

# BIOVOLUMES ET POIDS SECS ZOOPLANCTONNIQUES EN RELATION AVEC LE MILIEU PÉLAGIQUE AU-DESSUS DU PLATEAU IVOIRIEN

DENIS BINET

Océanographe biologiste de l'O.R.S.T.O.M., C.O.B., B.P. 337, 29273 Brest cedex

## RÉSUMÉ

*Les mesures globales de zooplancton récolté dans les eaux côtières ivoiriennes de 1969 à 1975 ont permis de : Comparer la variabilité d'échantillons collectés en différents intervalles de temps (de quelques minutes à une année).*

*— Corréler le cycle des variations saisonnières et annuelles à celui des principaux facteurs écologiques : phytoplancton, température, apports dus aux eaux douces.*

*— Estimer la quantité totale de zooplancton présente au-dessus du plateau.*

*On en conclut que :*

*Le coefficient de variation moyen d'une série de récoltes est une fonction puissance de l'intervalle de temps séparant les récoltes.*

*— La corrélation qui existe entre le zooplancton et le phytoplancton s'annule lorsqu'on élimine l'effet de la température. Les variations saisonnières du zooplancton sont bien corrélées aux refroidissements lorsque ceux-ci interviennent en saison chaude. Au contraire durant la saison froide les accroissements de zooplancton sont liés aux crues des fleuves, de même les fluctuations annuelles de zooplancton le sont à celles des crues. Ainsi la sécheresse au Sahel s'est traduite par une forte diminution du zooplancton côtier. La disparition du stock de *Sardinella aurita* en 1972 en est peut-être une conséquence.*

*On a calculé douze régressions (une par mois) entre le zooplancton sédimenté, la température et le débit des fleuves. Elles permettent de prédire avec une bonne fiabilité ( $r = 0,89$ ) la concentration en plancton de chaque mois.*

*— La densité de plancton en poids sec dans les eaux très côtières (fonds de 20 m) est de 0,9 tonne/km<sup>2</sup>. Sur l'ensemble du plateau la densité est de 2,2 tonnes/km<sup>2</sup> en moyenne. Ce qui revient à dire qu'en moyenne, le zooplancton dispose chaque jour d'une production végétale légèrement supérieure à sa propre biomasse (dans les eaux côtières).*

## ABSTRACT

*Zooplankton settled and displacement volumes, dry weights and total number of Copepods data were collected over the ivorian shelf from 1969 to 1975. They allow :*

*— The comparison of the variability of samples collected during different periods of time, ranging from several minutes to one year.*

*— To correlate zooplankton seasonal and annual variations to the cycle of the main ecological factors : phytoplankton, temperature, freshwater outflow.*

*— The estimation of the total quantity of zooplankton over the shelf.*

*It appears that :*

— *The mean coefficient of variation of a set of samples is a power function of the logarithm of the period of time between the samples.*

— *It is a zero order correlation between zooplankton and phytoplankton but a partial correlation eliminating temperature influence shows this relationship be non significative. Seasonal variations of zooplankton are well correlated with water cooling when they occur during the warm season. On the other hand, during the cool season zooplankton increase is related with river flood. Likewise annual fluctuations of zooplankton are correlated with the floods ones. Thus the drought in the Sahel was followed by a strong diminution of coastal zooplankton; the disparition of the stock of *Sardinella aurita* in 1972 may be one of its consequences.*

*Twelve regressions (one for each month) have been computed between settled volumes of zooplankton, temperature and river outflows. They allow the prediction, with a good fiability ( $r = 0,89$ ) of monthly planktonic concentrations.*

— *Dry weight zooplankton density in shallow waters (20 m depth) is 0,9 metric ton/km<sup>2</sup>. On the whole shelf, average density is 2,2 tons/km<sup>2</sup>. Hence, it may be said that — on an average — zooplankton daily dispose of a primary production slightly over his own biomass (in shallow waters).*

Dans les eaux tropicales, la production et la biomasse des régions hauturières sont faibles et relativement constantes tout au long de l'année, au contraire des eaux néritiques où production et quantité de matière vivante peuvent atteindre des valeurs élevées et varient considérablement tout au long de l'année. Il en est de même du milieu physico-chimique dont les variations près du littoral sont considérables eu égard à sa relative uniformité au grand large. C'est pourquoi il est tentant pour le biologiste d'étudier ces régions aux caractéristiques franchées, dans l'espoir de comprendre plus facilement les influences du milieu inerte sur le milieu vivant.

L'objet de cet article est de décrire les variations du zooplancton « total », sur le plateau continental du cap des Palmes au cap des Trois Pointes. On ne se servira que de mesures « globales » : biovolumes, poids sec ou nombre total de Copépodes. Nous essaierons de relier ces mesures de zooplancton aux conditions physico-chimiques et biologiques du milieu. On utilisera des données de température, de débit fluvial et des comptages de phytoplancton. La température sert de traceur d'upwelling, indépendamment du rôle « physiologique » qu'elle peut avoir. Le nombre de cellules de phytoplancton conditionne évidemment les possibilités de production de toute la chaîne alimentaire, d'une façon — en principe — plus directe qu'un paramètre physique comme la température. Quant au débit fluvial c'est un indicateur d'enrichissements terrigènes.

Nous terminerons par une estimation de la quantité totale de zooplancton située au-dessus du plateau continental et la comparerons avec la production phytoplanctonique.

## 1. MATÉRIEL ÉTUDIÉ, MÉTHODES.

Les récoltes utilisées dans cette étude ont été

recueillies par le Centre de Recherches Océanographiques et le Projet de Développement de la Pêche Pélagique Côtière d'Abidjan entre février 1969 et décembre 1975. Elles comprennent plusieurs séries (fig. 1) :

### La station côtière

Située à 2 milles à l'ouest du canal de Vridi (fig. 1) et visitée, de jour, une fois par semaine du 29.02.69 au 15.09.72, avec une interruption du 01.10.70 au 15.07.71; elle est visitée deux fois par semaine depuis le 15.09.72. Lors de chaque sortie, deux traits verticaux fond (35 m) — surface sont effectués, avec un filet I.C.I.T.A. jusqu'au 31.03.70 puis avec un filet W.P. 2.

Jusqu'au 31.03.73, la seule mesure globale effectuée (outre les comptages), était celle du volume sédimenté, après fixation au formol à 5 %. A partir de cette date les deux échantillons ont été mélangés puis séparés en deux fractions égales. L'une des fractions, fixée, est laissée décanter 24 h et fournit une mesure du volume sédimenté. Sur la seconde fraction sont mesurés volume par déplacement, poids sec et poids sec sans cendres (LE BORGNE, 1975 b).

### Les campagnes « P.K. »

De juillet 1969 à avril 1972, 28 campagnes « P.K. » se sont déroulées au-dessus du plateau continental, du cap des Palmes au cap des Trois Pointes, avec une périodicité approximative de un mois. Les récoltes de zooplancton ont été obtenues par des traits obliques, avec des filets I.C.I.T.A. jusqu'en juin 1971, avec une série de filets « Miller » depuis cette date. 36 stations au-dessus du plateau ont été visitées lors de chaque campagne, durant la première année, 23 stations les deux années suivantes (BINET, 1972). Les biovolumes n'ont été mesurés qu'au retour de campagne, donc plusieurs jours après la fixation et sont donc sous-estimés. Cette sous-estima-

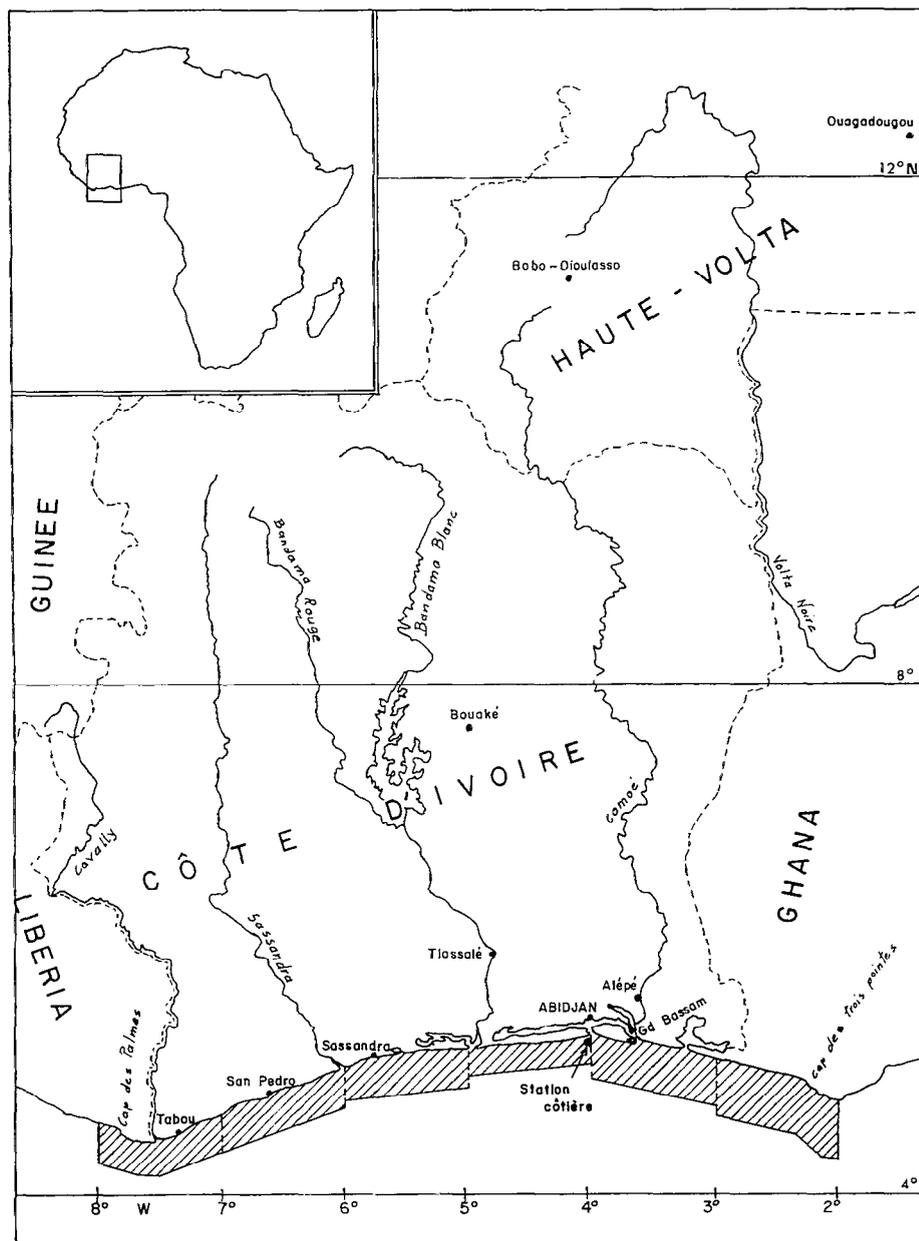


Fig. 1. — Réseau hydrographique du littoral ivoirien. Position de la station côtière et délimitation des zones étudiées au cours des campagnes PK (en hachurés).

*River system of Ivory Coast. Position of the coastal station and boundary of studied areas during PK cruises (hachured).*

tion est vraisemblablement négligeable en regard des variations d'une station à l'autre.

#### Les « Points fixes »

Afin d'évaluer la variabilité temporelle des mesures

de plancton, on a recueilli pendant des durées et avec des fréquences différentes, des échantillons de plancton en traits verticaux fond-surface, soit à la station côtière, soit sur des fonds de 55 m. Le bateau étant mouillé, la masse d'eau échantil-

lonnée se déplaçait par rapport à lui (1). Toutes les séries suivantes ont été récoltées au filet W.P. 2 :

— 6 traits 50 m — surface, au-dessus du plateau continental mauritanien, au filet W.P. 2 triple (campagne CAPRICORNE 7307), échelonnés sur 12 heures.

— 3 séries de 3 traits consécutifs, 17 m — surface, au wharf de Pointe-Noire, à 24 heures d'intervalle (DESSIER, communication personnelle).

— 6 séries de 10 traits consécutifs dont 3 proviennent du wharf de Pointe-Noire (DESSIER, communication personnelle) et 3 de la station côtière d'Abidjan. Dans chacune de ces séries il s'est écoulé entre 1 heure et 1 heure 15 mn entre le premier et le dernier trait.

— 1 série de 18 traits 55 m — surface échelonnés sur 24 heures, au large d'Abidjan.

— 2 sorties, l'une de 4 jours, l'autre de 10, durant lesquelles un trait vertical était effectué toutes les 2 heures, au-dessus des fonds de 50 m au large d'Abidjan.

Les données viennent des mesures de biovolumes sédimentés (Abidjan), par déplacement (Pointe-Noire) ou des poids secs (séries de plusieurs jours).

Les températures utilisées dans les régressions sont celles de la station côtière d'Abidjan. Les débits des fleuves sont relevés par le service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. en Côte d'Ivoire aux échelles de Tiassalé sur le Bandama et d'Alepé sur le Comoé. Les comptages de phytoplancton — effectués par DEJDJE — proviennent d'un échantillon d'eau de surface de la station côtière.

## 2. VARIABILITÉ TEMPORELLE DES RÉCOLTES.

Avant d'aborder l'étude des variations saisonnières ou annuelles il convient de s'assurer que le

type de mesure utilisé permet de mettre en évidence des variations à moyen ou long terme par rapport au « bruit de fond » que représente la micro-répartition spatiale et la variabilité temporelle. En effet, si les variabilités à court et long terme sont du même ordre de grandeur, il est vain de vouloir décrire un cycle annuel à partir d'un ou deux prélèvements chaque semaine. D'autre part, pour tenir compte de l'amplitude des variations à court terme, on est tenté d'utiliser des mesures moyennes calculées sur une certaine durée (10 mn, 15 jours, 1 mois). Ce calcul de moyenne n'est valable que dans la mesure où la dispersion des données au cours de la période en question est moins élevée qu'au cours de l'ensemble du cycle étudié (1 an par exemple).

On a choisi d'étudier le coefficient de variation (écart-type/moyenne) des récoltes groupées en différentes séries. Le coefficient de variation est préférable à la variance, car il permet la comparaison, de séries de mesures exprimées en diverses unités (biovolumes sédimentés, par déplacement, poids secs ...) (2) ou de mesures provenant d'eaux riches ou pauvres en plancton.

