



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 y accélèrent en certains secteurs les processus d'eutrophication; ce qui se manifeste par des biomasses du seston élevées dont le contrôle nécessite la connaissance des mécanismes de production et parmi eux, le rôle des éléments nutritifs.

15 NOV. 1983

O. K. S. I. O. M. FUNDS DOCUMENTS

N° : 3740

Cote : B

B3740

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 $200\ \mu\text{m}$ et retenu sur un filtre en fibre de verre Gelman type A, de porosité moyenne $0,3\ \mu\text{m}$, 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 , P_p , C_p ont été évaluées selon les méthodes indiquées par Dufour *et al.* (1981). Les abréviations utilisées sont les mêmes que dans cet article. Les concentrations sont exprimées en $\mu\text{atg} \cdot \text{l}^{-1}$ et les rapports de concentrations en $\text{at} \cdot \text{at}^{-1}$.

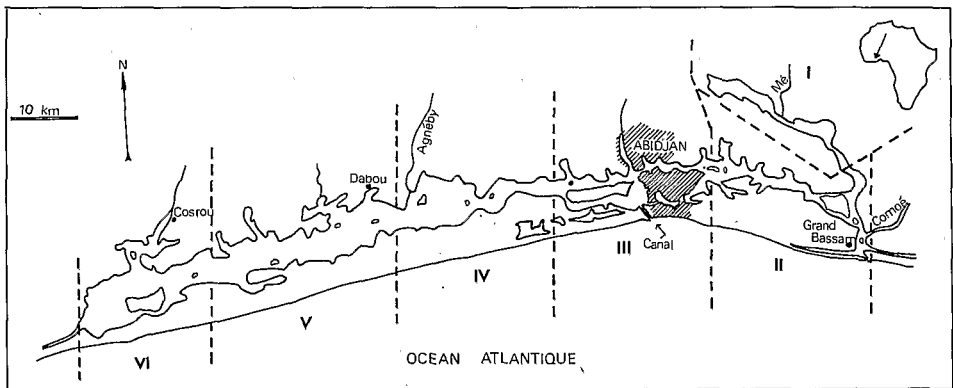


Fig. 1. La lagune Ebrié: les régions d'étude.

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 de 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 savane (ou soudanaise) du nord du pays.

Le découpage géographique (Fig. 1) est celui adopté par Durand *et al.* (1978) et Pagès *et al.* (1979). La principale communication avec l'océan se fait au travers du canal de Vridi en région III ou région d'estuaire. L'influence de l'océan s'atténue au fur et à mesure qu'on s'approche des régions les plus continentales (IV, V et VI à l'ouest, II et I à l'est). Dans la région d'estuaire, nous avons distingué une région III urbaine dont le bassin versant est occupé par la ville d'Abidjan, d'une région III rurale à bassin versant non urbanisé, ou bien soumise à de forts courants diluant les rejets de l'agglomération.

Pour chaque paramètre étudié, nous avons caractérisé chacune des 21 combinaisons saison-région par sa médiane. La dispersion a été estimée par les 10èmes et 90èmes percentiles, l'intervalle entre ces deux limites contenant 80% des valeurs (Snedecor & Cochran, 1971). Lorsque plusieurs mesures ont été effectuées le même jour à la même station, nous n'avons considéré que leur médiane afin de ne pas leur attribuer un poids excessif dans la détermination de la médiane saison-région.

RÉSULTATS

VARIATIONS GÉOGRAPHIQUES ET SAISONNIÈRES DE LA BIOMASSE DU SESTON

Les médianes de la biomasse sestonique pour chaque région et saison sont portées sur la Fig. 2. Elles varient entre 60 et 450 $\mu\text{atg} \cdot \text{m}^{-3}$ (720 et 5400 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$). On n'observe que les concentrations sont toujours minimales en région d'estuaire rurale

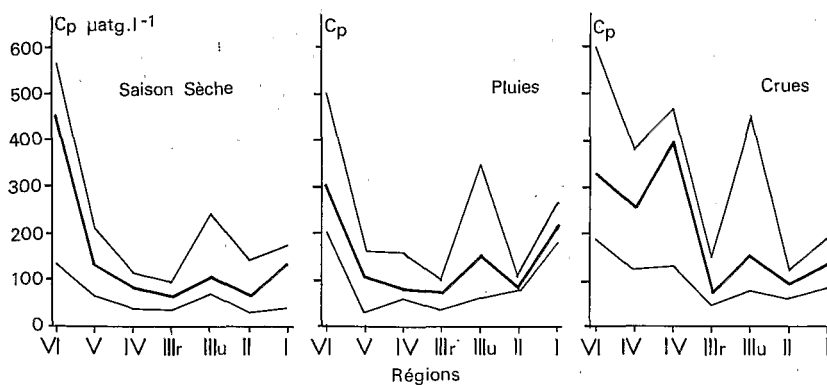


Fig. 2. Variations saisonnières et régionales des teneurs en carbone particulaire: valeurs médianes, 10ème et 90ème percentiles.

