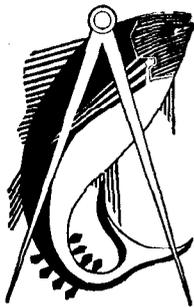


PHILIPPE DUFOUR

J. MERLE

**STATION COTIERE EN ATLANTIQUE TROPICAL
HYDROCLIMAT et PRODUCTION PRIMAIRE**



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

DOCUMENTS SCIENTIFIQUES DU CENTRE DE POINTE-NOIRE

Nouvelle Série N° 25



20 JUILLET 1972



STATION CÔTIÈRE EN ATLANTIQUE
TROPICAL - HYDROCLIMAT ET
PRODUCTION PRIMAIRE

par

P. DUFOUR et J. MERLE *



Document n° 25 N.S.
20 Juillet 1972

* MERLE : étude hydroclimatique
DUFOUR: étude de la productivité.

R E S U M E

Une station côtière a été visitée deux fois par semaine pendant un an sur les fonds de 18 m à Pointe-Noire (Congo-Brazzaville). Une nouvelle définition de catégories d'eau, tenant compte des perturbations locales est proposée. Les caractères météorologiques et hydrologiques des saisons marines de l'année étudiée sont décrits. Puis la température, la salinité, l'énergie lumineuse, les teneurs en phosphate minéral dissous et les biomasses du zooplancton sont examinés du point de vue de leur influence sur le phytoplancton et sa production. Enfin est décrit le cycle annuel des teneurs en chlorophylle a et de la production primaire. Une estimation de la production primaire annuelle nette est donnée.

X

X

X

1. SITUATION - BUTS ET LIMITES

Une station côtière fixe est visitée deux fois par semaine depuis mars 1969. Elle est située dans la zone intertropicale ($4^{\circ}49,2'S$ - $11^{\circ}50,3'E$), à l'extrémité d'un wharf, à une distance de 1,5 km de la côte sur un fond moyen de 18 mètres. L'étude suivante est une tentative d'exploitation des données sur un cycle annuel de mai 1969 à avril 1970.

Les mesures météorologiques : vent, insolation, température et humidité de l'atmosphère ; les mesures physiques : coefficient d'extinction, température et salinité de l'eau, courants, permettent de suivre l'évolution de l'hydroclimat. La richesse en éléments nutritifs est évaluée par des dosages de phosphate. Les répercussions des caractéristiques du milieu sur les premiers étages de l'activité biologique sont examinées par des mesures de pigments végétaux, de production primaire et secondaire.

Des quatre dimensions de l'espace océanique nous n'avons retenu que le temps et la profondeur.

- Temps : La fréquence de deux visites par semaine doit permettre une bonne évaluation statistique des situations saisonnières. Par contre, associée au caractère ponctuel des prélèvements, elle est insuffisante pour suivre dans le détail l'évolution des phénomènes dans une zone côtière aux caractères instables.

- Profondeur : Les mesures de 4 à 6 niveaux permettent d'apprécier la structure de la colonne d'eau, évitent de généraliser des phénomènes strictement superficiels tels que dessalure, réchauffement diurne et inhibition de la photosynthèse et permettent de faire abstraction des phénomènes de migrations nycthémerales. La hauteur de la colonne d'eau au lieu des prélèvements permet d'accéder pratiquement toute l'année à la totalité de la zone euphotique et donc d'y évaluer sans extrapolation la production primaire par unité de surface.

2. ETUDE HYDRO-CLIMATIQUE

2.1. Objectifs et méthodes

La situation de la station doit en faire un instrument efficace d'observation de l'évolution de l'hydroclimat. Cependant sa position à 60 milles de l'embouchure du Congo, deuxième fleuve du monde par son débit, crée des conditions hydrologiques locales très particulières, marquées essentiellement en salinité. Pour pouvoir observer valablement l'évolution de l'hydroclimat, il a été d'abord nécessaire de pouvoir distinguer et filtrer ces perturbations locales par la définition de catégorie d'eau. Sont ensuite décrits les caractères hydrologiques et météorologiques des saisons marines de l'année étudiée à partir de mesures de température, de salinité et de courants.

Les échantillons d'eau sont prélevés en surface à 5, 10 et 17 m par des bouteilles à renversement Ballauf type Nansen. La température est mesurée avec une précision de $\pm 0,01$ degré. La salinité est mesurée avec un salinomètre à induction Hytech, précision $\pm 0,01$ %. Les courants sont mesurés avec des courantomètres Eckman, précision estimée : $\pm 10^\circ$ en direction et $\pm 0,1$ m/s en intensité. Des observations météorologiques élémentaires sont aussi réalisées à chaque visite de la station : mesure de la vitesse et de la direction du vent, mesure de la température sèche et humide, état de la mer.

2.2. Evolution de la température (en 1969 - 1970)

L'évolution de la température est semblable dans toute l'épaisseur de la colonne d'eau de 0 à 17 mètres (fig. 1). Les gradients verticaux de température sont en moyenne constants d'une saison à l'autre mais ils sont très variables à court terme (fig. 2 bis).

Les inversions de température sont rares. Les températures les plus basses au fond, enregistrées au mois de juillet et août ont atteint

16°6. Les températures les plus élevées en surface enregistrées en mars ont atteint 30°0.

Pour l'année considérée (1969-1970) nous avons construit la courbe d'évolution de la température de surface prise au port de Pointe-Noire (moyennes mensuelles) (fig. 3) et la courbe de la moyenne établie sur 16 ans (1953 à 1969) des températures de surface mensuelles prises également au port de Pointe-Noire. La courbe représentative de l'année (1969-1970) est semblable à la courbe moyenne, cependant la petite et grande saison chaude apparaissent plus chaudes que la moyenne.

2.3. Evolution de la salinité en 1969-1970 (fig. 4).

A l'inverse de l'évolution de la température, l'évolution de la salinité est très dissemblable de la surface au fond. Les eaux de surface sont affectées par des dessalures importantes et subites, tandis que les eaux du fond ne subissent que rarement ces dessalures. Les gradients verticaux de salinité peuvent être très importants et varient considérablement d'un jour à l'autre (fig. 2 ter) ; ils sont cependant en moyenne plus importants pendant les saisons chaudes que pendant la saison froide. Ceci traduit la plus grande fréquence et la plus grande intensité des apports d'eaux dessalées en saisons chaudes.

Les salinités les plus élevées ne dépassent pas 36 ‰ et sont enregistrées au fond de mai à septembre. Les dessalures les plus importantes abaissent la salinité jusqu'à 20,5 ‰ en mars 1969.

De faibles inversions de salinité ont été notées au fond en juillet et août (fig. 2).

2.4. Diagramme T-S catégories d'eau

L'ensemble des couples T-S a été reporté sur un même diagramme (fig. 7).

2.4.1. Classification de Berrit

Les droites $T = 24^{\circ} \text{C}$ et $S = 35 \text{ ‰}$ divisent le plan T-S en 4 régions qui selon les critères établis par Berrit (1958-1961-1962a-1962b) définissent 4 catégories d'eau de surface dans le Golfe de Guinée :

- des eaux Guinéennes ($T > 24^{\circ}$ $S < 35 \text{ ‰}$)
- des eaux Bengueliennes ($T < 24^{\circ}$ $S > 35 \text{ ‰}$)
- des eaux Tropicales ($T > 24^{\circ}$ $S > 35 \text{ ‰}$)
- des eaux froides dessalées ($T < 24^{\circ}$ $S < 35 \text{ ‰}$)

Au cours de l'année étudiée, nous rencontrons ces 4 catégories d'eau à la station (fig. 5).

Selon l'auteur de cette classification lui-même : "le choix des limites est un cas d'espèce et dépend dans une certaine mesure de la façon dont le problème est envisagé ; mais il est bien évident que la fécondité de la classification est d'autant plus grande que cette dernière recouvre davantage de phénomènes tels que communauté d'origine et pérennité" Berrit (1961).

Or précisément la situation de la station du wharf de Pointe-Noire en fait un cas d'espèce :

- 1°. contrairement aux observations de Berrit, on y rencontre en abondance des eaux froides dessalées.
- 2°. en toutes saisons et à toutes profondeurs des dessalures importantes y infléchissent les courbes TS vers les basses salinités suggérant une influence strictement locale des Fleuves côtiers (fig.7).
- 3°. les eaux tropicales y sont rencontrées rarement.

Ceci nous conduit à envisager une classification différente de celle de Berrit.

2.4.2. Classification tenant compte des influences locales - relation T-S "frontière"

Il est important de tenir compte de la localisation particulière de Pointe-Noire soumis à l'influence des eaux du Congo et de distinguer les conditions hydrologiques strictement locales des conditions hydrologiques plus générales régnant au large. La classification de Berrit

s'appuyant sur des observations effectuées généralement au large ne permet pas de caractériser de façon précise les eaux côtières rencontrées à la station.

Les seuls critères permettant de distinguer de façon nette eaux du large et eaux fluviatiles côtières sont la transparence et la couleur. Les critères hydrologiques habituels : température et salinité sont ici délicats à utiliser car les eaux dessalées côtières du Congo peuvent affecter les 4 catégories d'eaux définies par Berrit, y compris les eaux Guinéennes elles-mêmes déjà fortement dessalées.

Nous avons tenté cependant de séparer, pour ces 4 catégories d'eau originelles, les eaux ayant subi une influence côtière fluviatile (eaux dessalées locales) et les eaux originelles elles-mêmes (eaux du large). Ceci nous a conduit à retenir pour cette étude une nouvelle définition de catégories d'eau tenant compte essentiellement de la distinction eaux du large et eaux dessalées locales. Il est évident que cette nouvelle classification des eaux de surface ne prétend pas se substituer à celle de Berrit et n'a un intérêt que pour la région de Pointe-Noire et pour cette étude particulière.

La définition des eaux dessalées locales, à l'aide d'une relation T-S frontière, qui va suivre est d'ailleurs assez arbitraire et d'application délicate sur des données numériques sans calculateur.

L'examen du diagramme TS global (fig. 7) montre un tassement des points TS vers les salinités élevées et nous amène à considérer une relation T-S limite séparant le plan T-S en eaux du large et eaux dessalées locales.

La courbe T-S frontière, ainsi définie, comporte nécessairement un certain arbitraire ; nous avons construit cette courbe, pour les températures inférieures à 25°C, en utilisant la courbe T-S représentative des eaux du large du Golfe de Guinée (fig. 8 et 8 bis). Cette courbe T-S caractéristique des eaux du large du Golfe de Guinée présente un maximum de salinité égale ou supérieure à 36 ‰, aux températures de 20°-21°C. Pour les températures supérieures à 21°C la salinité décroît rapidement ; pour les températures inférieures à 20°C la salinité décroît également

mais moins rapidement : on est dans la zone caractérisant les eaux centrales de l'Atlantique Sud. Le diagramme T-S global de la station du wharf (fig. 7) montre clairement une diminution de la limite supérieure de la salinité aux températures inférieures à 20°C ce qui confirme le caractère "profond et du large" de certaines eaux atteignant le wharf.

Pour les températures supérieures à 25°C la courbe T-S "frontière" est plus arbitraire et plus difficile à définir ; néanmoins de l'examen des salinités de surface obtenues le long des côtes du Gabon et du Congo au cours des campagnes FAO sardinelles (fig. 9) il ressort que, en toute saison et en dehors des zones d'influence immédiate des fleuves, les eaux guinéennes ont des salinités supérieures à 30 ‰, nous ferons donc passer la courbe T-S frontière par le point limite $T = 30^{\circ}$ $S = 30 \text{ ‰}$.

Ayant séparé eaux du large et eaux dessalées locales par la courbe T-S frontière ainsi définie, nous séparons aussi comme le fait Berrit, eaux chaudes et eaux froides par l'isotherme 24°C. Les eaux guinéennes de la classification de Berrit sont séparées par la courbe TS "frontière" en eaux dessalées et eaux du large.

Les eaux tropicales que l'on rencontre rarement cette année à la station du wharf formeront avec les eaux guinéennes du large une catégorie unique que nous nommerons eaux chaudes du large.

Les eaux Bengueléennes de la classification de Berrit, sont, elles aussi, séparées par la courbe TS "frontière" en eaux du large et eaux dessalées.

Quant aux eaux froides dessalées, Berrit admet qu'elles sont formées sur place par un apport d'eau douce au sein des eaux froides salées : eaux bengueléennes dans notre cas. Il ne nous semble donc pas opportun de distinguer eaux froides dessalées et eaux bengueléennes dessalées.

On obtient donc 4 catégories d'eaux (fig. 6 et tableau V) :

- eaux Bengueléennes du large (eaux du large et $T < 24^{\circ}\text{C}$)
- eaux chaudes du large (eaux du large et $T > 24^{\circ}\text{C}$)
- eaux Bengueléennes dessalées ($T < 24^{\circ}\text{C}$ eaux dessalées)
- eaux Guinéennes dessalées ($T > 24^{\circ}\text{C}$ eaux dessalées)

La turbidité de l'eau évaluée à l'aide de l'observation du disque de Secchi (fig. 10) et la couleur de l'eau estimée avec l'échelle Forel Ule (fig. 11) confirment la validité de la classification en eaux du large et eaux dessalées locales bien que la correspondance ne soit pas rigoureuse. Les eaux du large lorsqu'elles atteignent la surface ont une turbidité faible. Les eaux dessalées locales ont une turbidité importante. Les eaux guinéennes du large de la grande saison chaude sont les plus claires, et se distinguent nettement des eaux guinéennes locales dessalées qui sont turbides (fig. 10).