Les différentes séries de récoltes disponibles ont été utilisées pour calculer les coefficients suivant des intervalles de temps entre la première et la dernière récolte ( $\Delta t$ ) croissants. On obtient donc une famille de distribution du coefficient de variation pour différents intervalles de temps, depuis un intervalle nul (traits avec un filet triple,  $\Delta t$  assimilé à une minute), jusqu'à une année. La distribution du coefficient de variation des deux récoltes consécutives de la station côtière ( $\Delta t = 10$  mn) est particulièrement dissymétrique, ce qui ôterait pratiquement toute signification à un calcul de régression sur l'ensemble des données. Cependant la position des moyennes de chaque distribution ( $\overline{s/m}$ ) suggère le

(1) La variabilité observée était donc une combinaison de l'évolution des populations dans le temps et de leur micro-répartition dans l'espace. Mais puisque les méthodes de travail en mer ne permettent pas actuellement de dissocier les deux causes, nous appelons « variabilité temporelle » celle que l'on observe à partir d'un bateau au mouillage.

(2) Des mesures simultanées de volume sédimenté, par déplacement, de poids sec et de poids sec sans cendre ont été effectuées à la station côtière. Un coefficient de variation a été calculé pour chaque type de mesure, pour 56 quinzaines (soit à partir de 2 à 5 visites de la station au cours de la quinzaine). En ordonnant, pour chaque quinzaine, les mesures suivant leur  $s/m$  croissant, on constate que les volumes par déplacement sont les moins variables suivis par les poids secs sans cendres et les volumes sédimentés. Aux variations inhérentes à la dynamique du plancton, à son hétérogénéité spatio-temporelle durant une quinzaine, s'ajoutent les variations dues à des techniques plus ou moins précises et fidèles. L'accroissement du coefficient de variation des volumes par déplacement aux poids secs sans cendres, en passant par les poids secs traduit l'ordre chronologique des opérations (exposées par LE BORGNE, 1975 b). Les mesures de volume par déplacement sont donc les meilleures. Mais nous disposons de beaucoup plus de biovolumes sédimentés que par déplacement. Or la variabilité naturelle du plancton est tellement élevée qu'il vaut mieux la cerner par des mesures nombreuses et approximatives que par quelques mesures précises mais sans signification pratique parce qu'elles ne reflètent qu'une image ponctuelle et instantanée. Aussi utiliserons nous essentiellement les mesures de volumes sédimentés : ce sont les moins bonnes, mais aussi les plus nombreuses.

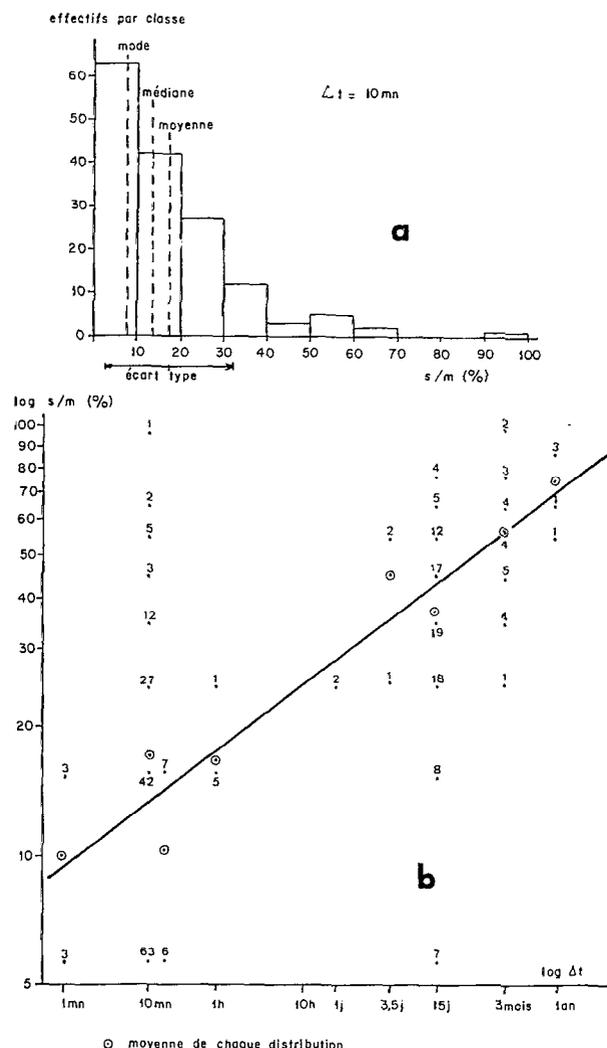


Fig. 2. — Variabilité temporelle du zooplancton : distribution du coefficient de variation (s/m) des récoltes (biovolumes ou poids secs) en fonction de l'intervalle de temps (Δt) séparant la première et la dernière récolte.

a) — Histogramme de répartition de s/m pour Δt = 10 mn.  
 b) — Relations entre log s/m et log Δt. La corrélation entre les moyennes de chaque distribution (log  $\overline{s/m}$ ) et l'intervalle de temps (log Δt) est r = 0.97. Droite de régression :

$$\log \overline{s/m} = 0.154 \log \Delta t + 1.250.$$

Zooplankton variability with time: distributions of biovolumes or dry weights coefficient of variation (s/m) in relation with time interval between the first and the last sample.

a) — s/m histogram for Δt = 10 mn.  
 b) — Relationship between log  $\overline{s/m}$  and log Δt. The correlation between the mean of each distribution (log  $\overline{s/m}$ ) and the time interval (log Δt) is r = 0.97. Regression line:  
 $\log \overline{s/m} = 0.154 \log \Delta t + 1.250.$

calcul d'une droite d'ajustement. La droite des moindres carrés a pour équation :

$$\log \overline{s/m} = 0.154 \log \Delta t + 1.250 \quad (\text{fig. 2})$$

Il existe entre log Δt et log  $\overline{s/m}$  une corrélation linéaire, r = 0.968, qui indique une liaison significative à 1‰. On admettra donc que la droite de régression ajuste les moyennes des distributions du coefficient de variation de façon satisfaisante. La relation précédente peut également s'écrire :

$$\overline{s/m} = 17.8 \Delta t^{0.154}$$

Le coefficient de variation moyen d'une série de récoltes est une fonction puissance de l'intervalle de temps séparant les récoltes.

Malgré la non-normalité des distributions du coefficient de variation pour de faibles intervalles de temps, on constate que s/m augmente nettement avec Δt. Nous estimons que ceci justifie de façon empirique l'usage que nous ferons des données pour décrire des variations saisonnières et calculer des moyennes bihebdomadaires ou mensuelles.

### 3. VARIATIONS SAISONNIÈRES ET ANNUELLES.

#### 3.1. Hydro et bioclimat.

L'hydrologie du plateau continental ivoirien a donné lieu à de nombreux travaux, dont ceux de VARLET (1958), MORLIÈRE (1970), MORLIÈRE et REBERT (1972), LEMASSON et REBERT (1973). Le phytoplancton a été étudié par REYSSAC (1970) et DANDONNEAU (1970, 1971, 1972, 1973). Enfin la climatologie de la Côte d'Ivoire a été décrite par AVENARD *et al.* (1971).

Leurs résultats peuvent se résumer schématiquement ainsi : les eaux tropicales chaudes (28 °C) et de salinité variable (inférieure à 35 ‰) recouvrent l'eau centrale sud-Atlantique la majeure partie de l'année et en sont séparées par une forte couche de discontinuité. Dans ces conditions les enrichissements en sels nutritifs proviennent d'upwellings côtiers qui détruisent la thermocline ou d'apports terrigènes consécutifs aux crues des cours d'eau.

Ces remontées d'eaux se produisent de façon sporadique pendant la « grande saison chaude » de janvier à mai et de façon plus fréquente en janvier et février où certains auteurs ont décrit une « petite saison froide ». Mais le principal refroidissement provoqué par des upwellings intenses dure de juillet à septembre.

Le front inter-tropical en remontant vers le nord atteint la ligne de la côte en mai et y amène d'abondantes précipitations : c'est la première saison des pluies. Lorsque le front a dépassé la région côtière une brève saison sèche s'installe en basse Côte d'Ivoire

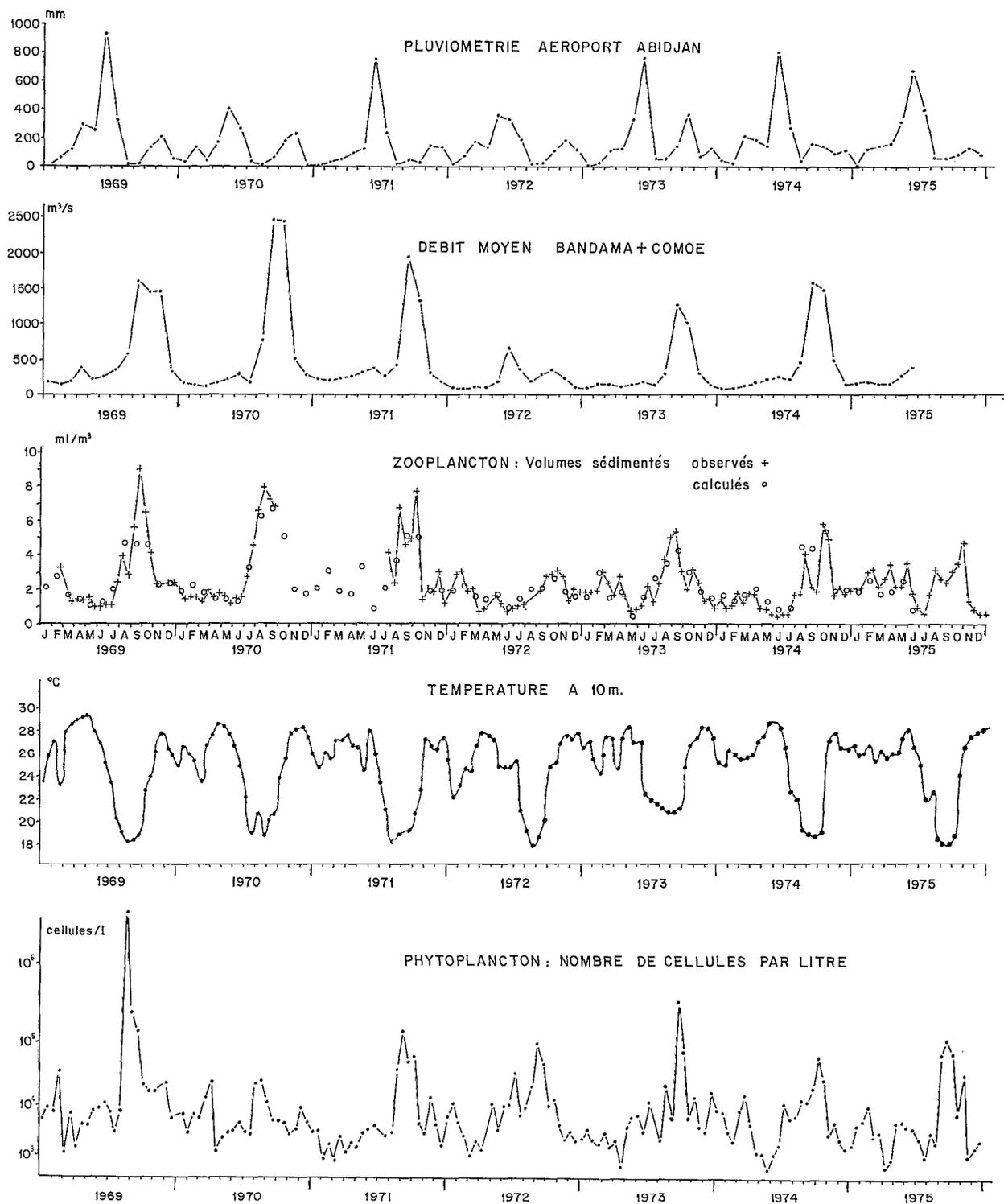


Fig. 3. — Variations saisonnières et annuelles du zooplancton sédimenté et du phytoplancton à la station côtière d'Abidjan, températures de l'eau de mer à 10 m, pluviométrie à Abidjan (données ASECNA), débit moyen du Bandama et du Comoé (données O.R.S.T.O.M.).

+ moyennes de zooplancton sédimenté par quinzaine, valeurs observées.

o moyennes mensuelles de zooplancton sédimenté, valeurs calculées.

Zooplankton settled volume, phytoplankton at coastal station of Abidjan; sea temperature at 10 m, rainfall at Abidjan (ASECNA data), Bandama and Comoé rivers mean flow (O.R.S.T.O.M. data).

+ observed fortnightly means of zooplankton.

o computed monthly values of zooplankton.

(début août), tandis que la saison des pluies gagne les régions sahéliennes. Puis à la descente du front vers le sud et à son passage au-dessus des régions côtières correspond la seconde saison des pluies (15 septembre-15 novembre). Les fleuves côtiers ont donc deux crues subégales : juin-juillet et octobre-novembre tandis que les fleuves venant du Sahel n'ont pratiquement qu'une seule crue de septembre à novembre.

On observe donc en mer des eaux superficielles dessalées, au mois de juin ainsi qu'entre septembre et novembre. En juin ces eaux se refroidissent tandis qu'en septembre elles se réchauffent progressivement. L'importance de la couche dessalée est très variable. En août durant la petite saison sèche les eaux de surface sont froides (22 °C) et salées (35 ‰).

La production primaire répond aux enrichissements du milieu par des accroissements plus importants en période d'upwellings qu'après les crues des fleuves.

Les eaux superficielles et profondes se déplacent dans des directions opposées : les eaux de surface sont animées d'un mouvement vers l'est (courant de Guinée), tandis que la couche sous-jacente se déplace vers l'ouest (sous-courant ivoirien). Vitesses et débits des deux courants varient au cours de l'année mais ils assurent une certaine uniformisation des populations planctoniques, qui par leurs migrations nyctémérales ou ontogéniques (BINET et SUISSE DE SAINTE CLAIRE, 1975) passent alternativement d'une couche à l'autre.

### 3.2. Description des variations planctoniques.

Le schéma général des variations du zooplancton a déjà été dégagé (BINET, 1972). A la station côtière d'Abidjan les observations montrent une décroissance de la biomasse du mois de septembre jusqu'en mai-juin. On distingue une « saison riche » (15 juillet au 30 octobre), correspondant à la grande saison froide et une « saison pauvre », le restant de l'année. Cette « saison pauvre » n'est vraiment très pauvre qu'au début (novembre-décembre) et surtout à la fin (juin). Les mois de janvier à avril sont marqués par une forte variabilité concordant avec l'instabilité hydrologique.

En première approche la richesse en zooplancton est donc très liée aux upwellings. Le zooplancton est abondant quand l'upwelling est intense et bien établi, il est en quantité modérée quand les upwellings sont faibles, et est très pauvre quand les upwellings ont totalement cessé.