(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_p . L'aire comprise entre ces limites traduit la dispersion des mesures. Ces variations de la biomasse du seston résultent en partie de flux internes au milieu, entre la phase dissoute et la phase particulaire. Nous nous proposons maintenant d'examiner le rôle des sels nutritifs dans ces flux.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS CONTRÔLANT LA BIOMASSE SESTONIQUE

Nous avons vu que l'N et le P contrôlent la biomasse sestonique avant les autres éléments nutritifs en lagune Ebrié (Dufour *et al.*, 1981). Pour une espèce phytoplanctonique donnée, la carence de N par rapport au P peut se tester à l'aide de son rapport de composition interne N_p/P_p . En dessous d'une valeur optimale propre à l'espèce, il y a limitation nutritive d'abord par l'N, au-dessus d'abord par le P. On peut par extrapolation concevoir un rapport optimal moyen pour une population naturelle, en l'occurrence le seston, notre méthodologie ne permettant pas de distinguer le phytoplancton des autres constituants du seston. Ce rapport optimal moyen de composition du seston N_p/P_p varie peu en lagune Ebrié; il est en moyenne de 16 at/at (Dufour *et al.*, 1981).

La comparaison du rapport de composition interne du seston: N_p/C_p observé à ce rapport optimal de 16 ne permet pas à elle seule de déterminer l'élément le plus limitant. L'N et le P peuvent en effet être aussi disponibles sous forme dissoute et cela dans un rapport autre que dans le seston. En définitive, le rapport qui nous intéresse est celui de l'N au P sous leurs formes à la fois particulaires (ou assimilées) et encore "particularisables" (ou assimilables). Nous avons vu qu'en lagune Ebrié, les formes minérales dissoutes: $N_i = NO_2^- + NO_3^- + NH_4^+$ et $P_i = PO_4^{3-}$ estiment bien les quantités encore assimilables (Dufour *et al.*, 1981). Donc, la biomasse du seston autorisée par le P du milieu est proportionnelle à $P_p + P_i$ (formes utiles de P), celle autorisée par l'N est proportionnelle à $N_p + N_i$ (formes utiles d'N). La valeur du rapport $N_p + N_i/P_p + P_i$ nous indique quel est l'élément limitant le plus probable (au-dessus de 16: plutôt le phosphore; au-dessous: plutôt l'azote).

Les valeurs médianes du rapport $N_p + N_i/P_p + P_i$ ainsi que les 10èmes et 90ème percentiles sont représentés pour chaque saison et chaque région (Fig. 3). Malgré une grande dispersion (matérialisée par l'aire comprise entre les percentiles), on note un certain nombre de tendances géographiques et saisonnières.