2.5. Caractérisation des saisons marines à la station du wharf pour l'année 1969-1970.

Berrit (1958-1961) distingue quatre saisons "caractérisées par une certaine constance des caractères physico-chimiques qui peuvent être le plus souvent rattachées à la présence d'une catégorie d'eau". Entre les saisons établies il introduit des intersaisons, périodes de transition correspondant le plus souvent "non pas à une évolution progressive des caractères hydrologiques, mais à une alternance plus ou moins rapide des masses d'eau qui caractérisent la saison précédente et la saison suivante". Ce qui conduit à diviser l'année en 8 périodes d'importance fort inégale en durée. Ainsi pour l'année étudiée, le rythme de deux stations par semaine, ne permet pas de saisir la transition petite saison froide - grande saison chaude ; la petite saison froide ne recouvre que deux stations ; la transition petite saison chaude, petite saison froide n'en recouvre que 1 ou 3 suivant l'interprétation qu'on donne au texte de Berrit (1958). Il est évident qu'aucun calcul statistique par périodes ne peut être effectué sur un nombre aussi faible de données. Afin d'accroître la signification des moyennes par périodes, nous avons été amenés à inclure les intersaisons dans les saisons. Les saisons ainsi obtenues ont des caractères relativement plus hétérogènes que celles définies par Berrit, mais sont néanmoins significativement différentes entre elles pour la plupart des paramètres étudiés. Les critères de découpage sont les suivants :

- saison froide : température à 15 mètres inférieure à 24°C
- petite saison chaude : température de surface comprise entre 24°C et 27°C
température à 15 mètres supérieure à 23°C
- petite saison froide : température de surface supérieure à 24°
température à 15 mètres inférieure à 23°
- grande saison chaude : température de surface supérieure à 27°

La saison froide (6 mai 1969 - 15 octobre 1969) correspond au passage massif d'eaux bengueléennes. Ces eaux bengueléennes subissent quelquefois des dessalures superficielles pouvant atteindre plus de 10 mètres de profondeur pendant les mois de juin, juillet, août et début septembre tandis que du 15 septembre au 15 octobre les eaux bengueléennes locales dessalées prennent une grande importance et s'étendent jusqu'au fond.

La petite saison chaude (15 octobre 69 - 10 janvier 70) est caractérisée par des eaux guinéennes en surface alternant avec des eaux bengueléennes au fond ; les dessalures locales se manifestent aussi assez largement, amenant ainsi en cette saison la présence alternée des 3 catégories d'eau (eaux guinéennes, eaux chaudes du large et eaux bengueléennes).

La petite saison froide (6 et 9 janvier) définie selon les critères utilisés par Berrit (1958) :

- température à 15 mètres inférieure à 23°C,
n'apparaît nettement qu'à 2 stations. Elle correspond à une poussée plus marquée qu'en petite saison chaude d'eau Bengueléenne au fond.

La grande saison chaude (10 janvier 70 - 1er mai 80) est caractérisée par la disparition totale des eaux bengueléennes à l'exception d'une faible poussée d'eau bengueléenne du large au mois d'avril ; on observe donc la présence massive d'eaux chaudes du large ; les dessalures locales sont cependant fréquentes et peuvent affecter l'ensemble de la colonne liquide (mars 1970).

2.6. Courantologie

Les courants ont été mesurés aux niveaux 4-6, 10 et 16 mètres. En toute saison on observe deux directions principales de circulation opposées et parallèles à la côte (fig. 12) :

- Secteur S-SE ; direction moyenne 150°
- Secteur W-NW ; direction moyenne 290°

La fréquence de ces directions est cependant différente suivant la saison. Le tableau 3 et la fig. 4 montrent qu'en saison froide on a une large prépondérance des courants de direction W-NW (70 %). En petite saison chaude au contraire prépondérance (50 %) du courant S-SE et apparition d'un faible courant portant vers la côte (fréquence 13 %). En grande saison chaude prépondérance encore du courant S-SE (fréquence 50 %) et maintien d'un petit courant portant vers la côte (fréquence 16 %).

Sur la hauteur de la colonne d'eau il n'a pas été remarqué de niveaux qui correspondaient de façon privilégiée à l'une ou l'autre de ces directions principales (tableau IV). En une même station on peut rencontrer les 3 directions de la surface au fond. La direction NE (vers la côte) est cependant significativement plus fréquente près du fond (16 mètres).

La vitesse du courant dépasse rarement 40 cm/s (fig. 12) ; elle est généralement décroissante de la surface au fond. Les vitesses les plus fortes sont de direction W-NW et correspondent à des situations de dessalures ; ce qui confirme que le Congo est la source essentielle des fortes dessalures observées à Pointe-Noire.

2.7. Météorologie

Nous disposons de 2 séries parallèles d'observations météorologiques, celles réalisées au wharf pendant l'exécution de la station et celles enregistrées quotidiennement à terre par la station météorologique de l'aviation civile à Pointe-Noire.

2.7.1. Vent (fig. 13)

La direction du vent est assez constante tout au long de l'année ; direction la plus fréquemment enregistrée : Sud-Ouest (200°). L'intensité est également relativement constante et en moyenne faible : 2 m/s.

En saison froide et en petite saison chaude on a observé en une seule occasion des vents s'écartant du secteur Sud-Ouest. Par contre en grande saison chaude on observe plus fréquemment des vents d'Est et des vents d'Ouest et de Nord-Ouest.

Les directions de vent pouvant donner lieu à une situation d'upwelling à la côte (secteur 0-180°) sont exceptionnelles en saison froide et en petite saison chaude mais plus fréquentes en grande saison chaude.

Aucune correspondance marquante n'a été observée entre vents favorables à un upwelling et arrivée d'eau du large.

2.7.2. Précipitation - Evaporation

Les courbes précipitation et évaporation en fonction du temps (fig. 14) sont réalisées avec les moyennes par tranche de 10 jours.

Aucune correspondance nette n'a été relevée entre précipitation et présence d'eau dessalée en surface ; certes une précipitation locale importante se remarque par une dessalure en surface mais beaucoup d'arrivées d'eaux dessalées ne correspondent pas à une précipitation locale. Ainsi en saison froide où les précipitations sont nulles les arrivées d'eaux dessalées relativement fréquentes ne peuvent être dues qu'à une circulation particulière amenant devant Pointe-Noire une veine d'eau des fleuves Congo ou Kouilou.

L'évaporation est sensiblement constante tout au long de l'année et voisine de 2 mm par jour.

2.8. Conclusions relatives à l'étude hydroclimatique

La situation de la station côtière de Pointe-Noire, au coeur de la zone tropicale atlantique sud pourrait en faire un point d'observation représentatif de l'évolution hydroclimatique annuelle en zone tropicale ;

cependant sa position particulière à la limite de la zone d'influence des eaux du Congo entraîne des perturbations hydrologiques locales qu'il faut pouvoir filtrer afin que les observations soient significatives d'une aire océanique étendue. Ces perturbations hydrologiques locales, marquées essentiellement en salinité, et que l'on distingue par la relation température-salinité, sont présentes en toutes saisons. La limite supérieure de leur fréquence d'apparition ou de disparition est supérieure à celles de nos mesures (deux par semaine) ; ceci nous interdit de pouvoir en donner la description continue, au cours de l'année étudiée. Néanmoins nos observations espacées régulièrement dans le temps constituent un échantillonnage statistique significatif des situations présentes à la station et permettent une description qualitative de l'évolution saisonnière.

Après avoir filtré les perturbations locales, présentes, on l'a vu, toute l'année, l'individualité hydrologique des saisons marines apparaît clairement à travers les 4 niveaux d'observation. La saison froide est caractérisée par la présence massive d'eaux bengueléennes, terme général groupant toutes les eaux dont la température est inférieure à 24° ; parmi celles-ci on rencontre parfois à la station les eaux centrales atlantiques sud dont le gradient de salinité est négatif et la température inférieure à 20° . La petite saison chaude est soumise à l'influence alternée des eaux bengueléennes et des eaux chaudes, (guinéennes essentiellement) ; les poussées d'eaux bengueléennes atteignent rarement la surface. La grande saison chaude est entièrement occupée par des eaux chaudes qui lorsqu'elles sont d'origine fluviatiles se distinguent nettement des eaux du large par leur turbidité importante.

La circulation très variable à courts termes s'effectue cependant parallèlement à la côte et confirme l'origine fluviatile des perturbations halines observées. Il semble que cette circulation soit également responsable des poussées d'eaux profondes et du large amenant un enrichissement biologique important ; les vents favorables à une situation d'upwelling, au sens précis du terme, étant en effet rares et de faible intensité ; nous désignerons cependant dans la suite de cet article les arrivées subites d'eaux profondes sous le terme d'upwelling.

Tableau I. Fréquence observée (en %) des dessalures atteignant les différents niveaux de mesures.

	Mars 1969	Avr. 1969	Mai 1969	Juin 1969	Juil. 1969	Août 1969	Sept. 1969	Oct. 1969	Nov. 1969	Déc. 1969	Janv. 1970	Fév. 1970	Année complète : Mars 69 - Fév. 70
surface	85	0	55	90	45	100	75	100	75	75	60	45	68
5 m	65	0	10	30	0	50	75	100	35	55	45	30	41
10 m	0	0	0	0	0	25	75	100	15	25	0	15	21
fond	0	0	0	0	0	0	30	100	15	25	0	0	14

Tableau II. Fréquence observée (en %) des eaux guinéennes aux 4 niveaux de mesures.

	Mars 1969	Avr. 1969	Mai 1969	Juin 1969	Juil. 1969	Août 1969	Sept. 1969	Oct. 1969	Nov. 1969	Déc. 1969	Janv. 1970	Fév. 1970	Année complète : Mars 69 - Fév. 70
surface	100	100	75	0	0	0	20	100	100	100	100	100	80
5 m	100	90	35	0	0	0	0	85	70	100	90	100	55
10 m	100	90	10	0	0	0	0	55	40	75	75	100	45
fond	100	45	10	0	0	0	0	45	15	55	65	100	36

Tableau III. Fréquence observée (en %) des 3 directions principales de circulation par saison et à tous niveaux.

Direction \ Saison	W-NW	S-SE	N-E	Autres directions
	Saison froide (1er mai - 15 octobre)	70	91	1
Petite saison chaude (16 octobre - 10 janvier)	38	49	13	0
Grande saison chaude (10 janvier - 1er mai)	30	50	16	4

Tableau IV. Fréquence observée (en % des 3 directions principales de circulation par niveau et en toute saison.

Direction \ Niveau	W-NW	S-SE	N-E	Autres directions
	4-6 mètres	55	35	5
10 mètres	50	42	8	0
18 mètres	37	40	18	5

Tableau V.

Classification de Berrit	Subdivisions tenant compte des influences locales	Terminologie employée insistant sur les influences locales
<u>Eaux Guinéennes</u> - - - - -	. Eaux Guinéennes déssalées - - -	<u>Eaux Guinéennes déssalées</u>
	. Eaux Guinéennes du large	}
<u>Eaux Tropicales</u> - - - - -	. Eaux Tropicales (du large)	<u>Eaux chaudes du large</u>
<u>Eaux Bengueléennes</u> - - - - -	. Eaux Bengueléennes du large - -	<u>Eaux Bengueléennes du large</u>
	. Eaux Bengueléennes déssalées	}
<u>Eaux Froides déssalées</u> - - -	. Eaux froides déssalées	<u>Eaux Bengueléennes déssalées</u>

3. VARIATIONS SAISONNIERES DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

31. Méthodes

311. Prélèvements

Les prélèvements ont été effectués dans une bouteille en polyéthylène de 5 litres. Les niveaux sont ceux où pénètrent 100 %, 50, 25, 10 et 1 % de la lumière de surface et 17 mètres.

Afin d'éliminer l'influence des variations nyctémérales, l'ensemble des prélèvements a été effectué à une même heure : de 8 à 9 heures locales. Les prélèvements au fond ont eu lieu environ vingt minutes après ceux de la surface.

312. Phosphate minéral dissous

Nous avons utilisé la méthode de dosage de Murphy et Riley (1958, modifiée 1962). Avant dosage l'échantillon est passé sur un filtre Millipore HA de 4 μ de diamètre de pores. La précision pour un prélèvement est d'après Strickland et Parsons (1965) de 1 % au niveau de 3 μ atg/l et de 7 % au niveau de 0,3 μ atg/l.

313. Chlorophylle a

La méthode est celle de Richards et Thompson (1952) modifiée par Greitz et Richards (1955).

Les échantillons de 1 ou 2 litres sont conservés à l'obscurité et au froid dès que prélevés, jusqu'à la filtration qui intervient deux à trois heures après. La filtration a lieu sous un vide de 50 à 60 mm de mercure, sur filtres Millipore HA (diamètre de pores - 0,45 μ). Du carbonate de magnésium a été utilisé comme adjuvant de filtration. Les filtres sont soumis à extraction dans l'acétone à 90 %, 24 heures à l'obscurité et au froid puis centrifugés 10 minutes à 15.000 g. La solution surnageante est passée au spectrophotomètre Beckman DU aux longueurs d'ondes 750, 665, 645 et 630 $m\mu$ contre un témoin acétone à 90 % contenant un filtre dissous. Les calculs de concentrations sont effectués à partir des

formules du Scor Unesco Working group 17 (1966). Une correction de turbidité est effectuée en retranchant la densité optique à 750 $m\mu$ de celles à 665, 645 et 630 $m\mu$. La précision est d'après Strickland et Parsons (1965) pour la chlorophylle a dans les conditions de nos dosages de $\pm 5\%$ au niveau de 1 mg/m^3 .

314. Production primaire

Les mesures directes de la production primaire n'ont été réalisées qu'une station sur deux soit une fois par semaine. La méthode utilisée est celle de la fixation du ^{14}C (Steemann-Nielsen, 1952). Un flacon clair et un flacon sombre de 50 ml sont utilisés à chaque niveau de prélèvement. On y inocule sous lumière diffuse 1 ml de $NaH^{14}CO_3$ d'activité 4 μCi . L'incubation a lieu in situ aux niveaux des prélèvements pendant deux heures quinze en moyenne, entre 9h30 et 11h45 locales. Les échantillons incubés sont filtrés sous vide de 65 mm de mercure sur filtres de la "Membran filter" (Göttingen) (ϕ 35 mm, Gr 2, porosité 0,2 μ). Le séchage et la conservation des filtres impressionnés ont lieu à l'obscurité et en dessiccateur avant expédition à la "International Agency for ^{14}C Determination, Charlottenlund, Danmark" qui effectue les comptages et nous a également fourni le matériel. La concentration de l'eau de mer en CO_2 est supposée fixe et égale à 90 mg/l . La radioactivité des ampoules est évaluée par la méthode biologique de Steemann-Nielsen (1965).

Pour les calculs, le taux d'absorption dans les flacons obscurs a été retranché de celui des flacons clairs. Une correction de + 12 % est effectuée par l'agence correspondant à l'évaluation de la perte de ^{14}C par respiration et à la discrimination dans l'assimilation de ^{14}C par rapport à ^{12}C . Les résultats exprimés correspondent donc selon la terminologie de Brouardel et Rinck (1963) à une évaluation de la production réelle brute de matière organique par photosynthèse. La précision de la méthode ne peut être évaluée, vu le nombre et la variabilité des erreurs possibles (voir à ce sujet Sournia, 1968).