Ce schéma peut être étendu à l'ensemble du golfe ivoirien, avec les nuances suivantes : les régions les plus favorables aux upwellings du fait de

l'orientation de la côte se trouvent à l'ouest entre Tabou et Sassandra. C'est là que les refroidissements les plus intenses et les plus fréquents sont relevés. Au début de la grande saison froide, la source même de l'upwelling n'est pas riche en plancton. L'enrichissement se produit au cours de la dérive vers l'est et le large des eaux superficielles. Le maximum de zooplancton se trouve au milieu du plateau (fonds de 50-60 m) ou même au-dessus du talus. L'enrichissement gagne l'ensemble du golfe ivoirien au cours de la saison froide. Le mouvement de dérive vers l'est (courant de Guinée) s'atténue en août et une partie du plancton étant ramené vers l'ouest par le sous-courant, l'enrichissement atteint même la source de l'upwelling. Au cours de la grande saison chaude les eaux les plus riches se trouvent pratiquement sur les lieux mêmes des upwellings (entre Tabou et Sassandra) et au moment où ils se produisent; les concentrations de plancton décroissent plus ou moins d'ouest en est.

L'exposé précédent des grandes lignes des variations saisonnières ne fait intervenir que les upwellings comme sources d'enrichissement. Un examen plus attentif met en avant le rôle possible des apports terrigènes. Ces apports sont les seules sources d'enrichissement du milieu dans les eaux néritiques tropicales privées d'upwelling, comme la côte ouest de Madagascar (FRONTIER, 1974). Au large de la Côte d'Ivoire DANDONNEAU (*op. cit.*) a déjà décelé leur influence qualitative et quantitative sur les peuplements phytoplanctoniques. Cette influence sur les niveaux trophiques secondaires étant moins rapide, est d'autant moins visible que pluies et crues des fleuves correspondent au début et à la fin de la principale saison d'upwelling.

Il existe néanmoins des indices suggérant une influence terrigène :

(a) On observe parfois au mois de juin, mais de façon irrégulière, un bref maximum de zooplancton (juin 1972 et 1973, fin mai 1975). Les *Lucifer* peuvent retrouver en fin de saison chaude des effectifs élevés (BINET, 1976).

(b) Le maximum de grande saison froide est fréquemment dédoublé. Après une diminution des quantités de plancton en septembre, au début du réchauffement on assiste souvent, à la station côtière, à un second maximum durant le mois d'octobre, presque aussi important que le premier (1971, 1973, 1974, 1975). *Lucifer* et *Penilia* peuvent alors être très abondantes (BINET, 1975, 1976).

Au mois de juin les eaux néritiques reçoivent des apports terrigènes à la suite des grosses pluies qui arrosent le littoral mais on peut percevoir également de légers refroidissements devant Abidjan; les eaux de ruissellement ne peuvent être tenues pour seules responsables des pics observés. Au

contraire, au mois d'octobre les upwellings ont pratiquement cessé et l'inversion du courant superficiel (le sous-courant atteint la surface) bloque dans la région occidentale les eaux d'affleurement, alors que les apports terrigènes des fleuves en crue s'ajoutent à ceux des pluies sur le littoral.

(c) Enfin l'évolution pluriannuelle (de 1969 à 1975) des maxima de grande saison froide montre une diminution du zooplancton de 1969 à 1972 puis une augmentation jusqu'en 1974 (fig. 3); cycle qui rappelle curieusement celui de la sécheresse au Sahel.

### 3.3. Relations avec les facteurs écologiques.

Nous essaierons de mesurer la liaison entre les diverses expressions du zooplancton global et les facteurs du milieu disponibles, que nous supposons responsables des fluctuations observées. Étant donné

la variabilité du milieu et plus encore celles des mesures biologiques, on intégrera ces variations en utilisant des moyennes bimensuelles, mensuelles et annuelles des observations de la station côtière.

Il eut été plus rigoureux d'effectuer systématiquement une transformation logarithmique sur toutes les valeurs de zooplancton afin de normaliser leurs distributions, pour utiliser les tables du coefficient de corrélation.

Nous avons préféré garder les données brutes parce que les coefficients de corrélation changent peu, que l'on effectue ou non une transformation (cf. note infra-paginale, p. 316), et par conséquent leur signification reste pratiquement inchangée.

#### 3.3.1. RELATION AVEC LE PHYTOPLANCTON.

La production primaire représentant un facteur limitant pour une population en majorité herbivore,

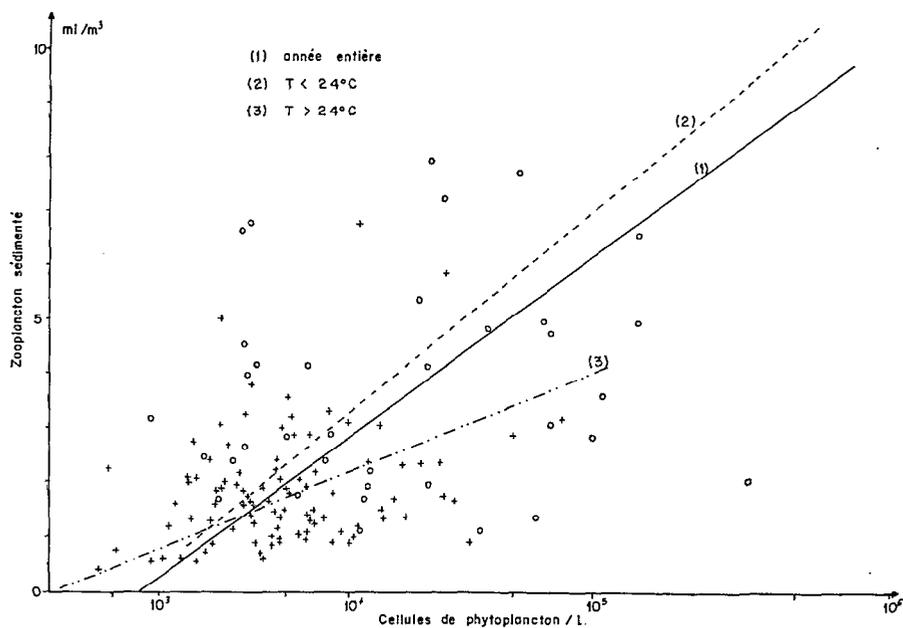


Fig. 4. — Corrélation entre moyennes par quinzaine de zooplancton sédimenté ( $\text{ml}/\text{m}^3$ ) et de phytoplancton ( $\log^2$  nombre de cellules litre) de la quinzaine précédente.

+ valeurs obtenues en saisons chaudes ( $T_{10\text{m}} > 24^\circ\text{C}$ )  
o valeurs obtenues en saisons froides ( $T_{10\text{m}} < 24^\circ\text{C}$ )

- (1) régression établie sur l'ensemble des valeurs  $r = 0.44$   
(2) régression établie sur les valeurs de saisons froides  $r = 0.33$   
(3) régression établie sur les valeurs de saisons chaudes  $r = 0.26$   
cf. tableaux I, II et III.

Correlation between settled zooplankton ( $\text{ml}/\text{m}^3$ ) and phytoplankton of the first preceding fortnight ( $\log^2$  cell number/l), (fortnightly means).

+ warm seasons values ( $T_{10\text{m}} > 24^\circ\text{C}$ )  
o cool seasons values ( $T_{10\text{m}} < 24^\circ\text{C}$ )

- (1) regression computed from all values  $r = 0.44$   
(2) regression computed from cool seasons values  $r = 0.33$   
(3) regression computed from warm seasons values  $r = 0.26$   
cf. tables I, II, III.

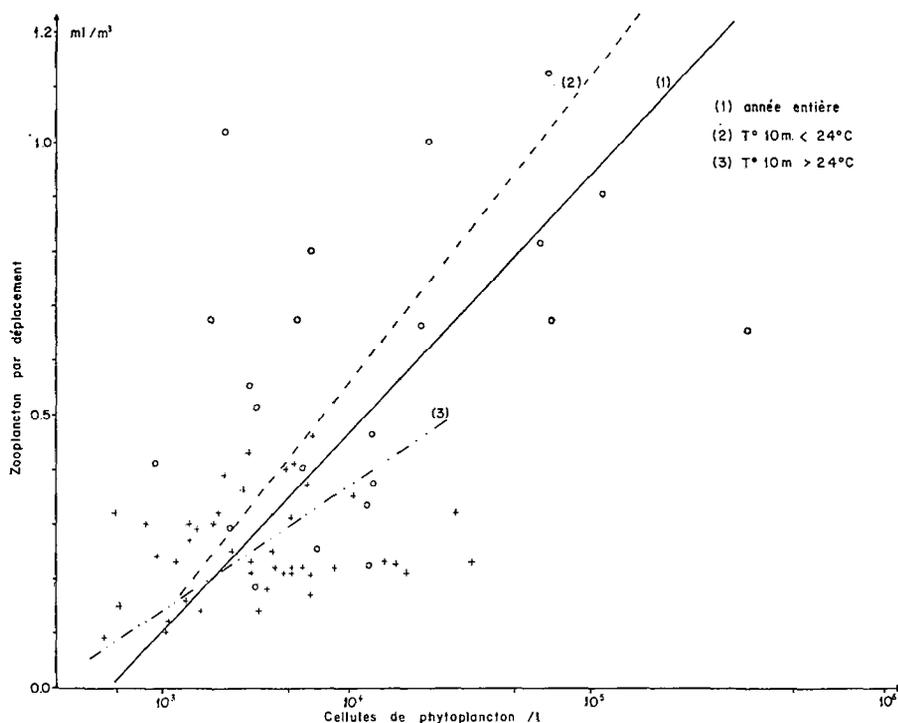


Fig. 5. — Corrélations entre moyennes par quinzaine de zooplancton par déplacement ( $\text{ml}/\text{m}^3$ ) et de phytoplancton ( $\log^2$  nombre de cellules/litre) de la quinzaine précédente.

+ valeurs obtenues en saisons chaudes ( $T_{10\text{m}} > 24^\circ\text{C}$ )

o valeurs obtenues en saisons froides ( $T_{10\text{m}} < 24^\circ\text{C}$ )

(1) régression établie sur l'ensemble des valeurs  $r = 0.55$

(2) régression établie sur les valeurs de saisons froides  $r = 0.43$

(3) régression établie sur les valeurs de saisons chaudes  $r = 0.60$

cf. tableaux I, II et III.

Correlations between displacement zooplankton ( $\text{ml}/\text{m}^3$ ) and phytoplankton ( $\log^2$  cell number/l) of the first preceding fortnight, (fortnightly means).

+ warm seasons values ( $T_{10\text{m}} > 24^\circ\text{C}$ )

o cool seasons values ( $T_{10\text{m}} < 24^\circ\text{C}$ )

(1) regression computed from all values  $r = 0.55$

(2) regression computed from cool seasons values  $r = 0.43$

(3) regression computed from warm seasons values  $r = 0.60$

cf. tables I, II, III.

c'est d'abord au phytoplancton qu'on cherchera à relier les variations du zooplancton. Les mesures de chlorophylle étant moins régulières et sujettes à une erreur expérimentale plus élevée, on utilisera les comptages de cellules d'eau de surface de la station côtière. Les données utilisées sont les moyen-

nes par quinzaine des  $\log^2$  des effectifs par litre (1).

L'erreur statistique est — a priori — aussi importante sur la mesure de phytoplancton que celle de zooplancton. On préférera donc une régression fonctionnelle (droite des moindres rectangles) à une régression prédictive (droite des moindres carrés).

(1) Il arrive que des « eaux rouges » soient signalées au large de la Côte d'Ivoire, notamment après de fortes pluies, comme en 1969 où *Gymnodinium splendens* domine complètement les peuplements végétaux (DANDONNEAU, 1970). Les effectifs de phytoplancton sont considérablement élevés, mais on n'observe généralement pas de relation inverse avec le zooplancton, à l'exception de la seconde quinzaine d'août 1969. L'effectif moyen de cette quinzaine (3,8 millions de cellules par litre) est le plus élevé de la série étudiée et c'est le seul à avoir été écarté des calculs (cf. fig. 4 et 5).

Pour établir quelle relation « moyenne » existe sur l'ensemble de l'année entre les quantités végétales et animales, corrélations et régressions ont été calculées sur l'ensemble des données de la station côtière. Mais il est certain que la cinétique des relations phyto-zoo diffère selon que l'écosystème est enrichi de façon continue ou non. On a donc dans un deuxième temps, séparé les quinze semaines entre celles où règne un upwelling marqué (tempéra-

ture  $< 24$  °C à 10 m) et les autres. Enfin le développement du zooplancton et celui du phytoplancton ne sont pas nécessairement en phase, la croissance du zooplancton est moins rapide que celle du phytoplancton (une génération de Copépodes dure une ou quelques semaines), il convient donc de rechercher également s'il existe des relations entre zooplancton et phytoplancton des quinze semaines précédentes (corrélations croisées).

TABLEAU I

Corrélations croisées et régressions fonctionnelles entre les moyennes par quinze jours de zooplancton et de phytoplancton, pour l'ensemble des quinze semaines. **Année entière.**

*Cross correlations and functional regressions between zooplankton and phytoplankton fortnight means, for all fortnights.*

Zooplancton (Z) ( / m <sup>3</sup> )	Phytoplancton (P) (log <sup>2</sup> cellules/l)	r	% variance interprétée	seuil de signification .	Équation de régression (moindres rectangles)
Volumes sédimentés (ml) n = 140.....	même quinze jours	0.48	23.	0.001	Z = 0.371 P — 3.1
	1 <sup>re</sup> quinze jours antérieure	0.44	19.	0.001	Z = 0.367 P — 3.1
	2 <sup>e</sup> quinze jours antérieure	0.28	7.9	0.01	Z = 0.352 P — 2.8
Volumes par déplacement (ml) n = 66.....	même quinze jours	0.50	25.	0.001	Z = 0.0519 P — 0.36
	1 <sup>re</sup> quinze jours antérieure	0.55	30.	0.001	Z = 0.0518 P — 0.36
	2 <sup>e</sup> quinze jours antérieure	0.41	17.	0.001	Z = 0.0521 P — 0.36
Poids secs (mg) n = 66.....	même quinze jours	0.31	9.8	0.05	Z = 4.38 P — 23.
	1 <sup>re</sup> quinze jours antérieure	0.42	18.	0.001	Z = 4.37 P — 22.
	2 <sup>e</sup> quinze jours antérieure	0.29	8.6	0.05	Z = 4.39 P — 23.
Total Copépodes (log <sup>2</sup> ) n = 113.....	même quinze jours	0.40	16.	0.001	Z = 0.398 P + 4.6
	1 <sup>re</sup> quinze jours antérieure	0.38	14.	0.001	Z = 0.407 P + 4.4
	2 <sup>e</sup> quinze jours antérieure	0.26	6.6	0.01	Z = 0.405 P + 4.4

Pour l'ensemble de l'année, les corrélations entre phyto et zooplancton sont significatives à 1 % dans la plupart des cas (tabl. I). Si on exprime le zooplancton par son volume sédimenté ou par le total des Copépodes, on obtient les corrélations les plus significatives avec le phytoplancton de la même quinze jours, tandis que si on utilise les volumes par déplacement ou les poids secs on obtient les meilleures corrélations avec le phytoplancton de la quinze jours précédente. Nous verrons en effet (paragr. 3.3.2) que les diverses mesures de zooplancton ne sont pas équivalentes. Dans tous les cas les corrélations diminuent en décalant de deux quinze jours les observations phyto et zooplanctoniques.