Géographiquement, en toutes saisons, le rapport est minimal en région d'estuaire

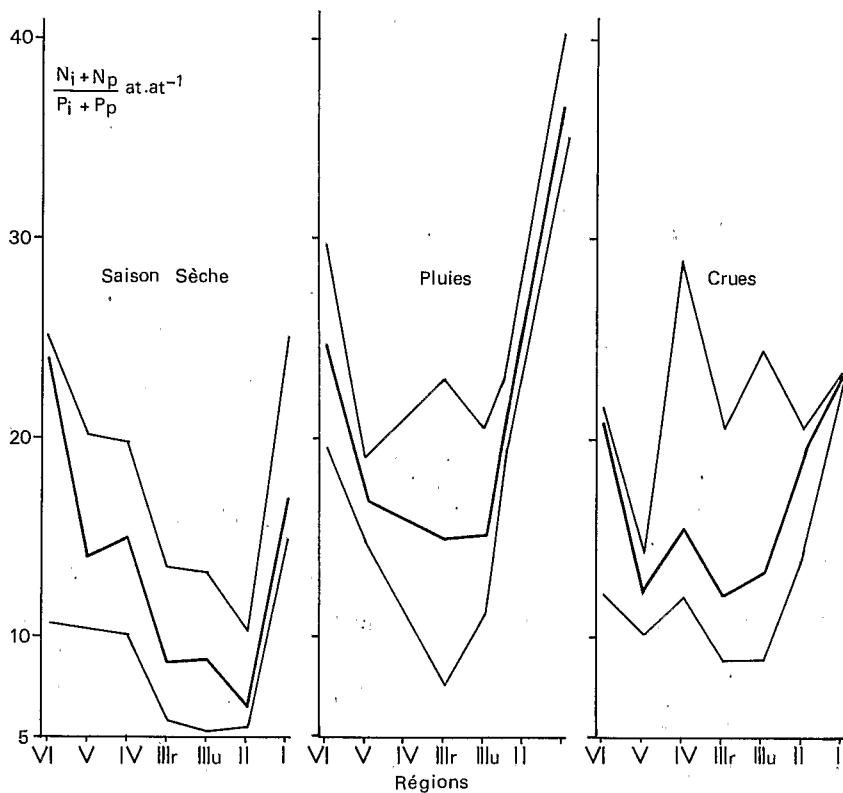


Fig. 3. Variations saisonnières et régionales du rapport $N_i + N_p / P_i + P_p$.

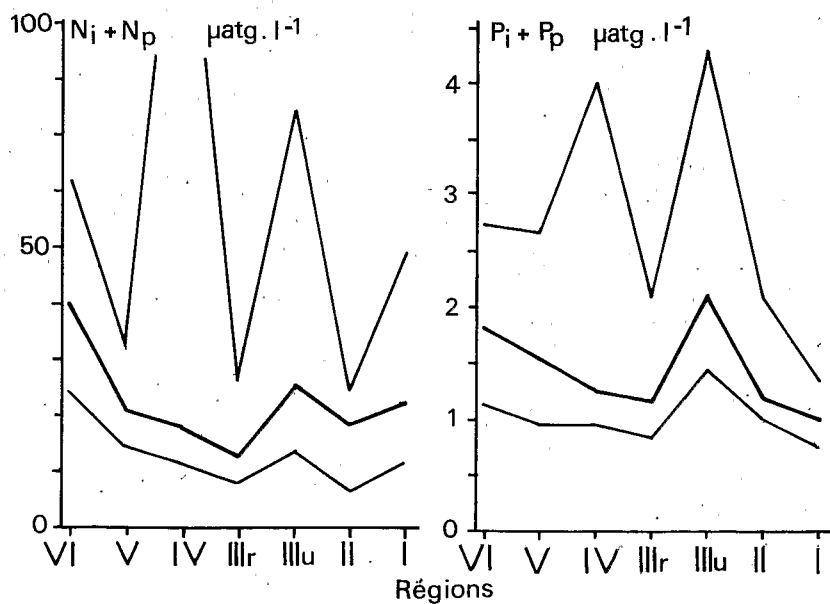


Fig. 4. Variations régionales des teneurs en phosphore et azote "utile".

(III) et croît de part et d'autre pour atteindre ses valeurs maximales dans les régions les plus continentales (I et VI). En région d'estuaire, le rapport est inférieur à 16 dans 83% des cas. Dans cette région l'N est le plus souvent limitant avant le P. En région I et VI confondues, le rapport est supérieur à 16 dans 81% des cas. En régions les plus continentales donc, le P est plus souvent limitant que l'N. Ces différences régionales sont surtout dues à l'N. En effet, les concentrations $P_i + P_p$ varient peu d'une région à l'autre, contrairement à celles de $N_i + N_p$, trois fois plus importantes en région la plus occidentale (VI), qu'en région d'estuaire (Fig. 4).

Saisonnement, pour toutes les régions, on remarque que le rapport est le plus faible en saison sèche, le plus fort en saison des pluies, intermédiaire en saison des crues (Fig. 3). La fréquence de la limitation par l'N décroît donc dans l'ordre: saison sèche, saison des crues, saison des pluies.

La connaissance de l'élément nutritif le plus limitant permet de calculer la biomasse sestonique qu'elle autorise, que nous appelons la biomasse potentielle, C_{pot} .

