

La production végétale des lagunes de Côte d'Ivoire

Philippe DUFOUR (1) et Jean-René DURAND (2)

RÉSUMÉ

Une revue des données sur la production primaire des lagunes ivoiriennes est présentée. Les facteurs essentiels de cette production: rayonnement solaire, température, sels nutritifs, pH et oxygène dissous, sont passés en revue.

Après un bref rappel des compositions algales couramment observées, la biomasse végétale est estimée par les teneurs en chlorophylle « a »; celles-ci augmentent des régions hydrologiquement instables qui subissent l'influence, alternativement prépondérante, de l'océan ou des rivières, vers les régions oligohalines plus stables. En lagune Ébrié, elles passent de 7 à 35 mg/m³ en 1975. En lagune Aby, elles sont nettement plus élevées: de 18 à 50 mg/m³.

La production brute du phytoplancton subit des variations géographiques identiques, passant de 500 mg O₂/m²/an à 2 000 mg O₂/m²/an. La production du phyto-benthos représente 10 % de celle du phytoplancton. Celle des macrophytes est négligeable. Une variabilité spatio-temporelle considérable existe en outre, entre les milieux naturels et pollués, entre les chenaux centraux, les baies périphériques et les embouchures des rivières, entre les secteurs peu profonds et les fosses, entre les saisons d'étiages et les saisons des pluies, entre les années sèches et les années humides.

Le passage de la production brute végétale à la production terminale des poissons et crustacés, essentiellement herbivores, se fait avec un rendement de 0,4 %. Les pertes de matière organique primaire par respiration des végétaux, par entraînement vers l'océan et par sédimentation expliquent la plus grande partie de ces transferts médiocres pour lesquels d'autres hypothèses explicatives sont aussi suggérées: abondance d'espèces végétales peu digestes ou bien de petite taille et variabilité des biomasses végétales en général.

MOTS-CLÉS : Lagunes tropicales — Production primaire — Sels nutritifs — Transferts énergétiques.

ABSTRACT

THE PRIMARY PRODUCTIVITY IN COASTAL LAGOONS OF IVORY COAST

A review of the data about primary production of the main coastal lagoons of Ivory Coast is presented. The typical features of the primary production factors: solar radiation, temperature, salinity, transparency, nutrients, pH and dissolved oxygen are described.

The algal composition is briefly reminded. Phytoplanktonic biomass is estimated through chlorophyll a concentrations. It increases from unstable regions, whose hydrology is controlled by exchanges between sea and rivers waters, to oligohaline and hydrologically steady regions. In the Ebrié lagoon (565 km²), annual regional means stand between 7 and 35 mg/m³; in the Aby lagoon (430 km²), they stand between 18 and 50 mg/m³.

An important variability is noticed between natural and polluted waters, central channel, peripheral bays and rivers outfalls, shallow and deep waters, low and high waters seasons, dry and rainy years.

In the Ebrié lagoon phytoplanktonic annual gross production is 1 400 g O₂/m²/y. It stands between 500 g in estuarine parts and 2 000 g O₂/m²/y in oligohaline parts. Macrophytic production is negligible. Phyto-benthic production accounts for about 10 % of total vegetal production.

(1) Antenne O.R.S.T.O.M. Station d'Hydrobiologie Lacustre de l'INRA Avenue de Corzent, 74203 Thonon les Bains (France).

(2) Centre de Recherches Océanographiques, BP V18 Abidjan (Côte d'Ivoire).

Phosphorus is the limiting nutrient for phytoplankton within oligohaline waters. Within the estuarine waters, phosphorus is a less limiting factor than nitrogen, itself less limiting than solar radiation and hydrochemical unstability.

In spite of high yields for local fisheries, the efficiency of energy transfers from gross primary production to terminal producers—mainly herbivorous—does not exceed 0,4 %. Such a low efficiency must mainly be attributed to vegetal respiration, to phytoplanktonic sinking and to exportation seawards. It can be also attributed to time variability of phytoplanktonic biomass and to frequent occurrence of blooms of low nutritive value: blue-green algae and small size species.

KEY WORDS : Tropical lagoons — Primary production — Nutrients — Energetic transfers.

Le travail présenté ici est consacré à la production végétale des lagunes ivoiriennes. Il fait suite à une première note concernant l'environnement climatique de ces lagunes (DURAND et CHANTRAINE, 1981). Nous renvoyons le lecteur à cette publication pour les aspects descriptifs généraux. Comme dans la note précédente, notre but est de faire une première synthèse tenant compte des résultats les plus récents dans le domaine de la production primaire, résultats dont la publication n'est pas encore effective, car partiellement en cours d'interprétation. Les trois grandes lagunes seront évoquées, mais l'essentiel de nos connaissances porte sur la lagune Ebrié qui servira donc de base à notre présentation, la lagune

de Grand-Lahou et la lagune Aby — surtout — intervenant plutôt à titre de comparaison. Les noms de lieux se rapportent à la figure 1.

La production primaire constitue l'un des volets fondamentaux de toute étude d'écosystème aquatique : elle permet d'apprécier l'efficacité initiale du système et, au-delà, l'énergie disponible pour les consommateurs supérieurs. On sait que la biomasse végétale et la production primaire dont elle est issue dépendent de l'énergie lumineuse parvenant aux cellules et du flux de matière, essentiellement de sels nutritifs. Elles dépendent aussi d'autres facteurs du milieu comme la température, la teneur en oxygène et le pH sur lesquels elles ont une influence

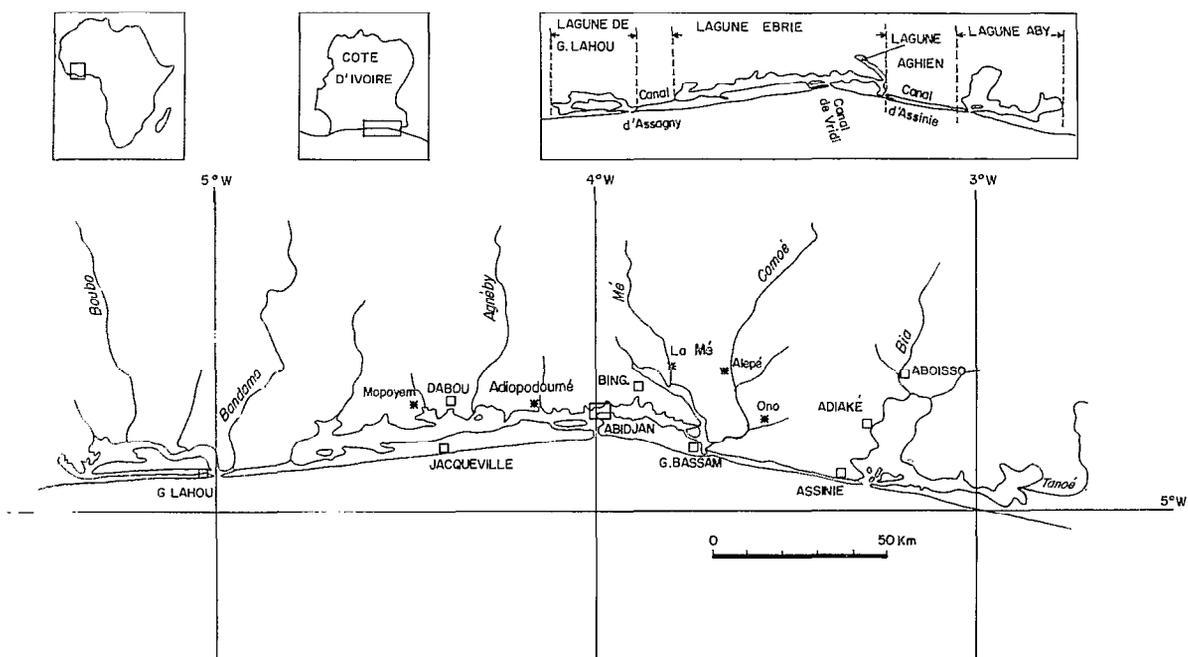


FIG. 1. — Situation et carte du système lagunaire ivoirien
Ivorian lagoons: situation and map

en retour. Elles dépendent encore de facteurs internes, comme la composition taxonomique des populations algales.

Nous divisons l'exposé en deux parties : tout d'abord, les facteurs de la production primaire : rayonnement solaire, température, transparence, sels nutritifs, pH et oxygène dissous. Ensuite nous traitons de la production végétale proprement dite. Nous nous attachons tout particulièrement aux variations, l'instabilité spatiale et temporelle étant typique des milieux lagunaires.

1. LES PRINCIPAUX FACTEURS DE LA PRODUCTION VÉGÉTALE

1.1. Le rayonnement solaire

L'énergie lumineuse reçue par les algues dépend à la fois de l'intensité du rayonnement solaire en surface et de la turbidité des eaux.

Rappelons les principales caractéristiques du rayonnement solaire reçu dans le sud de la Côte d'Ivoire, déjà exposées (DURAND et CHANTRAINE, 1981) : la valeur moyenne entre 1968 et 1978 est de 1 565 joules/cm²/jour (MONTENY et LHOMME, 1980). Du fait d'une couverture nuageuse souvent importante et d'une atmosphère chargée de vapeur d'eau, cette valeur est de 10 % inférieure à celle du rayonnement moyen pour la latitude : 1 706 j/cm² d'après LANDSBERG (1941). Les variations saisonnières sont appréciables, puisque le minimum de grande saison des pluies et de petite saison sèche (juin-septembre) ne représente que 60 % du maximum de fin de grande saison sèche (mars-avril). Cette valeur minimale correspond à la densité de la couverture nuageuse à cette époque. Un deuxième minimum, moins marqué, en décembre-janvier est plutôt dû à la hauteur minimale du soleil autour du solstice d'hiver et à la fréquence de l'harmattan, vent de secteur sud-est chargé de poussières et favorisant la formation de brouillards matinaux.

La variabilité interannuelle est faible. Les variations entre jours consécutifs sont en revanche beaucoup plus importantes. Elles excèdent un facteur de 10 à 3 reprises et un facteur de 2 à 25 reprises en 1975 (Laboratoire de Climatologie d'Adiopodoumé, O.R.S.T.O.M., données non publiées).

Notons que toutes ces variations ont une répercussion amortie sur celles de la production primaire puisque celle-ci est, dans les conditions prévalant en lagunes ivoiriennes, proportionnelle au logarithme

de l'énergie incidente (DUFOUR, 1982 a). Beaucoup plus important est l'effet des variations de la transparence qui intervient linéairement dans les expressions les plus courantes de la production primaire d'une colonne d'eau.

1.2. La transparence

En lagune Ebrié, la transparence évaluée par la profondeur de disparition du disque de Secchi est maximale dans la région d'estuaire où elle atteint 3 à 4 mètres durant l'étiage de saison sèche. Elle diminue fortement de juin à novembre, avec une moyenne de 0,5 m en 1975, sous l'influence de divers apports d'eau douce. À l'est, dans le chenal central entre Abidjan et le Comoé, le cycle annuel est analogue avec des valeurs toutefois plus faibles : entre 1,5 et 2 m en saison d'étiage et moins de 0,3 m au plus fort des déversements du Comoé en saison des crues. Dans le système Aghien-Potou, la turbidité est toujours plus forte. En 1975, la transparence n'y dépasse jamais 1 m. À l'ouest d'Abidjan, les transparences sont plus élevées en région V (1), variant peu au cours de l'année autour de 2 mètres. De part et d'autre, la transparence diminue et ne dépasse généralement pas 1 mètre, cela pour des raisons distinctes : existence de peuplements phytoplanctoniques très denses toute l'année à l'extrémité occidentale (région VI) et influence de l'Agnéby en région IV.

La lagune de Grand-Lahou présente des caractéristiques analogues avec une transparence maximale pendant l'étiage et une turbidité accrue lors des crues du fleuve Bandama. Dans le système Aby, les transparences sont toujours faibles (0,75 m en moyenne d'après CHANTRAINE, 1981) et les variations saisonnières sont peu marquées, sauf dans la région d'estuaire où, en saison d'étiage, la transparence des eaux océaniques peut atteindre 1,5 m.

La transparence des rivières est toujours plus faible que celles des lagunes, surtout en période de crue où elles charrient des particules minérales et organiques que le ruissellement intense des pluies tropicales arrache au continent. La charge en particules minérales et organiques détritiques des baies est souvent moins importante que celle du chenal central, la faiblesse des courants y favorisant leur dépôt ; cela est souvent plus que compensé par une abondance supérieure de phytoplancton qui y entraîne une turbidité finalement égale ou supérieure à celle du chenal central.

(1) La lagune Ebrié a été divisée en six régions (I à VI, cf. fig. 15) qui, compte tenu de l'ensemble de nos connaissances actuelles, possèdent des caractères spécifiques (PAGÈS *et al.*, 1979 ; DURAND et CHANTRAINE, 1981).

La transparence des lagunes est liée à la fois à l'abondance du phytoplancton et au débit des rivières dont la charge solide peut être considérable. Comme celles de ces deux facteurs, les variations interannuelles de la transparence sont importantes. Ainsi, en un même lieu de la région d'estuaire de la lagune Ebrié, la transparence moyenne fut de 2,25 m en 1977, tandis qu'elle n'était que de 1,50 m en 1975.