En limitant les calculs aux seules saisons froides, les corrélations ne sont significatives que dans certains cas (tabl. II). En n'utilisant que les quinze jours de saisons chaudes (température à 10 m supérieure à 24 °C) on trouve des corrélations

significatives dans la plupart des cas pour divers décalages phyto-zooplancton, mais ces corrélations sont toujours plus élevées lorsqu'on compare le zooplancton au phytoplancton de la quinze jours précédente (tabl. III).

En résumé il existe des corrélations assez élevées entre phyto et zooplancton si on considère l'ensemble des saisons; selon le mode d'expression choisi pour le zooplancton (volumes, poids ou effectifs) les corrélations les meilleures sont obtenues avec le phytoplancton de la même quinze jours ou avec celui de la quinze jours précédente. Tandis que si on calcule ces corrélations séparément pour les saisons chaudes ou froides on constate qu'en saison froide il n'existe pas souvent de liaison significative entre producteurs primaires et secondaires, et qu'en saison chaude les corrélations sont généralement moins significatives que pour l'ensemble de l'année (fig. 4 et 5).

Deux explications sont possibles :

TABLEAU II

Corrélations croisées et régressions fonctionnelles entre les moyennes par quinzaine de zooplancton et de phytoplancton, pour les quinzaines dont la température à 10 m est inférieure à 24 °C. **Saisons froides.**

*Cross correlations and functional regressions between zooplankton and phytoplankton fortnight means for the fortnights whose 10 m temperature is less than 24 °C.*

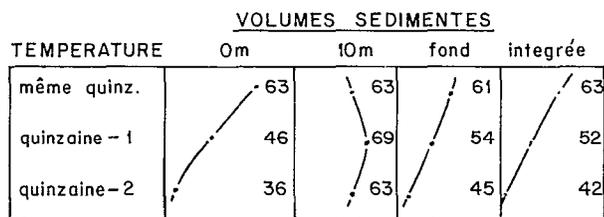
Zooplancton (Z) ( /m <sup>3</sup> )	Phytoplancton (P) (log <sup>2</sup> cellules/l)	r	% variance interprétée	seuil de signification	Équation de régression (moindres rectangles)
Volumes sédimentés (ml) n = 49.....	même quinzaine	0.38	14.	0.01	Z = 0.384 P — 3.0
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	0.33	11.	0.05	Z = 0.411 P — 3.3
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.28	7.7	0.05	Z = 0.404 P — 2.7
Volumes par déplacement (ml) n = 22.....	même quinzaine	0.36	18.	0.05	Z = 0.0613 P — 0.42
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	0.43			
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.34			
Poids secs (mg) n = 22.....	même quinzaine	— 0.08			
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	— 0.01			
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.03			
Total Copépodes (log <sup>2</sup> ) n = 39.....	même quinzaine	0.27			
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	0.15			
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.25			

TABLEAU III

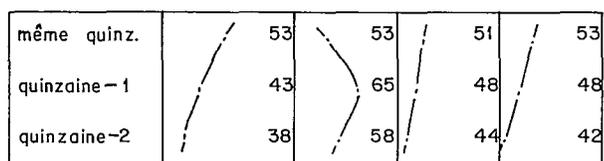
Corrélations croisées et régressions fonctionnelles entre les moyennes par quinzaine de zooplancton et de phytoplancton, pour les quinzaines dont la température à 10 m est supérieure à 24 °C. **Saisons chaudes.**

*Cross correlations and functional regressions between zooplankton and phytoplankton fortnight means for the fortnights whose 10 m temperature is greater than 24 °C.*

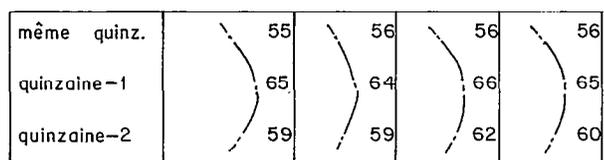
Zooplancton (Z) ( /m <sup>3</sup> )	Phytoplancton (P) (log <sup>2</sup> cellules/l)	r	% variance interprétée	seuil de signification	Équation de régression (moindres rectangles)
Volumes sédimentés (ml) n = 91.....	même quinzaine	0.11	1.1	0.05	Z = 0.200 P — 1.1 Z = 0.173 P — 0.8
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	0.26	7.0		
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.22	5.0		
Volumes par déplacement (ml) n = 44.....	même quinzaine	0.34	12.	0.05	Z = 0.0416 P — 0.25
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	0.60	36.	0.001	Z = 0.0325 P — 0.15
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.55	30.	0.001	Z = 0.0295 P — 0.13
Poids secs (mg) n = 44.....	même quinzaine	0.33	11.	0.05	Z = 4.16 P — 21.
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	0.59	35.	0.001	Z = 3.25 P — 11.
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.45	20.	0.001	Z = 2.94 P — 9.
Total Copépodes (log <sup>2</sup> ) n = 74.....	même quinzaine	0.16	2.4	0.05	Z = 0.333 P + 5.3
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	0.30	9.2		
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.17	2.8		



TOTAL COPEPODES



POIDS SECS



VOLUME PAR DEPLACEMENT

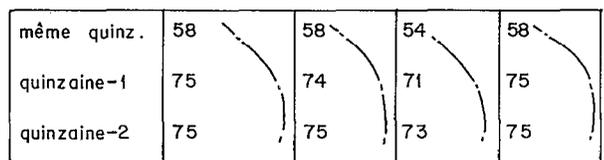


Fig. 6. — Corrélations croisées entre moyennes par quinzaine de zooplancton et de température à différents niveaux : mise en évidence des différentes cinétiques de la relation refroidissement-zooplancton, selon la mesure de zooplancton effectuée. (corrélations  $\times 100$ )

*Cross correlation between zooplankton and temperature at several depths (fortnightly means) : different cinetics of the cooling-zooplankton relationship according to zooplankton measure. (correlations  $\times 100$ )*

— La corrélation zooplancton-phytoplancton n'apparaîtrait qu'entre des écosystèmes différents (au cours d'une année plusieurs écosystèmes se succèdent, de même au cours des « saisons chaudes »

telles qu'elles ont été définies); tandis qu'à l'intérieur d'un même écosystème il n'y aurait pas de corrélation.

— Si phyto et zoo étaient chacun liés aux refroidissements, il apparaîtrait une corrélation entre eux dans un intervalle de temps au cours duquel la température varie suffisamment; tandis qu'à l'intérieur d'une saison donnée les variations de température ne seraient pas suffisantes pour que l'on puisse déceler une corrélation phyto-zooplancton. (cf. corrélations partielles ci-dessous).

### 3.3.2. RELATION AVEC LA TEMPÉRATURE.

Les corrélations calculées entre le zooplancton et la température à diverses immersions, pour l'ensemble des données (température de surface, à 10 m, au fond, intégrée sur toute la verticale) sont toutes significatives à 1‰ et beaucoup plus élevées qu'avec le phytoplancton. Les résultats diffèrent peu selon que l'on considère la température d'une immersion ou d'une autre. Par contre (fig. 6), ils diffèrent selon le mode d'expression du zooplancton.

Le nombre total de Copépodes, ainsi que le volume sédimenté montrent les meilleures corrélations avec les températures de la même quinzaine (à l'exception de la température à 10 m : la corrélation est meilleure avec la température de la quinzaine précédente); tandis que le poids sec est mieux corrélé aux températures de la quinzaine précédente et que le volume par déplacement est encore mieux relié aux températures de la 2<sup>e</sup> quinzaine antérieure (on retrouve ce qui a été vu pour le phytoplancton). Les refroidissements provoquent donc de façon rapide (moins de 15 jours), l'augmentation du nombre de Copépodes (c'est à dire la reproduction et le développement jusqu'aux premiers stades copépodites); mais il faut une ou deux quinzaines de plus pour que les organismes atteignent leur poids maximal et remplissent complètement leur carapace. Le développement par mues impose évidemment que l'accroissement des tailles précède celui des poids.

Les températures à 10 m font légèrement exception à ce schéma, comme si le refroidissement à 10 m précédait celui des autres niveaux. Mais étant donné que le zooplancton montre les corrélations les plus élevées avec les températures à 10 m, nous les utiliserons dans les calculs ultérieurs.

Les figures suggèrent une transformation log ou  $\log^2$  pour linéariser la relation zooplancton-température. En fait les transformations logarithmique et logarithmique au carré modifient très peu les coeffi-

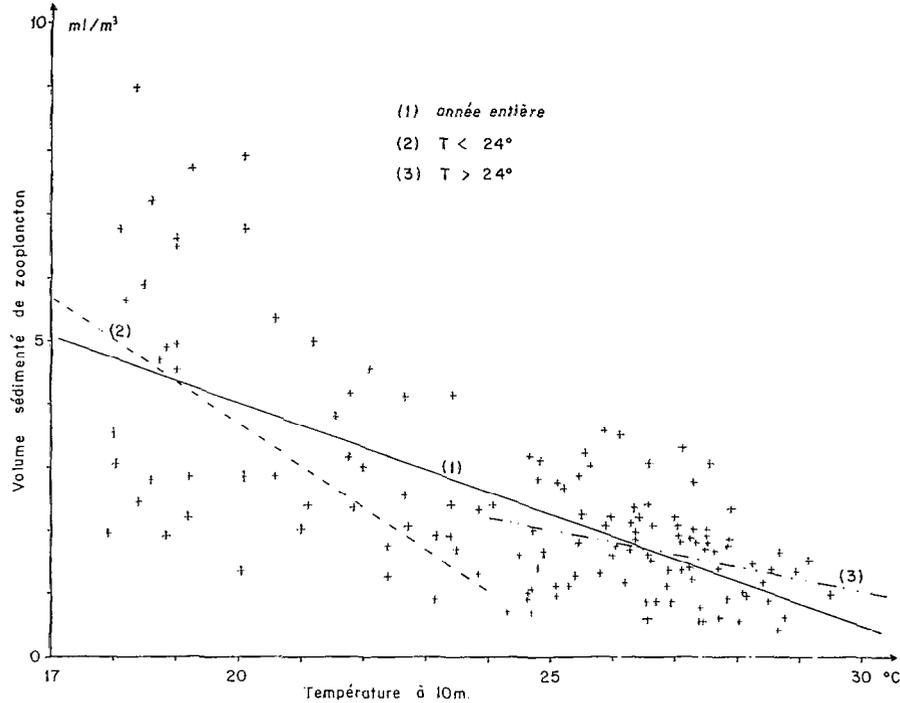


Fig. 7. — Corrélation entre moyennes par quinzaine de zooplancton sédimenté et de température à 10 m de la quinzaine antérieure.

- (1) régression établie sur l'ensemble des valeurs  $r = -0.69$
  - (2) régression établie sur les valeurs de saisons froides ( $T_{10m} < 24^{\circ}C$ )  $r = -0.50$
  - (3) régression établie sur les valeurs de saisons chaudes ( $T_{10m} > 24^{\circ}C$ )  $r = -0.32$
- cf. tableaux IV, V et VI.

Correlation between settled zooplankton volumes and 10 m temperature of the preceding fortnight (fortnightly means).

- (1) regression computed from all values  $r = -0.69$
  - (2) regression computed from cold seasons values ( $T_{10m} < 24^{\circ}C$ )  $r = -0.50$
  - (3) regression computed from warm seasons values ( $T_{10m} > 24^{\circ}C$ )  $r = -0.32$
- cf. tables IV, V, VI.

TABLEAU IV

Corrélations croisées et régressions prédictives entre les moyennes par quinzaine de zooplancton et de température à 10 m, pour l'ensemble des quinzaines. **Année entière.**

Gross correlations and predictive regressions between zooplankton and 10 m temperature, for all fortnights.

Zooplancton (Z) ( /m³)	Température (T) à 10 m (°C)	r	% variance interprétée	seuil de signification	Équation de régression (m.oidres carrés)
Volumes sédimentés (ml) n = 141.....	même quinzaine	- 0.63	39.	0.001	Z = - 0.326 T + 10.4
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- - 0.69	48.	0.001	Z = - - 0.355 T + 11.1
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	- - 0.63	39.	0.001	Z = - - 0.322 T + 10.3
Volumes par déplacement (ml) n = 66.....	même quinzaine	- 0.58	34.	0.001	Z = - 0.0449 T + 1.48
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- - 0.74	55.	0.001	Z = - - 0.0574 T + 1.79
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	- - 0.75	56.	0.001	Z = - - 0.0582 T + 1.81
Poids secs (mg) n = 66.....	même quinzaine	- - 0.56	31.	0.001	Z = - 3.64 T + 129.
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- - 0.64	41.	0.001	Z = - - 4.17 T + 142.
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	- - 0.59	35.	0.001	Z = - - 3.89 T + 136.
Total Copépodes (log²) n = 114.....	même quinzaine	- 0.54	29.	0.001	Z = - 0.303 T + 18.0
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- - 0.65	42.	0.001	Z = - - 0.358 T + 19.4
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	- - 0.58	34.	0.001	Z = - 0.317 T + 18.3

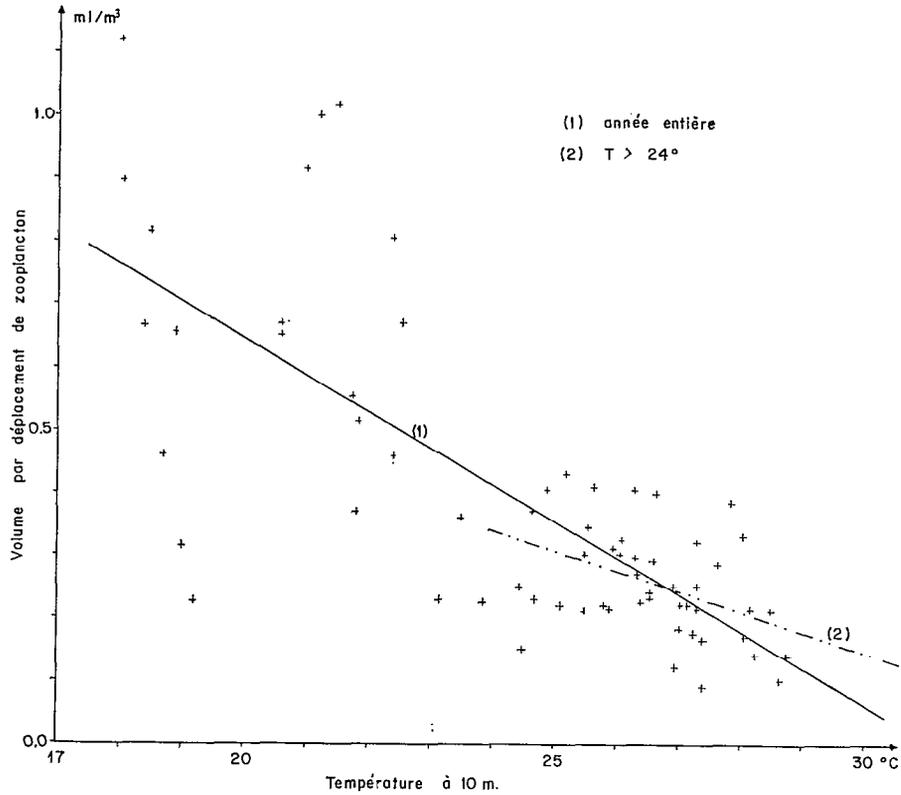


Fig. 8. — Corrélation entre moyennes par quinzaine de zooplancton par déplacement et de température de la seconde quinzaine antérieure.