BIOMASSE SESTONIQUE POTENTIELLE

Droop (1973, 1974, 1975) définit pour chaque espèce phytoplanctonique et chaque élément nutritif, une concentration interne minimale k_Q , au-dessous de laquelle il n'y a plus de croissance. Nous avons extrapolé cette notion aux populations naturelles plurispécifiques de la lagune. Les valeurs obtenues malgré des conditions de milieu très variables, varient peu et ont pour moyenne (Dufour *et al.*, 1981):

$$k_{QP} = \left(\frac{P_p}{C_p} \right) \min = 0,0055$$

$$k_{QN} = \left(\frac{N_p}{C_p} \right) \min = 0,089.$$

Nous reviendrons sur la valeur de ces moyennes dans la discussion. Ces concentrations internes minimales étant admises, nous pouvons calculer pour un prélèvement donné la biomasse maximale autorisée par l'élément N ou P qui est le plus limitant (biomasse potentielle, C_{pot}). Elle est égale au quotient des concentrations de cet élément sous forme à la fois assimilée (particulaire) et encore assimilable (particularisable) par sa concentration interne minimale. En lagune Ebrié, elle est donc égale à la plus faible des deux valeurs:

$$C_{pot} = N_p + N_i/0,089 \quad (1)$$

$$C_{pot} = P_p + P_i/0,0055 \quad (2)$$

Il est donc possible de calculer une biomasse potentielle pour tous les prélèvements où N_p , P_p , N_i et P_i sont connus. Les médianes saisonnières et régionales des C_{pot} varient entre 120 et 440 $\text{matg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Fig. 5). Exception faite de la région IV,

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

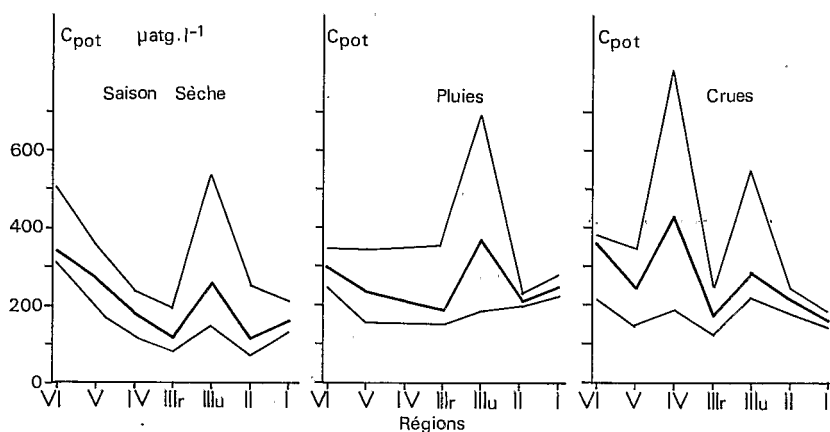


Fig. 5. Variations saisonnières et régionales de la biomasse sestonique potentielle.

d'enrichissement: les régions continentales ouest (V et surtout VI) et la région d'estuaire urbain (III u), ainsi qu'un foyer périodique: la région IV en saison de crues.

INDICE DE LIMITATION NUTRITIVE

La comparaison de la biomasse potentielle et de la biomasse effectivement observée in situ permet de déterminer s'il y a limitation nutritive. Si la biomasse potentielle C_{pot} est supérieure à la biomasse observée C_{obs} , il y a excès d'éléments nutritifs dans le milieu. Dans ce cas, ou bien la biomasse va augmenter, ou bien elle est limitée par des facteurs autres que nutritifs: la limitation nutritive est potentielle. Par contre, si C_{pot} est peu différent de C_{obs} , le seston est en état de limitation nutritive effective, ou en est proche. C_{pot}/C_{obs} est donc un indice de limitation nutritive.

Les médianes de cet indice ont été calculées pour les différentes régions et saisons (Fig. 6). Malgré une dispersion importante, matérialisée par l'aire interceptée entre les 10ème et 90ème percentiles, certaines caractéristiques saisonnières et régionales peuvent être dégagées.

Les indices de limitation nutritive varient peu d'une saison à l'autre, excepté en régions IV et V où ils passent de valeurs supérieures à 2 en saison sèche à 1 en saison de crues. Dans les régions les plus continentales (VI et I), l'indice médian est toute l'année proche de 1, tandis que dans la région d'estuaire il est toute l'année compris entre 2 et 3.

