



CONTRÔLE NUTRITIF DE LA BIOMASSE DU SESTON DANS UNE LAGUNE TROPICALE DE CÔTE D'IVOIRE. II. VARIATIONS GÉOGRAPHIQUES ET SAISONNIÈRES

P. DUFOUR, L. LEMASSON et J. L. CREMOUX
ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris, France

Résumé: Le régime nutritif du seston de la lagune tropicale Ebrié est étudié par application du principe des concentrations internes minimales.

La biomasse sestonique est limitée principalement par le P en régions continentales lagunaires. Dans la région d'estuaire, l'N est l'élément nutritif le plus limitant. Alors qu'en régions continentales, cette limitation nutritive est effective in situ, elle est masquée par d'autres facteurs en région d'estuaire. En toutes régions la fréquence de la limitation par l'N augmente en saison sèche. Ces variations sont sous la dépendance du régime nutritif des eaux qui s'échangent en lagune. Les eaux océaniques sont nettement carencées en N, les eaux ayant pour origine la région de savane le sont de façon moins intense, tandis que celles provenant de la région forestière sont carencées en P.

Un indice est proposé qui permet d'apprécier par un seul nombre l'intensité des limitations nutritives d'un prélèvement. Le seston ne croît plus lorsque ses concentrations internes en N et P sont inférieures aux valeurs minimales proposées précédemment et confirmées ici: $k_{QN} = 0,089$ at N/at C et $k_{QP} = 0,0055$ at P/at C.

Abstract: The Ebrié lagoon is a coastal tropical lagoon of Ivory Coast which is faced with eutrophication problems due to sewage. In order to solve them, there is a need for a better knowledge of the factors which control the sestonic biomass and among them, nutrients.

Sestonic biomass is generally and effectively limited by P in the most continental regions of the lagoon. In estuarine regions, N is the most often limiting nutrient but this limitation is only potential due to the influence of non-nutritive factors. In all regions, the frequency of N limitation increases during the dry season. These geographical and seasonal variations are directly affected by the nutrient content of water flowing into the lagoon. Oceanic waters are clearly limited by N. Waters coming from the savannah area are also limited by N, but less intensely. Waters flowing from forested areas are limited by P.

A simple index is proposed, which allows an estimation of the intensity of nutrient limitation. The mean values $k_{QN} = 0.089$ at N/at C and $k_{QP} = 0.0055$ at P/at C for the internal subsistence quota in the lagoon Ebrié seston, which were proposed in a earlier paper, are confirmed.

INTRODUCTION

Une des caractéristiques de l'écosystème lagunaire Ebrié est sa variabilité spatiale et temporelle. Cette variabilité est essentiellement due à sa configuration ramifiée, à l'intrusion d'eaux océaniques et continentales en certains points, et au climat tropical. En outre, diverses pollutions d'origine agricole, domestique ou industrielle

Les variations géographiques et saisonnières de la chlorophylle *a* en lagune Ebrié ont été décrites par Pagès *et al.* (1979). Celles des abondances et des biovolumes de phytoplancton ont été décrites par Maurer (1978). Nous nous intéressons ici à celles du seston organique et au rôle qu'y jouent les éléments nutritifs.

Dans un précédent article (Dufour *et al.*, 1981), nous avons mis en évidence le rôle essentiel de l'N et du P, limitant toujours plus la biomasse sestonique que les autres éléments nutritifs en lagune Ebrié. Nous avons également constaté que le rôle de ces éléments n'est pas toujours effectif *in situ* étant masqué par d'autres facteurs non nutritifs. Le nombre de prélèvements utilisés alors (12) était insuffisant pour décrire les variations régionales et saisonnières. Il nous a cependant permis de choisir une méthode convenant au milieu et à nos données. Nous l'utilisons ici sur 245 prélèvements avec trois objectifs: (1) déterminer pour chacune des régions et saisons définies plus bas quel est l'élément nutritif, N ou P, le plus susceptible de limiter la biomasse du seston; (2) évaluer si ce contrôle est effectif *in situ*, ou seulement potentiel; et (3) rechercher l'origine des variations géographiques et saisonnières.

MÉTHODES; DÉCOUPAGE GÉOGRAPHIQUE ET SAISONNIER

Le seston considéré ici est celui passant au travers d'une soie à plancton de 200 μm et retenu sur un filtre en fibre de verre Gelman type A, de porosité moyenne 0,3 μm , à une dépression de 100 mbar. Sa biomasse est évaluée par le carbone (C_p), ne tenant donc compte que de la fraction organique. Les prélèvements ont été effectués à 50 cm de profondeur. Les concentrations en NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , N, P, C ont été évaluées selon les méthodes indiquées par Dufour *et al.* (1981).