(1) régression établie sur l'ensemble des valeurs  $r = -0.75$

(2) régression établie sur les valeurs de saison chaude ( $T_{10m} > 24^{\circ}C$ )  $r = -0.42$

cf. tableaux IV, V et VI.

*Correlation between displacement zooplankton volumes and 10 m temperature of the second preceding fortnight (fortnightly means).*

(1) regression computed from all values  $r = -0.75$

(2) regression computed from warm seasons values ( $T_{10m} > 24^{\circ}C$ )  $r = -0.42$

cf. tables IV, V, VI.

TABLEAU V

Corrélations croisées et régressions prédictives entre les moyennes par quinzaine de zooplancton et de température à 10 m, pour les quinzaines dont la température est inférieure à 24 °C. **Saisons froides.**

*Cross correlations and predictive regressions between zooplankton and 10 m temperature for the fortnights whose temperature is less than 24 °C.*

Zooplancton (Z) ( /m³)	Température (T) à 10 m (°C)	r	% variance interprétée	seuil de signification	Équation de régression (moindres carrés)
Volumes sédimentés (ml) n = 50.....	même quinzaine	- 0.25	6.3	0.1	$Z = - 0.273 T + 9.4$
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- 0.50	25.	0.001	$Z = - 0.523 T + 14.6$
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	- 0.43	18.	0.01	$Z = - 0.469 T + 13.3$
Volumes par déplacement (ml) n = 22.....	même quinzaine	- 0.11			
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- 0.47	22.	0.05	$Z = - 0.0671 T + 1.99$
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	0.37			
Poids secs (mg) n = 22.....	même quinzaine	- 0.002			
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- 0.16			
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	- 0.06			
Total Copépodes (log <sup>2</sup> ) n = 40.....	même quinzaine	- 0.13			
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	- 0.38	14.	0.05	$Z = - 0.366 T + 19.5$
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	- 0.32	10.	0.05	$Z = - 0.341 T + 18.8$

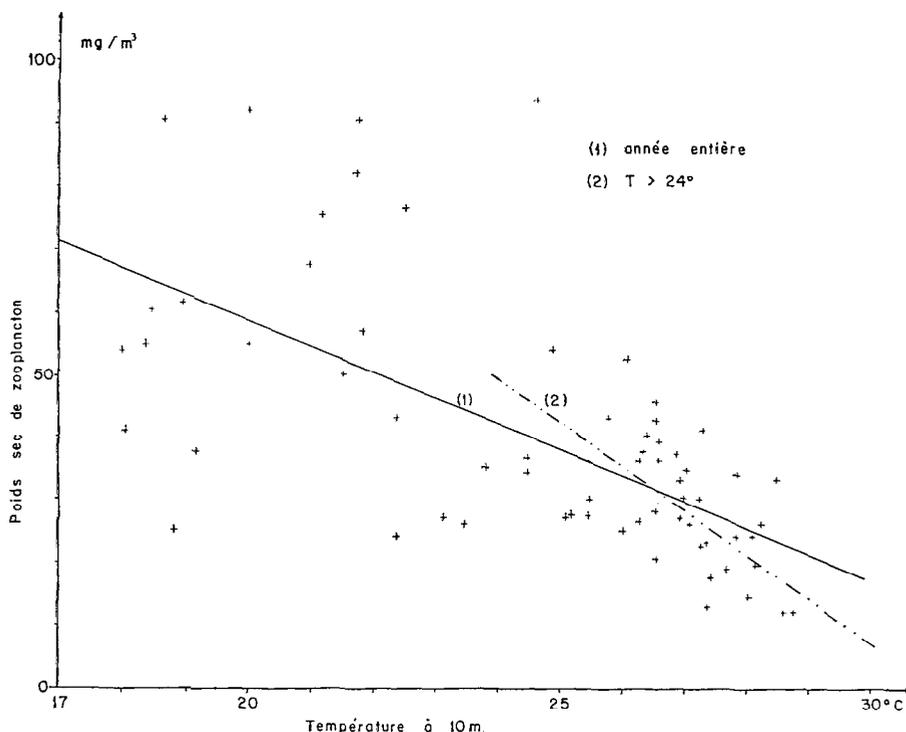


Fig. 9. — Corrélation entre moyennes par quinzaine de poids secs de zooplancton et de température à 10 m de la quinzaine précédente.

(1) régression établie sur l'ensemble des valeurs  $r = -0.64$

(2) régression établie sur les valeurs de saison chaude ( $T_{10m} > 24^{\circ}\text{C}$ )  $r = -0.59$

cf. tableaux IV, V et VI.

Correlation between zooplankton dry weights and 10 m temperature of the preceding fortnight (fortnightly means).

(1) regression computed from all values  $r = -0.64$

(2) regression computed from warm season values ( $T_{10m} > 24^{\circ}\text{C}$ )  $r = -0.59$

cf. tables IV, V, VI.

TABLEAU VI

Corrélations croisées et régressions prédictives entre les moyennes par quinzaine de zooplancton et de température à 10 m, pour les quinzaines dont la température est supérieure à 24 °C. **Saisons chaudes.**

Cross correlations and predictive regressions between zooplankton and 10 m temperature, for the fortnights whose temperature is greater than 24 °C.

Zooplancton (Z) ( /m <sup>3</sup> )	Température (T) à 10 m (°C)	r	% variance interprétée	seuil de signification	Équation de régression (moindres carrés)
Volumes sédimentés n = 91 .....	même quinzaine	-- 0.31	9.3	0.01	Z = -- 0.178 T + 6.4
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	-- 0.32	10.	0.01	Z = -- 0.193 T + 6.8
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	-- 0.30	9.0	0.01	Z = -- 0.201 T + 7.1
Volumes par déplacement (ml) n = 44.....	même quinzaine	-- 0.32	11.	0.05	Z = -- 0.0406 T + 1.36
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	-- 0.53	28.	0.001	Z = -- 0.0599 T + 1.86
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	-- 0.42	17.	0.01	Z = -- 0.0323 T + 1.12
Poids secs (mg) n = 44.....	même quinzaine	-- 0.42	18.	0.01	Z = -- 5.25 T + 171.
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	-- 0.59	35.	0.001	Z = -- 7.11 T + 220.
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	-- 0.43	19.	0.01	Z = -- 4.82 T + 160.
Total Copépodes (log <sup>2</sup> ) n = 75.....	même quinzaine	-- 0.36	13.	0.01	Z = -- 0.337 T + 18.8
	1 <sup>re</sup> quinzaine antérieure	-- 0.43	19.	0.001	Z = -- 0.413 T + 20.8
	2 <sup>e</sup> quinzaine antérieure	-- 0.31	9.6	0.01	Z = -- 0.287 T + 17.5

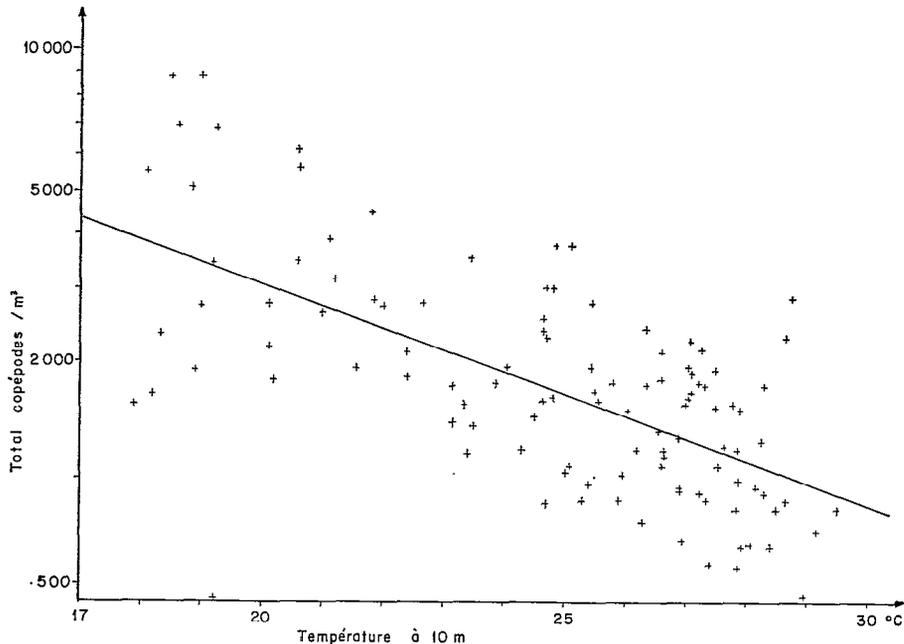


Fig. 10. — Corrélation entre moyennes par quinzaine du total copépodes ( $\log^2$ ) et de la température à 10 m de la quinzaine précédente. Régression établie sur l'ensemble des valeurs.  $r = -0.65$

Correlation between the total Copepods number ( $\log^2$ ) and the 10 m temperature of the preceding fortnight (fortnightly means). Regression computed from all values.  $r = -0.65$

cients de corrélation (1), conformément à ce que nous avons déjà remarqué sur un échantillonnage plus réduit (BINET, 1972), mais ne les améliorent pas. Les calculs présentés dans cet article ont donc tous été effectués à partir des mesures volumétriques ou pondérales brutes du zooplancton.

En distinguant les saisons froides et chaudes, on retrouve des résultats analogues à ceux auxquels on était parvenu avec le phytoplancton (tabl. IV, V, VI) :

— Corrélations très faibles en ne considérant que les saisons froides; non significatives avec le poids sec, significatives à divers niveaux avec les autres mesures, mais pour un décalage d'une quinzaine entre zooplancton et température.

— Corrélations plus élevées en ne considérant

que les saisons chaudes, mais néanmoins plus faibles que pour l'année entière. Ici encore, les corrélations les plus élevées sont obtenues pour un décalage d'une quinzaine.

Les refroidissements, corrélés avec les accroissements de zooplancton, sont le signal d'un apport de sels nutritifs qui agit sur le phytoplancton avant que le zooplancton ne puisse en bénéficier. On a donc cherché à éliminer de la corrélation phytoplancton-zooplancton l'action de la température, en calculant la corrélation partielle zoo-phyto à température constante dans les cas où les corrélations d'ordre zéro zooplancton-phytoplancton, et zooplancton-température sont maximales. On constate (tabl. VII) que la corrélation zoo-phyto est diminuée dans tous les cas et n'est généralement plus significative conformément à ce que nous venons de supposer.

(1)  $z$  étant le volume sédimenté de zooplancton d'une quinzaine donnée,  $t_{-1}$  et  $p_{-1}$  la température et le phytoplancton de la quinzaine antérieure :

$$\begin{array}{lll} r_{z,t_{-1}} = -0.69, & r_{z,p_{-1}} = 0.46, & r_{z,t_{-1}p_{-1}} = 0.70 \\ r_{\log z,t_{-1}} = -0.67, & r_{\log z,p_{-1}} = 0.44, & r_{\log z,t_{-1}p_{-1}} = 0.68 \\ r_{\log^2 z,t_{-1}} = -0.69, & r_{\log^2 z,p_{-1}} = 0.45, & r_{\log^2 z,t_{-1}p_{-1}} = 0.69 \end{array}$$

TABLEAU VII

Corrélations d'ordre zéro entre zooplancton et phytoplancton et corrélations partielles après élimination de l'influence thermique :  $z, p, t$  = zooplancton, phytoplancton, température de la même quinzaine ;  $z, p_{-1}, t_{-1}$  = zooplancton d'une quinzaine donnée, phytoplancton et température de la quinzaine précédente ; \*, \*\*, \*\*\* = significatif à 0.05, 0.01, 0.001.

Zero order correlation between zooplankton, phytoplankton and partial correlation after elimination of the temperature influence.  $z, p, t$  = zooplankton, phytoplankton, temperature of the same fortnight ;  $z, p_{-1}, t_{-1}$  = zooplankton of a fortnight, phytoplankton and temperature of the preceding fortnight ; \*, \*\*, \*\*\* = significant at 0.05, 0.01, 0.001 levels.

	ANNÉE ENTIÈRE		SAISONS CHAUDES $T_{10m} > 24\text{ }^{\circ}\text{C}$		SAISONS FROIDES $T_{10m} < 24\text{ }^{\circ}\text{C}$	
	Corrélation d'ordre zéro	Corrélation partielle	Corrélation d'ordre zéro	Corrélation partielle	Corrélation d'ordre zéro	Corrélation partielle
Volumes sédimentés.....	$r_{z p} = 0.48^{***}$	$r_{z p, t_{-1}} = 0.10$	$r_{z p_{-1}} = 0.26^*$	$r_{z p_{-1}, t_{-1}} = 0.14$	$r_{z p} = 0.38^{**}$	$r_{z p, t_{-1}} = 0.08$
Volumes par déplacement.....	$r_{z p_{-1}} = 0.55^{***}$	$r_{z p_{-1}, t_{-1}} = 0.28$	$r_{z p_{-1}} = 0.60^{***}$	$r_{z p_{-1}, t_{-1}} = 0.40^{**}$	$r_{z p_{-1}} = 0.43^*$	$r_{z p_{-1}, t_{-1}} = 0.24$
Poids secs.....	$r_{z p_{-1}} = 0.42^{***}$	$r_{z p_{-1}, t_{-1}} = 0.13$	$r_{z p_{-1}} = 0.59^{***}$	$r_{z p_{-1}, t_{-1}} = 0.41^{**}$		
Total copépodes ( $\log^2$ ).....	$r_{z p} = 0.40^{***}$	$r_{z p, t_{-1}} = -0.001$	$r_{z p_{-1}} = 0.30^*$	$r_{z p_{-1}, t_{-1}} = 0.07$		

La majeure partie des variations de la biomasse secondaire est donc expliquée par les variations de température. Cependant le zooplancton réagit davantage et de façon beaucoup plus nette aux petits refroidissements qui interrompent la saison chaude qu'aux variations d'intensité de l'upwelling de grande saison froide. Tout se passe comme si le facteur « upwelling » était limitant en saison chaude, mais non en saison froide. En effet, on a vainement tenté de relier l'abondance moyenne du zooplancton de la saison froide à l'intensité du refroidissement des diverses années (1).

