline, in Richmond A. (éd.), *Handbook of microalgal mass culture*, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida : 245-263.
- Sérodos (J.-B.), Walligora (J.J.) & de la Noüe (J.). 1986. — Traitement tertiaire des eaux usées domestiques par microalgues. Proceedings, 9th Symposium on wastewater treatment. Montréal, 11-12 novembre : 237-249.
- Shelif (G.), Schwartz (M.) & Schechter (H.). 1973. — Prediction of photosynthetic biomass production in accelerated algal-bacterial wastewater treatment systems, in Jenkins, S.H. (éd.), *Advances in Water Pollution Research*, Pergamon Press, Oxford : 181-189.
- Shelif (G.), Moraine (R.), Meydan (A.) & Sandbank (E.). 1976. — Combined algae production-wastewater treatment and reclamation system. In Schlegel, H.G. & Barnea J. (Eds.), *Microbial Energy Conversion*, Erich Goltze kg, Göttingen : 427-442.
- Shelif (G.), Oron (G.) & Moraine (R.). 1977. — Combined systems for algal wastewater treatment and reclamation and protein production, Environmental Engineering Research Center, Technion, Haifa.
- Shelif (G.), Azov (Y.), Moraine (R.) & Oron (G.). 1980. — Algal mass production as an integral part of a wastewater treatment and reclamation systems. In : Shelif G. & Soeder C.J. (eds), *Algae Biomass*, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam : 163-89.
- Sorokin (C.). 1973. — Dry weight, packed cell volume and optical density. In Stein J.R. (éd.), *Handbook of phyecological methods*, Cambridge University Press : 321-343.
- Strickland (J.D.H.) & Parsons (T.R.). 1972. — *A practical handbook of sea water analysis*. Fisheries research board of Canada (éd), 310 p.
- Tarifeño-Silva (E.), Kawasaki (L.Y.), Yu (D.P.), Gordon (M.S.) & Chapman (D.J.). 1982. — Aquacultural approaches to recycling of dissolved nutrients in secondarily treated domestic wastewaters. II. Biological productivity of artificial food chains. *Wat. Res.*, 16 : 51-57.
- Venkataraman (L.V.), Nigam (B.P.) & Ramanathan (P.K.). 1980. — Rural oriented freshwater cultivation and production of algae in India. In : Shelif G. & Soeder C.J. (eds), *Algae Biomass*, Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam : 81-95.