Le découpage saisonnier est celui adopté par Pagès *et al.* (1979). (1) Saison sèche de janvier à avril: l'influence des eaux marines est alors maximale; (2) saison des pluies de mai à août: l'écosystème est sous l'influence des précipitations sur la zone forestière (ou guinéenne) du sud du pays; et (3) saison des crues de septembre à décembre: influence prépondérante des eaux du fleuve Comoe drainant la zone de

(III r). Elles croissent de part et d'autre vers les régions continentales, modérément vers l'est, en région II et I, de façon plus accentuée vers l'ouest, en régions IV, V et VI. Elles sont 4 à 8 fois plus élevées selon les saisons dans la région continentale la plus occidentale (VI) que dans la région d'estuaire (III r). Dans la région d'estuaire, les eaux de la partie urbaine (III u) ont toute l'année des biomasses deux fois plus élevées que celles de la partie rurale (III r). Entre saisons, les médianes varient peu à l'exception de la région IV nettement plus riche en saison des crues.

Sur la Fig. 2 sont aussi portés les 10ème et 90ème percentiles des concentrations en C. L'aire comprise entre ces limites traduit la dispersion des mesures. Ces

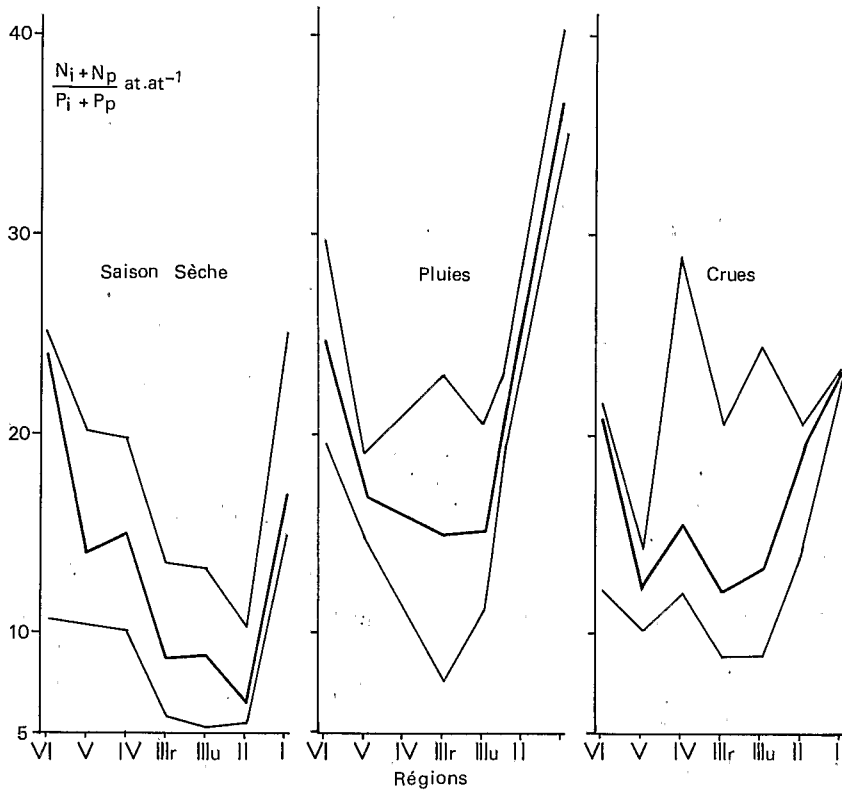
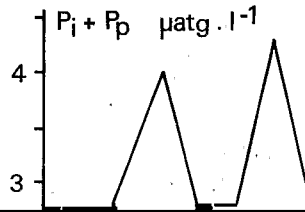
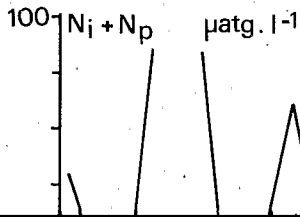


Fig. 3. Variations saisonnières et régionales du rapport $N_i + N_p / P_i + P_p$.