1.3. La température

Par son rôle sur le contrôle des vitesses de réactions chimiques et biochimiques, la température influence directement ou indirectement la production algale. On a vu précédemment (DURAND et CHANTRAINE, 1981) que la température moyenne mensuelle varie entre 27,4 °C et 31,2 °C dans les lagunes ivoiriennes. Ces variations sont faibles comparées à celles observées aux plus hautes latitudes ou dans des régions plus continentales. En outre, elles incluent presque la gamme de 28 à 32 °C à partir de laquelle la production du phytoplancton ralentit puis décroît (LEMOALLE, 1979). Il en résulte que l'impact des variations de température sur la production primaire des lagunes ivoiriennes est faible et masqué par l'effet supérieur des variations des autres facteurs : sels nutritifs, biomasse et énergie lumineuse notamment. Par contre, la température joue un rôle par son niveau moyen élevé qui maintient la productivité végétale (les autres facteurs étant satisfaits) dans une fourchette supérieure à celle observée par d'autres auteurs en milieu tropical (DUFOUR, 1982 a). Effectivement, 1 mg de chlorophylle « a » produit de 15 à 45 mg d'oxygène par heure en lagune Ebrié, ce qui est plus que les 15 à 25 mg produits dans les eaux à 20 °C du lac Kilotes en Éthiopie (TALLING *et al.*, 1973) ou que les 18 à 23 mg produits dans celles du lac Tchad, en moyenne à 25 °C (LEMOALLE, 1979).

1.4. Les éléments nutritifs

Un grand nombre d'éléments chimiques entrent dans la composition de la substance végétale. DUFOUR et SLEPOUKHA (1981) et DUFOUR *et al.* (1981 a) ont étudié au moyen de tests biologiques tous ceux qui sont susceptibles de limiter la croissance du phytoplancton en lagune Ebrié. Ils en ont déduit que le fer, la silice, le zinc, le cobalt, le cuivre, le molybdène, le bore, les vitamines B₁, B₁₂ et H et les substances complexantes y sont en quantités excédentaires par rapport aux besoins de croissance des cellules. Cette croissance peut, temporairement, être contrôlée par le carbone en période de dessalure et en zone d'extrême eutrophie. Mais le contrôle le

plus fréquent est le fait de l'azote ou du phosphore. La répartition géographique et saisonnière des nitrates, nitrites et phosphates est décrite par PAGÈS *et al.* (1979). Il manque hélas à ces données celles de l'ammoniaque dont la concentration excède bien souvent celle des autres formes d'azote minéral, nitrates et nitrites réunis, particulièrement en lagune Ebrié, dans les régions à l'ouest de l'Agnéby, y suggérant l'importance des phénomènes d'excrétion, de minéralisation et recyclage déjà pressentis par LEMASSON (1975) : « A l'ouest de l'Agnéby, les eaux dessalées sont caractérisées par des concentrations très faibles en sels nutritifs particulièrement en nitrates. On peut supposer qu'il y a un recyclage très rapide de sels nutritifs et une reminéralisation bactérienne très forte qui est favorisée par les températures élevées toute l'année ». Dans les baies urbaines, les concentrations en ammoniaque sont aussi supérieures à celles des nitrates et nitrites réunis, manifestant ainsi l'importance de la pollution (fig. 2) ; il en est de même dans les fosses anoxiques, telles celle d'Abou-Abou, 15 km à l'est d'Abidjan.

Dans le système Ebrié, les concentrations médianes saisonnières d'azote minéral dissous total en surface varient entre 0,5 et 15 µatg/l (fig. 3). Elles sont maximales en saison des pluies et minimales en saison sèche. Dans les régions occidentales pauvres en rivières, les concentrations décroissent de la saison sèche à la saison des crues. L'évolution saisonnière est inverse dans les régions centrales et orientales influencées par les grandes rivières et l'océan, ce qui tend à prouver l'influence enrichissante des rivières. Les pluies contiennent en moyenne 35 µatg/l d'azote minéral dissous (LEMASSON et PAGÈS, 1982). Un autre indice sérieux d'enrichissement en azote par les rivières (et les pluies) est apporté par la corrélation, très nette, entre la teneur en azote minéral dissous en lagune Ebrié et la hauteur cumulée des pluies à Abidjan, au plus fort de la saison des pluies 1976 (fig. 4). Notons qu'à cette époque il y a diminution de la biomasse phytoplanctonique et de l'azote particulaire mais cette diminution est plus que compensée par l'augmentation des autres formes d'azote : minérales et organiques dissoutes. En effet, en région d'estuaire, en 1977, les concentrations moyennes en azote total sont de 30 µatg/l en saison sèche (janvier à avril), de 50 µatg/l en saison des pluies (juin, juillet) et de 40 µatg/l en saison des crues (septembre, octobre). Une analyse plus complète du régime nutritif de la lagune Ebrié, tenant compte de l'ensemble des formes azotées et phosphorées ainsi que de leur origine, est effectuée dans DUFOUR (1982 d).

Dans les systèmes de Grand-Lahou et d'Aby, il semble aussi que la saison des pluies apporte plus d'azote minéral que la saison sèche. L'ammoniaque

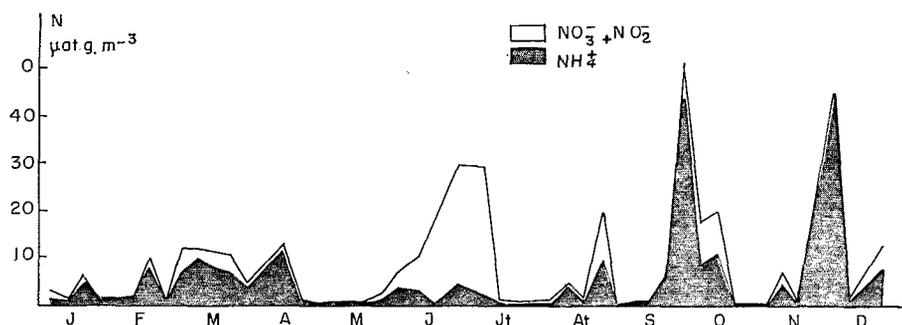


FIG. 2. — Différentes formes de l'azote minéral dissous dans la baie de Biétri, baie urbaine polluée de la lagune Ebréi (d'après DUFOUR, 1982d)

Different forms of dissolved mineral nitrogen in an urban polluted bay: bay of Biétri, Ebréi Lagoon (from DUFOUR, 1982d)

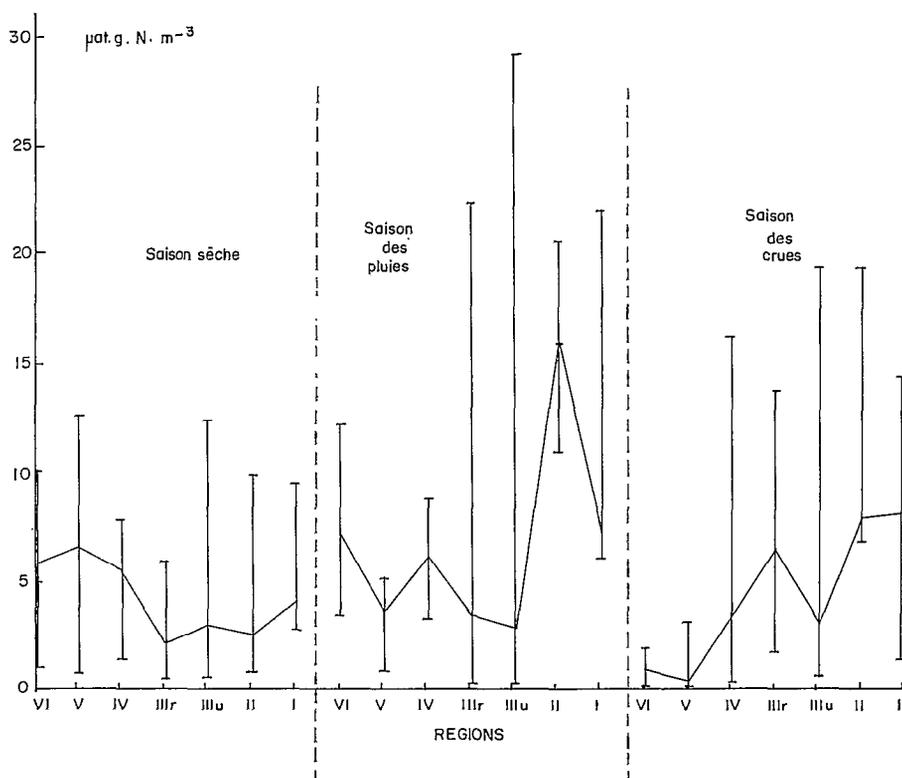


FIG. 3. — Lagune Ebréi : variations saisonnières et régionales des teneurs en azote minéral dissous : la ligne brisée joint les médianes ; les segments verticaux correspondent à 80 % des mesures (d'après DUFOUR, 1982d)

Ebréi lagoon : regional and seasonal variations of mineral dissolved nitrogen ; the broken line joins the median values, and the vertical segments correspond with 80 % of them (from DUFOUR, 1982d)

apparaît dominant en lagune Aby, du moins en saison sèche 1976, les fortes teneurs des fonds anoxiques (plus de 90 $\mu\text{atg/l}$) contaminant par endroits les eaux superficielles.

Dans le système Ebréi, les concentrations médianes en phosphates, qui varient entre 0,2 et 1,2 $\mu\text{atg/l}$

sont plus faibles aux extrémités continentales que dans la région d'estuaire influencée par la marée et les rivières (fig. 5). Les concentrations maximales s'observent dans les baies polluées par la ville d'Abidjan. Le sens des évolutions saisonnières est semblable à celui des sels azotés.

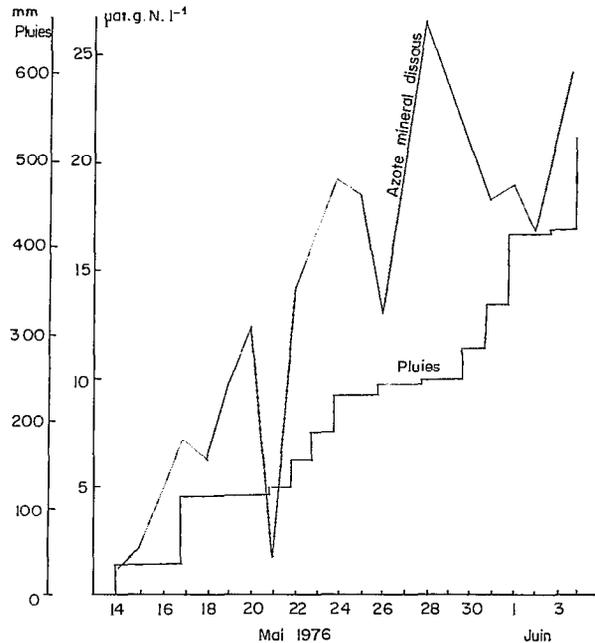


FIG. 4. — Lagune Ebrié, région d'estuaire. Corrélation entre la hauteur cumulée des précipitations et la concentration en azote minéral dissous au début de la saison des pluies 1976 (d'après DUFOUR, 1982d)

Ebrié lagoon estuary : correlation between cumulated rainfall and dissolved mineral nitrogen at the beginning of 1976 rainy season (from DUFOUR, 1982d)

Des caractéristiques géographiques assez semblables ont été observées dans le système de Grand-Lahou : les teneurs en phosphates sont plus élevées dans les eaux d'estuaire ($> 0,8 \mu\text{atg/l}$) que dans les eaux plus continentales ($< 0,5 \mu\text{atg/l}$). Dans le système Aby, les concentrations en phosphates de la couche de surface sont restées inférieures à $0,5 \mu\text{atg/l}$ en saison sèche 1975. Elles ont été plus élevées en saison des pluies 1975, atteignant $3 \mu\text{atg/l}$ à l'est (PAGÈS *et al.*, 1979).

Les zones anoxiques comportent des teneurs en phosphates très élevées. C'est le cas de la baie d'Abou-Abou en lagune Ebrié et de la cuvette centrale Aby : plus de $20 \mu\text{atg/l}$ en mars 76 et plus de 30 en juin 75.

DUFOUR et SLEPOUKHA (1981) et DUFOUR *et al.* (1981 a) notent que la connaissance des concentrations en sels minéraux dissous est insuffisante pour nous permettre de comprendre le rôle des éléments nutritifs sur le contrôle de la biomasse phytoplantonique et de sa production. Une fraction variable et importante des éléments nutritifs indispensables au métabolisme peut en effet être stockée dans les

cellules, ou disponible après minéralisation des matières organiques particulières détritiques ou dissoutes. PAGÈS et LEMASSON (1981 a) ont tenté de chiffrer l'importance des phénomènes de reminéralisation en lagune Ebrié, tandis que PAGÈS et LEMASSON (1981 b) y observent une corrélation positive entre l'activité du phytoplancton et les taux de minéralisation.

D'après les valeurs des rapports de constitution et d'assimilation du seston, LEMASSON *et al.* (1981) mettent en évidence une carence en phosphore en lagune Ebrié. DUFOUR *et al.* (1981 b) ont confirmé ce fait en précisant l'intensité, l'extension géographique et l'origine. Le phosphore limite effectivement la biomasse sestonique et phytoplantonique dans les régions continentales. Mais dans la région d'estuaire, le phosphore est moins limitant que l'azote, lui-même moins limitant que d'autres facteurs du milieu : l'énergie lumineuse et l'instabilité hydrochimique, d'après DUFOUR (*in prep.*). En conséquence, l'eutrophisation excessive observée en région d'estuaire dans la zone urbaine d'Abidjan ne sera probablement pas résolue par la seule élimination du phosphore des effluents.

En toute région, la limitation de l'azote par rapport au phosphore croît en saison sèche et diminue en saison des pluies. Les variations périodiques sont sous la dépendance des échanges en lagune de 3 catégories d'eau : les eaux océaniques du golfe de Guinée qui sont nettement carencées en azote, les eaux continentales de la zone de savane du nord du pays, également carencées en azote, quoique moins nettement, enfin les eaux originaires de la forêt du sud du pays, plutôt carencées en phosphore (DUFOUR, 1982 d).

Il est à noter que ces limitations nutritives observées en surface s'atténuent en profondeur en même temps que la production du phytoplancton.