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

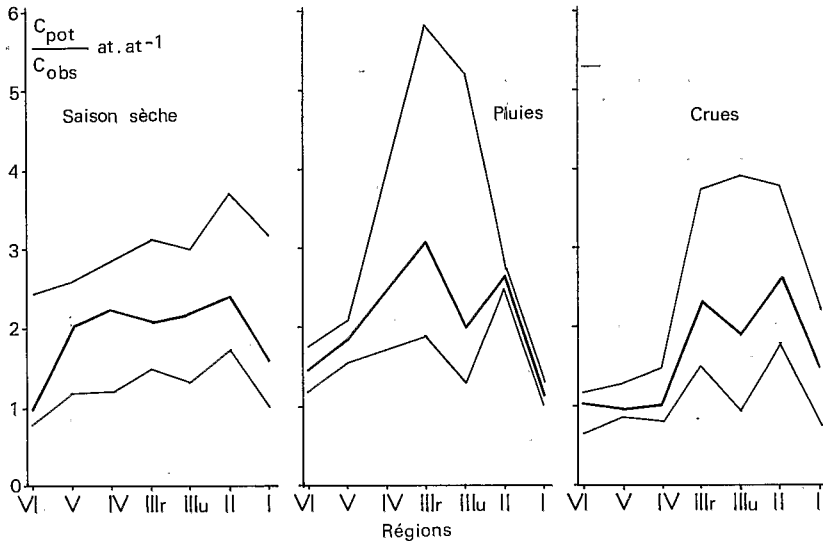


Fig. 6. Variations saisonnières et régionales de l'indice de limitation nutritive C_{pot}/C_{obs} : plus l'indice est faible plus la limitation nutritive est probable.

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).

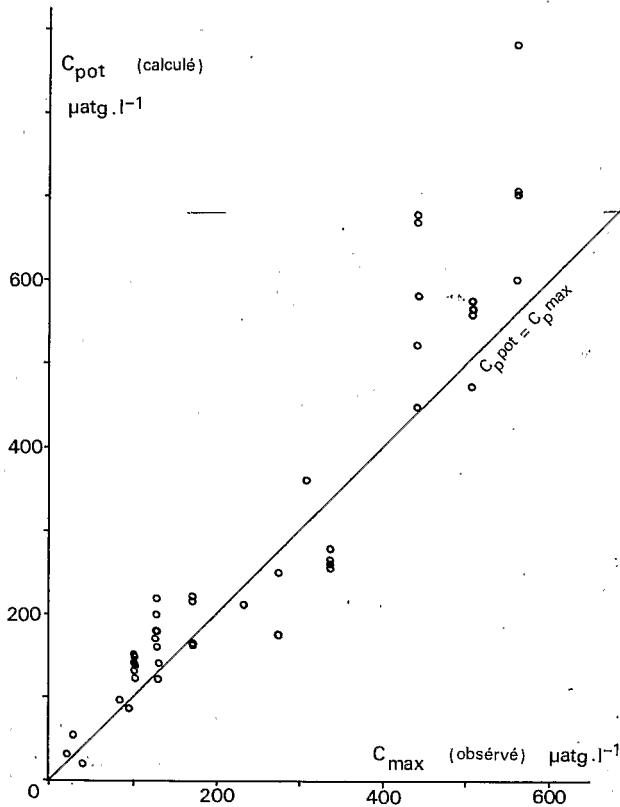


Fig. 7. Comparaison pour un même prélèvement de la biomasse potentielle calculée (C_{pot}) à la biomasse maximale observée in vitro (C_{max}).

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 d'une hétérogénéité spatiale à petite échelle. Dans chaque région, par exemple, existent des gradients géographiques (des rivières et des baies vers le chenal central, des berges vers le centre). Notre découpage a pris en compte ces différentes localisations à l'intérieur d'une même combinaison région-saison. La dispersion des mesures traduit également l'absence relative d'homogénéité temporelle à l'intérieur des saisons. Le découpage adopté (3 saisons de 4 mois), a le double intérêt d'être simple et standard pour les membres de notre équipe de recherche. Mais il ne correspond qu'à un découpage statistique et perfectible, basé sur les grandes variations de l'hydroclimat. Il ne peut prendre en compte les variations spécifiques à chaque année et chaque région. En outre, tout découpage saisonnier inclut nécessairement les intersaisons, ce qui contribue à accroître la dispersion des mesures. En outre, il existe à l'intérieur de chaque saison des "anomalies systématiques" trop peu fréquentes pour qu'on puisse en calculer les moyennes. C'est ainsi qu'en saison sèche, on observe chaque année des précipitations importantes quoique brèves et localisées: les tornades. Enfin, nos mesures incluent les variations nyctémérales tout en négligeant leurs effets.