315. Transparence de l'eau

La transparence de l'eau est estimée par la profondeur de disparition du disque de Secchi : D. Le coefficient d'extinction est calculé suivant la formule de Poole et Atkins (1929) :

$$k = \frac{1,7}{D} \quad k = \text{coefficient d'extinction par mètre}$$

D en mètres

Les niveaux où pénètrent les pourcentages de la lumière de surface utilisés pour les prélèvements sont déduits de ces mesures, ce qui suppose k constant sur toute la colonne d'eau.

La couleur est évaluée par comparaison à l'échelle de Forel-Ule.

316. Poids de matière sèche de zooplancton (Dessier, communication personnelle).

Les pêches sont faites verticalement du fond à la surface au moyen d'un filet cylindro-conique WP 2 décrit dans Unesco (1968). Toutes ont été réalisées vers 10 heures locales. L'ouverture des mailles est de 180 μ . Les échantillons fixés au formol neutralisé sont passés sur filtre en papier et séchés 24 heures à 60°C avant pesage.

317. Traitement des données et expression des résultats

Les données de chaque paramètre ne sont pas distribuées normalement sur l'année ou par saison, et leur variance est différente. Vouloir leur appliquer les lois de la statistique "Gaussienne" en toute rigueur, nous aurait amené à faire des transformations différentes d'un facteur à l'autre. Nous avons donc été conduits à utiliser des méthodes non paramétriques, pour lesquelles la forme de la distribution n'importe pas. Chaque ensemble de n mesures est caractérisé par sa médiane M. Dans le texte, les résultats sont présentés sous la forme M(n). Les médianes sont comparées entre elles par le test de Wilcoxon (Snedecor 1967) qui apprécie le degré de signification de leur différence par un pourcentage : d %. La relation entre deux séries de n mesurés est évaluée par le coefficient de corrélation de Spearman : r, dont le degré de signification est aussi donné par un pourcentage d %. Dans le texte, les résultats sont présentés sous la

forme $r(n)$, d %. Sauf précision, les termes significatifs et très significatifs s'appliquent respectivement à des degrés de signification de 95 et 99 %.

Pour les calculs, on n'a considéré qu'un seul cycle annuel du début de grande saison froide le 6 mai 1969 à la fin de grande saison chaude le 28 avril 1970. La petite saison froide, brève et peu intense, cette année a été incluse dans la petite saison chaude. Nous avons donc comparé trois saisons. La grande saison froide du 6-5-69 au 14-10-69, la petite saison chaude du 18-10-69 au 9-7-70 et la grande saison chaude du 13-1-70 au 28-4-70.

Nous avons retenu cinq facteurs susceptibles d'influencer la production primaire : la température, la salinité, l'énergie lumineuse, la teneur en phosphate et le zooplancton. Pour chacun d'entre eux les variations saisonnières sont décrites (1). Puis on a tenté d'évaluer les effets de ces variations saisonnières sur le phytoplancton et la production primaire. Ensuite on décrit le cycle annuel de la biomasse du phytoplancton et de la productivité primaire. Enfin est donnée une estimation de la production annuelle nette.

32. La température (fig. 1)

La température, par l'amplitude de ses variations annuelles (14°C), importante pour la zone tropicale, joue certainement un rôle direct, notamment dans la succession des espèces. (Cet aspect n'est pas abordé ici). Mais elle est aussi un indicateur de la richesse en éléments minéraux, les eaux froides "bengueléennes" en contenant significativement plus que les eaux guinéennes ou chaudes du large. En outre, par son gradient de variation sur la verticale, la température témoigne d'échanges plus ou moins aisés entre la couche de surface et la couche profonde plus riche en éléments minéraux.

(1) Les variations saisonnières de la température et de la salinité sont décrites paragr. 2.2 et 2.3.

En grande saison froide

La colonne d'eau à la station est entièrement envahie par les "eaux bengueléennes". La température s'abaisse de mai à août amenant des accroissements corrélatifs des teneurs en phosphates. Les corrélations entre la température à 17 m et la teneur en phosphate minéral dissous par unité de surface d'une part, la production primaire d'autre part sont respectivement très significative et significative : $r = 0,78$ (49) et $r = 0,49$ (20).

Une thermocline (1) sépare parfois les "eaux bengueléennes" en deux couches, mais elle n'isole jamais suffisamment la couche supérieure pour que celle-ci s'épuise en phosphates (cf. paragr. 351), et la production primaire n'y est pas affectée. Au contraire, il y a une corrélation positive significative entre la production primaire et le gradient de température de la surface au fond (tableau 6). Ce qui tendrait à prouver qu'une stratification, donc une stabilité temporaire de la colonne d'eau correspondant à un ralentissement de l'upwelling est un facteur favorable à la production primaire en cette saison, probablement parce qu'elle permet le maintien des cellules à un niveau d'éclairement satisfaisant.

En petite saison chaude

Les "eaux bengueléennes" sont recouvertes par des "eaux guinéennes" ou des "eaux chaudes du large". En cette saison, les poussées phytoplanktoniques surviennent lorsqu'il y a un apport d'"eau bengueléenne" sur le fond (donc correspondent à un refroidissement sur le fond). Comparez à ce propos les figures 1 ou 9. L'inverse n'est pas toujours exact : une baisse de température au fond n'induisant pas toujours une poussée du phytoplankton. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées à ce sujet :

- parfois l'"eau bengueléenne" n'atteint pas les niveaux supérieurs de la zone euphotique où les éléments minéraux qu'elle contient pourraient être utilisés pour la production primaire (12 novembre, 27 décembre). Il y a alors un gradient de température marqué du fond à la surface.

(1) Critère : gradient supérieur à 1°C/mètre et amplitude supérieure à 2°C.

Cette situation explique probablement la corrélation négative observée en cette saison entre la valeur de ce gradient et la production primaire - (tabl. 6).

- si l'"eau bengueléenne" atteint la zone euphotique d'autres hypothèses peuvent expliquer que l'enrichissement qu'elle provoque ne soit pas accompagné d'un accroissement de la production primaire :

- . le zooplancton est trop abondant pour permettre le départ ou la poursuite du "bloom" (2 déc.)
- . l'ensoleillement n'est pas satisfaisant, quoique nos résultats (paragr. 341) permettent de mettre en doute l'importance de ce facteur.
- . ou bien simplement, la mesure a lieu dans des eaux de remontée récente où le phytoplancton n'est pas encore développé.

En grande saison chaude

La couche d'"eau guinéenne dessalée" ou d'"eau chaude du large", plus épaisse qu'en petite saison chaude envahit toute la colonne d'eau à la station. Une thermocline en cette saison ne témoigne alors que de l'isolement de deux couches d'eau pauvres et la corrélation entre le gradient de température de la surface au fond et la production primaire n'est pas significative (tabl. 6).

Saison	r (n)	d %
Grande saison froide	+0,51 (20)	95 %
Petite saison chaude	-0,47 (12)	NS (1)
Grande saison chaude	+0,15 (17)	NS (1)

Tableau 6. Corrélation saisonnière entre le gradient de température de la surface au fond et la production primaire : l'effet de la stratification hydrologique est différent suivant les saisons.

33. La salinité - Les dessalures locales (fig. 4)

De même que pour la température, le rôle direct de la salinité sur le phytoplancton n'est pas abordé.

Mais la salinité a aussi un rôle d'indicateur des conditions hydrologiques et chimiques. En saisons chaudes, un accroissement de la salinité au fond a la même signification qu'une baisse de température, signalant l'arrivée d'une eau plus riche et profonde. En saison froide, la salinité au fond varie peu, les eaux de remontée voisines du maximum de salinité signalent les eaux centrales. En toutes saisons les baisses importantes de salinité à partir de la surface indiquent une dilution des eaux du large (eaux bengueléennes du large et eaux chaudes du large) par des eaux continentales locales. On est alors en présence des "eaux bengueléennes dessalées" et des "eaux guinéennes dessalées".

Origine des dessalures locales

Donguy et Hardiville (1963) ont montré par le calcul que Pointe-Noire est en dehors du parcours normal des eaux du Congo. La figure 9 d'après Dessier et Pianet (1971), montre qu'en réalité le Congo, et secondairement le Kouilou, fleuve de moindre importance mais dont l'embouchure n'est qu'à 15 milles au nord de la station sont les sources les plus probables de ces dessalures au cours de l'année envisagée.

Conséquence des dessalures locales

Le résultat de ces incursions d'eau continentale est différent suivant les saisons (tabl. 7).

En saisons chaudes il est significatif sur l'aspect : couleur et turbidité. Par contre il n'y a pas d'effet significatif ni sur les teneurs en phosphate, ni sur les premiers étages de l'activité biologique envisagés du seul point de vue quantitatif.

En grande saison froide, ces apports continentaux se mélangent à des eaux déjà "chargées" et n'en modifient sensiblement ni la couleur, ni

la turbidité. Par contre, les teneurs en phosphate et en chlorophylle a, la production primaire et les poids secs de zooplancton sont diminués avec des probabilités de 90 à 93 %. Il y a donc probablement en saison froide appauvrissement par dilution, ou (et) tout autre phénomène de perturbation de l'activité biologique. Il conviendrait pour être catégorique à ce sujet, de multiplier les mesures dans cette situation et de réaliser des dosages d'éléments nutritifs à l'embouchure même du Congo.

Paramètre	Saison froide		Saisons chaudes			
	du large	dessalée ⁽¹⁾	d %	du large	dessalée ⁽¹⁾	d %
Coefficient d'extinction	0,57(28)	0,57(11)	NS	0,27(34)	0,34(19)	94
Coefficient de Forel-Ule	14(28)	14(11)	NS	9(34)	15(19)	99,9
Teneur en PO ₄ en matg de P/m ²	17,8(28)	15,1(11)	90	9,1(33)	7,3(19)	NS
Teneur en chlorophylle <u>a</u> en mg/m ²	49,9(27)	30,7(11)	93	14,6(33)	19,0(19)	NS
Production primaire/m ² en mgC/heure	81,8(14)	44,0(6)	92	17,2(22)	27,5(9)	NS
Poids sec de zooplancton/m ² en mg	1156(23)	720(11)	92	752(33)	600(19)	NS

Tableau 7. Comparaison des médianes saisonnières de différents paramètres des eaux du large et des eaux dessalées : les dessalures locales n'ont d'influence détectée que sur les premiers étages de l'activité qu'en grande saison froide.

34. L'énergie lumineuse

Nous disposons de données sur l'insolation et la nébulosité continues à la station météorologique de Pointe-Noire distante de 5 kilomètres du lieu des prélèvements et des mêmes données au moment et lieu des prélèvements.

- (1) Les stations que nous avons admises comme dessalées sont celles où la totalité de la zone euphotique est envahie par des eaux bengueléennes ou guinéennes dessalées. (Dans tous les cas la dessalure atteint ou dépasse 13 mètres).

341. L'insolationVariations saisonnières (fig. 15)

Les mois les plus ensoleillés, de novembre à juin, correspondent aux saisons climatiques humides recouvrant approximativement les saisons chaudes hydrologiques. De juillet à octobre l'insolation moyenne mensuelle est deux fois moindre (65 heures contre 143).

Incidence sur la production primaire

Il n'y a pas de corrélation significative décelée entre les taux d'insolation au cours des incubations d'une part, la production primaire par unité de surface et les rapports de la production primaire à la chlorophylle a d'autre part (tableau 8).

Paramètre	Corrélation avec l'insolation	
	r	d %
production primaire/m ²	0,13 (49)	NS
$\frac{\text{production primaire/m}^2}{\text{chlorophylle } a / \text{m}^2}$	0,12 (49)	NS

Tableau 8. Corrélations sur l'année entre l'insolation d'une part, la production primaire par unité de surface et le rapport production/chlorophylle a, d'autre part.

Il y a lieu de penser que d'autres facteurs masquent l'effet de la lumière incidente. Les variations de l'éclairement incident ont d'ailleurs selon Steemann-Nielsen (1963) des effets fort amortis sur la production primaire. Cet auteur montre que théoriquement la production de la zone euphotique dans l'océan tropical n'est réduite que de 20 % lorsque l'intensité lumineuse incidente est la moitié de celle des jours les plus ensoleillés. Le schéma est applicable à notre station qui quoique côtière

nous permet d'accéder presque toute l'année à la totalité de la zone euphotique.

Plus sensible est l'effet de la turbidité.

342. La turbidité

Variations saisonnières (fig. 10)

Les trois saisons sont caractérisées par des transparences très significativement différentes (tableau 9). Les plus forts coefficients d'extinction se rencontrent en grande saison froide où le niveau où pénètre 1 % de la lumière de surface (déduit de la mesure au Secchi) est toujours au-dessus du fond. Par contre la grande saison chaude est caractérisée par les extinctions les plus faibles et on n'accède au niveau 1 % qu'à 14 stations sur 29. En petite saison chaude les transparences sont intermédiaires.

Paramètre Saison	Coefficient d'extinction	d %	Médiane des niveaux 1 %
Grande saison froide	0,57 (39)	99,0	8,0 m
Petite saison chaude	0,42 (24)	99,9	12,0 m
Grande saison chaude	0,21 (29)		22,0 m

Tableau 9. Médianes des coefficients d'extinction saisonniers et degré de signification de leur différence. Médiane saisonnière des niveaux où ne pénètre plus que 1 % de la lumière de surface.

L'extinction varie très significativement avec les saisons.

Incidence de la turbidité sur la production primaire

L'absorption de la lumière est attribuable aux organismes vivants: phytoplancton, zooplancton et bactéries, à leurs produits d'excrétion et de dégradation, aux éléments minéraux figurés en suspension et dissous et

à l'eau. Il peut être intéressant d'évaluer la part du coefficient d'extinction attribuable au phytoplancton. Ce qu'ont fait Riley et Schurr (1959) en établissant la relation sur un grand nombre d'échantillons :

$$k = 0,088 c + 0,54 c^{2/3}$$

$c = \text{concentration en chlorophylle en } \mu\text{g/l.}^{(1)}$

Cette relation a été appliquée à nos résultats (tableau 10). Dans nos eaux côtières toute l'année plus de la moitié de l'énergie serait perdue pour la photosynthèse. Ce sont dans les eaux de petite saison chaude, pauvres en végétaux, mais très chargées en matière organique et minérale d'origine continentale (septembre et octobre) que le phytoplancton capte le moins d'énergie. Par contre en grande saison froide la proportion de l'absorption de la lumière par le phytoplancton est significativement plus importante. La part de ce facteur dans l'assimilation par unité de chlorophylle a plus importante observée en saison froide qu'en saison chaude n'est probablement pas négligeable.