Si on définit pour chacune des 24 quinzaines de l'année un volume sédimenté moyen et une température moyenne à 10 m (calculées de 1969 à 1975) et que l'on calcule les écarts de chaque quinzaine à cette moyenne pluriannuelle, on constate une corrélation ( $r = 0.39$ ) significative à 1‰ entre « anomalies zooplanctoniques » et « anomalies thermiques », si l'on excepte les observations des mois d'août, septembre et octobre (fig. 11).

Il semble donc qu'à l'exception des mois les plus froids, l'abondance en zooplancton d'une quinzaine

donnée dépende de l'existence et de la vigueur des refroidissements concomitants ou antérieurs. Comme si la différence entre la biomasse observée et celle de la moyenne pluriannuelle de la même période dépendait d'une « anomalie thermique ».

### 3.3.3. RELATION AVEC LES DÉBITS FLUVIAUX.

Ces dernières constatations amènent à rechercher une autre explication aux « anomalies zooplanctoniques » des mois de saison froide, anomalies particulièrement importantes puisqu'elles ont lieu pendant la période la plus riche. A l'exception de la température, le facteur hydrologique le plus variable durant la grande saison froide, dans les eaux côtières est l'apport d'eaux douces et donc de substances terrigènes provenant du lessivage des sols par les pluies.

En première approximation on peut limiter les apports d'eaux douces qui interviennent à la station côtière d'Abidjan aux fleuves Comoé et Bandama. En effet l'embouchure normale du Comoé (au niveau de Grand-Bassam) est fréquemment obstruée par des bancs de sable et les eaux du Comoé se jettent

(1) L'intensité de ce refroidissement a été calculée en intégrant la courbe de température à 10 m au-dessous de 24°C. On a d'abord recherché une relation avec la quantité de zooplancton de la saison froide ( $r = 0.23$  pour  $n = 6$ ), puis avec celle de l'année entière consécutive ( $r = 0.41$ ) ; les corrélations ne sont significatives dans aucun cas.

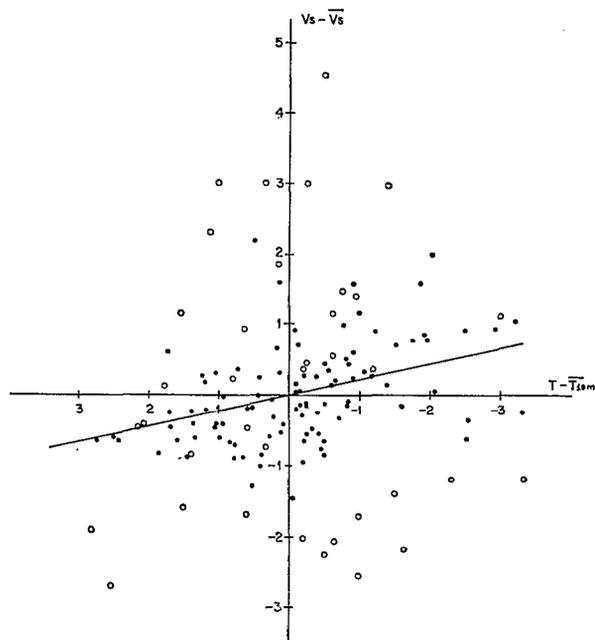


Fig. 11. — Relation entre les anomalies de zooplancton sédimenté ( $\Delta Z = V_s - \bar{V}_s$ ) et de température ( $\Delta T = T - \bar{T}_{10m}$ ) : écarts de chaque quinzaine à une moyenne pluriannuelle. Les quantités de plancton sont d'autant plus élevées par rapport à la moyenne pluriannuelle que le refroidissement est plus intense (points noirs) ; à l'exception des mois d'août, septembre et octobre (cercles).

$$(r = 0.39 \quad \Delta Z = -0.218\Delta T - 0.0093)$$

Relationships between the settled zooplankton anomalies ( $\Delta Z = V_s - \bar{V}_s$ ) and the temperature ones ( $\Delta T = T - \bar{T}_{10m}$ ) : deviation between each fortnight and a pluriannual mean. Zooplankton quantity is as high, compared with pluriannual mean, as cooling is intense (black dots) — except August, September and October (open circles).

$$(r = 0.39 \quad \Delta Z = -0.218\Delta T - 0.0093)$$

en mer par le canal de Vridi (à 2 milles de la côte), après avoir traversé une partie de la lagune. La lagune Ebrié est également alimentée par un fleuve côtier : l'Agnéby. Bien que le rôle de ce fleuve paraisse intéressant, à cause du décalage de sa crue par rapport à celle du Comoé (juin, juillet au lieu de août, septembre-octobre), nous n'en tiendrons pas compte faute de données régulièrement disponibles. La perte d'information est sans doute minime, vu la modestie de son débit moyen ( $17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) par rapport à celui du Comoé ( $312 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  pour la même année 1970). Par contre on tiendra compte du débit du Bandama, du même ordre de grandeur que celui du Comoé ; bien que son embouchure soit à 60 milles à l'ouest d'Abidjan, ses eaux sont déviées à l'est par le courant de Guinée. Faute de mesures de débit à l'embouchure même des fleuves on utilisera

les observations de Tiassalé et d'Alépé (situés respectivement à 85 et 40 km à l'intérieur des terres). Les fluctuations des débits en ces stations sont certainement très proches de celles des embouchures, vu l'importance respective des bassins versants amont et aval.

La corrélation calculée entre les 67 mois où nous disposons de mesures concomitantes des débits du Bandama et du Comoé ainsi que des volumes sédimentés de zooplancton (fig. 12) est significative à 1‰. L'incertitude sur la mesure des débits étant certainement très inférieure à celle sur la mesure des biovolumes, on calculera une régression prédictive (droite des moindres carrés) :

$$Z = 2.03 \cdot 10^{-3} D + 1.53$$

Z étant le biovolume sédimenté moyen mensuel ( $\text{ml}/\text{m}^3$ ) et D la somme des débits moyens des fleuves Bandama et Comoé ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), débits mesurés respectivement à Tiassalé et à Alépé.

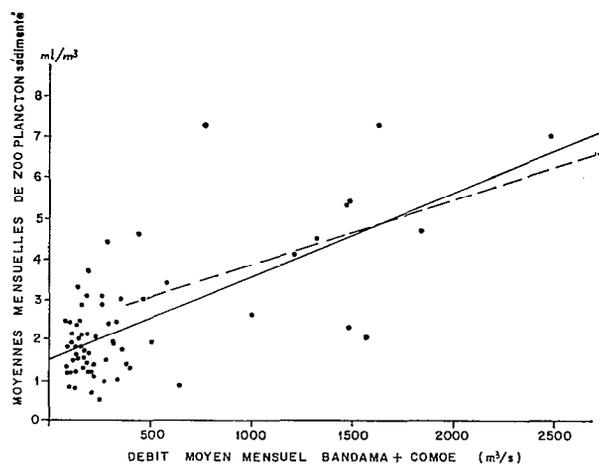


Fig. 12. — Corrélation entre le débit mensuel des fleuves Bandama et Comoé (D) et la moyenne mensuelle de zooplancton sédimenté à la station côtière d'Abidjan (Z) ; droites des moindres carrés.

— Ensemble des observations :  $n = 67$   $r = 0.69$   
significatif à 0.001

$$Z = 0.00203D + 1.53 \text{ (trait plein)}$$

— Débit  $> 400 \text{ m}^3/\text{s}$  :  $n = 16$   $r = 0.46$   
significatif à 0.1

$$Z = 0.00156D + 2.29 \text{ (tireté)}$$

Correlation between Bandama and Comoé rivers monthly flow (D) and settled zooplankton monthly mean at the Abidjan coastal station (Z) ; least squares lines.

— Whole observations :  $n = 67$   $r = 0.69$  significant at 0.001  
 $Z = 0.00203D + 1.53$  (solid line)

— Flow  $> 400 \text{ m}^3/\text{s}$  :  $n = 16$   $r = 0.46$  significant at 0.1  
 $Z = 0.00156D + 2.29$  (dash line)

En distinguant les observations faites durant les périodes de crues ( $D > 400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), on constate qu'il existe toujours une corrélation entre zooplancton marin et débit fluvial ( $r = 0.46$ ) significative à 10 %, tandis que pour les mois proches de l'étiage ( $D < 400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ), la corrélation est quasi nulle ( $r = 0.07$ ). En conclusion : si pendant la saison chaude les petits upwellings sont les seules sources d'enrichissement du milieu, pendant la saison froide le développement dépend également des apports terrigènes.

On vient de montrer le rôle fertilisant des apports terrigènes en mer par des corrélations entre moyennes mensuelles, on peut également montrer cette influence par des corrélations entre moyennes annuelles. Nous avons découpé l'année du 1<sup>er</sup> juin au 30 mai de l'année suivante en postulant que la poussée de grande saison froide lorsqu'elle s'épuise engendre une production primaire de régénération qui supporte elle-même une certaine production secondaire. En effet, mis à part les petits upwellings de saison chaude, on observe bien chaque année un lent appauvrissement du zooplancton depuis août-septembre jusqu'en mai-juin (fig. 3).

La corrélation (fig. 13) entre les moyennes annuelles de volumes sédimentés et les débits du Bandama et du Comoé ( $r = 0.928$ ) est significative à 1‰, la régression s'écrit :

$$Z = 4.13 \cdot 10^{-3} D + 1.48$$

Z étant le volume sédimenté moyen calculé entre le 1<sup>er</sup> juin et le 30 mai, D étant la somme des débits moyens des fleuves Bandama et Comoé aux échelles de Tiassalé et d'Alépé durant la même période.

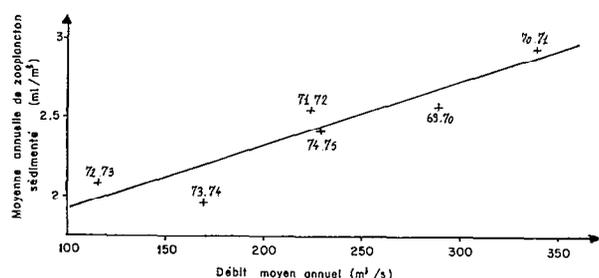


Fig. 13. — Corrélation entre les moyennes annuelles du débit des fleuves Bandama et Comoé (D) et du zooplancton sédimenté à la station côtière d'Abidjan (Z). Moyennes calculées du 1<sup>er</sup> juin au 30 mai de l'année suivante, droite des moindres carrés.

$r = 0.93$  significatif à 0.001  $Z = 0.00413 D + 1.48$   
*Correlation between Bandama and Comoé rivers annual mean flows (D) and settled volumes of zooplankton at Abidjan coastal station (Z). Computed means from the 1<sup>st</sup> June to the 30th May, least squares lines.*

$r = 0.93$  significant at 0.001  $Z = 0.00413D + 1.48$

En conclusion, si les apports terrigènes en mer ont un rôle fertilisant relativement rapide (moins d'un mois), il existe aussi un « effet retard » qui est ressenti durant toute la saison sèche suivante, vraisemblablement par le biais — au moins partiel — de la production de régénération.

### 3.3.4. RELATION SIMULTANÉE AVEC LA TEMPÉRATURE ET LES DÉBITS FLUVIAUX.

Puisque la température et le débit des fleuves Bandama et Comoé sont les facteurs qui sont les plus corrélés avec les quantités de zooplancton il est intéressant de les associer dans une corrélation et une régression multiples.

Nous exprimerons le zooplancton par les volumes sédimentés (la série de mesures la plus longue) en utilisant des moyennes mensuelles, faute de disposer de mesures de débit plus fréquentes.

La corrélation multiple est  $R_{z, td} = 0.787$  pour 67 triplets, z exprimant les volumes sédimentés, t la température à 10 m, d les débits fluviaux. La signification de r peut être déterminée en calculant la quantité :

$$F_{\text{obs}} = \frac{(n-3) R_{z, td}^2}{2(1 - R_{z, td}^2)}$$

et en la comparant à  $F_{1-\alpha}$  pour 2 et  $n - 3$  degrés de liberté.

On trouve  $F_{\text{obs}} = 51.29$ , donc l'hypothèse nulle peut être rejetée avec un risque inférieur à 1‰.

Le pourcentage de variance exprimé par cette corrélation est 62 %, le calcul de la régression multiple est donc intéressant. Le volume sédimenté d'un mois est estimé à :

$$Z = -0.235(T - 24.69) + 0.00128(D - 515.23) + 1.526$$

Z étant le volume sédimenté de zooplancton en  $\text{ml}/\text{m}^3$

T étant la température en degrés centigrades de la station Côtière à 10 m

D étant les débits du Bandama et du Comoé à Tiassalé et Alépé en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

## 4. POIDS SEC TOTAL.

Les récoltes des campagnes « PK » ont permis le calcul de biovolumes moyens par mois et pour chacune des 3 stations des 6 secteurs de 1° de longitude entre lesquels le littoral du Cap des Palmes au Cap des Trois Pointes avait été découpé (BINET, 1972 et fig. 1). D'autre part la série de mesures simultanées de biovolumes et de poids secs à la station côtière (avril 1973 à décembre 1975) a

a permis d'estimer de façon assez précise la relation poids sec — volume sédimenté. On peut donc convertir les densités de zooplancton exprimées en volumes sédimentés en densités de poids sec. Enfin la connaissance bathymétrique de la région étudiée permet d'estimer le poids sec total du zooplancton vivant au-dessus du plateau entre les deux caps considérés.