INFLUENCE DES ÉCHANGES D'EAU

Nous avons observé (Fig. 3) des variations géographiques et saisonnières du rapport $N_p + N_i/P_p + P_i$ et donc des limitations relatives de l'N et du P. La Fig. 8 permet d'interpréter une part de ces variations. On remarque que le rapport $N_p + N_i/P_p + P_i$ diminue des faibles vers les fortes salinités. L'extrapolation du nuage de points à la salinité 35‰ de l'eau de mer nous indique des rapports de moins de 5 at/at, c'est-à-dire nettement inférieurs à 16. Le seston est donc en mer, face au canal de Vridi, limité par l'N, à moins que sa composition optimale n'y soit inférieure à 5 at/at; ce qui est improbable. Cette limitation par l'N confirme différentes observations de A. Herbland, A. Le Bouteiller & B. Voituriez (comm. pers.).

Sur la Fig. 8 nous constatons aussi qu'à salinité équivalente, le rapport est plus faible en début de saison des crues (mi-septembre à fin octobre) qu'en fin de saison des crues (novembre et décembre) et qu'en saison des pluies. Cette caractéristique est à relier au régime des eaux douces à Abidjan. En septembre et octobre, l'essentiel de la dessalure est due aux eaux du fleuve Comoe en crue qui draine alors les précipitations sur la zone soudanaise du nord du pays. De novembre à décembre, le fleuve Comoe et les autres rivières côtières apportent en lagune une proportion croissante d'eau en provenance de la zone guinéenne (couverte de forêts) du sud du pays. En 1970-1972, la proportion d'eau d'origine guinéenne par rapport à l'ensemble des apports d'eau continentale passe de 9% en septembre-octobre à 45%

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.

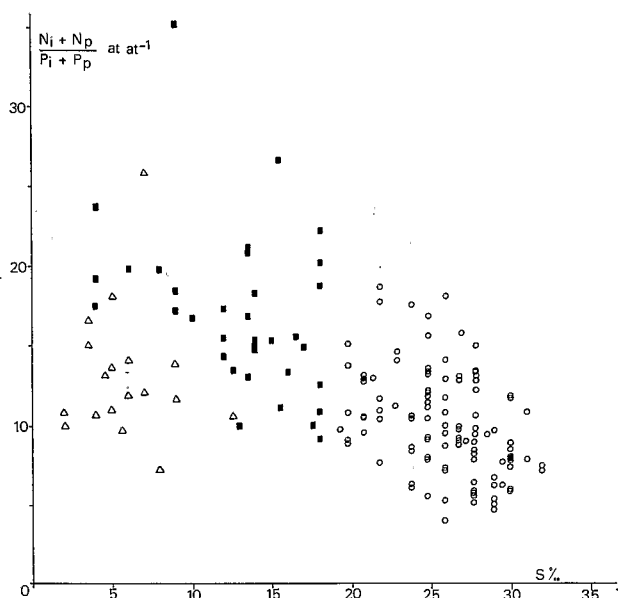


Fig. 8. Rapport de l'N au P "utiles" en fonction de la salinité du milieu en région III: O, saison sèche, prélèvements des autres saisons à $S‰ > 18$; Δ , début de la saison des crues (mi-septembre-fin octobre); ■, saison des pluies et fin de la saison des crues (novembre et décembre).

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 d' N_p et P_p , et surtout des preuves plus directes (expériences d'enrichissement par exemple).

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 pollutions organiques auxquelles la région urbaine est soumise (Dufour & Slepoukha, 1975).

Nous expliquons moins bien la richesse potentielle des régions V et VI, qui ne sont pourtant le siège d'aucun rejet agricole ou industriel important et où n'aboutit aucune grande rivière. Le débit annuel des rivières y représente moins de 3% de celui de l'ensemble des affluents de la lagune (services hydrologiques de l'ORSTOM). En outre, les courants de marée y sont quasi nuls toute l'année: inférieurs à 0,10 m/s en région VI et inférieurs à 0,20 m/s en région V (Tastet, 1974). Il s'agit des régions lagunaires les plus fermées. Ce caractère est à mettre en relation avec leur stabilité hydroclimatique décrite par Pagès *et al.* (1979). Nous ne faisons que signaler cette coïncidence entre la stabilité et la richesse potentielle sans y rechercher pour l'instant de relations de cause à effet.

La région IV est potentiellement riche en seston en saison des crues. Nous pensons qu'elle l'est également en saison des pluies, bien que nous n'ayons pas suffisamment de mesures pour le prouver. Cette richesse s'expliquerait par l'influence de la rivière Agnèby, dont le bassin versant est en partie occupé par des plantations agro-industrielles et deux importantes huileries primaires, sources de pollutions organiques et chimiques.