	%	d %
Grande saison froide	42 (39)	93 %
Grande saison chaude	36 (28)	
Petite saison chaude	28,5 (24)	NS

Tableau 10. Médianes saisonnières de la part d'extinction de la lumière réalisée par le phytoplancton (%) et degré de signification des différences de ces médianes.

35. Les éléments minéraux

Seul a été dosé le phosphate minéral dissous. Mais celui-ci peut être considéré comme un indicateur des variations des autres éléments.

(1) Les auteurs ne précisent pas plus. Nous avons supposé qu'il s'agissait de la somme chlorophylle a + chlorophylle b + chlorophylle c, que nous avons utilisée pour nos calculs.

351. Variations saisonnières (tabl. 11 et fig. 16).

Intégrées sur toute la colonne d'eau, les teneurs moyennes des trois saisons en phosphate minéral dissous sont différentes. La grande saison froide est la plus riche. En grande saison chaude, la colonne d'eau est entièrement envahie par des eaux chaudes et pauvres. Seules au mois d'avril apparaissent au fond des eaux bengueléennes à partir desquelles peut se produire l'enrichissement des couches supérieures. En petite saison chaude, sur le fond alternent des eaux bengueléennes qui enrichissent toute la colonne d'eau, et des eaux chaudes plus pauvres. Les concentrations moyennes sont intermédiaires d'entre celles des deux grandes saisons (tabl. 6).

	PO_4P/m^3	d. %
Grande saison froide	1,00 (39)	99,9
Petite saison chaude	0,74 (24)	
Grande saison chaude	0,36 (28)	99,9

Tableau 11. Médianes saisonnières des concentrations en phosphate minéral dissous par unité de volume (en mg/m^3) et degré de signification des différences de ces médianes.

- Répartition verticale

D'une façon générale, les teneurs diminuent du fond vers la surface (fig. 16) témoignant d'une consommation supérieure aux niveaux éclairés, d'une minéralisation au fond, et d'une certaine stabilité de la colonne d'eau.

. En grande saison froide, deux types de situations sont à distinguer :

- 1°) Dans le cas le plus général, la colonne d'eau est homogène en densité, et le renouvellement des eaux de surface à partir des eaux du fond plus riches entretient des teneurs élevées jusqu'en surface (tabl. 12) : on est en présence d'eaux jeunes.
- 2°) Plus rarement la colonne d'eau est stratifiée, une thermocline bien marquée étant le témoin d'échanges limités entre les eaux

de surface, le plus souvent dessalées, et celles du fond. La consommation par le phytoplancton abaisse alors les teneurs de surface, alors qu'au fond subsistent les teneurs des eaux bengueléennes du large, non consommées, on est alors dans une période d'upwelling cessant ou ralenti (tabl. 12).

- En petite saison chaude, une thermocline sépare encore les eaux de surface de celles du fond, à huit stations sur vingt-quatre. Mais on n'a pas pu mettre en évidence de différence significative de la répartition verticale en phosphate minéral dissous entre les stations avec ou sans thermocline. La consommation par le phytoplancton reste importante en surface y abaissant significativement les teneurs.
- En grande saison chaude, les teneurs sont les plus faibles de l'année. Elles montrent une tendance à la diminution du début de la saison jusqu'à la fin mars. Cette diminution est faible vis à vis de la demande par la production primaire dans le même temps. Ceci implique un apport extérieur latéral et une reminéralisation au fond de la colonne d'eau, où les teneurs sont significativement plus élevées (cf. tabl. 11). D'ailleurs l'absence de thermocline marquée en cette saison à la station, atteste que les échanges y sont faciles entre le fond et la surface. De plus les situations d'upwelling sont alors fréquentes (cf. paragr. 2.7.1.)

Saison		Niveau	M	d %
Grande saison froide	Stations à thermocline	fond	1,19 (11)	99,9
		surface	0,49 (11)	
Grande saison froide	Stations sans thermocline	fond	1,30 (25)	99,9
		surface	0,79 (25)	
Petite saison chaude		fond	0,85 (25)	99,9
		surface	0,55 (25)	
Grande saison chaude		fond	0,46 (26)	99,9
		surface	0,32 (26)	

Tableau 12. Médianes saisonnières des teneurs en phosphate minéral dissous (matg P/m³) au fond et en surface. Degré de signification des différences de médiane entre le fond et la surface.

352. Incidence sur la production primaire

A l'échelle annuelle la corrélation entre la production primaire et les teneurs en phosphate minéral dissous est significative à plus de 99 % : $r = 0,61$ (49).

En grande saison chaude, on doit considérer, que les faibles concentrations en éléments minéraux limitent la production primaire. Riley (1963) admet en effet que la production primaire dépend linéairement de la concentration en phosphates lorsque celle-ci est inférieure à $0,4 \mu\text{atg/l}$. Déjà en 1939 Ketchum montre que la division des diatomées est ralentie pour des concentrations inférieures à $0,5 \mu\text{atg/l}$. Il est probable qu'en dessous de telles teneurs, en milieu marin, l'azote ait complètement disparu du milieu (Ketchum et al. 1957) et (Thomas et Dodson 1968).

En petite saison chaude, l'enrichissement de la couche euphotique à partir des eaux plus profondes, n'est pas toujours assez rapide, pour satisfaire la demande. Aux niveaux à forte productivité, il arrive que les concentrations deviennent limitantes. 17 prélèvements sur 135 en cette saison contiennent moins de $0,40 \mu\text{atg/l}$ de PO_4P minéral dissous.

En grande saison froide, on peut considérer que les éléments minéraux ne limitent qu'exceptionnellement la production primaire. On a seulement observé une teneur inférieure à $0,4 \mu\text{atg/l}$ au cours de la dernière station de cette saison, et quelques autres pendant le "bloom" du 27 et 28 août.

353. Origine des phosphates

La liaison très significative avec la température au fond : $r = 0,78(49)$, atteste que l'abondance des phosphates par unité de surface est liée aux eaux froides, en particulier à leur remontée en surface par upwelling. Dans ces eaux, elle a pour origine la reminéralisation des matières organiques qui en même temps qu'elle libère le phosphate sous forme minérale, abaisse la teneur en oxygène $\sqrt{\text{corrélation entre l'A.O.U.}}$ (1)

(1) Reddfied (1942). A.O.U. = apparent oxygen utilization = $O'_2 - O_2$
 O'_2 = solubilité de l'oxygène à la température et salinité in situ.
 O_2 = concentration en oxygène observée.

au fond et la teneur en PO_4 au fond : $r = 0,76(41)$. Une deuxième source possible de phosphates aurait pu être les eaux continentales. Mais on a vu à leur sujet qu'en saison froide leur incursion dans les eaux océaniques y abaisse plutôt les teneurs et qu'en saisons chaudes, elles n'ont pas d'influence décelée sur l'abondance de cet élément. Il ne faut pas négliger non plus la possibilité d'un recyclage rapide par excrétion du zooplancton qui selon Pomeroy (1963) et Corner (1971) peut apporter une part appréciable des éléments minéraux nécessaires à la photosynthèse.

36. Le zooplancton

361. Variations saisonnières (Dossier communication personnelle)

L'aspect saisonnier des variations du zooplancton du plateau continental au large de Pointe-Noire, a été abordé par Binet (1970) et Dessier (données non publiées) à partir de prélèvements réalisés en 1967 et 1968. Ces prélèvements trop espacés, n'ont pas alors permis de relier d'une manière précise les poids et volume de zooplancton, aux caractères hydrologiques. L'étude poursuivie par Dessier (doc. en préparation) simultanément à la nôtre fait apparaître plus nettement les variations saisonnières (fig. 21). Très schématiquement, pour le cycle annuel étudié, il y a lieu de distinguer deux périodes qui correspondent d'une part à la grande saison froide, d'autre part aux saisons chaudes.

En grande saison froide les poids secs récoltés par m^2 de surface sont les plus forts (tabl. 13). Les oscillations d'une station à l'autre sont importantes. La production secondaire présente une succession de "pics" simultanés ou consécutifs aux blooms de phytoplancton. On distingue deux maximums correspondant à l'arrivée et au départ des eaux ben-gueléennes du large, fin juin et début septembre, et une période pauvre correspondant à la dessalure de toute la colonne d'eau fin septembre début octobre.

En saisons chaudes, les poids secs sont significativement inférieurs (tabl. 18). Les plus faibles de l'année sont mesurés en début de petite saison chaude, alors que toute la couche d'eau est envahie par les

eaux guinéennes dessalées. En avril, trois stations ont des biomasses plus importantes, imputables en fait à la capture par le filet de longues chaînes de la diatomée *Skeletonema tropicum* (1) (90 % des organismes capturés).

Saison	Médianes	d %
Grande saison froide	940 (34)	98 %
Petite saison chaude	686 (24)	
Grande saison chaude	656 (28)	NS

Tableau 13. Médianes saisonnières des poids secs de zooplancton (mg/m^2) et degré de signification de leurs différences.

362. Relation avec le phytoplancton

La relation entre les communautés végétales et zooplanctoniques est mise en évidence par le degré de signification du coefficient de corrélation entre les poids secs de zooplancton et la chlorophylle a, envisagée ici comme évaluation de la biomasse phytoplanctonique (tabl. 14) :

Période	r	d %
Grande saison froide	0,40 (33)	95
Petite saison chaude	0,37 (24)	90
Grande saison chaude	0,33 (28)	90

Tableau 14. Coefficients de corrélation saisonniers entre les poids secs de zooplancton et la chlorophylle a par unité de surface, et leur degré de signification.

(1) Dandonneau détermination.

La médiocrité de ces corrélations peut avoir plusieurs causes :

1°) En plus du phytoplancton, interviennent aussi dans la nutrition du zooplancton les matières organiques particulaires détritiques, détectées en abondance dans la plupart des prélèvements examinés.

2°) L'équilibre de la communauté planctonique n'est pas réalisé dans les situations qui en bouleversent le biotope, telles que les upwellings et les dessalures. Dans ces situations le phytoplancton domine.

Ce dernier point est démontrable par le calcul des rapports entre les poids secs de zooplancton et la chlorophylle a. En saison froide, alors que la station est la plus susceptible d'être intéressée par les upwellings, le rapport est de 23,2 (1). En saison chaude, lorsque les eaux sont dessalées de la surface au fond, le rapport est encore faible : 37,9. Par contre la communauté apparaît plus âgée, car relativement plus riche en zooplancton dans les eaux de saisons chaudes partiellement ou non dessalées où le rapport est de 50,8.

Il faut remarquer que dans les deux situations signalées ci-dessus, la biomasse du zooplancton est faible comparée à celle du phytoplancton. En effet, si on admet comme estimation moyenne et approximative qu'1 mg de zooplancton contient 0,4 mg de carbone et que 1 mg de chlorophylle a représente 40 mg de carbone végétal, les rapports des poids de carbone de zooplancton à ceux du phytoplancton récoltés dans un même volume d'eau sont pour les trois situations mentionnées ci-dessus de 0,232 ; 0,379 et 0,508. Or Steemann-Nielsen (1962) suggère 1,5 comme valeur moyenne dans un cas de régime stable d'une aire eutrophique. Malgré l'incertitude qui pèse sur l'estimation de nos rapports, leur écart avec le chiffre avancé par Steemann-Nielsen nous amène à penser qu'au lieu de nos prélèvements la communauté phytoplancton-zooplancton est en phase de croissance, le phytoplancton y domine et sa production est peu limitée par le broutage.

(1) Unités : zooplancton: mg de matière sèche/m²; chlorophylle a: mg/m².

37. Biomasse du phytoplancton

Seules sont exploitées les données sur les concentrations en chlorophylle a. Celles-ci variant pour une même biomasse de phytoplancton selon les espèces, leur âge, leur état physiologique et avec le milieu, les résultats présentés ne sont qu'indicatifs de la biomasse.

371. Variations saisonnières (fig. 18)

Les teneurs en chlorophylle a varient très significativement avec les saisons (tableau 15).

Saison	Médiane	d %
Grande saison froide	2,39 (38)	99,9
Petite saison chaude	1,15 (24)	
Grande saison chaude	0,65 (28)	99,9

Tableau 15. Médianes saisonnières des teneurs en chlorophylle a (cm/m³).

En saison froide, la chlorophylle a/m² varie couramment dans les proportions de 1 à 5 d'une station à l'autre. Le coefficient de variation (1) pour une mesure y est de 77 %. Deux périodes sont plus riches, le mois de juin et fin août début septembre correspondant à l'arrivée et au départ des eaux bengueléennes. La concentration maximum relevée dans un prélèvement est de 58 mg/m³.

En saisons chaudes, les teneurs plus faibles sont mieux groupées. Le coefficient de variation d'une mesure n'est plus que de 52 %. Une seule poussée nette, en avril annonce la saison froide.

(1) Coefficient de variation d'une mesure: $\frac{\text{écart type d'une mesure}}{\text{moyenne saisonnière}} \times 100$

372. Distributions verticales (fig. 20)

En grande saison froide la production primaire étant localisée près de la surface, la stratification hydrologique fréquente et les upwellings, freinant les transports vers le bas, la biomasse est plus importante aux niveaux supérieurs. Les grands intervalles de confiance des médianes traduisent l'hétérogénéité des biomasses à la fois sur la verticale et dans le temps, ceci du fait de poussées phytoplanctoniques très localisées en cette saison. 26 stations sur 39 présentent un maximum de subsurface dû probablement plus à une sédimentation des cellules qu'à une inhibition de la production primaire en surface qui n'apparaît que rarement : 6 stations sur 19 ont un rapport assimilation/chlorophylle a au deuxième niveau supérieur à celui de surface.

En saisons chaudes la transparence autorise une photosynthèse jusqu'à des niveaux plus bas qu'en saison froide. La distribution verticale de la chlorophylle a est homogène en petite saison chaude et croît du haut vers le bas en grande saison chaude, traduisant la sédimentation des cellules.

38. Production primaire

381. Variations saisonnières (fig. 19)

La production primaire par unité de surface est très significativement plus forte en grande saison froide qu'en saisons chaudes (tabl. 16) :

Saison	M	d %	
Grande saison froide	58,7 (20)	99	X
Petite saison froide	16,4 (17)		
Grande saison chaude	14,6 (12)	X	96

Tableau 16. Médianes saisonnières de la production primaire en mgC/heure et m² et degré de signification des différences de ces médianes.