(III) et croît de part et d'autre pour atteindre ses valeurs maximales dans les

la biomasse potentielle varie peu d'une saison à l'autre. Par rapport à une biomasse potentielle moyenne de 150 à 200 $\mu\text{atg}\cdot\text{l}^{-1}$, on observe deux foyers permanents

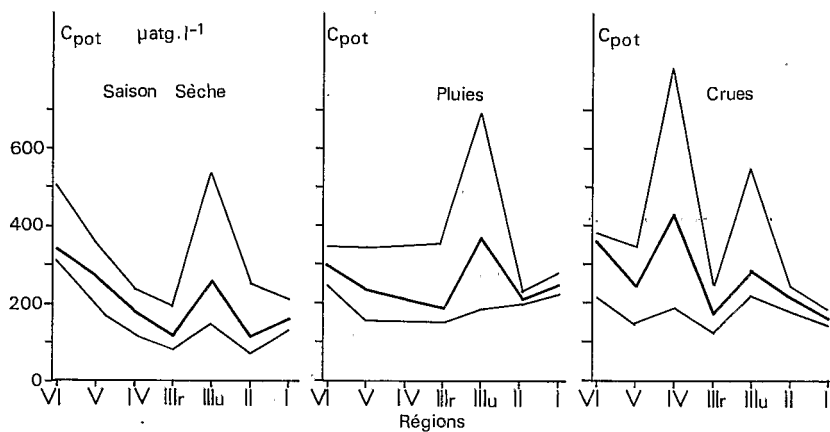


Fig. 5. Variations saisonnières et régionales de la biomasse sestonique potentielle

Nous en déduisons que les biomasses du seston des régions les plus continentales sont le plus souvent contrôlées par les éléments nutritifs. Par contre, en région

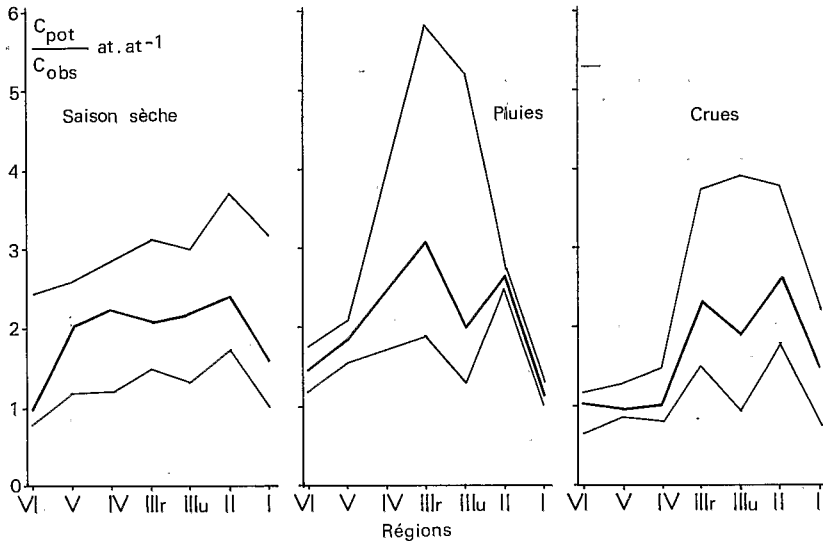


Fig. 6. Variations saisonnières et régionales de l'indice de limitation nutritive C_{pot}/C_{obs} : plus l'indice est faible plus la limitation nutritive est probable.

d'estuaire et en région II, d'autres facteurs interviennent. Les régions intermédiaires IV et V passent d'une absence de limitation nutritive en saison sèche à une limitation nutritive en saison des crues.

DISCUSSION

VALEUR DES HYPOTHÈSES DE DÉPART

Tous les résultats qui précèdent sont basés sur deux hypothèses issues de l'étude précédente (Dufour *et al.*, 1981): (1) les concentrations internes minimales k_{QN} et k_{QP} évaluées sur 12 prélèvements sont applicables à l'ensemble de la lagune; et (2) les quantités d'N et de P encore assimilables sont égales aux formes minérales dissoutes seules.

Ces deux hypothèses peuvent paraître audacieuses, vu l'hétérogénéité de l'écosystème lagunaire Ebrié. Nous en avons testé la validité sur une quarantaine d'échantillons d'origine géographique et saisonnière diverse. Ces échantillons ont été passés sur une soie à plancton de $200 \mu\text{m}$, mis en incubation *in vitro* sous lumière non limitante et agités deux fois par jour. Nous avons de la sorte diminué les effets limitants de la lumière, du broutage et de la sédimentation sur la biomasse

sestonique. Dans ces conditions, ce sont généralement les sels nutritifs azotés ou phosphorés qui limitent. C'est ce que montrent les concentrations N_i ou P_i quasi nulles lorsque la biomasse atteint son maximum (C_{max}). C'est ce que montrent aussi les enrichissements artificiels en N ou P qui permettent un accroissement supplémentaire de biomasse (Dufour *et al.*, 1981).