1.5. Le pH

Les eaux d'origine marine étant basiques et celles d'origine continentale plutôt acides, il n'est pas surprenant de constater que dans le secteur sous influence marine de la lagune Ebrié, les grandes variations saisonnières de pH s'expliquent par l'importance relative des eaux de l'une ou l'autre origine. Dans cette région, le cycle annuel du pH est étroitement lié à celui de la salinité, ainsi que le montre la figure 6 pour la baie de Cocody en 1962 (DAGET et DURAND, 1968). Pour les mêmes raisons, les gradients verticaux de pH restent notables dans les régions, de part et d'autre d'Abidjan où la salinité croît avec la profondeur : les valeurs maximales et minimales y sont de l'ordre de 8,5 et 6,5.

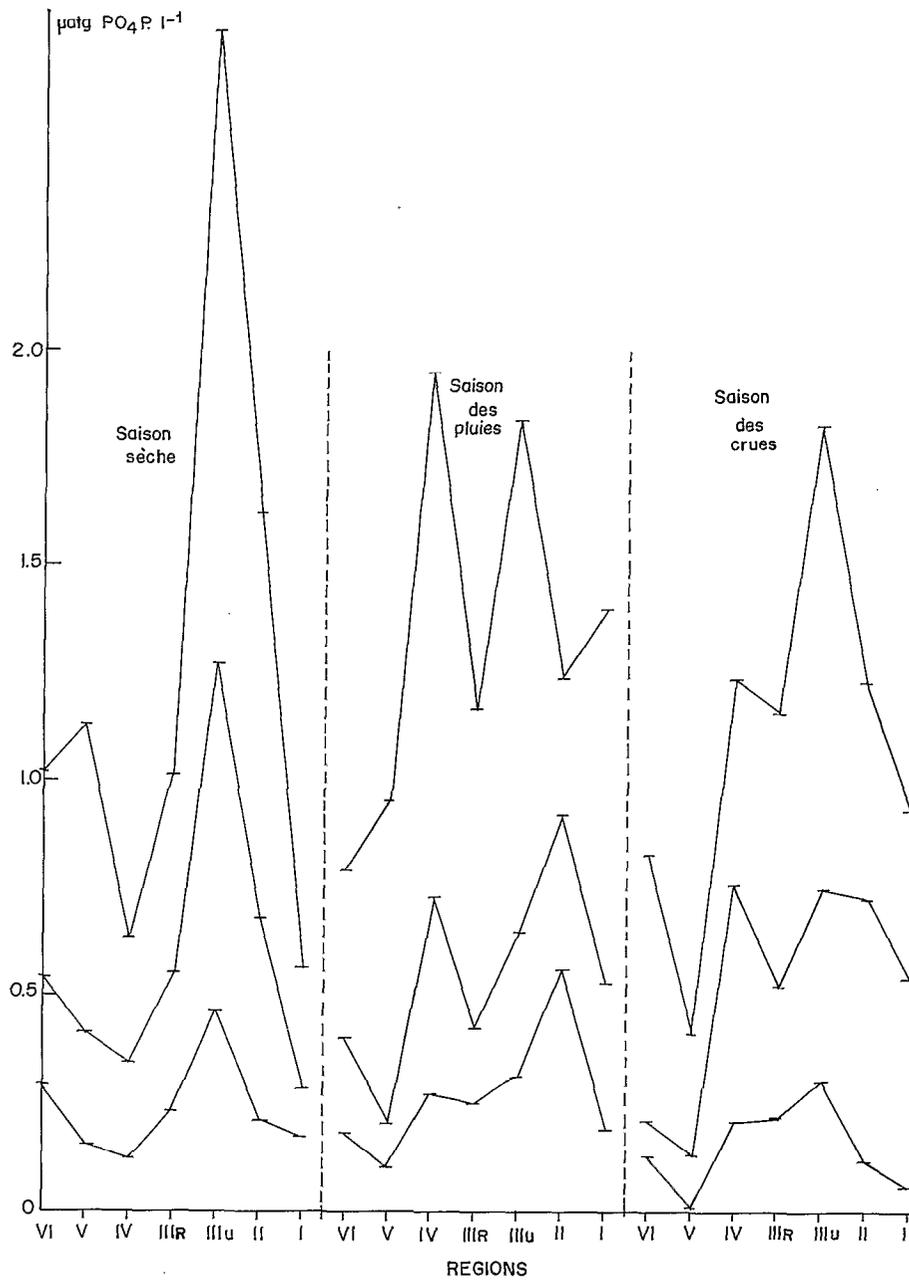


FIG. 5. — Lagune Ebré : variations saisonnières et régionales des concentrations en phosphate dissous. La ligne brisée centrale joint les médianes, celles de part et d'autre les 10^e et 90^e percentiles

Ebré lagoon : regional and seasonal variations of dissolved phosphate : the broken central line joins the median values, the two others the tenth and ninetieth percentils

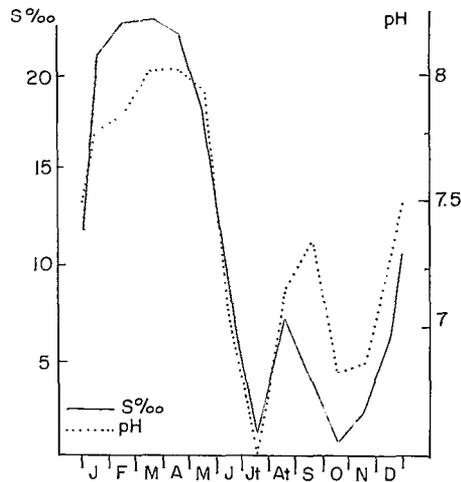


FIG. 6. — Lagune Ebrié, région d'estuaire : relation entre le pH et la salinité au cours d'un cycle annuel en zone d'influence marine, la baie de Cocody en 1962 (DAGET et DURAND, 1968)

Ebrié lagoon: relation between pH and salinity during an annual cycle, bay of Cocody, 1962 (DAGET et DURAND, 1968)

Les variations spatiales de pH s'expliquent donc pour l'essentiel par la plus ou moins grande avancée des eaux marines entre janvier et avril et la prépondérance des eaux fluviales entre septembre et décembre. Cependant, dans les régions oligohalines, les valeurs observées peuvent descendre notablement en dessous du pH habituel des eaux fluviales. C'est ainsi qu'à l'ouest d'Abidjan, VARLET (1978) a fréquemment mesuré des pH de surface inférieurs à 6 dans la région de Dabou, le minimum ayant été de 5,1 d'août à décembre 1951. En février 1952, le pH mesuré en face de l'Agnéby était de 5,5 alors que 20 km plus à l'ouest il était de 8,5 en surface. En 1980, les mesures effectuées entre Dabou et le canal d'Assagny, sans être aussi faibles que les précédentes, ont confirmé la propension des eaux occidentales dessalées à être acides : pH de 6 à 7. On peut signaler à ce propos les valeurs très faibles trouvées pour de petits affluents de la rive nord de cette région : de 5 à 5,5 (CAUMETTE, comm. pers.). Aucune mesure n'a été effectuée pour les lagunes Aby et de Grand-Lahou.

La production de matière végétale pendant le jour et la respiration nocturne imposent au pH des variations nyctémérales nettes et mesurables dans la mesure où l'influence des vents et de l'advection ne sont pas trop importantes. C'est ce qui ressort clairement de la figure 7 donnée par VARLET (1978) pour les baies d'Abidjan de part et d'autre de la digue de Koumassi, pendant 12 heures de jour, le 26 avril 1951. Pour la baie de Koumassi est, la

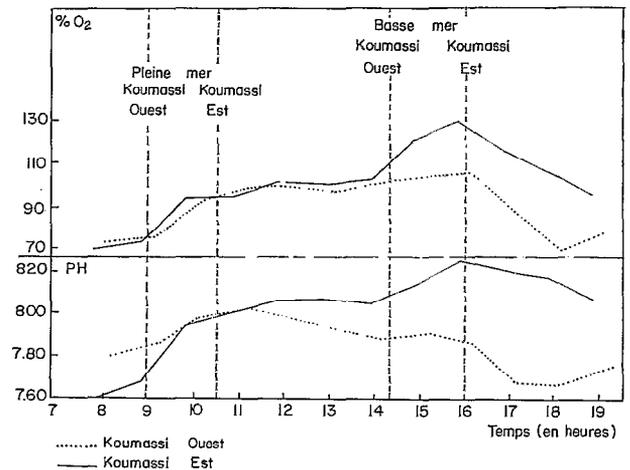


FIG. 7. — Évolution diurne du pourcentage de saturation en oxygène et du pH de l'eau de surface des bates d'Abidjan situées de part et d'autre de la digue de Koumassi, 26 avril 1951 (VARLET, 1978)

Oxygen percentage saturation and pH: diurnal evolution on both sides of Koumassi embankment, 26th April 1951 (VARLET, 1978)

plus protégée, le pH en surface passe de 7,6 (8 heures) à 8,2 (18 heures). L'évolution parallèle des teneurs superficielles en oxygène est elle aussi accentuée : de 70 % de saturation à 8 heures à plus de 125 % vers 16 heures.

Dans les zones les plus eutrophes, ces variations nyctémérales du pH peuvent excéder les variations saisonnières. C'est ainsi que l'intensité de la production primaire explique la plus grande part des variations du pH mesuré à heure fixe au fond de la baie de Biétri (DUFOUR, *in prep.*).

1.6. L'oxygène dissous

Pour rester un milieu vivant, l'eau doit contenir de l'oxygène en quantité suffisante. La concentration des eaux en oxygène dissous est le résultat de multiples phénomènes qui peuvent être classés en deux grandes rubriques : échanges aux frontières d'une part, phénomènes de consommation et production *in situ* d'autre part.

Les apports par les rivières apparaissent nettement sous-saturés en oxygène. Leur grande turbidité, ainsi que d'autres facteurs dont nous n'avons pas étudié l'impact : pH bas, forte épaisseur de la couche de mélange, ne permet pas à la photosynthèse de compenser les pertes dues à l'oxydation des matières organiques détritiques qu'elles charrient. L'Agnéby par exemple, dont le bassin versant supporte de grandes plantations industrielles et plusieurs huileries,

transporte, de ce fait, d'importantes quantités de matières organiques, et ses eaux de surface dépassent à peine 50 % de la saturation, en moyenne. Cela provoque une diminution de la concentration en oxygène sur une dizaine de kilomètres de part et d'autre de son embouchure en période de crue.

La zone influencée est moins étendue en saison sèche (fig. 8). L'oxygénation des grands fleuves est plus importante, tout en restant inférieure à la saturation (85 % en moyenne pour le Comoé) mais, vu l'importance de leur débit, l'influence directe de cette sous-saturation concerne de larges surfaces (fig. 13).

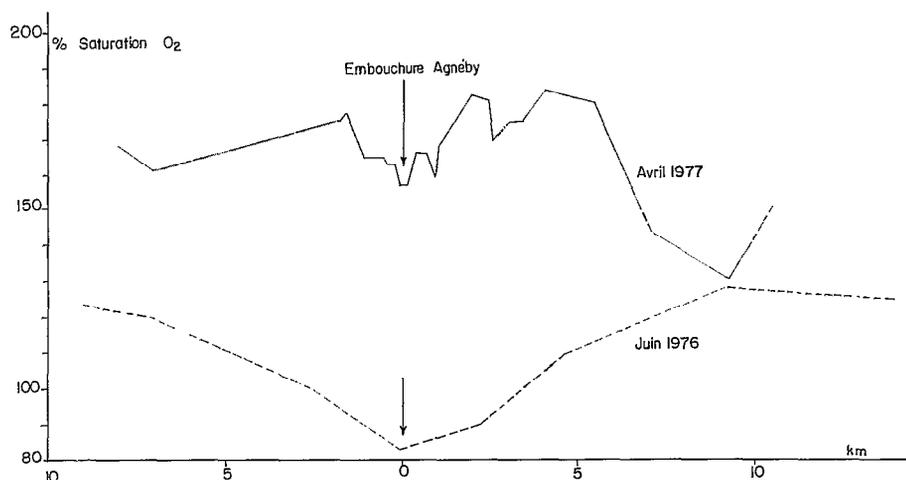


FIG. 8. — Lagune Ebrié : saturation des eaux lagunaires en oxygène, autour de l'embouchure de la rivière Agnéby (DUFOUR, *in prep.*)
Ebrié lagoon: oxygen saturation around Agnéby river mouth (DUFOUR, in prep.)

Les eaux des pluies sont toujours saturées. Les eaux de mer, quant à elles, peuvent présenter des variations notables. Elles sont sous-saturées d'octobre à juin. Par contre, de juillet à septembre, les eaux profondes à faible teneur en oxygène remontent à la surface et peuvent, selon la force de l'« upwelling », pénétrer en lagune. Les quantités d'oxygène dissous dans l'eau dépendent par ailleurs des échanges avec l'atmosphère, échanges qui sont favorisés par l'agitation des eaux, elle-même fonction du vent, de la marée et des courants.

La consommation d'oxygène *in situ* est le fait de la respiration des organismes qui y vivent (plancton, necton et benthos) et de la matière organique détritique. Les débris peuvent provenir soit des organismes du milieu après leur mort, soit d'apports externes : rivières, égouts, berges, sédiments... La consommation d'oxygène par la pollution issue des activités humaines peut être considérable dans la région d'Abidjan (fig. 9) ; cette pollution est en grande partie responsable de la désoxygénation des fonds des baies urbaines (fig. 10).