La plus forte production a été relevée le 28 août au cours de la grande saison froide : 325 mg C/m²/h. En petite saison chaude, la production présente une tendance à décroître de septembre à janvier. En grande saison chaude, la production continue à décroître corrélativement à l'appauvrissement général du milieu. Les plus faibles valeurs sont relevées en février et mars : de 5 à 10 mg C/m²/h. En avril une poussée d'eau bengueléenne permet l'enrichissement du milieu et une production anormalement élevée pour la saison.

Toute l'année les écarts entre stations sont considérables. Les coefficients de variations d'une mesure sont de 88 %, 64 % et 79 % respectivement pour le grande saison froide, la petite saison chaude et la grande saison chaude. 75 % de la production annuelle a eu lieu pendant les cinq mois de saison froide.

382. Répartition verticale (fig. 21).

En grande saison froide, l'assimilation est importante dans les deux ou trois premiers mètres. Elle est ensuite considérablement réduite du fait de la forte turbidité. A partir de quatre mètres, elle n'est pas significativement différente de celle des saisons chaudes. En dessous de 10 mètres, elle est généralement nulle. La grande irrégularité de la production en cette saison se traduit sur la figure par l'importance des intervalles de confiance des médianes.

En grande saison chaude, l'assimilation est généralement, à tous les niveaux, inférieure à 4 mg C/m³ et heure. Elle a lieu jusqu'au fond pour la plupart des stations du fait de la limpidité relative des eaux guinéennes et chaudes du large.

En petite saison chaude, 83 % de la production est localisée dans les 6 premiers mètres. Elle est significativement plus élevée que celle de grande saison chaude au deuxième et troisième niveau. La production est par ailleurs irrégulière surtout aux niveaux supérieurs, ce qui reflète l'alternance de situations favorables avec l'arrivée d'eau bengueléenne et défavorable avec leur remplacement par des eaux chaudes.

39. Liaisons de la production primaire à la biomasse du phytoplancton

391. Corrélation annuelle

La chlorophylle a est généralement considérée comme le pigment le plus représentatif des biomasses. Les travaux de Emerson, Hill, Bendall etc.. ont mis en évidence qu'elle était un passage obligatoire dans les transferts d'énergie entre la lumière et la matière organique. Ainsi pour des conditions de milieu similaires, les corrélations observées entre la production primaire et la chlorophylle a sont généralement bonnes.

Les 49 mesures simultanées de la production primaire par heure et unité de surface et de la chlorophylle a de la zone euphotique, sont très significativement corrélées : $r = 0,68$.

L'équation de la droite de régression s'écrit :

$$\text{Production/m}^2 \text{ et heure} = 2,56 \text{ chlorophylle } \underline{a}/\text{m}^2 - 5,15.$$

Remarque : la droite représentative ne passe pas par le zéro, ce qui signifie que la régression n'est pas linéaire, mais doit être représentée par une équation plus complexe et faire intervenir d'autres facteurs.

392. Corrélations saisonnières (tabl. 17)

La corrélation entre la production primaire et la chlorophylle a de la zone euphotique est très significative en grande saison froide ; elle ne l'est plus en saisons chaudes, ce qui peut être imputé à des erreurs relatives supérieures sur des valeurs plus faibles, aux mesures moins nombreuses, mais aussi à l'intervention de facteurs autres que la chlorophylle a limitant ou favorisant la production primaire.

Saison	r (n)	d %
Grande saison froide	0,88 (20)	99,9
Petite saison chaude	0,35 (12)	NS
Grande saison chaude	0,32 (17)	NS

Tableau 17. Coefficients de corrélation saisonniers entre la chlorophylle a par m^2 et la production primaire par heure et m^2 . Degré de signification de ces coefficients.

Par niveau, les corrélations sont meilleures (tabl. 18) :

Niveau (1)	Grande saison froide			Petite saison chaude			Grande saison chaude		
	r	n	d %	r	n	d %	r	n	d %
surface	0,90	17	99,9	0,32	12	NS	0,75	16	99
50 %	0,96	19	99,9	0,65	10	95	0,73	17	99
25 %	0,85	18	99,9	0,76	9	98	0,81	13	99
10 %	0,45	19	95	0,48	10	NS	0,29	16	NS
1 %	0,35	15	NS	0,74	8	95	0,50	9	NS

Tableau 18. Coefficients de corrélation par niveau et par saison entre la chlorophylle a par m² et la production primaire par heure et m². Degré de signification de ces coefficients.

Onze coefficients de corrélation sur quinze sont significatifs avec une probabilité supérieure à 95 %. La liaison est généralement moins bonne aux deux derniers niveaux. Cela peut être dû d'une part à une im-précision accrue sur des mesures plus faibles de la productivité, d'autre part au fait que l'interpolation des niveaux de pénétrations standards de la lumière de surface à partir de la seule lecture du Secchi est aléatoi-re aux niveaux les plus bas lorsque la couche euphotique est optiquement hétérogène, enfin à la présence de phéopigments dosés en partie ici comme chlorophylle bien qu'inefficaces du point de vue de la production. La liaison est meilleure aux deuxième et troisième niveau qu'en surface où il peut certains jours intervenir une inhibition de la photosynthèse par éclaircissement excessif ou trop changeant.

393. Rapports production primaire/chlorophylle a

La considération des rapports production/chlorophylle a permet de comparer les productivités en les dégageant de leur liaison à la biomasse qui, on l'a vu ci-dessus est presque toujours significative.

(1) Ce sont les niveaux où pénètre le pourcentage indiqué de la lumière de surface.

En grande saison froide, les rapports intégrés sur toute la zone euphotique sont très significativement supérieurs à ceux des saisons chaudes (tableau 19).

Saison	M	d %
Grande saison froide	2,91 (20)	99,9
Petite saison chaude	1,54 (12)	NS
Grande saison chaude	1,32 (17)	

Tableau 19. Médianes saisonnières des rapports production/chlorophylle a intégrés sur la couche euphotique, et degré de signification des différences de ces médianes.

Unités : production : $\text{mg C} \times \text{m}^{-2} \times \text{heure}^{-1}$
chlorophylle a : $\text{mg} \times \text{m}^{-2}$

Ces résultats impliquent des taux de renouvellement ⁽¹⁾ ("turn over rate") plus élevés en saison froide qu'en saison chaude. Ils variaient entre 42 heures en grande saison froide et 93 heures en grande saison chaude.

(1) Obtention de ces taux de renouvellement en jours :

$$\frac{\text{production photosynthétique nette en mg C} \times \text{m}^{-2}}{\text{biomasse du phytoplancton de la zone euphotique en mg chlorophylle } \underline{a} \times \text{m}^{-2}}$$

Pour le calcul de la production quotidienne nette, on a procédé comme pour le calcul de la production annuelle nette (cf. paragr. 3.10.2), soit production nette quotidienne = production brute horaire $\times 13 \times 60/100$.

Pour l'obtention de la biomasse du phytoplancton on a supposé que 1 mg de chlorophylle a représente 40 mg C.

Chacune de ces estimations étant fort imprécise, il est évident que les "turn over rate" calculés ne sont qu'indicatifs.

De même les rapports par niveaux sont significativement plus élevés en grande saison froide qu'en saisons chaudes, avec une probabilité de 99 % aux trois niveaux supérieurs et de 84 % au quatrième niveau. A cet égard encore, la petite saison chaude a des caractères intermédiaires de ceux des deux grandes saisons (tableau 20).

Niveau (1)	Grande saison froide	Petite saison chaude	Grande saison chaude
surface	5,30 (17)	3,27 (12)	2,22 (16)
50 %	4,64 (19)	2,73 (10)	2,48 (17)
25 %	2,79 (18)	1,75 (9)	1,40 (13)
10 %	1,04 (19)	0,78 (10)	0,66 (16)
1 %	0,20 (15)	0,26 (8)	0,26 (9)

Tableau 20. Médianes par saison et par niveau des rapports production/chlorophylle a.

Unités : production : $\text{mg C} \times \text{m}^{-3} \times \text{heure}^{-1}$
 chlorophylle a : $\text{mg} \times \text{m}^{-3}$

Il faut noter un résultat supplémentaire, qui n'apparaît pas sur ce tableau : l'inhibition probable de la photosynthèse en surface à certaines stations ; en effet, six stations sur dix-sept en grande saison froide, sept sur douze en petite saison chaude et sept sur seize en grande saison chaude, ont des rapports production/chlorophylle a inférieur en surface à ceux des 2e ou 3e niveaux.

De la lecture du tableau 14, on peut conclure que la production primaire par unité de chlorophylle a est plus efficiente dans les eaux

(1) Ce sont les niveaux où pénètre le pourcentage de la lumière de surface indiquée.

bengueléennes de saison froide que dans les eaux chaudes et guinéennes de saisons chaudes. Ce fait a reçu une tentative d'explication précédemment (paragr. 342) par la part plus élevée de la lumière captée par le phytoplancton de saison froide. Il y a aussi probablement un effet bénéfique de l'abondance d'éléments minéraux dans ces eaux. Enfin, comme le signale Margalef (1963), intervient probablement l'état de maturité de la communauté phytoplanctonique : une population jeune présente un rapport production/biomasse élevé, alors que dans une population mure ou âgée, ce rapport est plus faible. La saison froide à Pointe-Noire correspondrait donc à un état de faible maturité ce qui paraît logique dans les eaux d'upwelling qui la caractérise, par contre, les saisons chaudes supporteraient des populations plus âgées dans leurs eaux maintenues depuis plus longtemps en surface. Reyssac (1970), fait des observations identiques à Abidjan dans une zone aux conditions hydrologiques se rapprochant des nôtres quoique les rapports observés soient beaucoup plus élevés : 4,0 à 8,6 en grande saison chaude, 11,5 à 23,3 en petite saison froide et 12,8 au cours de la grande saison froide.

310. Production annuelle nette

310.1. Production réelle brute diurne

Afin d'atténuer les variations d'assimilation dues à la durée des incubations et aux rythmes diurnes, toutes les incubations ont été réalisées aux mêmes moments entre 9h30 et 11h45 locales. Il n'y a pas de solution évidente pour passer de la production horaire ainsi obtenue à la production quotidienne, chaque auteur utilisant sa propre recette (voir à ce propos Doty, Newhouse et Tsuda 1967). Pour notre part, nous avons réalisé plusieurs mesures de variations diurnes de la production primaire (résultats non publiés) au cours desquelles la production horaire brute de la période habituelle des incubations s'est révélée être en moyenne le $1/13$ de la production brute diurne.

310.2. Production annuelle nette

La production réelle brute par m^2 de surface et par heure au moment des incubations a été évaluée par intégration par rapport au temps de la figure 19. Affectée du facteur 13, cette quantité nous donne la production annuelle réelle brute. Pour l'obtention de la production annuelle nette, c'est-à-dire celle qui est effectivement mise à la disposition des prédateurs, nous y retranchons 40 % correspondant à une estimation des pertes par respiration (Stemann-Nielsen, 1960). Ainsi évaluée, la production annuelle nette du cycle étudié est de 148 g de carbone par mètre carré de surface. Les productions quotidiennes moyennes (1) pour les 3 saisons envisagées sont :

- Grande saison froide : du 6 mai 1969 au 14 octobre 1969 : 0,645 gC/m²
- Petite saison chaude : du 18 octobre 1969 au 9 janvier 1970: 0,216 gC/m²
- Grande saison chaude : du 13 janvier 1970 au 28 avril 1970 : 0,149 gC/m²

Il y a lieu de se demander si l'année étudiée est représentative de périodes plus longues. En l'absence de mesures de la production primaire sur plusieurs cycles annuels nous ne pouvons qu'avoir recours aux données hydrologiques recueillies à Pointe-Noire depuis 1953 (fig. 3). Il semble que de ce point de vue, l'année 1969-70 ne soit pas très différente de la moyenne des 16 précédentes ; légèrement plus chaude seulement. Donc si on reconnaît la liaison entre la température et la teneur en éléments minéraux à la station, entre ces teneurs et la production primaire, le cycle 1969-70 ne devrait pas avoir été très différent des années antérieures, peut-être légèrement moins productif.

310.3. Comparaison avec les évaluations antérieures

Stemann-Nielsen et Aabye Jensen (1957) à partir des mesures de la "Galathea" en novembre et décembre 1950 situent la station dans une zone de production nette annuelle de 60 à 100 g. D'après un article ultérieur, Steemann-Nielsen (1965), ces valeurs doivent être majorées de 45%.

(1) Il s'agit ici des moyennes arithmétiques des production horaires brutes de la saison x 13 x 60 %.

Quelques autres mesures de la production primaire ont aussi été réalisées au cours des campagnes Equalant qui donnent des fixations de carbone de 54, 404, 300 et 109 mg C/m²/jour au large des côtes du Congo et du Gabon en février et mars et de 150 à 500 mg en juillet août (Man-khen, 1969). Ces évaluations furent déduites d'observations réalisées au cours de grandes campagnes océanographiques. Provenant d'observations isolées dans le temps et concernant surtout le milieu océanique, elles ne peuvent donner que des renseignements imparfaits sur la production annuelle des eaux côtières explorées et sur ses variations saisonnières.

Plus proche de nos préoccupations, Berrit (1958, 1964) a publié les moyennes mensuelles, portant sur deux à quatre ans, des concentrations en pigments dans les eaux côtières de Pointe-Noire. Malheureusement, ces mesures sont faites par la méthode colorimétrique de Harvey donc quantitativement non comparables aux nôtres. Cependant le cycle des pigments qu'il obtient est identique dans son évolution générale à celui décrit ici : les concentrations les plus élevées se rencontrent en grande saison froide. Le maximum est bimodal, deux pics correspondant à l'arrivée et au retrait des eaux bengueléennes (fig. 27).

Une autre étude publiée sur le cycle quantitatif de la biomasse phytoplanctonique et de la production de la côte d'Afrique de l'ouest intertropicale est celle de Reyssac (1970) réalisée à partir de données récoltées à Abidjan (Côte d'Ivoire). L'année hydrologique s'y divise en quatre périodes comme à Pointe-Noire : une grande et petite saison froide caractérisées par des upwellings et et une grande et petite saison chaude. Les diverses méthodes utilisées concourent à montrer que la biomasse végétale et la production primaire sont plus élevées au cours des saisons froides. La production annuelle est estimée à 86 g C/m², c'est-à-dire sensiblement moins qu'à Pointe-Noire. Par contre Bessonov et Fedosov (1965) à partir de mesures par la méthode de l'oxygène estiment la production annuelle beaucoup plus élevée pour les eaux côtières de Dakar : 300 à 600 g C/m² et par an et pour les côtes du Ghana.