INTÉRÊT DE LA BIOMASSE SESTONIQUE

Dans cette étude, nous considérons les biomasses du seston, non les mécanismes de production, ni les productions elles-mêmes. Par le C_p , nous considérons toutes les particules organiques de la classe de taille 0,3 $m\mu$ –200 $m\mu$, qu'elles soient vivantes (plancton) ou inertes (tripton). Outre sa facilité de mesure, la considération du seston global nous paraît intéressante pour deux raisons. D'abord l'essentiel du zooplancton, necton et benthos de la lagune est filtreur, sélectionnant donc parmi le seston ses proies sur des critères de taille plutôt que de qualité. Ensuite, c'est la biomasse du seston total qui devient nuisance lorsqu'elle est trop forte. Il est donc utile de prévoir la biomasse sestonique que le milieu peut atteindre en fonction des apports nutritifs actuels et futurs.

INDICE DE LIMITATION NUTRITIVE

Nous avons déduit de la valeur de l'indice de limitation nutritive, C_{pot}/C_{obs} , que les biomasses sestoniques des régions les plus continentales sont le plus souvent contrôlées par les éléments nutritifs. Nous avons vu par ailleurs que ce contrôle est le plus souvent le fait du P. Ces déductions sont confirmées par les concentrations internes du seston de ces régions généralement inférieures à la concentration

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

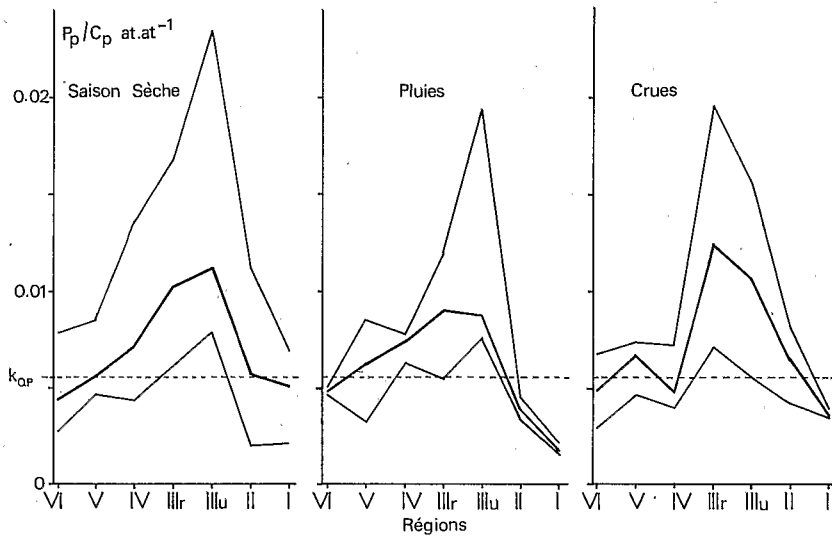


Fig. 9. Variations saisonnières et régionales de la concentration interne du seston en phosphore.

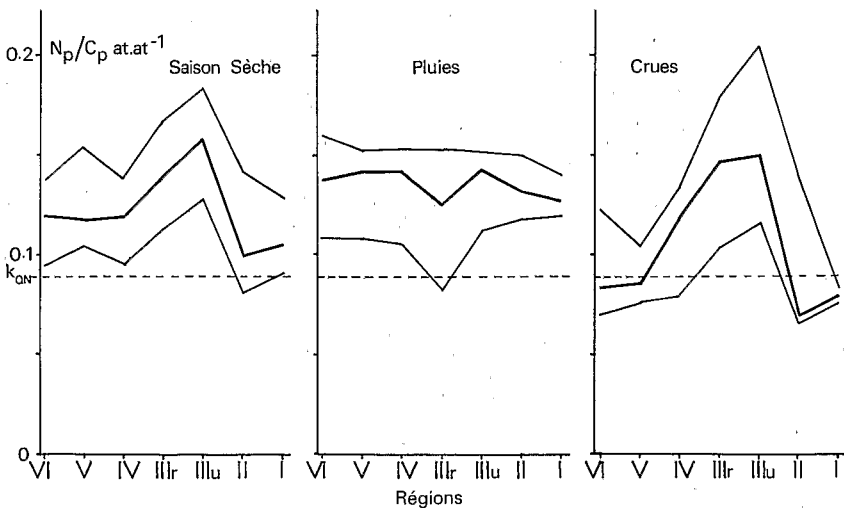


Fig. 10. Variations saisonnières et régionales de la concentration interne du seston en azote.