La production d'oxygène *in situ* correspond à la quantité de matière végétale produite par photosynthèse. Celle-ci dépend de plusieurs facteurs dont les caractéristiques les plus importantes en

lagunes ivoiriennes viennent d'être passées en revue : la température, les éléments nutritifs, la biomasse végétale, l'énergie lumineuse. On verra que cette production varie avec les saisons et les régions (§ 2.2.3.). Mais, à plus petite échelle, la production d'oxygène est soumise à des cycles nyctéméraux et à une stratification verticale dont l'amplitude des variations excède celle des autres origines (fig. 7 et 11). Aux fins de comparaison, pour caractériser les évolutions des concentrations en oxygène dans le temps et suivant les régions, il est donc préférable de ne pas prendre en considération les variations liées aux cycles nyctéméraux et à la profondeur, et de ne considérer que les mesures à heure fixe et en surface par exemple. Dans ces conditions, il est possible de caractériser des évolutions saisonnières nettes.

Dans la région d'estuaire (fig. 12), l'oxygénation est maximale en saison sèche. Vers 10 heures, elle oscille autour de la saturation, tandis qu'elle décroît nettement en saison des pluies et des crues. Cette évolution reproduit de façon frappante celle de la production végétale, illustrant la prépondérance de ce facteur dans le bilan d'oxygène en surface.

Les variations géographiques sont plus difficiles à mettre en évidence puisque l'impossibilité d'échan-

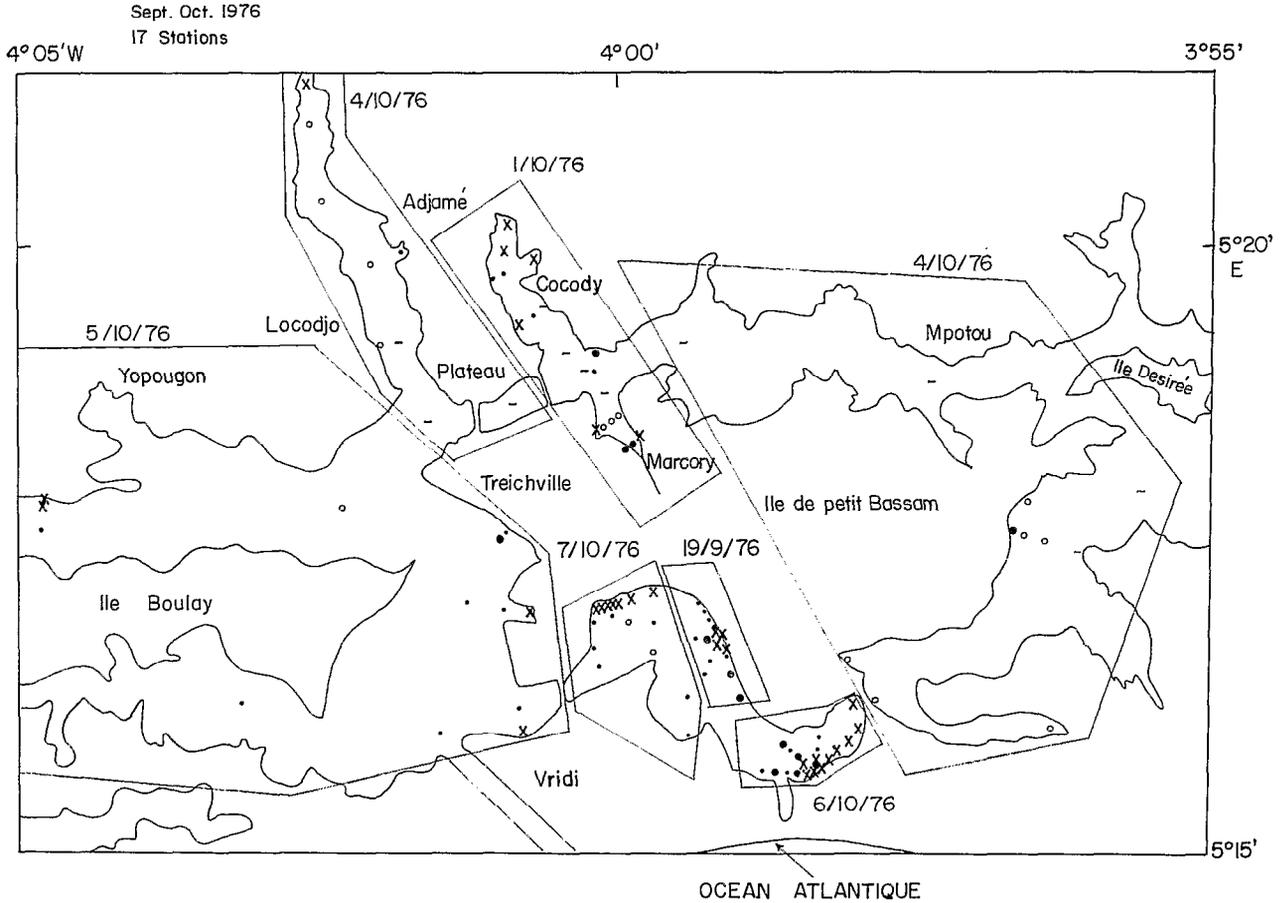


FIG. 9. — Lagune Ebrié, région d'Abidjan : demande biochimique de l'oxygène, en pourcentage du contenu des eaux de surface consommé après trois jours d'incubation à 30 °C à l'obscurité (d'après COLGANAP et DUFOUR, 1982)

Ebrié lagoon estuary : biochemical oxygen demand (B.O.D.) within the Abidjan area (percentage of the surface water content consumed after a three-day darkness incubation at 30 °C (from COLGANAP & DUFOUR, 1982)

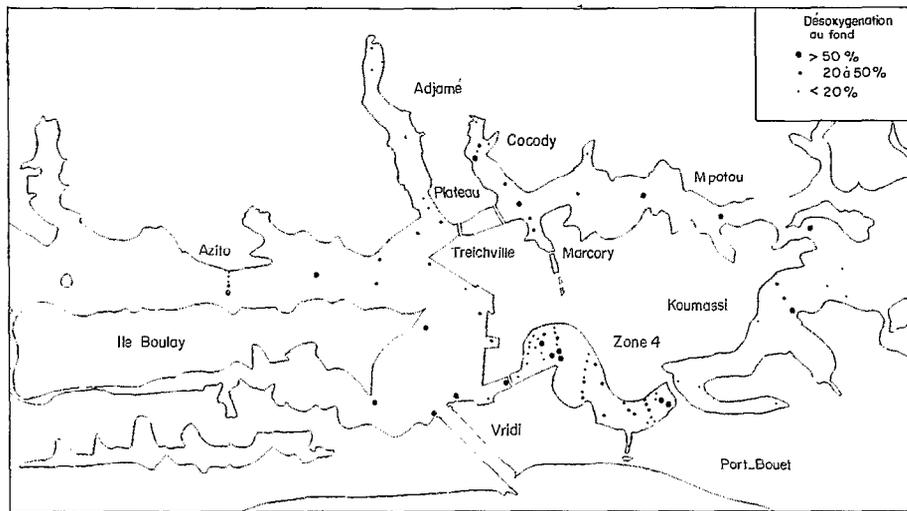


FIG. 10. — Lagune Ebrié, région d'estuaire : pourcentage de saturation des eaux de fond en mars 1974 (d'après DUFOUR et SLEPOUKHA, 1975)

Ebrié lagoon, estuary Abidjan area : oxygen percentage saturation for bottom water during March 1974 (from DUFOUR & SLEPOUKHA, 1975)

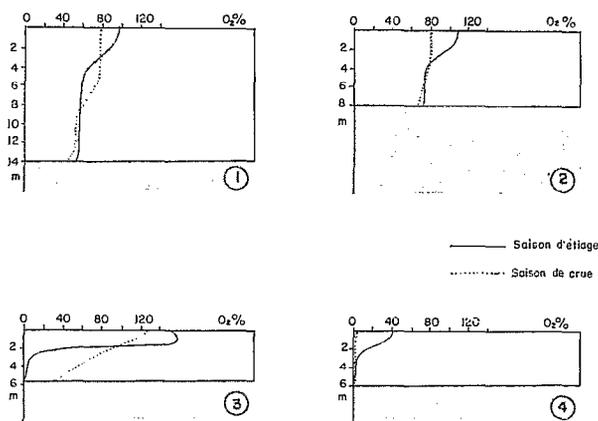


FIG. 11. — Distribution verticale de la teneur en oxygène dissous dans la région d'Abidjan en saison sèche et en saison de crue. 1 : zone d'estuaire permanent (port) ; 2 : zone d'estuaire saisonnier (chenal central de la lagune Ebrié) ; 3 : zone sous l'influence urbaine eutrophe ; 4 : zone sous influence urbaine dystrophe (d'après DUFOUR et SLEPOUKHA, 1975)

Vertical distribution of dissolved oxygen within Abidjan area during dry and rainy season. 1: permanent estuary (harbour); 2: seasonal estuary (Ebrié lagoon central channel); 3: urban eutrophic zone; 4: urban dystrophic zone (from DUFOUR et SLEPOUKHA, 1975)

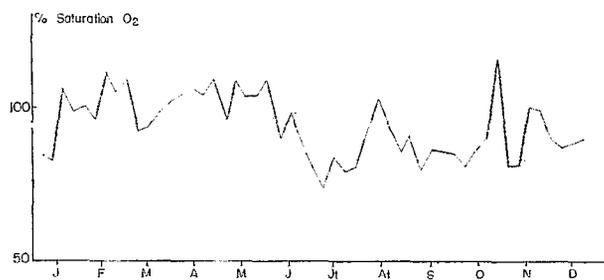


FIG. 12. — Estuaire de la lagune Ebrié : variation saisonnière du pourcentage de saturation d'oxygène des eaux de surface en 1977 vers 10 heures

Ebrié lagoon estuary : oxygen percentage saturation during 1977, around 10 a.m.

tillonner de larges zones à heure fixe ne permet pas de les distinguer des variations dues au temps. Cette difficulté a été tournée partiellement en effectuant des mesures sur une radiale est-ouest de la lagune Ebrié : la moyenne des mesures à l'aller et au retour représente approximativement la concentration à heure fixe (à 13 heures sur la fig. 13). La distribution géographique apparaît alors nettement, avec des sursaturations dépassant 150 % en région occidentale. On note ensuite que, mis à part des anomalies

négatives dues à la présence de hauts-fonds sur le passage du navire, les concentrations décroissent régulièrement de l'ouest vers l'est. L'influence marine en région d'estuaire semble maintenir la saturation, tandis que celle du fleuve Comoé à l'est est nettement appauvrissante. On notera également les anomalies négatives face aux embouchures des fleuves Mé et Agnéby. On ne détecte pas d'influence spécifique au passage de la zone urbaine d'Abidjan (du moins dans le chenal central). Les concentrations sont minimales en lagune de Potou et ne remontent au-dessus de 100 % qu'en amont de la Mé, en lagune Aghien.

Cette distribution se retrouve en toutes saisons avec une influence négative des rivières sur de plus grandes étendues en saison des pluies et de crue. C'est ainsi qu'aux mois d'octobre et novembre, les eaux du Comoé en crue envahissent tout le bassin central est, débordant largement dans le bassin central à l'ouest du canal de Vridi. La totalité des régions II et III est alors sous-saturée (fig. 1).

Comme nous le signalions précédemment, la distribution de l'oxygène sur l'épaisseur de la colonne d'eau est hétérogène et traduit l'hétérogénéité verticale des échanges, particulièrement de la production photosynthétique. Cette distribution a été étudiée par DUFOUR et SLEPOUKHA (1975) dans la région d'estuaire (fig. 11). D'une manière générale, il existe partout une stratification nette à l'étiage de saison sèche et les gradients s'atténuent ou disparaissent avec la crue du Comoé. La circulation étant moins forte dans les baies fermées, les gradients y sont plus accusés et l'oxygénation des eaux diminue rapidement avec la profondeur, particulièrement à l'étiage. Enfin, les baies très polluées de la zone urbaine peuvent être désoxygénées sur tout ou partie de la colonne d'eau ; ces conditions anoxiques de milieu peuvent s'accroître jusqu'à devenir suffisamment réductrices pour permettre la formation d'hydrogène sulfuré.

L'évolution de la stratification dans le reste de la lagune est assez proche de celle décrite ci-dessus : gradient marqué en saison sèche qui disparaît au cours des saisons des pluies et de crues dans les régions où celles-ci ont une influence notable. L'existence de ce gradient en saison sèche dénote l'isolement des couches du fond où le bilan d'oxygène est négatif, de celles de surface où il est positif. Il se forme alors aux plus grandes profondeurs, et particulièrement dans les fosses où les échanges latéraux sont faibles ou nuls, une couche d'eau totalement désoxygénée. C'est le cas dans certaines zones occidentales dessalées de la lagune Ebrié où les concentrations au voisinage du fond sont quasi nulles en saison d'étiage. Si, du fait des conditions météorologiques (absence de vents), la stratification

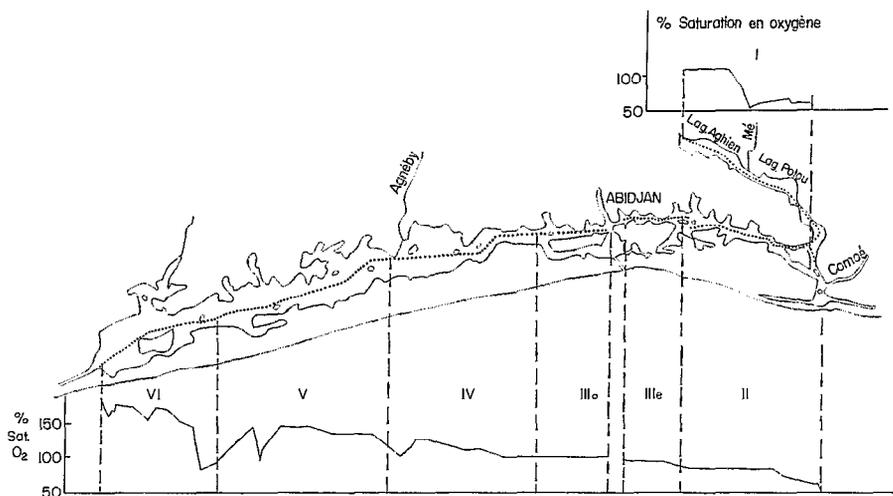


FIG. 13. — Lagune Ebrié : pourcentage de la saturation d'oxygène vers 13 heures le long d'une radiale translagunaire, avril 1976 (DUFOUR, in prep.)