(Takoradi) : 150 à 300 g C/m² et par an. Pour la zone côtière équatoriale d'Afrique de l'Ouest (sans autre précision) ils donnent une moyenne de 1,552 g C/m² et par jour avec des limites de variation de 0,440 à 2,664 g C/m² et par jour.

311. Conclusions

1°) Les eaux côtières de Pointe-Noire ont au cours de l'année étudiée supporté une production végétale nette de 148 g de C par m².

2°) Cette production est inégalement répartie dans le temps ; les mois de saison froide, sont trois à quatre fois plus productifs que ceux de saisons chaudes. Des variations du même ordre sont observées pour les teneurs en chlorophylle a, tandis que celles des poids secs de zooplancton sont deux fois moindres. Les taux de renouvellement du phytoplancton nettement variables au cours de l'année signalent que les populations sont plus jeunes en saison froide.

3°) Les variations saisonnières sont liées aux variations des conditions hydrologiques, c'est-à-dire à l'alternance des eaux bengueléennes et des eaux chaudes. En saison froide, les eaux bengueléennes abondamment pourvues en éléments minéraux, envahissent toute la colonne d'eau. La production primaire est alors surtout limitée par la grande turbidité qui interdit une photosynthèse positive au delà de 8 mètres. Au contraire dans les eaux de saisons chaudes, la production primaire a lieu jusqu'au fond à la station et est limitée par les faibles teneurs en éléments minéraux. Le facteur "disponibilité en éléments minéraux" est prépondérant à l'échelle annuelle et efface apparemment le rôle des variations locales de l'énergie lumineuse incidente. De même, le zooplancton semble peu limiter la production primaire : d'une part, les corrélations entre les poids secs de zooplancton et la chlorophylle a sont médiocres et d'autre part, il y a en moyenne peu de zooplancton par rapport à la biomasse du phytoplancton.

.. / ...

4°) Les apports d'eau continentale (Congo) ont un rôle différent suivant qu'ils diluent les eaux "pauvres" de saisons chaudes dont ils modifient surtout les propriétés optiques, ou les eaux "riches" de saison froide dont ils semblent diminuer les teneurs en phosphate et en chlorophylle a, et la production primaire et secondaire.

+

+

+

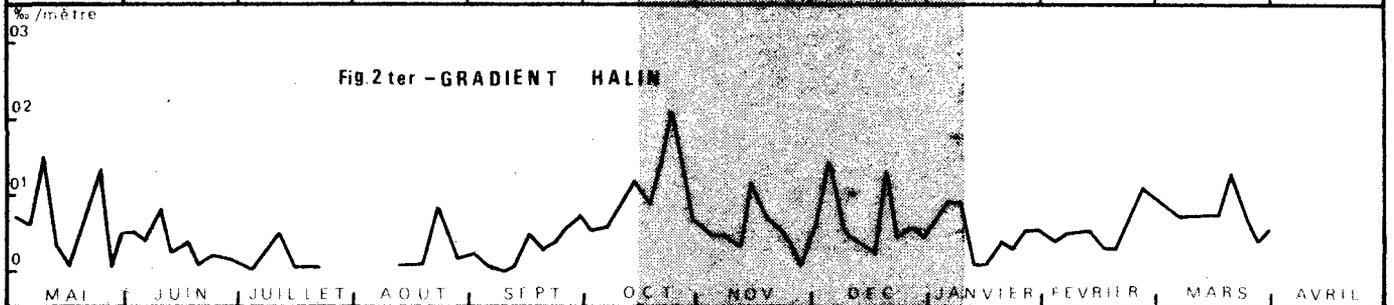
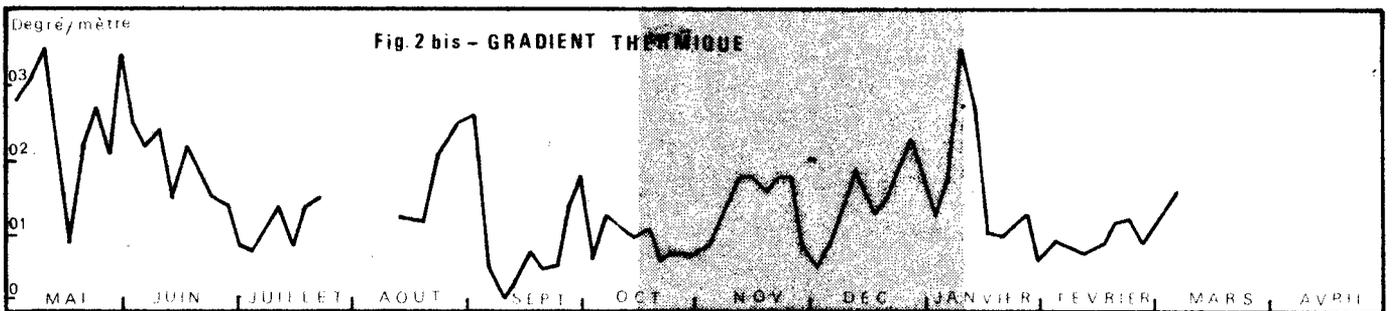
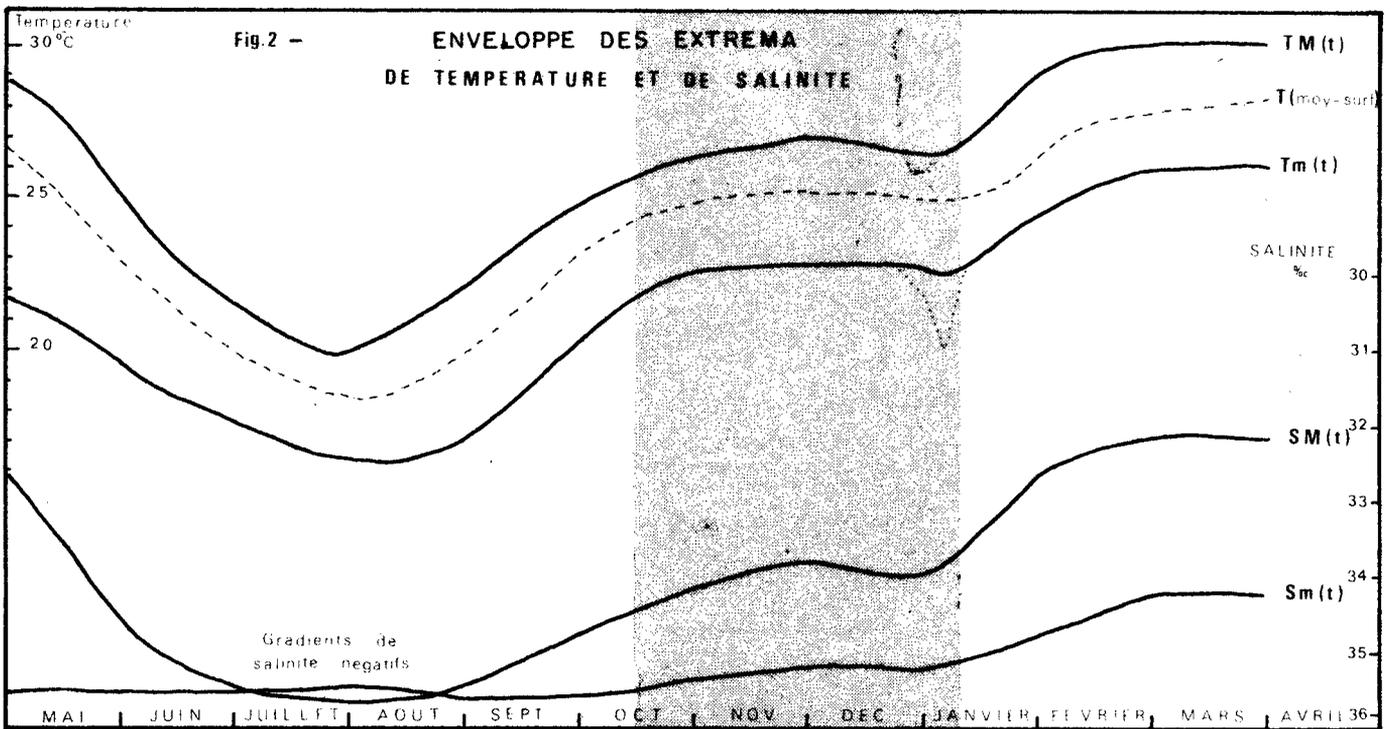
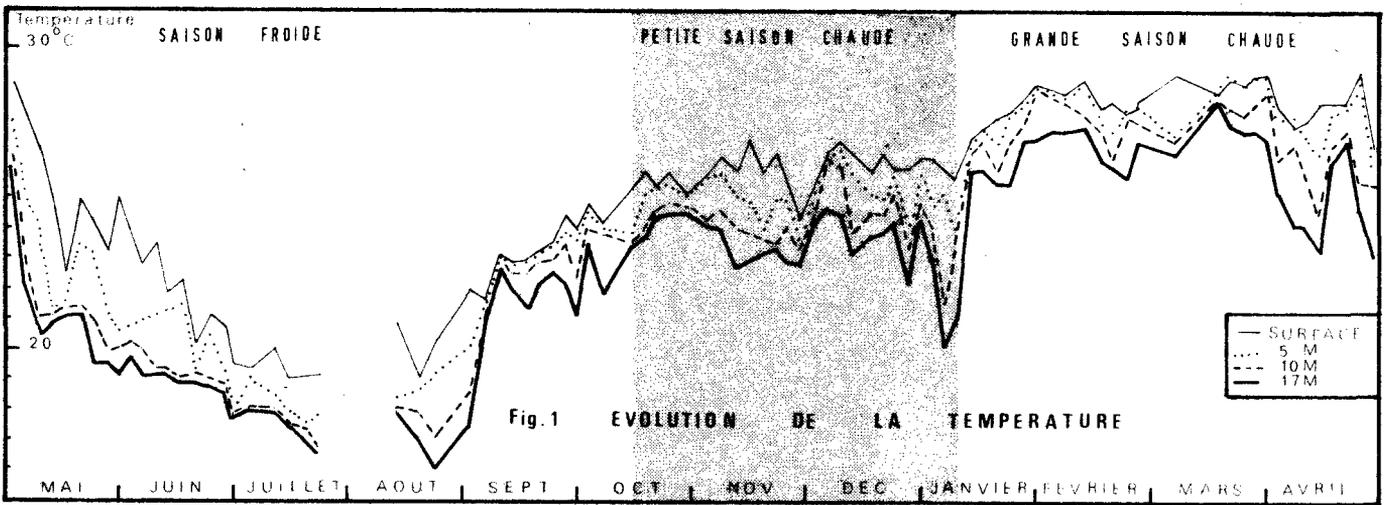
B I B L I O G R A P H I E

- BERRIT (G.R.) - 1958 - Les saisons marines à Pointe-Noire. Bull. Inf. Com. Centr. Océanogr. Etudes Côtières, 10, 335-358.
- BERRIT (G.R.) - 1961 - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation - Première partie. Bull. CCOEC, VIII (10), pp. 715-727.
- BERRIT (G.R.) - 1962 a - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation - Deuxième partie : Etude régionale 1. Bull. CCOEC, XIV (9), pp. 633-643.
- BERRIT (G.R.) - 1962 b - Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation - Deuxième partie : Etude régionale 2. Bull. CCOEC, XIV (10), pp. 719-729.
- BERRIT (G.R.) - 1964 - Observations océanographiques côtières à Pointe-Noire de 1953 à 1963. Cah. Off. Rech. scient. tech. Outre-Mer Océanogr. (O.R.S.T.O.M.), 2 (3), 31-56 (1964).
- BESSONOV (N.M.) and FEDOSOV (M.V.) - 1965 - Primary production in the shelf waters of the west African Coast : Okeanologia, 5 (5), pp. 877-883.
- BINET (D.) - 1970 - Aperçu sur les variations saisonnières du zooplankton et plus particulièrement des copépodes du plateau continental de Pointe-Noire (Congo). Doc. Sc. Centre ORSTOM Pointe-Noire, nlle série n° 8, 109 p., 41 fig.
- BROUARDEL (J.), RINCK (C.) - 1963 - Mesure de la productivité organique en Méditerranée, dans les parages de Monaco, à l'aide du ¹⁴C. Ann. Inst. Océanogr. Monaco, N.S. 40, pp. 109-164.

- CORNER (E.D.S.) et DAVIES (A.G.) - 1971 - Plankton as a factor in the nitrogen and phosphorus cycle in the sea. *Adv. in mar. Biol.*, 9, pp. 101-204.
- DESSIER (A.) et PIANET (R.) - 1971 - Répartition et abondance des oeufs et larves de clupeidae et engraulidae des côtes du Congo et du Gabon. Aperçu sur les conditions physico-chimiques et biologiques du milieu. *Doc. Sc. Centre ORSTOM de Pointe-Noire Congo*, nlle série n° 15.
- DONGUY (J.R.), HARDIVILLE (J.) - 1963 - Parcours maritime des eaux du Congo. Rapport provisoire - ORSTOM Pointe-Noire, Congo-Brazzaville, 8 p., 5 fig.
- DOTY (M.S.), NEWHOUSE (J.), TSUDA (R.T.) - 1967 - Daily phytoplankton primary productivity relative to hourly rates. *Arch. Oceanogr. Limnol.*, 15, pp. 1-9.
- GREITZ (G.L.), RICHARDS (F.A.) - 1955 - The estimation and characterisation of plankton population by pigments analysis. *J. Mar. Res.*, 14, pp. 211-6.
- FINENKO (Z.Z.) et ZAIKA (V.E.) - 1970 - Particulate organic matter and its role in the production of the sea. *Marine Foods Chains*, ed. J.E. Steele - Gliverand Boyd, Edimburg.
- KETCHUM (B.H.) - 1939 - The absorption of phosphate and nitrate by illuminated cultures of *Nitschia closterium*. *Amer. J. Bot.*, 26, pp. 399-407.
- KETCHUM (B.H.), RYTHER (J.H.), YENTSCH (C.S.) and CORWIN (N.) - 1958 - Productivity in relation to nutrients. *Rapport et Proc.-Verb. des réunions C.I.E.S.M.*, 144, pp. 132-148.
- MAHNKEN (C.V.W.) - 1969 - Primary organic production and standing stock of zooplankton in the tropical atlantic ocean. *Equalant I and II. Bull. Marine Science*, 19 (3), pp. 550-567.
- MARGALEFF (R.) - 1963 - Modelos simplificadas del ambiente marine para el estudio de la sucesion y distribucion del fitoplancton y del valor indicator de sus pigmentas. *Inv. Pesq.*, 23, pp. 11-52.
- MURPHY (J.), RILEY (J.P.) - 1958 - A single method for the determination of soluble phosphate in sea-water. *J. Mar. Ass. U.K.*, 37, p. 9-14.