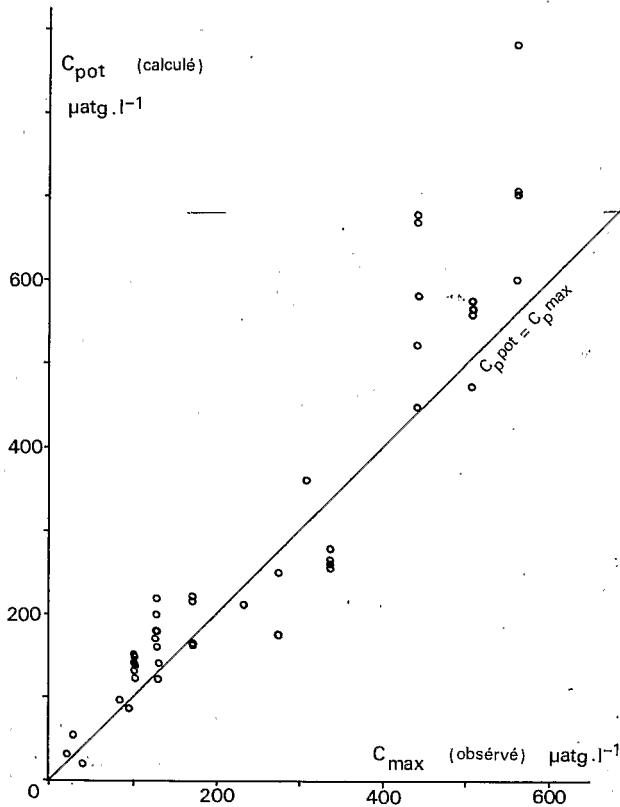


Fig. 7. Comparaison pour un même prélèvement de la biomasse potentielle calculée (C_{pot}) à la biomasse maximale observée in vitro (C_{max}).

La biomasse maximale (C_{max}) atteinte au cours de ces incubations a été comparée à la biomasse potentielle C_{pot} prévue par le milieu d'origine au moyen des relations (1) ou (2). Nous constatons (Fig. 7) que C_{pot} est très proche de C_{max} . Ceci valide à postériori les relations (1) et (2), les hypothèses en question qui en sont la base, et les valeurs des k_0 adoptés.

DISPERSION DES DONNÉES

Une dispersion importante des valeurs des paramètres étudiés s'observe à l'intérieur de la plupart des groupes saison-région. Elle est d'abord la conséquence

en novembre-décembre (Tastet, 1974). Suite à ces remarques, en extrapolant les nuages de points de la Fig. 8 à la salinité 0‰ et en tenant compte de la contamination mutuelle des deux catégories d'eau douce, on déduit que les eaux d'origine guinéenne ont un rapport $N_p + N_i/P_p + P_i$ supérieur à 20 at \cdot at $^{-1}$. Elles seraient donc plus limitées par P que par N. Le rapport $N_p + N_i/P_p + P_i$ des eaux soudanaises est probablement inférieur à 15. Elles sont donc plutôt limitées par N. Ces limitations nutritives dans les eaux intérieures ouest-africaines n'ont à notre connaissance jamais été étudiées. D'où l'intérêt des indices fournis ici, qui demandent néanmoins à être confirmés par des mesures sur les rivières elles-mêmes.

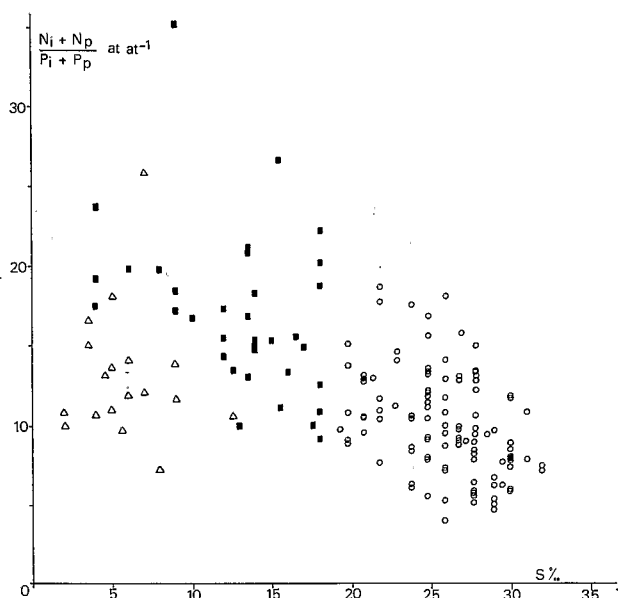


Fig. 8. Rapport de l'N au P "utiles" en fonction de la salinité du milieu en région III: O, saison sèche, prélèvements des autres saisons à $S_{\text{‰}} > 18$; Δ , début de la saison des crues (mi-septembre-fin octobre); ■, saison des pluies et fin de la saison des crues (novembre et décembre).