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 (particulaire + "particularisable") dans le milieu. Les concentrations en P (particulaire + "particularisable") dans le milieu, sont en effet peu différentes d'une région à l'autre, sauf en région urbaine où elles sont nettement plus élevées.

En toutes régions, la limitation par l'N est plus fréquente en saison sèche qu'elle ne l'est en saison des crues et surtout en saison des pluies.

Ces variations géographiques et saisonnières sont influencées par les échanges d'eau. Nous avons schématiquement classé ces eaux en trois catégories selon leur origine et défini dans chaque cas l'élément le plus limitant. Les eaux océaniques du courant de Guinée apparaissent nettement plus carencées en N qu'en P, ce qui confirme des évaluations indirectes antérieures. Les eaux continentales guinéennes, qui ont pour origine la forêt du sud du pays, seraient par contre carencées en P. Les eaux continentales soudanaises, qui ont pour origine la zone de savane du nord du pays seraient plutôt carencées en N, mais moins intensément que les eaux océaniques. Ces indications sont à notre connaissance les premières publiées sur le contrôle nutritif des eaux intérieures ouest-africaines.

En poussant plus loin l'analyse, nous avons découvert que les éléments nutritifs limitent effectivement la biomasse du seston en régions continentales. Par contre, un autre facteur du milieu est prépondérant en région d'estuaire. Et ceci malgré une quantité d'éléments nutritifs disponibles plus faible qu'en régions continentales. Donc, non seulement les régions continentales et particulièrement les plus continentales sont plus riches en éléments nutritifs, mais l'utilisation de ceux-ci y est plus efficace. L'explication de ce dernier point n'a pas été approfondie ici, mais une

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 lentement minéralisables, intégrés par exemple dans des structures carbonées complexes? Ou bien sont-ils en majeure partie assimilés aussi rapidement qu'ils sont excrétés?

L'indice de limitation nutritive, défini ici comme le rapport C_{pot}/C_{obs} nous apparaît digne d'intérêt dans son principe, quoique perfectible dans son obtention. Il permet de quantifier par une seule valeur l'intensité du contrôle de la biomasse sestonique par les éléments nutritifs; ce qui permet de l'introduire commodément dans les modèles multifactoriels de prévision de biomasse.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les marins, techniciens et chercheurs du Centre de Recherche Océanographique d'Abidjan pour leur collaboration. Nous remercions également Messieurs J. Lemoalle, A. Herbland, P. Laurent, S. Maestrini et A. Sournia d'avoir bien voulu lire et critiquer le manuscrit de ce texte.

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.
- DUFOUR, P., J. L. CREMOUX & M. SLEPOUKHA, 1981. Contrôle nutritif de la biomasse du seston dans une lagune tropicale de Côte d'Ivoire. I. Étude méthodologique et premiers résultats. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, Vol. 51, pp. 247-267.
- DURAND, J. R., J. B. AMON KOTHIAS, F. GERLOTTO, J. P. HIE DARE & R. LAE, 1978. Statistiques de pêche en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire): 1976 et 1977. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, Vol. 9, pp. 67-114.
- MAURER, D., 1978. Phytoplankton et pollution. La lagune Ebrié (Abidjan). Le secteur de Cortiou (Marseille). Thèse doctorat 3ème cycle. Université Aix-Marseille, 121 pp.
- PAGÈS, J., L. LEMASSON & P. DUFOUR, 1979. Éléments nutritifs et production primaire dans les lagunes de Côte d'Ivoire. Cycle annuel. *Archs Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan*, Vol. 5, pp. 1-60.
- PERRY, M. J., 1976. Phosphate utilization by an oceanic diatom in phosphorus-limited chemostat culture and in the oligotrophic waters of the central North Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 21, pp. 88-107.
- RAI, H., 1974. Limnological observations on the different rivers and lakes in the Ivory Coast. *Hydrobiologia*, Vol. 44, pp. 301-317.
- SNEDECOR, G. W. & W. G. COCHRAN, 1971. *Méthodes statistiques*. Assoc. Coord. Techn. Agricole, Paris, 649 pp.
- TASTET, J. P., 1974. L'environnement physique du système lagunaire Ebrié. *Université d'Abidjan. Fac. Sci. Dépt. Sci. Terre. Série Documentation*, Vol. 11, 28 pp.