#### 4.1. Conversion des volumes sédimentés en poids secs.

LE BORGNE (1975 a) a étudié le problème des équivalences entre mesures de zooplancton. Il remarque que les droites de régression devraient passer par l'origine et qu'un écart par rapport à celles-ci peut être attribué à la non-linéarité de la relation (artéfact dans la mesure de l'un des paramètres pour des valeurs élevées). Dans les calculs ultérieurs on utilisera donc les équivalences poids sec - volume sédimenté données par la régression et par le rapport des moyennes des deux mesures; ce qui permettra une indication de l'erreur introduite par ces équivalences.

LE BORGNE trouve pour 80 couples de valeurs provenant de la station côtière d'Abidjan la régression suivante :

$Y_{(mg)} = 17,3 X_{(ml)} + 52$  avec un coefficient de corrélation  $r = 0,71$

Nous avons repris son calcul en y ajoutant les dernières données acquises, ce qui porte à 239 le nombre de couples étudiés. La régression s'écrit :

$Y_{(mg)} = 18,8 X_{(ml)} + 21,1$  avec un coefficient de corrélation  $r = 0,75$

Le rapport des moyennes est 20,0 mg/ml. Ces résultats sont très proches de ceux de LE BORGNE, nous les préférons néanmoins car notre calcul porte sur un plus grand nombre de valeurs et parce que l'ordonnée à l'origine de la droite de régression est moins élevée.

#### 4.2. Délimitation du volume étudié.

Les échantillons des campagnes « PK » proviennent de traits obliques (15 m — surface, 50 m — surface, 60 m — surface) en des stations situées respectivement au-dessus des fonds de 20, 60 et 200 m. Nous admettons que ces échantillons sont représentatifs du plancton de toute la colonne d'eau aux deux premières stations. Au contraire, pour la troisième station, la comparaison d'un certain nombre de récoltes recueillies en trait vertical 200 m — surface avec celles des campagnes « PK » du

même mois, montre la plus grande richesse des couches superficielles (cf. tabl. VIII).

TABLEAU VIII

Concentration du zooplancton (volume sédimenté en ml/m<sup>3</sup>) dans différentes couches d'eau de la station 3 au sud de Grand-Bassam à différentes périodes et rapport des concentrations au-dessus et au-dessous de 60 m (K).  $\bar{K} = 0,4$ .  
Zooplankton concentration (settled volume in ml/m<sup>3</sup>) in different waters layers at station 3, South of Grand-Bassam, at various time and rate of concentrations above and below 60 m (K).  $\bar{K} = 0,4$ .

	Juil. 69	Sept.	Oct.	Nov.	Janv. 70	Fév.
$C_{60-0}$	1.66	1.56	1.53	0.86	0.69	0.75
$C_{200-0}$	1.07	0.82	1.05	0.36	0.53	0.32
$C_{200-60}$ (calculée)	0.817	0.503	0.844	0.146	0.461	0.136
$K = \frac{C_{200-60}}{C_{60-0}}$	0.49	0.32	0.55	0.17	0.67	0.18

En moyenne la concentration en zooplancton de la couche profonde est égale à 0,4 fois celle de la couche sus-jacente. Étant donné l'incertitude de cette approximation on estimera successivement les quantités de plancton jusqu'aux isobathes 60 et 200 m.

La concentration en plancton calculée en chacune des 18 stations (*op. cit.*) est multipliée par le volume d'eau de la zone dont chaque station occupe le centre. Ce volume est établi en assimilant la ligne de côte à une succession de droites et en considérant que la profondeur croît de façon régulière dans la zone de chaque station. La zone couverte par ce calcul s'étend donc entre la côte et 12 à 27 milles au sud suivant la largeur du plateau.

#### 4.3. Résultats.

Nous présentons sous forme de tableaux d'une part le poids sec de zooplancton par mois (pour l'ensemble des secteurs), d'autre part la moyenne annuelle par secteur. Dans chaque cas les calculs sont effectués séparément pour la couche des 60 premiers mètres et pour celle des 200 premiers mètres; nous donnons les résultats obtenus en utilisant le rapport des moyennes (poids sec/volume sédimenté) et la régression.

TABLEAU IX

Différents calculs des poids secs de zooplancton par mois (en tonnes) pour l'ensemble du golfe ivoirien.  
*Different monthly zooplankton computed dry weights (metric tons) for the whole ivoirian gulf.*

Mois	Couche 0 — 60 m		Couche 0 — 200 m	
	$Y_{(mg)} = 20X_{(ml)}$	$Y_{(mg)} = 18,8X_{(ml)} + 21,1$	$Y_{(mg)} = 20X_{(ml)}$	$Y_{(mg)} = 18,8X_{(ml)} + 21,1$
Janvier.....	27 500	50 300	35 500	77 100
Février.....	29 400	52 100	39 000	80 400
Mars.....	29 800	52 400	38 200	79 600
Avril.....	20 000	42 900	25 500	67 700
Mai.....	16 900	40 400	22 200	64 600
Juin.....	18 000	41 300	24 000	66 300
Juillet.....	41 500	63 500	54 500	95 000
Août.....	107 000	125 000	141 000	176 000
Septembre.....	69 100	89 400	86 200	125 000
Octobre.....	47 100	68 700	60 200	100 000
Novembre.....	27 200	50 000	34 700	76 400
Décembre.....	20 600	43 900	26 600	68 700
Moyenne.....	37 800	60 000	48 900	89 700

TABLEAU X

Différents calculs des poids secs de zooplancton (en tonnes) pour chaque secteur du plateau continental (moyennes annuelles).  
*Different zooplankton computed dry weights (metric tons) by every shelf areas (annual means).*

Secteur	Couche 0 — 60 m		Couche 0 — 200 m	
	$Y_{(mg)} = 20X_{(ml)}$	$Y_{(mg)} = 18,8X_{(ml)} + 21,1$	$Y_{(mg)} = 20X_{(ml)}$	$Y_{(mg)} = 18,8X_{(ml)} + 21,1$
Longitude W				
2° - 3°.....	8 400	14 010	10 800	21 100
3° - 4°.....	7 600	12 200	10 230	19 200
4° - 5°.....	4 160	6 530	5 340	9 610
5° - 6°.....	7 310	10 780	9 280	15 600
6° - 7°.....	6 690	10 110	8 640	14 950
7° - 8°.....	3 640	6 360	4 620	9 260
TOTAL.....	37 800	60 000	48 900	89 700

Ces quantités varient du simple au double selon la transformation volume sédimenté — poids sec utilisée; mais il est probable que la principale source d'incertitude provient de l'estimation des volumes sédimentés mensuels à partir de l'échantillonnage des campagnes « PK ».

## 5. DISCUSSION. CONCLUSION.

### 5.1. Variabilité.

L'augmentation du coefficient de variation d'une série de pêches planctoniques avec le laps de temps s'écoulant entre la première et la dernière récolte était prévisible. Il est réconfortant pour le plancto-

logue de le vérifier et de le chiffrer; mais cet optimisme doit être nuancé par l'importance de la dispersion qui affecte la distribution du coefficient de variation pour des récoltes qui se succèdent même rapidement (cf. tabl. XI et fig. 2).

TABLEAU XI

Paramètres de la distribution des coefficients de variation (en %), pour un intervalle entre récoltes  $\Delta t = 10$  mn.  
*Coefficients of variation distribution parameters, for a sample's interval  $\Delta t = 10$  mn.*

Moyenne	= 17,3
Médiane	= 13,5
Mode	= 7,5
Écart-type	= 15,1

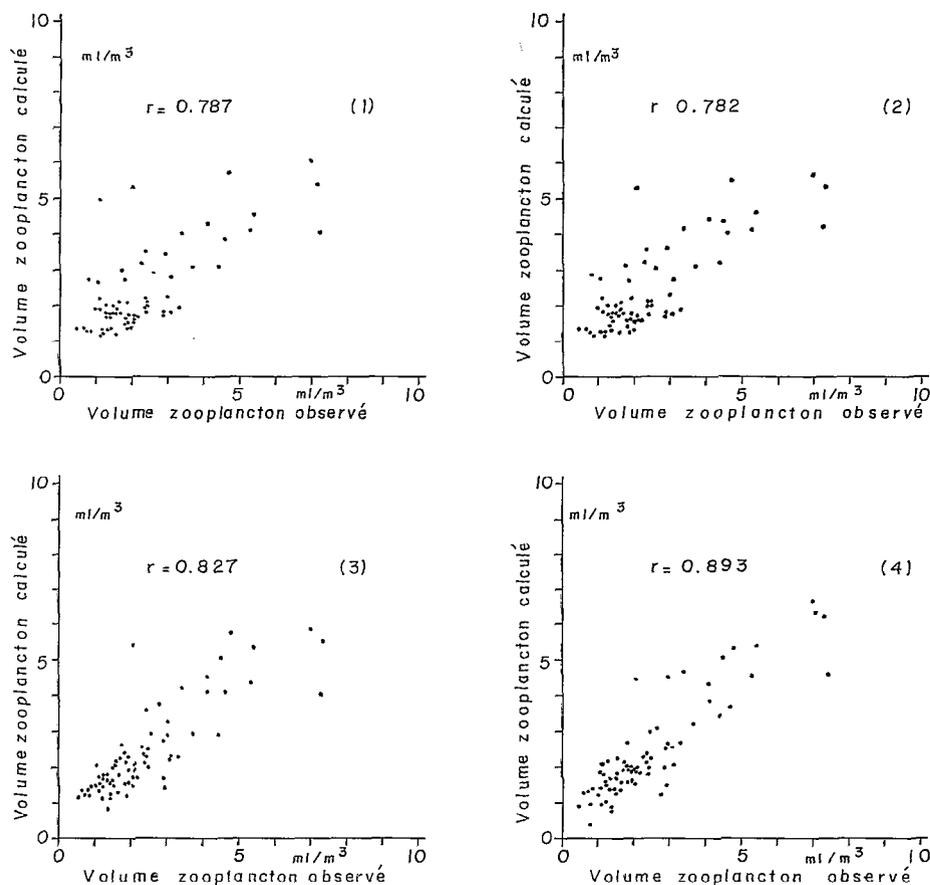


Fig. 14. — Comparaison des modèles de calcul du volume sédimenté de zooplancton (en fonction de la température et du débit des fleuves), à la réalité. (cf. tableau XII). Le modèle servant au calcul du volume sédimenté est établi à partir de :

- (1) une régression portant sur l'année entière, sans transformation des données.
- (2) une régression portant sur l'année entière, après transformation  $\log^5$  du débit fluvial.
- (3) 4 régressions (une par trimestre), sans transformation des données.
- (4) 12 régressions (une par mois), sans transformation des données.

*Zooplankton settled volumes computation models (in terms of temperature and rivers flow) compared to the reality. (cf. table XII). The model used to compute settled volume is drawn up from:*

- (1) one regression relating to the whole year, without data transformation.
- (2) One regression relating to the whole year, with  $\log^5$  river flow transformation.
- (3) 4 regressions (one by trimester), without data transformation.
- (4) 12 regressions (one by month), without data transformation.

## 5.2. Régressions et modèles.

Les quantités de zooplancton suivent donc un cycle saisonnier assez net avec un maximum principal durant la grande saison froide et un maximum secondaire, moins caractéristique, correspondant approximativement aux petits upwellings qui interrompent la saison chaude. Nous avons cherché à corréliser ce cycle avec celui des paramètres dispo-

nibles, susceptibles de causer des variations zooplanctoniques.

Les variations de température et de phytoplancton accompagnent ou précèdent celles du zooplancton; mais si on élimine l'influence de la température de la corrélation zooplancton-phytoplancton, cette dernière n'est généralement plus significative. De même, une corrélation multiple faisant intervenir la température et le phytoplancton

comme variables explicatives du zooplancton, n'est pas plus élevée qu'une simple corrélation zooplancton-température (cf. note infra-paginale, p. 316). Autrement dit le phytoplancton n'apporte pas plus d'information que la température à la prévision du zooplancton. Il n'est pas utile de le retenir comme variable explicative dans une tentative de modélisation.

Cependant la température (ou l'anomalie de température par rapport à une moyenne pluriannuelle) n'explique pas toutes les variations zooplanctoniques. L'apport de substances terrigènes par les fleuves peut être responsable d'autres variations de la biomasse secondaire. On vérifie par une corrélation multiple le rôle des chutes de température et des crues des fleuves voisins de la station côtière dans les accroissements de biomasse. La corrélation hautement significative et le pourcentage élevé de variance extraite (62 %) justifient le calcul d'une régression linéaire avec la température et le débit des fleuves.

Cette régression constitue donc un modèle dont on peut tester l'intérêt en calculant les volumes sédimentés de 1969 à 1965 et en les comparant aux moyennes mensuelles observées (fig. 14). La corrélation entre valeurs observées et calculées est  $r = 0,787$ . Le schéma saisonnier est à peu près respecté, mais le modèle accorde trop d'importance au débit fluvial lorsque des crues se produisent d'avril à juin ou, lorsqu'elles se maintiennent jusqu'en novembre. D'autre part ce modèle est incapable de prévoir les enrichissements qui accompagnent les refroidissements de saison chaude.

On a d'abord tenté d'améliorer ce premier modèle par une transformation logarithmique à puissance  $n$  du débit fluvial (cf. tabl. XII et fig. 14). L'amélioration n'est pas sensible et la corrélation n'est pas meilleure ( $r = 0,762$ ).

Mais il aurait été surprenant de trouver qu'une seule équation relie entre eux zooplancton, température et débits fluviaux à travers l'ensemble des saisons, de façon satisfaisante. Ceci aurait démontré l'existence d'un seul écosystème tout au long de l'année, en contradiction avec toutes les études qualitatives et quantitatives précédentes (on vient de voir que les relations entre zooplancton, phytoplancton et température n'étaient pas les mêmes selon les saisons, on sait également que la composition

spécifique varie totalement d'une saison à l'autre -- BINET, GABORIT et ROUX, 1972).

Une première approche a été tentée en scindant l'année en 4 parties. Le calcul d'une régression multiple par trimestre postulait l'existence de 4 écosystèmes. La corrélation entre volumes de zooplancton calculés et observés est bien améliorée ( $r = 0,827$ ).

On a poursuivi l'analyse dans cette direction en cherchant à établir des modèles valables pour un laps de temps beaucoup plus court, ayant par conséquent davantage de chances de correspondre à de véritables écosystèmes. On a donc calculé 12 régressions, une par mois, malgré ce qu'il y a d'arbitraire d'une part, à assimiler les 12 mois de l'année à autant d'écosystèmes, d'autre part à admettre qu'un mois donné des conditions identiques se reproduisent et engendrent le même écosystème les différentes années. Chaque régression est calculée sur un petit nombre de points (le nombre d'années où chaque mois a été échantillonné) et on pouvait craindre que quelques points aberrants ne faussent la régression. Il semble n'en rien être (fig. 3 et 14) et la corrélation entre volumes calculés et observés est très supérieure aux précédentes ( $r = 0,893$ ). Cette dernière série de régression semble donc la meilleure. Nous disposons donc d'un moyen approximatif de connaître la quantité de zooplancton d'un mois donné, sans échantillonnage direct, à partir des mesures de température et de débits fluviaux (tabl. XII).