Des mesures effectives sur deux rivières ivoiriennes à bassin versant exclusivement guinéen, la rivière du Banco (données non publiées) et la rivière Do (Rai, 1974) indiquent respectivement des rapports moyens N_i/P_i de 117 et 28. Par contre, pour quatre autres points de prélèvements sur des rivières de la zone soudanaise, Rai indique pour ce même rapport des valeurs inférieures à 16. Dans l'un et l'autre cas, ces valeurs vont dans le sens de nos déductions. Il y manque cependant les analyses

FOYERS D'ENRICHISSEMENTS NUTRITIFS

La richesse potentielle moyenne de la région d'estuaire urbain (III u) est deux fois supérieure à celle d'estuaire rural: III r (Fig. 5); ce qu'on explique bien par les

minimale de $0,0055 \text{ at} \cdot \text{at}^{-1}$ (Fig. 9). Elles sont aussi confirmées par Lemasson *et al.* (en prép.) qui notent dans ces régions une assimilation excessive de C par rapport au P, avec des rapports $\Delta C_p / \Delta P_p$ supérieurs à 300. Par ailleurs, Lemasson *et al.* (en prép.) observent dans ces régions des rapports C_p / ATP supérieurs à 850 mg/mg dans 90% des cas. Ceci est l'indice d'une proportion élevée de tripton, hypothèse cependant insuffisante pour expliquer ces valeurs. C'est aussi l'indice de limitation

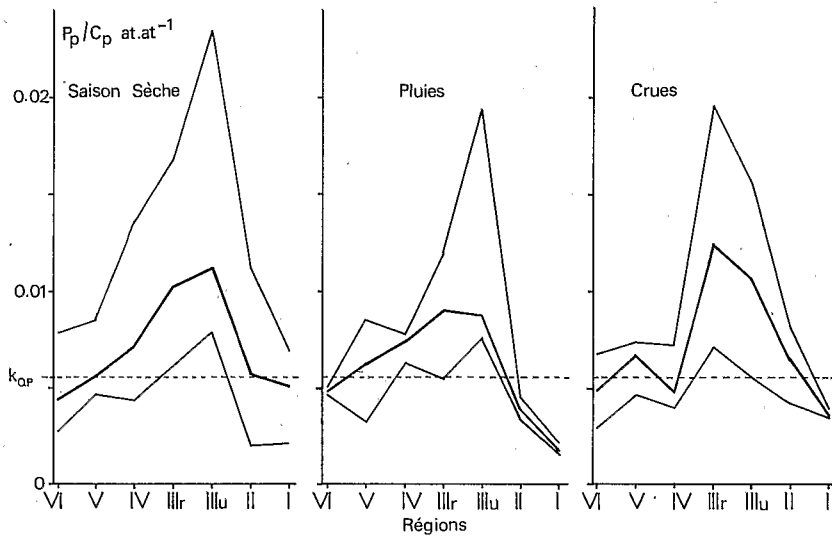


Fig. 9. Variations saisonnières et régionales de la concentration interne du seston en phosphore.