Ebrié lagoon: oxygen percentage saturation around 1 p.m. on a longitudinal transect, April 1976 (DUFOUR, in prep.)

se prolonge, l'épaisseur de la couche désoxygénée peut s'accroître. Le 25 mai 1979, on l'observait jusqu'à 3 mètres de la surface; cette situation suivait une période de calme météorologique, où de très fortes productions phytoplanctoniques en surface pourvoient la couche oligophotique en matière organique consommatrice d'oxygène. Ces circonstances peuvent faire envisager des évolutions préoccupantes, comme en témoigne le cas d'avril et mai 1979, l'anoxie de plus en plus marquée ayant entraîné, directement ou indirectement, des déséquilibres écologiques et des mortalités massives de poissons (GUITRAL, 1982). Ces évolutions sont accentuées par l'existence d'un cycle nyctéméral déjà évoqué (fig. 7), d'autant plus accusé que la communauté vivante est importante.

En lagune Aby, il faut noter, en profondeur, l'existence de vastes zones anoxiques permanentes à H_2S , qui occupent plus du quart de la lagune, soit toutes les zones centrales dès que la profondeur y dépasse 5 à 6 mètres. Cette importante masse d'eau anoxique représente un volume d'environ $0.4 \cdot 10^9 m^3$, soit 25 % du volume total de la lagune (CHANTRAINE, 1981). Son existence est due tout à la fois à la morphologie et au mode d'alimentation de cette lagune.

En lagune Ebrié, le fond est couvert de vases organiques pauvres en oxygène, voire anoxiques à partir de 4 ou 5 mètres (DEBYSER, 1955); BINDER, 1968), à l'intérieur desquelles la quasi-totalité des pigments chlorophylliens est dégradée (PLANTE-CUNY, 1977).

2. LA PRODUCTION VÉGÉTALE

2.1. Le phytobenthos

Les estuaires et les lagunes sont des lieux d'implantation privilégiés du phytobenthos qui y trouve des fonds riches à proximité de la surface, donc de la source énergétique. Son abondance et sa production ont été étudiées par PLANTE-CUNY (1975, 1977) en lagune Ebrié, lors de la saison des pluies 1975.

Les microphytes benthiques rencontrés appartiennent à des groupes variés : phytoflagellés, cyanophycées et diatomées sessiles ou libres. Ils se répartissent sur les fonds sableux de 0 à 5 mètres. Plus profondément la lumière est insuffisante, et le sédiment vaseux souvent anoxique par manque d'activité photosynthétique. Les teneurs en chlorophylle « a » sont importantes jusqu'à 2 mètres d'immersion (100 à 200 mg/m^2), dépassant largement celles du phytoplancton dans la colonne d'eau sus-jacente. A partir de trois mètres la proportion s'inverse (fig. 14).

Malgré ces potentialités, la productivité (production brute/unité de biomasse) du sédiment est très limitée à cause du faible éclaircissement qui lui parvient. La plus forte productivité relevée n'est que de 2,4 $mg O_2/mg$ chlorophylle « a »/heure soit 10 fois inférieure à la productivité moyenne du phytoplancton. Elle est essentiellement fonction de l'énergie parvenant au sédiment, dépendant donc à la fois de l'immersion, de la turbidité des eaux sus-jacentes et de l'éclaire-

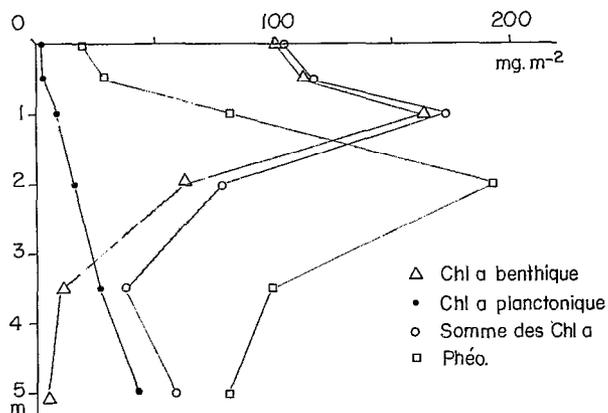


FIG. 14. — Lagune Ebrié : pigments benthiques et planctoniques. Teneurs en chlorophylle a et phéopigments du centimètre superficiel de sédiment dans six stations. Teneurs en chlorophylle a du phytoplancton ramenées à l'unité de surface aux mêmes stations. Somme des teneurs en chlorophylle a benthique et planctonique par unité de surface (PLANTE-CUNY, 1977)

Ebrié lagoon: benthic and planktonic pigments. Mean chlorophyll a and pheopigments concentrations in the first centimeter of sediment of six stations. Phytoplankton chlorophyll a concentration by square meter at the same stations. Summation of benthic and planktonic chlorophyll a concentrations per unit area (PLANTE-CUNY, 1977)

ment en surface. Elle est meilleure sur sédiment grossier que sur sédiment fin. La région d'estuaire au nord de l'île Boulay est la plus riche en phyto-benthos. Viennent ensuite l'ensemble des régions occidentales V et VI et orientales (II) à l'est de l'île Désirée. Une seule station a été faite dans la zone d'influence d'Abidjan ; elle s'est révélée très pauvre.

La production brute primaire moyenne benthique des fonds de 0 à 5 mètres était de 59,5 mg O₂/m²/h en saison des pluies 1975. En extrapolant cette production à toute l'année et en tenant compte de la superficie couverte par les fonds de moins de 5 mètres, la production benthique brute de la lagune Ebrié représenterait environ 10 % de la production phytoplanctonique.

2.2. Le phytoplancton

2.2.1. COMPOSITION DES PEUPELEMENTS ALGAUX

La composition des peuplements phytoplanctoniques a été étudiée en lagune Ebrié par MAURER (1978) en saison sèche et en saison des pluies 1976, et par A. ILTIS (comm. pers.) en saison des crues 1977. Comme pour les paramètres hydrobiologiques, elle est extrêmement variable. Dans la partie occiden-

taile, au-delà de Dabou (fig. 1), la plus stable hydrologiquement, les populations varient peu au cours de l'année ; elles sont dominées par des Cyanophycées de petite taille qui représentent plus de 80 % des biovolumes. La partie orientale est dominée par des Diatomées en période de crue.

Dans la partie centrale (région d'estuaire), les variations saisonnières sont importantes comme le sont celles du milieu. Les Diatomées représentent 90 % de la biomasse en saison sèche, le reste étant constitué de Dinoflagellés et Cyanophycées marines. MAURER (1978) a observé l'arrivée des eaux douces en région d'estuaire, au début de la saison des pluies 1976. L'influence océanique est nette jusqu'au 15 mai, avec des salinités des eaux supérieures à 20 ‰ et la présence de Diatomées marines. Par la suite, les apports d'eau douce augmentant sans cesse, la salinité chute en dessous de 3 ‰ en surface ; ne subsistent plus alors que quelques espèces qui, ou bien se maintiennent grâce à un fort potentiel multiplicatif comme *Cryptomonas* sp. ou *Eutreptiella* sp. ou bien sont apportées par les eaux douces comme *Pleurosigma* sp. Les indices de diversité sont alors faibles (celui de SHANNON par exemple est inférieur à 1).

Ces situations concernent le chenal central. Dans les anses latérales, tous les intermédiaires existent ; les Diatomées, Cyanophycées, Pyrrophytes, Cryptophytes et Eugléniens peuvent y être dominants.

MAURER (1978) a plus particulièrement étudié les peuplements de la baie de Biétri soumis aux rejets de la ville d'Abidjan. L'abondance de matière organique semble y favoriser la présence de petits organismes flagellés : Cryptophycées, Eugléno-phycées et petits Dinoflagellés qui s'y développent parfois de façon exubérante (plusieurs centaines de millions d'individus/l) en populations quasi monospécifiques.

2.2.2. BIOMASSES VÉGÉTALES ET SESTON

La biomasse végétale a été estimée par les concentrations en chlorophylle « a ». Du fait d'une turbidité élevée (cf. § 1.2.), la couche d'eau photosynthétiquement active n'est épaisse que de quelques mètres à l'intérieur desquels les concentrations en chlorophylle « a » sont généralement homogènes et correctement estimées par celles de surface. La répartition moyenne de ces concentrations en lagune Ebrié en 1975 atteste d'une augmentation avec l'éloignement du canal de Vridi à l'ouest comme à l'est (fig. 15). Les régions centrales, sous l'influence de la mer et des grandes rivières, sont les plus pauvres — relativement — avec des teneurs de l'ordre de 7 mg/m³. Elles sont plus importantes au-delà de l'Agnéby à l'ouest et, en lagune Aghien à l'est. La région extrême occidentale est la plus riche avec

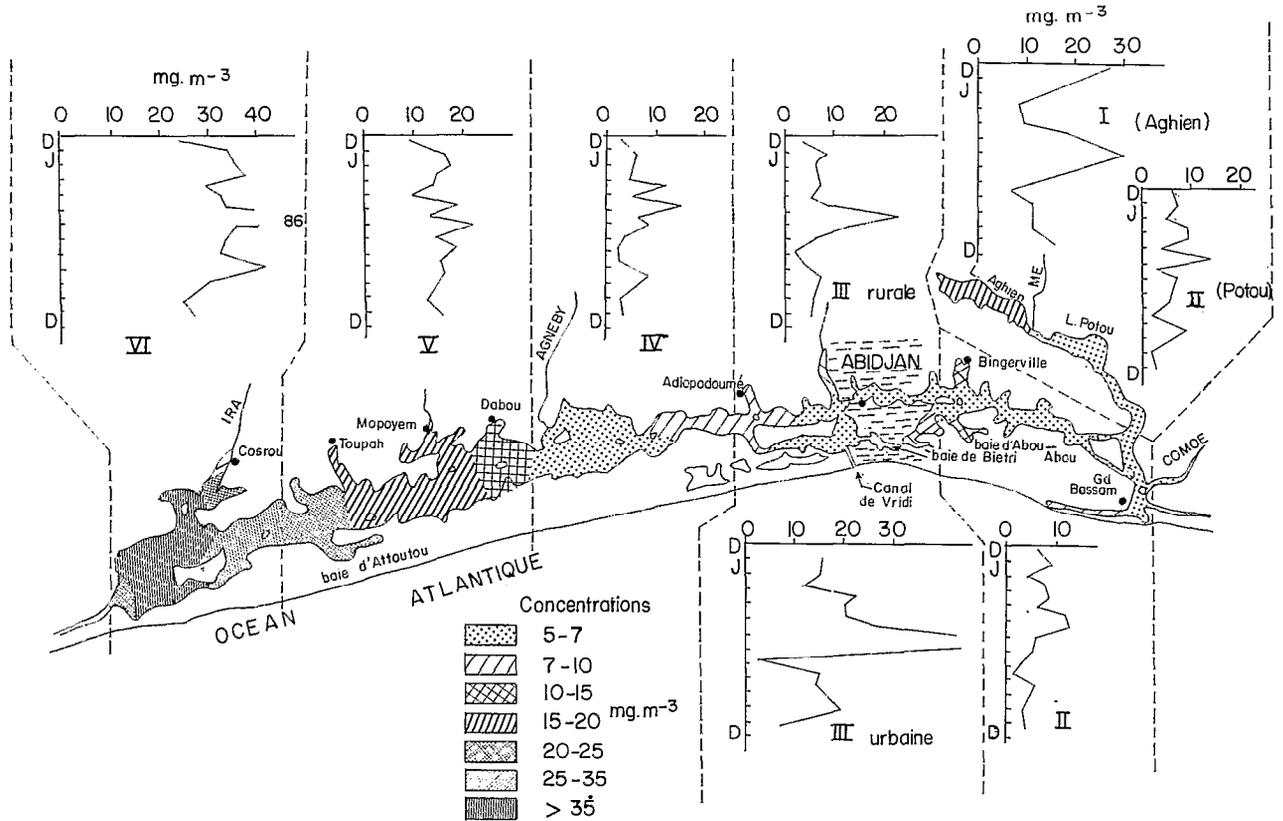


FIG. 15. — Système lagunaire Ebrié : répartition moyenne et évolution saisonnière de la biomasse du phytoplancton d'après les concentrations de chlorophylle *a* dans les eaux de surface en 1975

Ebrié lagoon: mean repartition and seasonal evolution of phytoplankton biomass during 1975 according to surface waters chlorophyll a concentrations

des teneurs dépassant 35 mg/m³. De telles concentrations sont élevées, 10 fois plus importantes en moyenne que celles relevées à la station côtière d'Abidjan dans un secteur océanique considéré comme riche avec l'établissement d'un « upwelling » intense de juillet à septembre.

D'une façon générale, les rivières affluentes sont plus pauvres. Les baies contaminées par les agglomérations d'Abidjan, Bingerville et Dabou sont manifestement plus riches que le chenal central. Parmi les grandes baies plus strictement rurales, celles de Cosrou influencée par la rivière Ira et celle d'Attoutou sont généralement plus pauvres, tandis que celles de Mopoyem, Toupah, Adiopodoumé et Abou-Abou sont plus riches, surtout en période de crues (fig. 15). Ces caractéristiques semblent stables puisque retrouvées par A. ILTIS (comm. pers.) en septembre 1977.