- MURPHY (J.), RILEY (J.P.) - 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate and total phosphate in sea-water. Anal. Chim. Acta, 27, pp. 31-36, 1952.
- POMEROY (L.R.), MATHEWS (H.M.) et MIN (H.S.) - 1963 - Excretion of phosphate and soluble organic phosphorus compounds by zooplankton. Limnol. Ocean., 8, pp. 50-55.
- POOLE (H.H.), ATKINS (W.G.R.) - 1929 - Photo-électric measurements of submarine illumination throughout the year. J. Mar. Biol. Ass. U.K., pp. 297-324.
- REDFIELD (A.C.) - 1942 - The processes determining the concentrations of oxygen phosphate and other organic derivatives within the depths of the atlantic Ocean. Pap. phys. Oceanogr., 9, 22 pp.
- REYSSAC (J.) - 1970 - Contribution à la connaissance du phytoplancton de la Côte Occidentale d'Afrique. Thèse de doctorat d'état, Faculté des Sciences de Paris. C.N.R.S. AO : 5560.
- RICHARDS (F.A.), THOMPSON (T.G.) - 1952 - The estimation and characterization of plankton populations by pigments analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. J. Mar. Res., 11, pp. 156-172.
- RILEY (G.A.) - 1963 - Theory of food-chain Relations in the Ocean chap 20 in Hill ed. : the Sea vol. II Interscience publ.
- RILEY (G.A.), SCHURR () - 1959 - Transparency of Long-Island Sound Waters. Bull. of the Bingham oc. coll., 17, 1, pp. 66-82.
- SNEDECOR (G.N.), COCHRAN (W.G.) - 1967 - Statistical methods - 6th ed - The Iowa state university press, Ames, Iowa, USA.
- SOURNIA (A.) - 1968 - Recherches sur le phytoplancton et la production primaire dans le canal de Mozambique. Thèse de doctorat d'état, Fac. Sciences Paris, AO 2453.
- STEEMANN-NIELSEN (E.) - 1952 - The use of radio-active carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. J. Cons. perm. int. Explor. Mer, 18 (2), pp. 117-140.
- STEEMANN-NIELSEN (E.), JENSEN (A.E.) - 1957 - Primary oceanic productions. The autotrophic production of organic matter in the oceans. Galathea Rept, vol. 1, pp. 47-136.

- STEEMANN-NIELSEN (E.) - 1960 - Dark fixation of CO₂ and measurement of organic productivity. With remarks on chemiosyntheses. *Physiol. Plant.* 13, pp. 348-357.
- STEEMANN-NIELSEN (E.) - 1962 - The relationship between phytoplankton and zooplankton. *Rapport et Proc.-verbaux Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, 153, pp. 178-182.
- STEEMANN-NIELSEN (E.) - 1963 - Productivity, definition and measurement Ch 7 in Hill : the Sea, vol. II Interscience publ.
- STEEMANN-NIELSEN (E.) - 1965 - On the determination of the activity in ¹⁴C ampoules for measuring primary production. *Limnol. Oceanogr.*, 10 (Suppl.), pp. 247-252.
- STRICKLAND (J.D.H.) and PARSONS (T.R.) - 1965 - A manual of sea water analysis. *Fish. Res. Board of Canada Bull.* 125, 2nd ed.
- THOMAS (W.H.), DODSON (A.N.) - 1968 - Effects of phosphate concentration on cell division rates and yield of a tropical oceanic diatomee. *Biol. Bull.* 134 (1): 199-208.
- UNESCO (1966) - Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monographs Published by the UNESCO Place Fontenoy, Paris, 69 p.
- UNESCO (1968) - Zooplankton sampling. Monographs on oceanogr. methodology - Published by UNESCO, Paris.



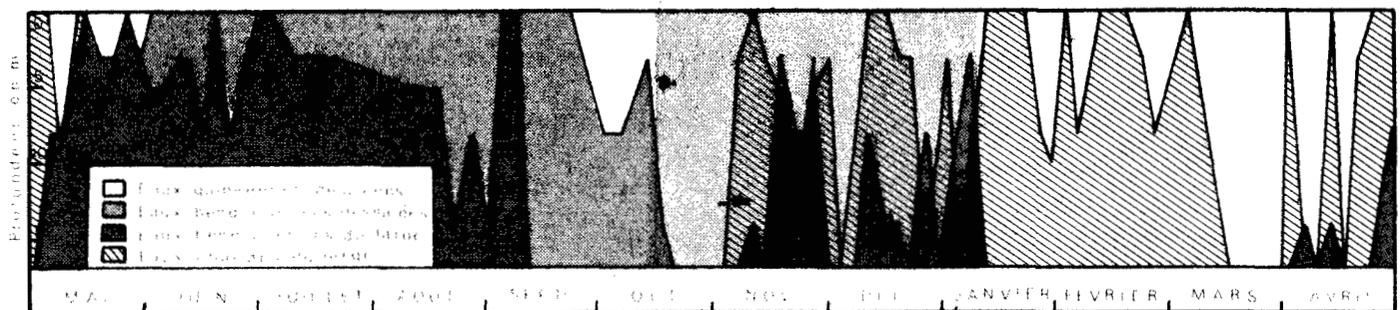
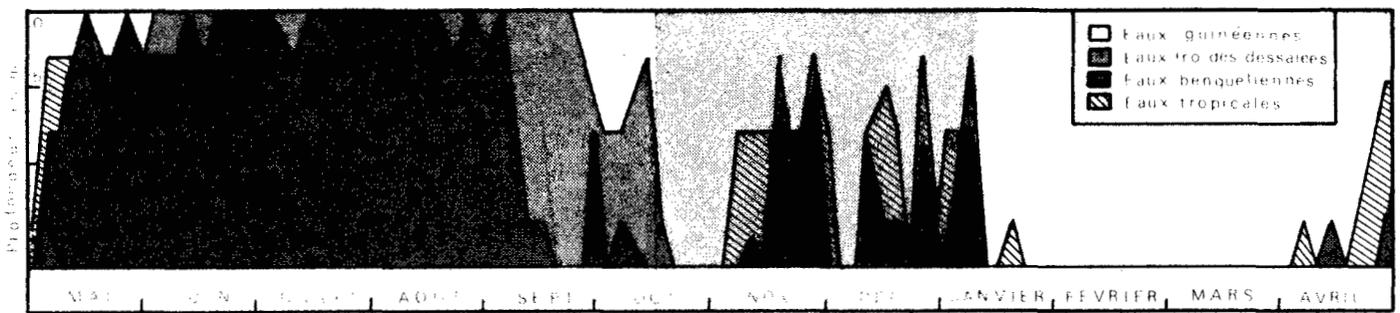
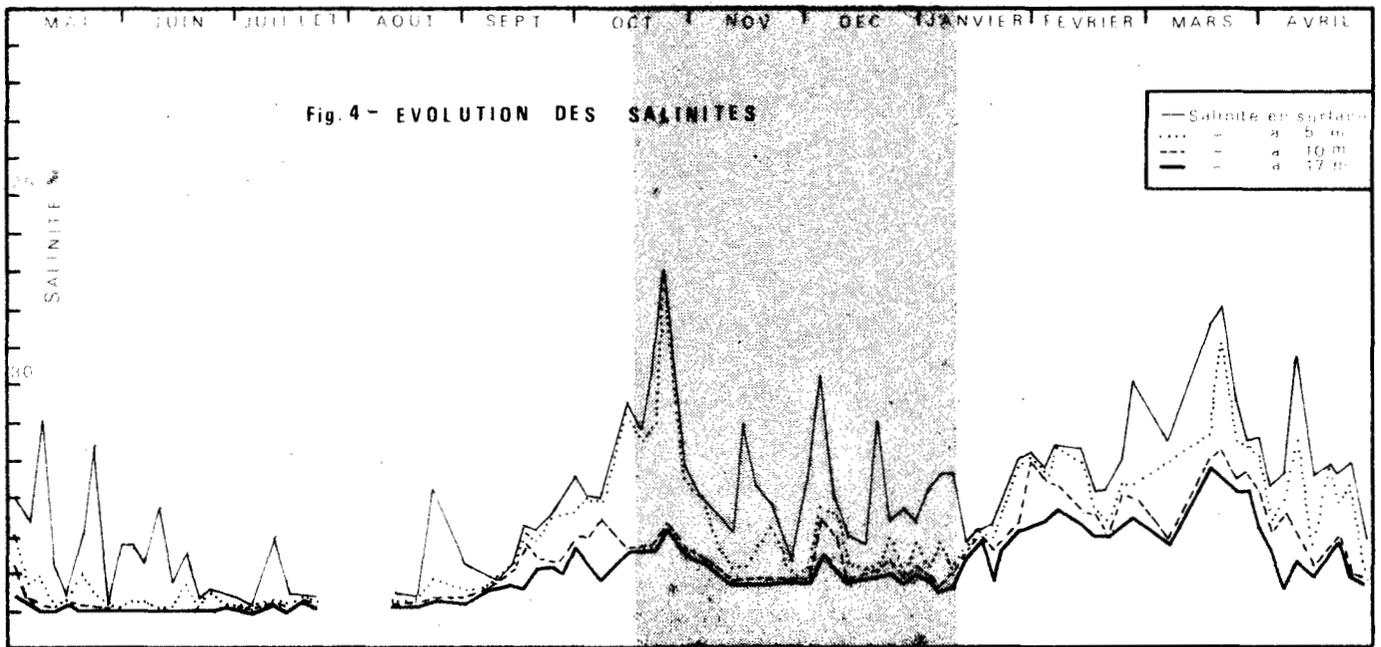
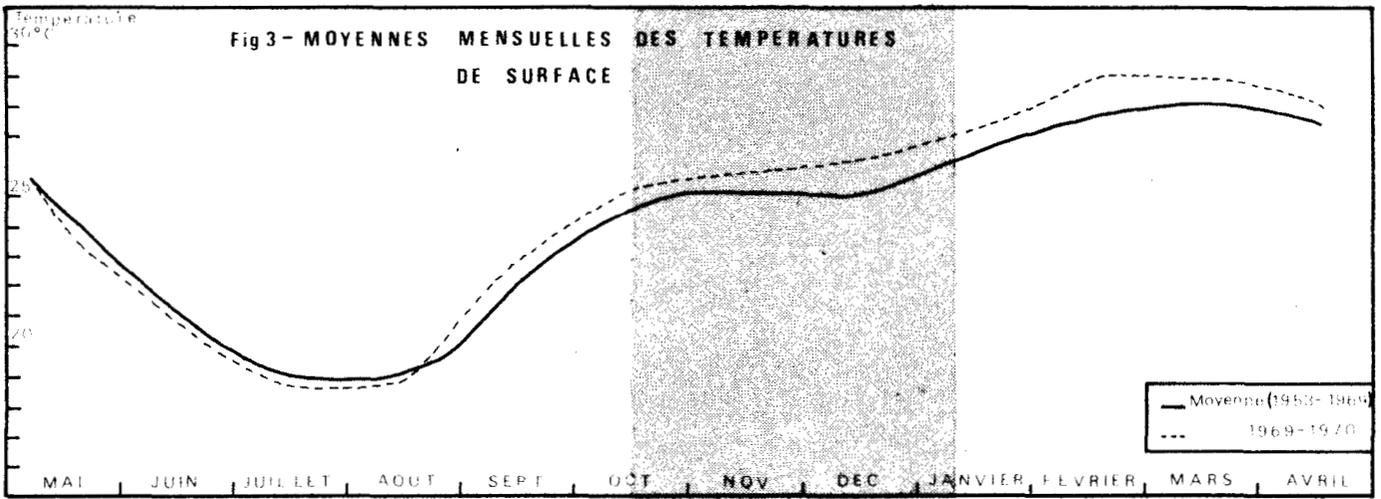