Outre l'intérêt théorique que cela représente on verra (paragr. 5.4) les conséquences économiques que peut avoir une forte baisse de zooplancton et par conséquent l'avantage de connaître par un calcul approximatif les teneurs en plancton, s'il n'existe pas d'échantillonnage.

### 5.3. Bilan des poids secs.

L'existence des corrélations significatives entre le zooplancton et des facteurs hydrologiques, la faiblesse des corrélations entre zooplancton et phytoplancton est une observation courante en océanographie où l'on trouve généralement de meilleures relations entre un maillon de la chaîne alimentaire et les caractères hydrologiques qu'avec le ou les maillons biologiques antérieurs (1). L'activité

(1) HELA et LAEVASTU (1970) dans un ouvrage de 238 pages sur l'océanographie des pêches n'en consacrent que 5 à l'influence de la production secondaire.

TABLEAU XII

Paramètres des différentes régressions multiples entre les moyennes mensuelles de volume sédimenté de zooplancton ( $Z$ ), de température à 10 m ( $T$ ) et de débit des fleuves Bandama et Comoé ( $D$ ). Chaque régression s'écrit :  $Z = B_1(T - \bar{T}) + B_2(D - \bar{D}) + \bar{Z}$ .  $r_{z, td}$  est le coefficient de corrélation multiple entre volume sédimenté, température et débit, pour chaque régression.  $r_{obs, calc}$  est le coefficient de corrélation entre les volumes planctoniques observés et calculés. Les numéros (1), (2), (3) et (4) correspondent à la figure 14.

Parameters of the different multiple regressions between monthly means of zooplankton settled volumes ( $Z$ ), temperature at 10 m ( $T$ ) and Bandama and Comoé rivers flow ( $D$ ). Each regression is written :  $Z = B_1(T - \bar{T}) + B_2(D - \bar{D}) + \bar{Z}$ .  $r_{z, td}$  is the multiple correlation coefficient between settled volumes, temperature and flow, for each regression.  $r_{obs, calc}$  is the correlation coefficient between observed and computed planktonic volumes. Numbers (1), (2), (3) and (4) corresponds to fig. 14.

Type de la régression	$B_1$	$\bar{T}$ (°C)	$B_2$	$\bar{D}$ (m <sup>3</sup> /s)	$\bar{Z}$ (ml/m <sup>3</sup> )	$r_{z, td}$	$r_{obs, calc}$
Année entière sans transformation.....	-0.235	24.69	0.128 10 <sup>-2</sup>	434.4	2.416	0.787	0.787
Année entière. $D = \log^s$ débit.....	-0.237	24.69	0.648 10 <sup>-2</sup>	110.9	2.416	0.782	0.782
Par trimestre sans transformation							
1 <sup>er</sup> trimestre.....	-0.334	25.64	0.986 10 <sup>-2</sup>	129.9	1.976	0.543	0.827
2 <sup>e</sup> trimestre.....	-0.159	26.83	-0.130 10 <sup>-2</sup>	242.7	1.410	0.386	
3 <sup>e</sup> trimestre.....	-0.416	20.52	0.124 10 <sup>-2</sup>	775.1	3.685	0.676	
4 <sup>e</sup> trimestre.....	-0.489	25.75	0.538 10 <sup>-3</sup>	623.5	2.685	0.957	
Par mois sans transformation							
Janvier.....	-0.124	25.43	0.313 10 <sup>-2</sup>	120.2	1.844	0.329	0.893
Février.....	-0.638	25.24	0.165 10 <sup>-1</sup>	131.3	2.380	0.724	
Mars.....	-0.134	26.22	0.419 10 <sup>-2</sup>	136.7	1.682	0.238	
Avril.....	-0.256	26.91	0.120 10 <sup>-2</sup>	186.0	1.692	0.477	
Mai.....	-0.343	27.49	0.127 10 <sup>-1</sup>	203.7	1.400	0.866	
Juin.....	-0.183	26.09	-0.134 10 <sup>-2</sup>	338.5	1.138	0.636	
Juillet.....	-0.570	22.29	-0.238 10 <sup>-2</sup>	251.7	2.085	0.772	
Août.....	0.362	19.66	0.645 10 <sup>-2</sup>	509.4	4.518	0.634	
Septembre.....	0.245	19.47	0.196 10 <sup>-2</sup>	1519.8	4.590	0.664	
Octobre.....	-0.409	23.36	0.105 10 <sup>-2</sup>	1124.0	4.152	0.909	
Novembre.....	0.223 10 <sup>-1</sup>	27.05	0.290 10 <sup>-3</sup>	567.2	2.018	0.861	
Décembre.....	-0.330	26.86	0.157 10 <sup>-2</sup>	179.2	1.884	0.788	

des êtres vivants fait que leur répartition spatiale est rarement aléatoire, mais généralement surdispersée, d'où les difficultés d'un échantillonnage correct. La difficulté de relier entre eux les divers niveaux trophiques est au moins partiellement due aux problèmes d'échantillonnage, mais aussi au fait que les relations entre ces différents niveaux sont tantôt directes, tantôt indirectes, vu la complexité des rapports trophiques et leurs multiples possibilités de remplacement (in CUSHING, 1975). Il est néanmoins utile de chercher à quantifier les rapports entre les différents niveaux de production et c'est dans cette intention qu'un bilan de poids sec de zooplancton au-dessus du plateau a été calculé.

A notre connaissance le seul travail comparable,

dans une région tropicale est celui de PETIT et FRONTIER (1971) sur une baie peu profonde de la côte nord-ouest de Madagascar. D'après leurs résultats, le poids sec de zooplancton de la baie d'Ambaro est en moyenne de 536 tonnes pour une superficie de 680 km<sup>2</sup>; soit 0,79 tonne de plancton sec/km<sup>2</sup>. Dans les eaux côtières de Côte d'Ivoire (zones définies par les stations des fonds de 20 m) nous trouvons de 4 950 à 7 490 tonnes de plancton sec pour une superficie de 6 830 km<sup>2</sup>; soient des teneurs de 0,72 à 1,10 tonnes/km<sup>2</sup> (0,91 tonne en moyenne au km<sup>2</sup>). Cette concentration est légèrement supérieure à celle de la baie d'Ambaro ce qui pourrait s'expliquer par l'absence d'enrichissements par upwellings sur la côte de Madagascar; mais si nous tenons compte de la différence des méthodes

de récoltes en mer (filet et type de trait : nos valeurs sont probablement surestimées parce que les récoltes échantillonnaient moins bien les couches profondes), nous ne retiendrons de ce calcul que le même ordre de grandeur des concentrations de zooplancton sur les plateaux malgaches et ivoiriens. En étendant le calcul à l'ensemble de la zone étudiée (y compris les stations de 200 m), la superficie atteint 22 600 km<sup>2</sup> et la concentration en plancton des eaux superficielles (jusqu'à 60 m) atteint 1,67 ou 2,65 tonnes/km<sup>2</sup> (2,16 tonnes en moyenne).

Le travail de DANDONNEAU (1973) chiffre à 169 g C m<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup> la production primaire moyenne, à la station côtière d'Abidjan, soit encore 0,46 tonne C km<sup>-2</sup> jour<sup>-1</sup>. D'après LE BORGNE (1975 a) la teneur en carbone du zooplancton ivoirien varie de 36,4 à 38,5 selon la saison, soit approximativement 37,1 % pour l'ensemble de l'année. La concentration en carbone de la zone néritique devient alors 0,34 tonne C km<sup>-2</sup>, résultat légèrement inférieur à celui de la production primaire quotidienne. Le « standing stock » de zooplancton et la production primaire journalière seraient donc du même ordre de grandeur. Le zooplancton disposerait donc en moyenne, chaque jour d'une quantité de phytoplancton légèrement supérieure à sa propre biomasse (1).

#### 5.4. Répercussion sur les planctonophages.

Le stock ivoiro-ghanéen de *Sardinella aurita* a pratiquement disparu depuis 1972. Trois facteurs peuvent expliquer cette disparition (Anon., 1976) :

— Surpêche de 1969 à 1971.

— Extraordinaire accroissement des poissons du genre *Balistes* qui peuvent entrer en compétition avec les Sardinelles.

— Décroissance dans l'abondance du plancton pendant la saison froide 1972, changement dans sa composition pendant la saison froide 1973 (*S. aurita* est un planctonophage — DIA, 1972).

Nous avons vu que les quantités de zooplancton étaient très déficitaires en septembre-octobre 1972 (il n'y a malheureusement pas eu de récoltes en août), par rapport aux autres années où les crues étaient présentes. D'autre part, pendant la grande saison froide suivante, en 1973, le Copépode *Calanoides carinatus* (dont *S. aurita* se nourrit en grande partie) a été peu abondant (BINET et SUISSE DE SAINTE CLAIRE, 1975) à cause du manque d'intensité de la saison froide. « Cette modification a certainement eu des conséquences sur la disponibilité et a décrié la productivité du stock. Ces effets ont pu être importants au niveau des larves et des juvéniles de Sardinelles » (Anon., 1976), et peut-être également sur la ponte : FONTANA et CHARDY (1971) ont montré une corrélation entre les pontes de *S. aurita* et les pluies dans les eaux de Pointe-Noire (Congo).

En résumé, deux facteurs physiques différents : la sécheresse en 1972, l'absence de fort refroidissement en 1973, ayant eu pour conséquences l'amointrissement considérable du zooplancton global en 1972, des *Calanoides carinatus* en 1973, ont vraisemblablement contribué à la disparition d'une espèce planctonophage.

*Manuscrit reçu au S.C.D. de l'O.R.S.T.O.M. le 31 août 1976.*

(1) Dans la zone côtière uniquement (fonds de 20 m).

## BIBLIOGRAPHIE

- ANON., 1976. — Rapport du groupe de travail ivoiro-ghanéen sur *Sardinella aurita*. C.R.O. Abidjan, *multigr.*
- AVENARD (J. M.), EL DIN (M.), GIRARD (G.), SIRCOULON (J.), TOUCHEBEUF (P.), GUILLAUMET (J. L.), ADJANO HOUN (E.), PERRAUD (A.), 1971. — Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, n° 50 : 1-391.
- BINET (D.), GABORIT (M.) et ROUX (M.), 1972. — Copépodes pélagiques du plateau ivoirien. Utilisation de l'analyse des correspondances dans l'étude des variations saisonnières. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 3 (1) : 47-79.
- BINET (D.), 1972. — Variations des biovolumes de zooplancton du plateau continental entre le Cap des Palmes et le Cap des Trois Pointes. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 3 (2) : 60-93.
- BINET (D.) et SUISSE DE SAINTE CLAIRE (E.), 1975. — Le Copépode planctonique *Calanoides carinatus*. Répartition et cycle biologique au large de la Côte d'Ivoire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XIII, n° 1 : 15-30.
- BINET (D.), 1975. — Notes sur l'écologie de quelques taxons du zooplancton de Côte d'Ivoire. I. — Ostracodes, Cladocères et Cirripèdes. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 6 (2) : 19-39.
- BINET (D.), 1976. — Contribution à l'écologie de quelques taxons du zooplancton de Côte d'Ivoire. III. — Larves de Décapodes et Lucifer. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 7 (1) : 63-84.
- CUSHING (D. H.), 1975. — *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge University Press. 238 p.
- DANDONNEAU (Y.), 1970. — Un phénomène d'eaux rouges au large de la Côte d'Ivoire causé par *Gymnodinium splendens* Lebour. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 1 (1) : 11-19.
- DANDONNEAU (Y.), 1971. — Étude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. I. — Groupe d'espèces associées. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. IX, n° 2 : 247-266.
- DANDONNEAU (Y.), 1972. — Étude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. II. — Représentativité de l'eau de surface pour la description et pour l'interprétation des phénomènes dynamiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. X, n° 3 : 267-274.
- 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. IX, n° 4 : 431-454.
- DIA (A. E. K.), 1972. — Étude de la nutrition de certains poissons Clupeidés (Téléostéens) de Côte d'Ivoire. *Projet de développement de la pêche pélagique côtière (I V C 6/288)*. F.A.O. — Ministère de la production animale. R/S 11/72. 33 p.
- FONTANA (A.) et CHARDY (P.), 1971. — Note préliminaire sur les variations dans l'importance des pontes de *Sardinella aurita* dans la région de Pointe-Noire, en fonction de certains facteurs hydrologiques et climatiques. *Doc. Scient. Centre O.R.S.T.O.M. Pointe-Noire, N<sup>o</sup>e série* : 16, 7 p.
- FRONTIER (S.), 1974. — Contribution à la connaissance d'un écosystème néritique tropical : étude descriptive et statistique du peuplement zooplanctonique de la région de Nosy-Bé (Madagascar). Thèse de doctorat d'État. O.R.S.T.O.M. Paris : 268 p.
- HELA (I.) et LAEVASTU (T.), 1970. — *Fisheries oceanography*. Fishing news (Books) Ltd. London, 238 p.
- PETIT (D.) et FRONTIER (S.), 1971. — Zooplancton d'une baie eutrophique tropicale. 4) Cycle annuel des poids secs. *Doc. Scient. Centre O.R.S.T.O.M. Nosy-Bé*, 24 : 39-54, 8 pl.
- LE BORGNE (R.), 1975 a. — Équivalence entre les mesures de biovolumes, poids secs, poids secs sans cendre, carbone, azote et phosphore du mésozooplancton de l'Atlantique tropical. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XIII, n° 3 : 179-196.
- LE BORGNE (R.), 1975 b. — Méthodes des mesures des biovolumes, poids secs, poids secs sans cendre et des éléments C, N et P du zooplancton utilisées au C.R.O. d'Abidjan. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 6 (2) : 165-176.
- LEMASSON (L.) et REBERT (J. P.), 1973. — Les courants marins dans le golfe ivoirien. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. XI, n° 1 : 67-95.
- MORLIÈRE (A.), 1970. — Les saisons marines devant Abidjan. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 1 (2) : 1-15.
- MORLIÈRE (A.) et REBERT (J.P.), 1972. — Étude hydrologique du plateau continental ivoirien. *Doc. Scient. C.R.O. Abidjan* 3 (2) : 1-30.
- REYSSAC (J.), 1970. — Phytoplancton et production primaire au large de la Côte d'Ivoire. *Bull. IFAN* 23 (4) sér. A : 869-981.
- VARLET (F.), 1958. — Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan. *Études Éburnéennes* 7 : 97-222.