Dans le système lagunaire Aby, les concentrations chlorophylliennes moyennes relevées en 1979 (CHANTRAINE, 1981) sont nettement plus fortes qu'en

lagune Ebrié (fig. 16). La lagune Tendo, la plus pauvre, atteint quand même 18 mg/m³, tandis que la lagune Aby approche 28 mg/m³, et la lagune Ehy dépasse 50 mg/m³. La région d'estuaire, qui est hydrologiquement peu développée par rapport à celle de la lagune Ebrié, ne se distingue pas du reste du bassin central Aby. Comme en lagune Ebrié, les rivières et leurs embouchures sont plus pauvres.

Une seule campagne de mesures a été effectuée dans le système lagunaire de Grand-Lahou, lors de la saison sèche 1975. Là encore, l'extrémité la plus continentale, la lagune Tadio est la plus riche avec des concentrations de 10 à 20 mg/m³, tandis que dans la région d'estuaire, qui est également celle de l'embouchure du fleuve Bandama, elles sont inférieures à 7 mg/m³ (fig. 17).

Toutes ces moyennes annuelles masquent des différences saisonnières qui peuvent être importantes et que les campagnes mensuelles de 1975 dans le système Ebrié permettent de cerner (fig. 15). Sur

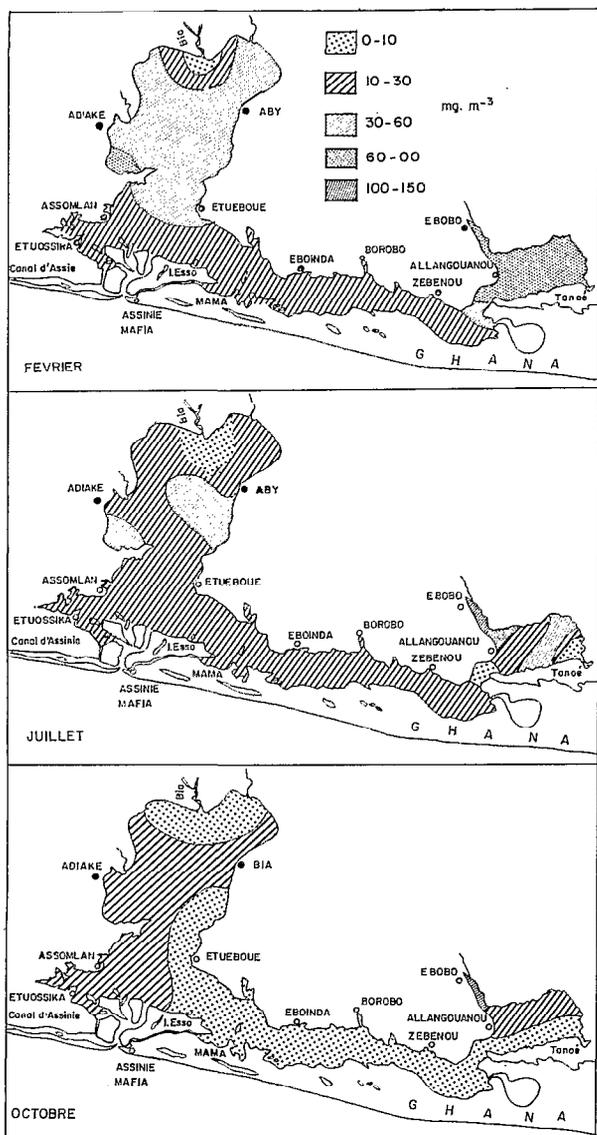


FIG. 16. — Lagune Aby : répartition moyenne aux trois saisons caractéristiques de la biomasse phytoplanctonique estimée par la concentration des eaux de surface en chlorophylle *a* (d'après CHANTRAINE, 1981)

Aby lagoon: mean distribution during the three characteristic seasons of phytoplankton biomass as estimated by surface waters chlorophyll a concentrations, 1979 (from CHANTRAINE, 1981)

l'ensemble du bassin central, le maximum a lieu au début de la saison des pluies et se superpose avec l'arrivée massive des eaux de ruissellement. Toute la partie à l'est de Dabou influencée par les plus grands fleuves : l'Agnéby, le Comoé et la Mé, s'appauvrit ensuite progressivement jusqu'en saison des crues.

Trois campagnes de mesures ont été effectuées dans le système lagunaire Aby. Les différences saisonnières y semblent beaucoup plus accusées qu'en lagune Ebrié. Les teneurs en saison sèche (février 79) sont en effet trois fois plus fortes qu'en saison des crues (oct. 79), la plus pauvre, comme en lagune Ebrié. Celles de saison des pluies (juillet 79), sont intermédiaires. Les plus fortes concentrations chlorophylliennes ont été rencontrées à l'extrémité est de la lagune Ehy en février avec 145 mg/m³ (CHANTRAINE, 1981). Dans cette lagune, l'amplitude des variations saisonnières est considérable puisque les concentrations de saison des crues n'y sont que de 10 mg/m³ (fig. 16).

Outre le phytoplancton, la considération globale du seston, c'est-à-dire des particules aussi bien vivantes que mortes nous paraît intéressante pour deux raisons pratiques. D'abord, l'essentiel du zooplancton et des poissons des lagunes ivoiriennes sont des filtreurs sélectionnant leurs proies d'abord sur des critères de taille. Ensuite, c'est bien la quantité du seston qui devient nuisance lorsqu'elle est trop forte, dans les baies urbaines par exemple. En lagune Ebrié, la masse du seston, exprimée en poids de matière sèche, a été évaluée à 8 000 tonnes (LEMASSON *et al.*, 1981). Son taux de renouvellement estimé par le ¹⁴C serait de 3 à 4 jours (PAGÈS et LEMASSON, 1981 b). Cette charge particulière est minimale en région d'estuaire et maximale en régions continentales (LEMASSON *et al. ibid.*; DUFOUR *et al.*, 1981 b). Ces variations suivent assez bien celles de la chlorophylle « a », ce qui n'est pas étonnant puisque d'après LEMASSON *et al. (ibid.)*, 60 à 77 % du seston organique serait vivant et pour l'essentiel composé de phytoplancton. Toutefois il convient de noter que la proportion de carbone détritique peut devenir importante à l'arrivée des eaux de ruissellement en saison des pluies et de crues (données non publiées).

Les variations entre années sont importantes, comme le montre la différence des concentrations en chlorophylle « a » de la région d'estuaire de la lagune Ebrié en 1975 et 1977 (fig. 18). En lagune Aby aussi, fin juin 1975, la teneur moyenne des eaux de surface était de 9,5 mg/m³ ; elle était 2,7 fois plus élevée quatre ans plus tard en juillet 1979. Le début de l'année 1979 semble d'ailleurs avoir été aussi exceptionnellement riche dans le système Ebrié. A la suite de mortalités massives de poissons dans les régions occidentales, on a relevé des concentrations en chlorophylle « a » partout supérieures à 100 mg/m³, donc de 2 à 7 fois supérieures à ce qu'on avait l'habitude d'y mesurer. D'autres exemples pourraient être trouvés, établissant l'impossibilité d'estimer une richesse phytoplanctonique moyenne pour chaque système lagunaire. Celle-ci est l'objet

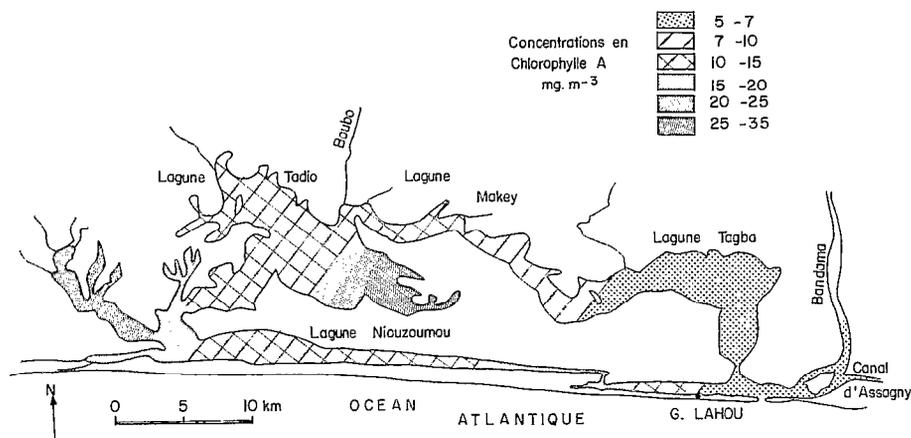


FIG. 17. — Lagune de Grand-Lahou : répartition de la biomasse du phytoplancton (Chlorophylle *a* de surface) en mars 1975.
*Grand-Lahou lagoon : phytoplankton biomass distribution (surface chlorophyll *a*) during March 1975*

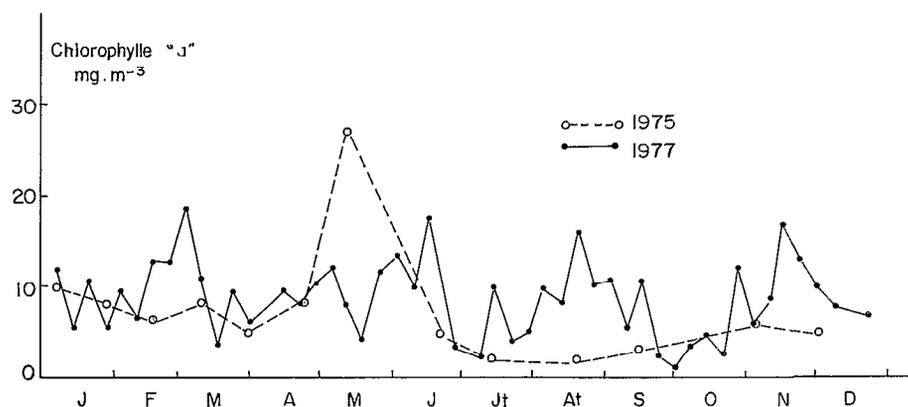


FIG. 18. — Variations interannuelles de la biomasse phytoplanktonique en région d'estuaire de la lagune Ebrié (cf. texte)
Annual variations of phytoplankton biomass in the Ebrié lagoon estuary (see text)

de variations annuelles dont le caractère cyclique, aléatoire ou progressif, ne pourra être déterminé que par de longues séquences d'observations. Il semble évident que ces variations interannuelles sont liées à celles de l'hydroclimat dont l'amplitude est importante (DURAND et CHANTRAINE, 1981). C'est ainsi que le début de l'année 1979 fut exceptionnellement sec sur le bassin versant de la lagune Ebrié. Il y a là une relation avec les floraisons exceptionnelles de phytoplancton observées à cette époque, dont les mécanismes précis n'ont pas encore pu être élucidés (GURAL, 1982). Seules des études approfondies du contrôle de la biomasse phytoplanktonique pourront permettre d'expliquer, sinon de prévoir, de tels phénomènes.

2.2.3. L'ACTIVITÉ PHOTOSYNTHÉTIQUE DU PHYTOPLANKTON

La production brute en oxygène du phytoplancton de la lagune Ebrié fut de 1 405 g/m²/an en 1975 (DUFOUR, *in prep.*), ce qui, converti en équivalent calorifique, représente un rendement par rapport à l'énergie solaire incidente de 0,32 %. Cela est faible par rapport à certains écosystèmes terrestres, mais reste dans la fourchette des valeurs observées dans des lacs : de 0,01 % à 2 % (TILZER *et al.* 1975) ou de 0,01 % à 1,11 % (BRYLINSKY et MANN, 1975). Ce rendement est à peine plus fort que celui de 0,26 % observé par LEMOALLE (1979) dans l'archipel sud-est du lac Tchad en 1969.

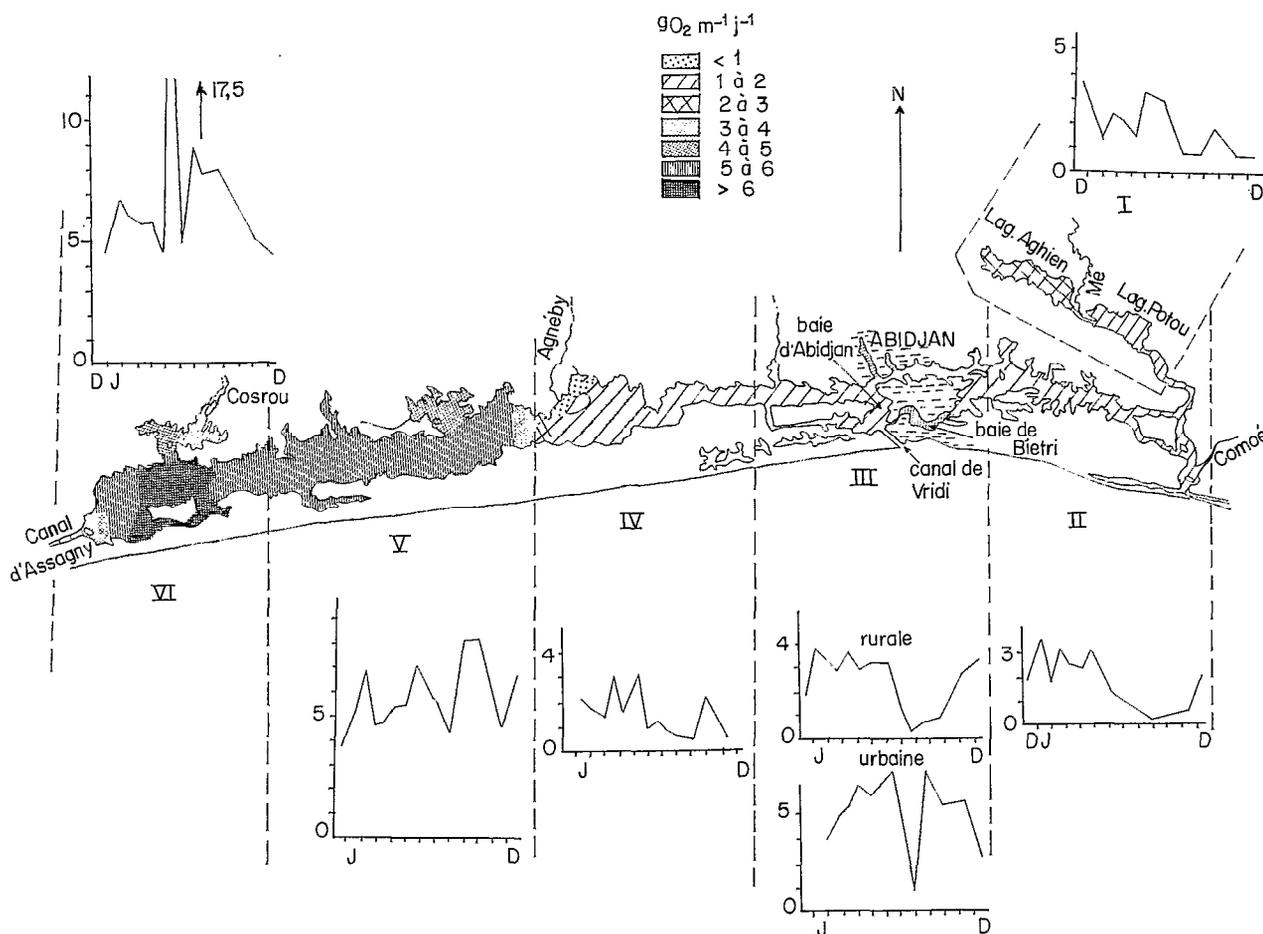


FIG. 19. — Lagune Ebrié : variations régionales et saisonnières de la production brute du phytoplancton basée sur 708 mesures effectuées en 1975 (d'après DUFOUR, *in prep.*)

Ebrié lagoon: regional and seasonal variations of phytoplankton gross production according to 708 measurements made during 1975 (from DUFOUR, in prep.)