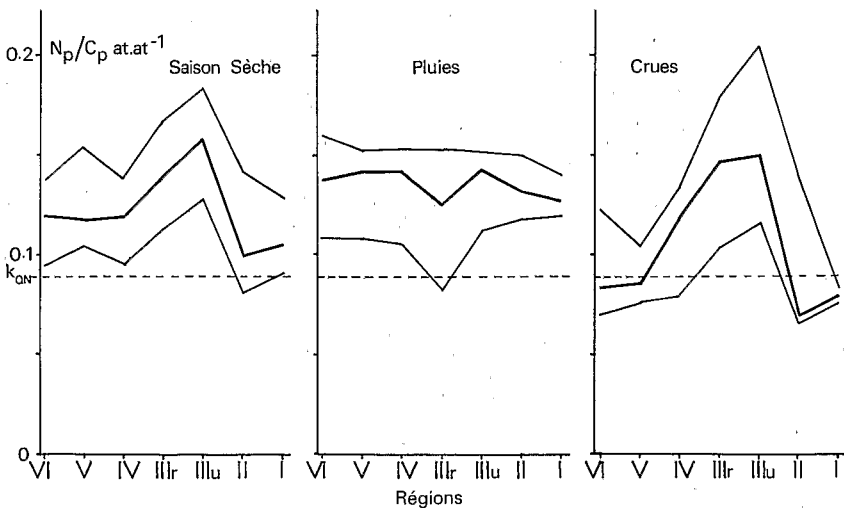


Fig. 10. Variations saisonnières et régionales de la concentration interne du seston en azote.

du plancton par le P. En effet, des rapports aussi ou plus élevés sont notés par Cavari (1976) et Perry (1976) sur des cultures phytoplanctoniques carencées en P. Tout apport supplémentaire de P dans les régions continentales semble donc devoir être suivi d'un accroissement de l'eutrophie.

Dans la région d'estuaire, l'N est l'élément nutritif le plus fréquemment limitant. Cependant, cette limitation n'est pas le plus souvent effective (elle n'est que potentielle), étant masquée par d'autres facteurs non nutritifs. Cette conclusion est confirmée par les compositions du seston N_p/C_p et P_p/C_p , qui y sont généralement supérieures aux concentrations limites (Figs. 9 et 10). Quand une carence nutritive effective existe, ce qui se produit rarement, elle est le fait de l'N. Les apports supplémentaires de P par les effluents de la ville n'auraient donc pas d'effet sur la biomasse sestonique, du moins quantitativement.

CONCLUSIONS

Les abondances d'N et P relativement aux besoins du seston nous indiquent que l'N est l'élément nutritif limitant principal en région d'estuaire, tandis que le P est plus limitant en régions continentales. Ces différences apparaissent essentiellement liées aux variations de l'N (particulièrement "particulièrement") dans le milieu. Les

étude en cours démontre le rôle de la stabilité hydrochimique du milieu et de la fraction de la lumière incidente absorbée par le phytoplancton.

Par rapport à la région d'estuaire rural, la région d'estuaire urbain polluée par les égouts d'Abidjan est en moyenne deux fois plus riche en N et P utilisable ($N_p + N_i$ et $P_p + P_i$). L'N y est aussi l'élément nutritif le plus limitant. Cependant, comme en région rurale, un autre facteur non nutritif contrôle la biomasse sestonique.

Ces conclusions présentent un intérêt appliqué évident. Elles montrent tout d'abord qu'il est inefficace de lutter contre l'eutrophisation excessive de la région d'Abidjan (estuaire urbain) par élimination du P des effluents, comme cela a été envisagé. Non seulement le phosphore n'y est pas l'élément de contrôle de la biomasse sestonique, mais en outre, ce contrôle est généralement le fait de facteurs non nutritifs. Par contre, la limitation de la biomasse sestonique par élimination du P des effluents pourrait être efficace en région continentale, surtout dans les eaux d'origine guinéenne, à supposer évidemment que cette limitation soit souhaitable, problème qui sort de nos préoccupations ici.

Cette étude est la première tentative d'application de la théorie des concentrations internes minimales aux eaux intérieures ouest-africaines. Les valeurs des concentrations adoptées demandent à être précisées pour la lagune dans différentes situations et pour d'autres écosystèmes.

Il conviendrait également d'expliquer pourquoi en lagune Ebrié l'N et le P sous forme organique dissoute peuvent être négligés dans l'estimation des éléments nutritifs assimilables. Sont-ils en majeure partie non assimilables effectivement et

RÉFÉRENCES

- CAVARI, B., 1976. ATP in lake Kinneret: indicator of microbial biomass or of phosphorus deficiency? *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 21, pp. 231-236.
- DROOP, M. R., 1973. Some thoughts on nutrient limitation in algae. *J. Phycol.*, Vol. 9, pp. 264-272.
- DROOP, M. R., 1974. The nutrients status of algal cells in continuous culture. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, Vol. 54, pp. 825-855.
- DROOP, M. R., 1975. The nutrient status of algal cells in batch culture. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, Vol. 55, pp. 541-555.
- DUFOUR, P. & M. SLEPOUKHA, 1975. L'oxygène dissous en lagune Ebrié: influence de l'hydroclimat et des pollutions. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, Vol. 6, pp. 75-118.