Les secteurs les moins productifs sont les plus proches de l'océan (baie d'Abidjan, $913 g O_2/m^2/an$), et ceux qui sont soumis aux apports saisonniers des crues continentales : toute la région II avec $548 g O_2/m^2/an$, la lagune de Potou avec $821 g O_2/m^2/an$ et la région IV avec $545 g O_2/m^2/an$, respectivement sous l'influence de la Comoé, la Mé et l'Agnéby (fig. 19). Les régions continentales, qui sont à l'écart des grandes rivières, sont nettement plus productives : à l'est, la lagune Aghien avec $1405 g O_2/m^2/an$ et à l'ouest, la région V avec $1945 g O_2/m^2/an$ et la région VI avec $2070 g O_2/m^2/an$. Mais, même dans cette dernière région, on note l'influence des eaux continentales : au débouché du canal d'Assagny, au travers duquel passent les eaux du Bandama en période de crue,

la production annuelle n'est que de $1278 g O_2/m^2/an$, identique à celle de la baie de Cosrou, qui, elle, reçoit les eaux de la rivière Ira.

Les variations de la production brute apparaissent surtout liées à la fraction de la lumière incidente absorbée par le phytoplancton sur toute l'épaisseur de la colonne d'eau. Ce facteur explique à lui seul 69 % de la variance de la production ; il combine les effets cumulés de la turbidité des eaux et de la densité phytoplanctonique (DUFOUR, 1982 a). Ces deux paramètres permettent de distinguer entre les régions occidentales V et VI, dont les productions moyennes annuelles sont identiques mais les caractéristiques bien différentes. Dans la région V, les teneurs en chlorophylle sont relativement modérées ($10 à 20 mg/m^3$), mais elles se rapportent à une

relativement grande épaisseur d'eau (transparence de 1,5 à 2,5 m). En revanche, la région VI possède des concentrations chlorophylliennes très fortes (30 à 50 mg/m³), mais qui sont fonctionnelles sur une épaisseur moindre (transparence de 0,6 à 1,2 mètres).

Les variations saisonnières de la production dans ces deux régions sont peu accentuées (fig. 19). En 1975, on note que la turbidité diminue en saison des crues, simultanément à la biomasse, entraînant une production par unité de surface identique à la moyenne annuelle. Un seul accident est noté en avril 1975 en région VI, où des biomasses de 85 mg/m³, non compensées par des turbidités plus fortes, permirent des productions de 17 g O₂/m²/j. De telles productions ont probablement été dépassées en mai 1979 puisque, d'après les biomasses et transparences mesurées, elles devaient approcher 30 g/m²/j, ce qui est proche des maxima de 43 et 57 g O₂ observés par TALLING *et al.* (1973) en Éthiopie.

Dans les régions influencées par les grandes rivières, à l'est de l'Agnéby, la production moyenne est plus faible, tandis que les variations saisonnières sont marquées. C'est le cas de la région III qui est soumise à l'alternance de catégories d'eau les plus contrastées (DURAND et CHANTRAINE, 1981). La production brute y varie de 3 à 5 g/m²/j dans les eaux salées de saison sèche dont les transparences sont supérieures à 2 mètres et où les biomasses chlorophylliennes dépassent 5 mg/m³. La transparence diminue fortement avec la saison des pluies locales de mai à juillet, ne permettant guère des productions supérieures à 2 g/m²/j. En année « normale », la salinité et la transparence réaugmentent au cours de la petite saison sèche centrée en août, autorisant alors des productions plus élevées, avant celles à nouveau inférieures à 2 g O₂/m²/j dans les eaux très turbides du fleuve Comoé en crue.

Un cycle annuel identique s'observe dans les régions IV, II et en lagune de Potou, toutes influencées par de grandes rivières. C'est en région II que l'amplitude annuelle des transparences est maximale. En saison des crues du fleuve Comoé, les transparences inférieures à 0,5 m en 1975 n'y autorisaient pas des productions supérieures à 0,5 g O₂/m²/j.

En lagune Aghien, si le cycle annuel de la transparence ressemble à celui des régions précédentes, les biomasses y sont toujours plus fortes et la production est en moyenne deux fois plus élevées qu'en lagune Potou, et en lagune Ebrié, en régions II, III et IV.

Dans les rivières, la grande turbidité d'origine minérale ou organique détritique comprime la couche euphotique. La couche de mélange atteint par contre le sédiment du fait des courants. Il en

résulte une production nette faible et parfois nulle, donc une biomasse phytoplanctonique et une production brute inférieure à ce qu'elles sont en lagune.

Concernant les baies, une distinction doit être faite entre celles de l'ouest et celles de l'est. Dans les régions occidentales, la transparence des baies est toujours plus faible que celle du chenal central, et bien que les concentrations phytoplanctoniques puissent y être temporairement plus fortes, la production moyenne y est plus faible. À l'est de l'Agnéby, dans la région d'estuaire, l'essentiel de la charge minérale et organique détritique qui a pour origine les grandes rivières, passe d'abord par le chenal avant de pénétrer dans les baies où elle se dépose. Il en résulte que le phytoplancton des baies dispose de plus de lumière que celui du chenal central, surtout en saison des pluies et des crues. La production brute est alors nettement plus forte dans les baies que dans le chenal central, tandis qu'elle y est égale ou inférieure en période d'étiage. Le résultat global est une production annuelle moyenne équivalente.

Une mention particulière doit être faite pour la zone d'Abidjan. Les valeurs de la production primaire y sont plus irrégulières dans le temps et plus hétérogènes dans l'espace qu'ailleurs. Des variations d'un facteur 6 ont été relevées en un même point d'un jour à l'autre. Mais des variations encore supérieures peuvent s'observer dans l'espace. Cette zone est contaminée par les effluents domestiques de 1 300 000 habitants et les rejets industriels, qui sont évacués en lagune, pour la plupart sans traitement, par l'intermédiaire de multiples émissaires. À petite échelle géographique, il y a généralement inhibition de la production primaire à proximité immédiate du rejet et stimulation à quelque distance (fig. 20). L'intensité et l'extension de ces phénomènes contraires est fonction de la nature de l'effluent, de son débit et de sa dilution dans le milieu récepteur. Des mesures effectuées autour de quatre gros émissaires industriels et domestiques nous ont montré que la surface concernée par l'eutrophie est une centaine de fois supérieure à celle concernée par la dystrophie (PAGÈS *et al.*, 1981). L'effet global des effluents de la ville est donc de stimuler la production primaire phytoplanctonique. Pour l'année 1975, la production brute de la zone urbaine a été estimée à 1 051 g O₂/m²/an, soit 1,8 fois celle de la zone rurale. Mais les productions des secteurs les plus eutrophes, tel le fond de la baie de Biétri, peuvent largement excéder ce chiffre : 2 850 g O₂/m²/an en 1977 (DUFOR, *in prep.*).

Cette production des secteurs pollués est toute l'année supérieure à celle des secteurs ruraux indemnes, mais la différence est encore plus importante en saison des pluies et en saison des crues

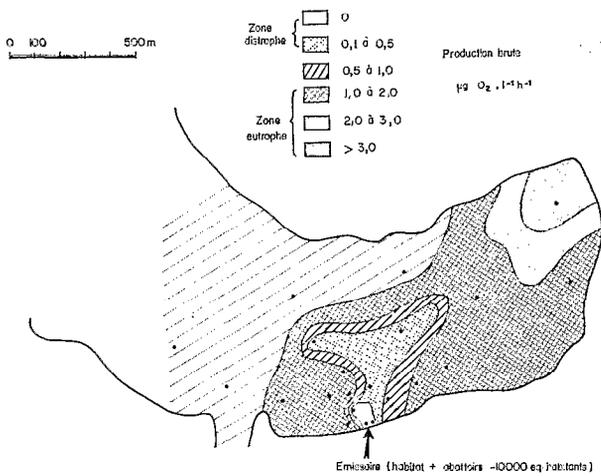


FIG. 20. — Pollution organique dans la région d'Abidjan : inhibition et stimulation de la production phytoplanktonique autour d'un gros émissaire (d'après DUFOR et MAURER, 1979)
Organic pollution within Abidjan area : inhibition and stimulation of the phytoplanktonic production near a large outlet (from DUFOR and MAURER, 1979)

(fig. 21). Cette particularité est liée à un contrôle de la production à un double niveau. D'abord par les sels nutritifs qui toute l'année autorisent une biomasse plus forte en zone polluée. Ensuite du fait de sa forte concentration, cette biomasse absorbe une fraction plus élevée de l'énergie incidente. Ceci est particulièrement net en période de forte charge minérale des eaux (soit en saison des pluies et des crues), celle-ci se déposant plus facilement

en secteurs pollués généralement situés dans les baies à l'abri des plus forts courants.

Peu d'évaluations directes de la production phytoplanktonique ont été effectuées dans les systèmes lagunaires Aby et de Grand-Lahou. Dans le premier, des mesures de concentrations en chlorophylle « a » et de transparence en février, juillet et octobre 1979 (CHANTRAINE, 1981) permettent d'évaluer la production brute dont les variations géographiques et saisonnières apparaissent importantes. La saison des crues (octobre) est la moins productive. Dans les eaux dessalées (< 0,5 ‰) et de transparence de moins d'un mètre, on trouve des biomasses inférieures à 20 mg/m³ et des productions en moyenne de 2,5 g O₂/m²/j. En saison d'étiage (février 1979) l'écosystème est à son maximum d'hétérogénéité spatiale en même temps qu'il est le plus riche. La salinité varie de 0 à 15 ‰. La lagune de Tendo et la région d'estuaire sont les plus pauvres avec des productions néanmoins comprises entre 5 et 10 g O₂/m²/j. Les lagunes Ehy et le bassin central Aby sont les plus riches, leur production étant comprise entre 10 et 15 g O₂/m²/j. Ces productions sont supérieures aux plus fortes valeurs observées en 1975 en lagune Ebrié. Mais l'absence de données climatologiques ne permet pas de déterminer si cette grande richesse du système Aby en saison d'étiage est habituelle ou liée à l'année 1979 qui fut aussi exceptionnelle dans les régions occidentales du système Ebrié. En saison des pluies (juillet 1979) les productions apparaissent comprises entre celles de saison sèche et des crues. Notons encore qu'en toute saison, le secteur au

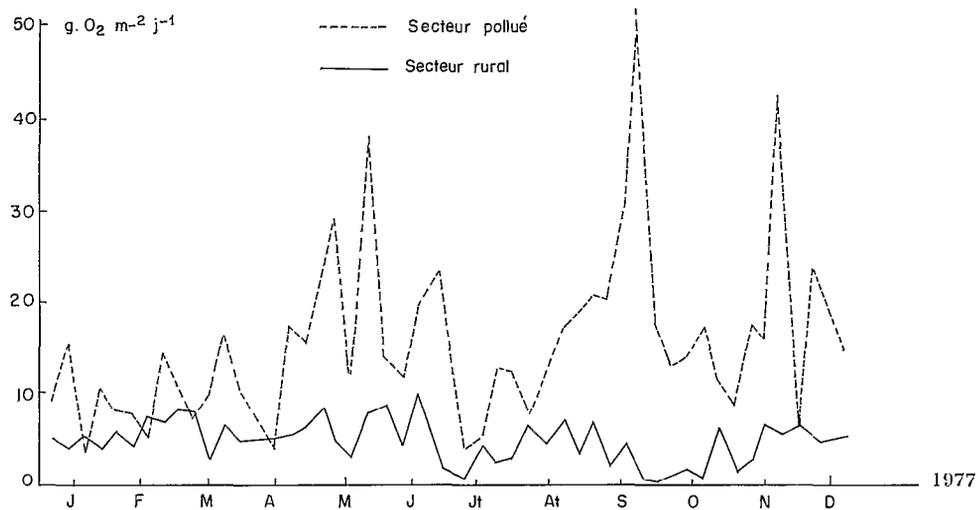


FIG. 21. — Région d'estuaire en lagune Ebrié : évolution annuelle comparée de la production brute du phytoplankton en secteur urbain très pollué et en secteur rural préservé (d'après DUFOR, in prep.)
Ebrié lagoon estuary : phytoplankton gross production for a heavily polluted urban area compared with a natural rural area (from DUFOR, in prep.)

débouché de la Bia apparaît très pauvre ; celui de la Tanoé est pauvre aussi en saison des pluies et des crues, mais pas en février 79 où la station la plus proche de son embouchure supporte une production de 15 g O₂/m²/j.

De cette production phytoplanctonique brute, la seule mesurée habituellement, il conviendrait de retrancher les pertes par respiration qui peuvent parfois lui être supérieures (DUFOUR, *in prep.*), pour atteindre la production nette, effectivement mise à la disposition des prédateurs herbivores. Il conviendrait aussi d'y ajouter la production bactérienne du sédiment actuellement à l'étude, et celle du phytobenthos.

CONCLUSIONS

Les paragraphes précédents nous suggèrent que les écosystèmes étudiés devraient être caractérisés par la variabilité plutôt que par les moyennes de leurs paramètres. Ces lagunes présentent en effet toute une gamme de situations entre les milieux ouverts (régions d'estuaires) et isolés, entre les secteurs naturels et transformés par l'homme, entre les chenaux centraux et les baies, entre les eaux peu profondes et les fosses. Il s'y ajoute une variabilité saisonnière et annuelle que l'on ne peut se permettre de négliger. Par ailleurs, l'importance des échanges exige la connaissance simultanée des écosystèmes frontalière atmosphériques, marins, continentaux et humains.

En ce qui concerne la production végétale, sa variabilité et ses facteurs dans les lagunes ivoiriennes, nous avons fourni ici une synthèse sommaire des connaissances qui sont développées dans la littérature citée (publiée ou sous presse).

La biomasse végétale moyenne par unité de surface dans les lagunes ivoiriennes équivaut à celle d'un upwelling côtier modéré dans le domaine marin. Mais, alors qu'elle est répartie en mer sur quelques dizaines de mètres de hauteur, elle est concentrée dans ces milieux saumâtres sur quelques mètres seulement. Cette biomasse est soumise à de grandes fluctuations qui sont fonction des milieux-frontières. Sa productivité (production/biomasse) est importante, caractéristique qui se rencontre dans les écosystèmes que les pertes (ici : vers l'océan, vers le sédiment et vers l'homme) obligent à un intense renouvellement. L'énorme production végétale résultante apparaît en grande partie perdue pour l'échelon terminal : poissons et crustacés exploitables par l'homme. Effectivement, la production brute du phytoplancton de la lagune Ebrié fut de 800 000 tonnes d'oxygène en 1975. Cela équivaut à 250 000 tonnes de carbone auxquels il faut ajouter 25 000 tonnes dues au phytobenthos et une production bactérienne encore inconnue mais probablement appréciable. A l'autre extrémité

des réseaux trophiques, les pêcheries n'extraitent que 7 000 à 10 000 tonnes de poissons et crustacés (GARCIA, 1976 ; DURAND *et al.*, 1978 ; ECOUTIN et BERT, 1981), équivalents à 700 et 1 000 tonnes de carbone. Ce qui correspond à un taux de transfert dérisoire puisque inférieur à 0,4 %. Bien sûr, ces pêcheries correspondent à une production terminale nettement supérieure, car il faut tenir compte des mortalités naturelles. Une production terminale de 3 000 tonnes de carbone paraîtrait plus vraisemblable (400 à 600 kg de poids frais par hectare et par an). Le taux de transfert de 1 % résultant est néanmoins faible, d'autant plus que les poissons et crustacés herbivores sont largement dominants dans ces milieux.

La moitié, au moins, du « gâchis » énergétique constaté est le fait de la respiration des organismes végétaux dont la détermination totale et précise pose des problèmes (DUFOUR, *in prep.*). Une autre fraction, qu'il faudrait évaluer, est celle qui est constamment entraînée vers l'océan, contribuant ainsi à son enrichissement, notamment en saison des pluies et en saison des crues (DANDONNEAU, 1973). Par contre, les lagunes reçoivent du continent une quantité également mal connue de matières organiques. Le reliquat de ces échanges et la matière végétale produite en excès sont piégés dans les sédiments, comme le montrent les grandes épaisseurs de vases riches en matière organique (DEBYSER, 1955 ; LEMASSON et PAGÈS, *in prep.*). Une des origines des mauvais transferts au sein des réseaux trophiques lagunaires serait l'instabilité de la biomasse phytoplanctonique qui ne permet qu'aux espèces de brouteurs à temps de génération très court de proliférer. Nous pensons aussi que les fortes biomasses des régions continentales, composées en grande partie par des cyanophycées peu digestes, sont mal exploitées, ce qui reste à démontrer. Il en est de même du phytoplancton de très petite taille observé dans les baies polluées de la zone d'Abidjan (LE BORGNE et DUFOUR, 1979).

Il reste donc d'importants problèmes à résoudre pour comprendre les mécanismes des transferts et leur efficacité ; il faut tout à la fois acquérir une meilleure connaissance des réseaux trophiques et améliorer les estimations de production nette à tous les niveaux.

REMERCIEMENTS

Le travail résumé ici a été partiellement mené sur crédits BSIE de Côte d'Ivoire. Les auteurs remercient les marins, techniciens et chercheurs du Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan qui y ont collaboré. Ils remercient également MM. LEMASSON, LEMOALLE, PAGÈS et SOURNIA qui l'ont relu et critiqué.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M. le 29 mai 1982

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BINDER (E.), 1968. — Répartition des Mollusques dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.* vol. II, nos 3-4 : 3-14.
- BRYLINSKY (M.), MANN (K. H.), 1973. — An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs. *Limnol. Oceanogr.* 18, 1 : 1-14.
- CHANTRAINE (J. M.), 1980. — La lagune Aby (Côte d'Ivoire) : morphologie et hydrologie ; paramètres physico-chimiques. *Doc. Scient. CRO Abidjan* 11 (2) : 39-77.
- CHARLES-DOMINIQUE (E.), ECOUTIN (J. M.) et SAN GNANMILIN (A.), 1980. — La pêche artisanale en lagune Aby-Tendo-Ehy (Côte d'Ivoire). *Arch. Scient. CRO Abidjan* 6, 4, 26 p.
- COLCANAP (M.) et DUFOUR (P.), 1982. — L'assainissement de la ville d'Abidjan. Évaluation, recommandations, propositions d'alternatives. Ministère de l'Environnement, O.R.S.T.O.M., Paris, 299 p.
- DAGET (J.) et DURAND (J. R.), 1968. — Étude du peuplement de poissons d'un milieu saumâtre tropical poikilohalin : la baie de Cocody en Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol.* vol. II, no 2 : 91-111.
- DANDONNEAU (Y.), 1973. — Étude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. III. Facteurs dynamiques et variations spatio-temporelles. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Océanogr.* vol. XI, no 4 : 431-454.
- DEBYSER (J.), 1955. — Étude sédimentologique du système lagunaire d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Rev. Inst. Fr. Pétrole* 10 (5) : 319-334.
- DUFOUR (P.), 1982a. — Modèles semi-empiriques de la production phytoplanctonique en milieu lagunaire tropical (Côte d'Ivoire). *Acta Oecologica. Oecol. Gener.* 3 (2) : 223-239.
- DUFOUR (P.), 1982b. — Les frontières naturelles et humaines du système lagunaire Ebrié. Incidences sur l'hydroclimat. *Hydrobiologia* (sous presse).
- DUFOUR (P.), 1982c. — Influence des conditions de milieu sur la biodégradation des matières organiques dans une lagune tropicale. *Oceanologica Acta.* 5 : 355-363.
- DUFOUR (P.), 1982d. — Le régime nutritif du système lagunaire Ebrié. Soumis *Océanog. Trop.* (à paraître).
- DUFOUR (P.), CREMOUX (J. L.) et SLEPOUKHA (M.), 1981a. — 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. Écol.* 51 : 247-267.
- DUFOUR (P.), LEMASSON (L.) et CREMOUX (J. L.), 1981b. — Contrôle nutritif de la biomasse du seston dans une lagune tropicale de Côte d'Ivoire. II : variations géographiques et saisonnières. *J. Exp. Mar. Biol. Écol.* 51 : 269-284.
- DUFOUR (P.) et MAURER (D.), 1979. — Pollution organique et eutrophisation en milieu tropical saumâtre. *Rev. Biol. Écol. Médit.* 6, 3-4 : 252.
- DUFOUR (P.) et SLEPOUKHA (M.), 1975. — L'oxygène dissous en lagune Ebrié : influence de l'hydroclimat et des pollutions. *Doc. Scient. CRO Abidjan* 6 (2) : 75-118.
- DUFOUR (P.) et SLEPOUKHA (M.), 1981. — Étude de la fertilité d'une lagune tropicale au moyen de tests biologiques sur populations phytoplanctoniques naturelles. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14 (2) : 103-114.
- DURAND (J. R.), AMON (K. J. B.), ECOUTIN (J. M.), GERLOTTO (F.), HIE DARE (J. P.) et LAE (R.), 1978. — Statistiques de pêche en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), 1976 et 1977. *Doc. Scient. CRO Abidjan* IX, 2 : 67-114.
- DURAND (J. R.) et CHANTRAINE (J. M.), 1982. — L'environnement climatique des lagunes ivoiriennes. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 15 (2) : 85-113.
- ECOUTIN (J. M.) et BERT (A.), 1981. — Statistiques de la pêche collective en lagune Ebrié. *Arch. Scient. CRO Abidjan* 7, 1.
- GARCIA (S.), 1976. — Biologie et dynamique des populations de crevettes roses (*Penaeus duorarum notialis* Perez-Farfante, 1967) en Côte d'Ivoire. Thèse Doc. Univ. Aix-Marseille, 237 p. *multigr.*
- GUIRAL (D.), 1982. — Première synthèse relative aux mortalités observées en lagune Ebrié : hypothèse sur leurs conditions et leurs modalités d'apparition. *Arch. Scient. CRO Abidjan* (à paraître).
- LANDSBERG (H. H.), 1961. — in : PERRIN DE BRICHAMBAUT, 1943. — Rayonnement et échanges radiatifs naturels. Gauthier-Villars, Paris, 255 p.
- LE BORGNE (R.) et DUFOUR (P.), 1979. — Premiers résultats sur l'excrétion et la production du mésozooplancton de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Doc. Scient. CRO Abidjan* X, 1 : 1-39.

- LEMASSON (L.), 1975. — Compte rendu du C.T. Recherche. *Doc. Interne CRO Abidjan*, 8 p. *multigr.*
- LEMASSON (L.) et PAGÈS (J.), 1982. — Apports de phosphore et d'azote par la pluie en zone tropicale (Côte d'Ivoire). *Doc. Scient. CRO Abidjan* (sous presse).
- LEMASSON (L.), PAGÈS (J.), DUFOUR (P.) et CREMOUX (J. L.), 1981. — Matière organique particulaire et biomasse dans une lagune tropicale. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14 (3) : 191-212.
- LEMOALLE (J.), 1979. — Biomasse et production phytoplanktoniques du lac Tchad (1968-1976). Relations avec les conditions du milieu. O.R.S.T.O.M., Paris, 311 p.
- MAURER (D.), 1978. — Phytoplancton et pollution. Lagune Ebrié (Abidjan). Secteur de Cortiou (Marseille). Thèse Doc. 3^e cycle, Aix-Marseille II, 121 p. *multigr.*
- MONTENY (B. A.) et LHOMME (J. P.), 1980. — Données climatiques recueillies à la station O.R.S.T.O.M. Adiopodoumé (1948-1979). O.R.S.T.O.M., Adiopodoumé, 31 p. *multigr.*
- PAGÈS (J.), DUFOUR (P.) et LEMASSON (L.), 1982. — Pollution de la zone urbaine de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Doc. Scient. CRO* (sous presse).
- PAGÈS (J.) et LEMASSON (L.), 1981a. — Production et utilisation du carbone organique dissous dans une lagune tropicale. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14 (2) : 83-101.
- PAGÈS (J.) et LEMASSON (L.), 1981b. — Mesure de la production primaire dans la lagune tropicale. Bilan de la production par la méthode au ¹⁴C. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14 (3) : 213-222.
- PAGÈS (J.), LEMASSON (L.) et DUFOUR (P.), 1979. — Éléments nutritifs et production primaire dans les lagunes de Côte d'Ivoire. Cycle annuel. *Arch. Scient. CRO Abidjan* 5 (1) : 1-60.
- PAGÈS (J.), LEMASSON (L.) et DUFOUR (P.), 1981. — Primary production measurement in a brackish tropical lagoon. Effect of light, as studied at some stations by the ¹⁴C method. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 14 (1) : 3-15.
- PLANTE-CUNY (M. R.), 1975. — Distribution selon la profondeur de la chlorophylle « a » fonctionnelle et des pheopigments sur les sédiments de la lagune Ebrié Abidjan. *C. R. Acad. Sc. Paris, D*, 28 : 1325-1328.
- PLANTE-CUNY (M. R.), 1977. — Pigments photosynthétiques et production primaire du microphytobenthos d'une lagune tropicale, la lagune Ebrié (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Océanogr.* vol. XV, n° 1 : 3-25.
- TALLING (J. F.), WOOD (R. B.), PROSSER (M. V.) et BAXTER (R. M.), 1973. — The upper limit of photosynthetic productivity by photoplankton : evidence from Ethiopian Sodalakes. *Freshwater Biol.* 3 : 53-76.
- TILZER (M. M.), GOLDMAN (C. R.) et DE AMEZAGA (E.), 1975. — The efficiency of photosynthetic light energy utilisation by lake phytoplankton. *Vehr. int. Ver. Limnol.*, 19 : 800-807.
- VARLET (F.), 1978. — Le régime de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Traits physiques essentiels. *Trav. Doc. O.R.S.T.O.M.*, 83, 164 p., 110 fig.