Fig. 5 et 6 - CATEGORIES D'EAU

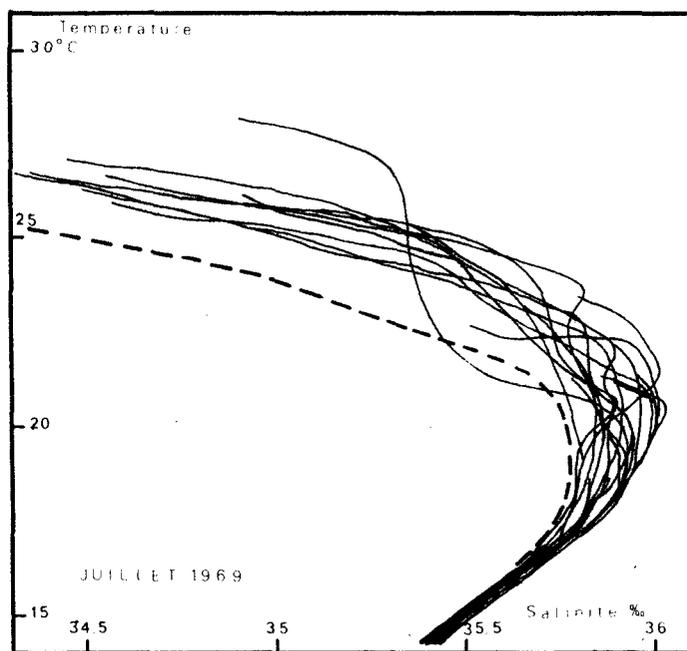
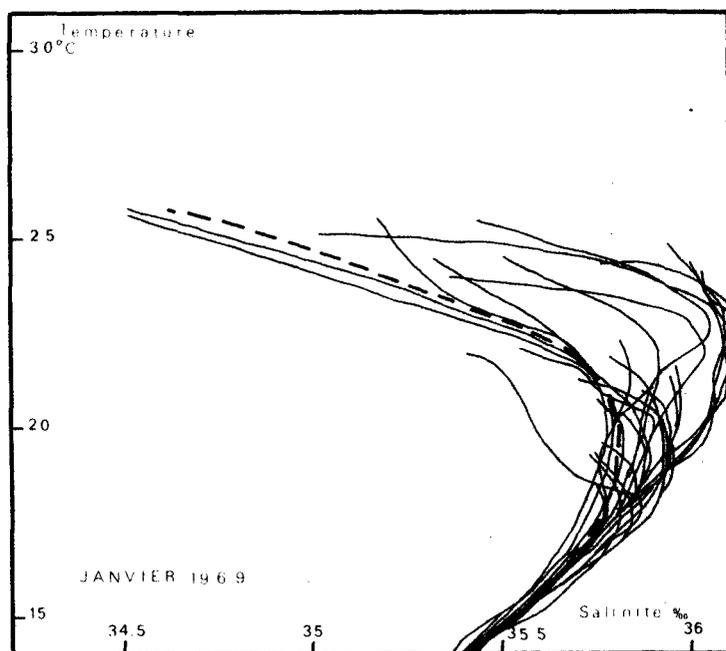
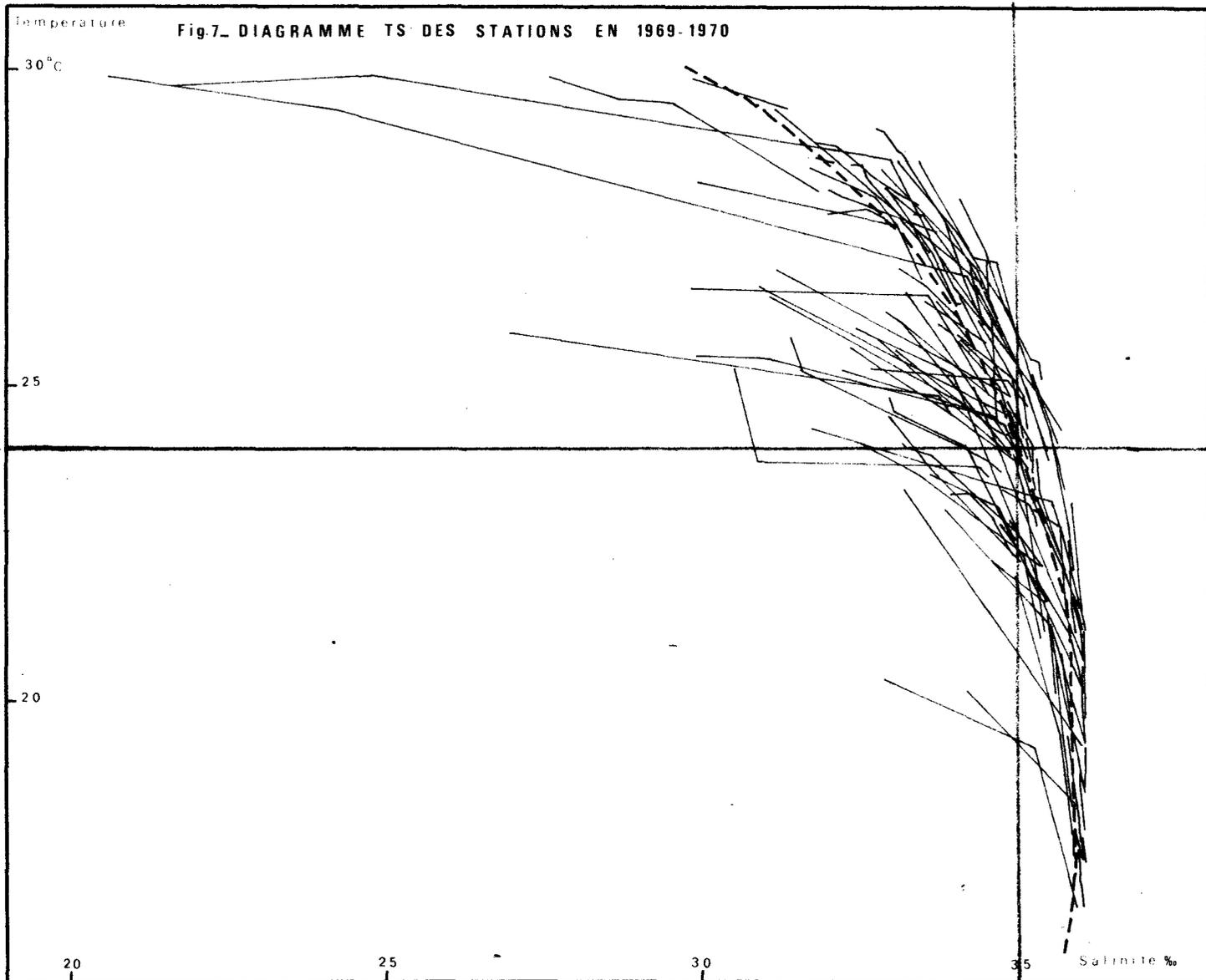
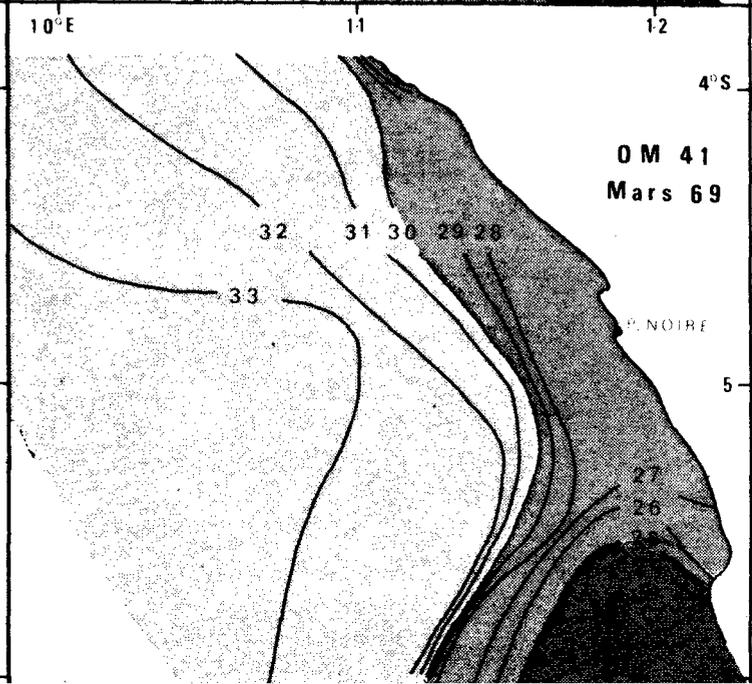
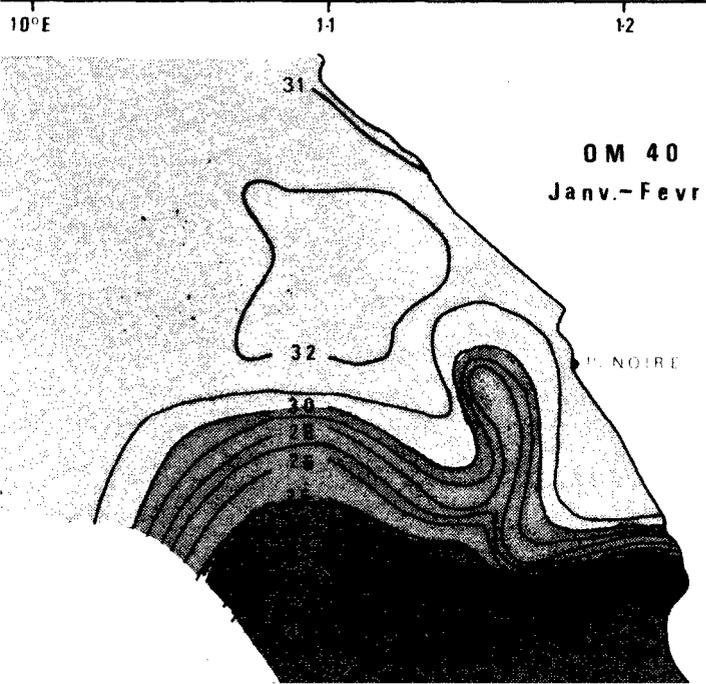
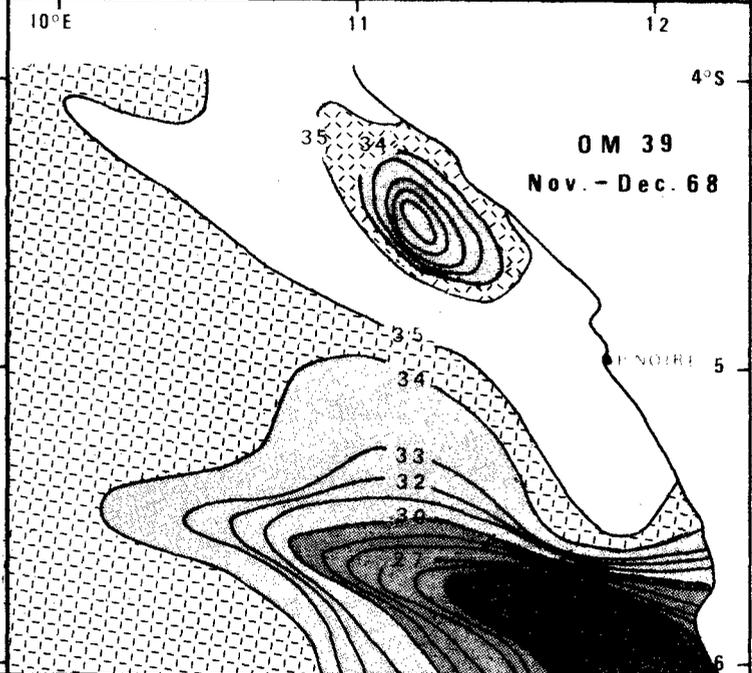
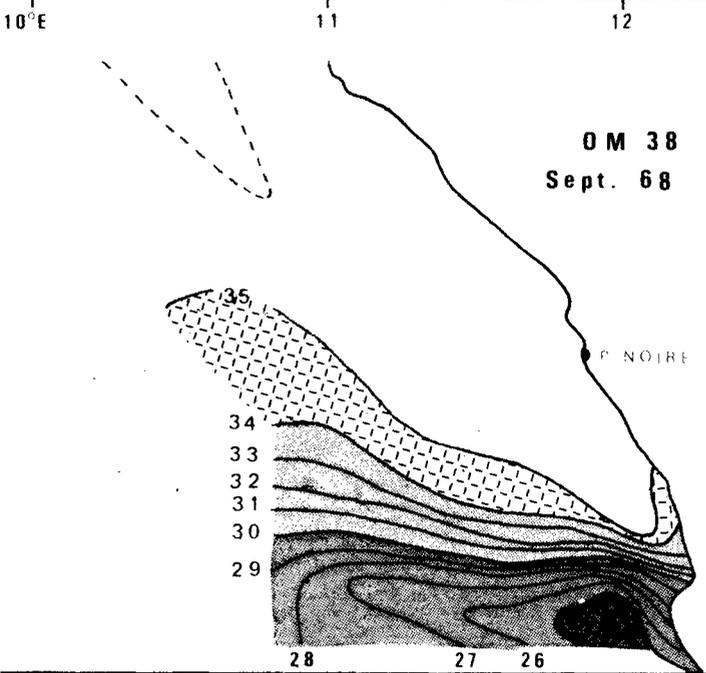
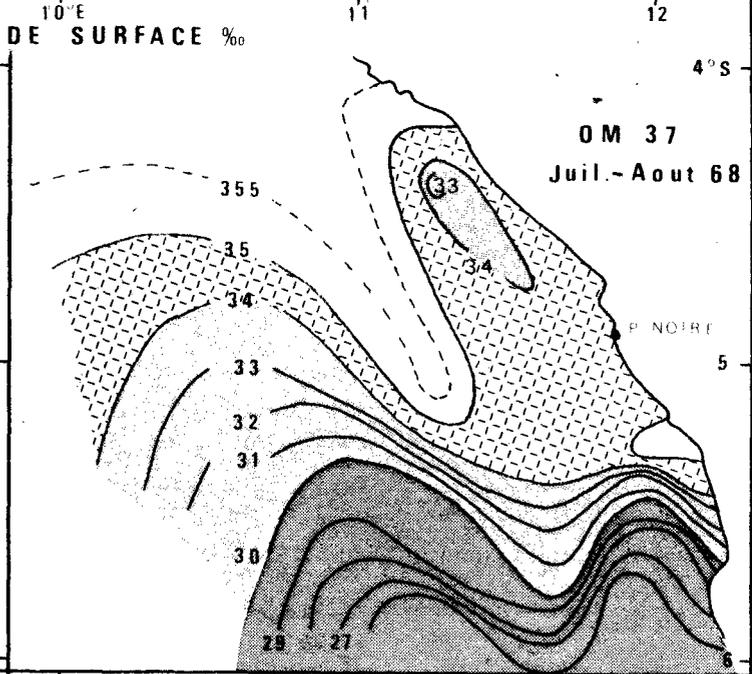
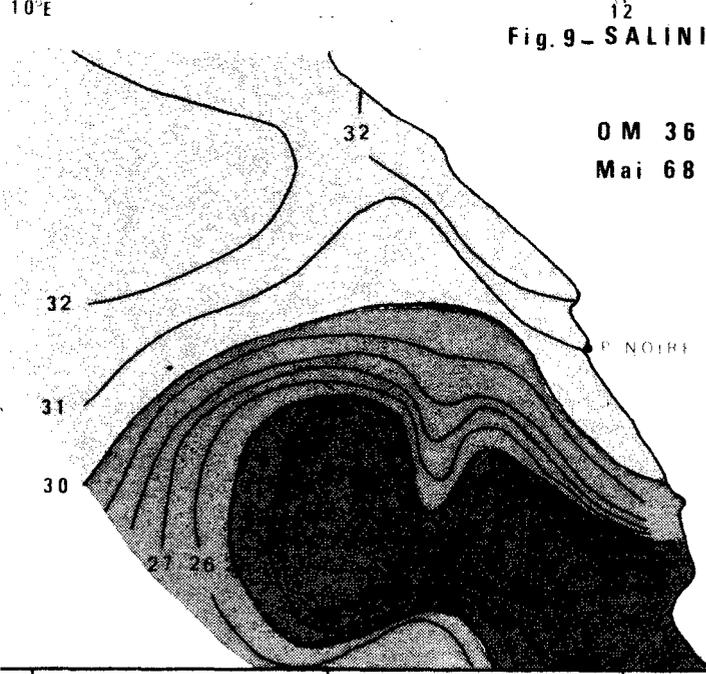


Fig. 8 et 8 bis_ DIAGRAMME TS DES EAUX DU LARGE DU GOLFE DE GUINEE

12 10°E 11 12
Fig. 9 - SALINITE DE SURFACE ‰



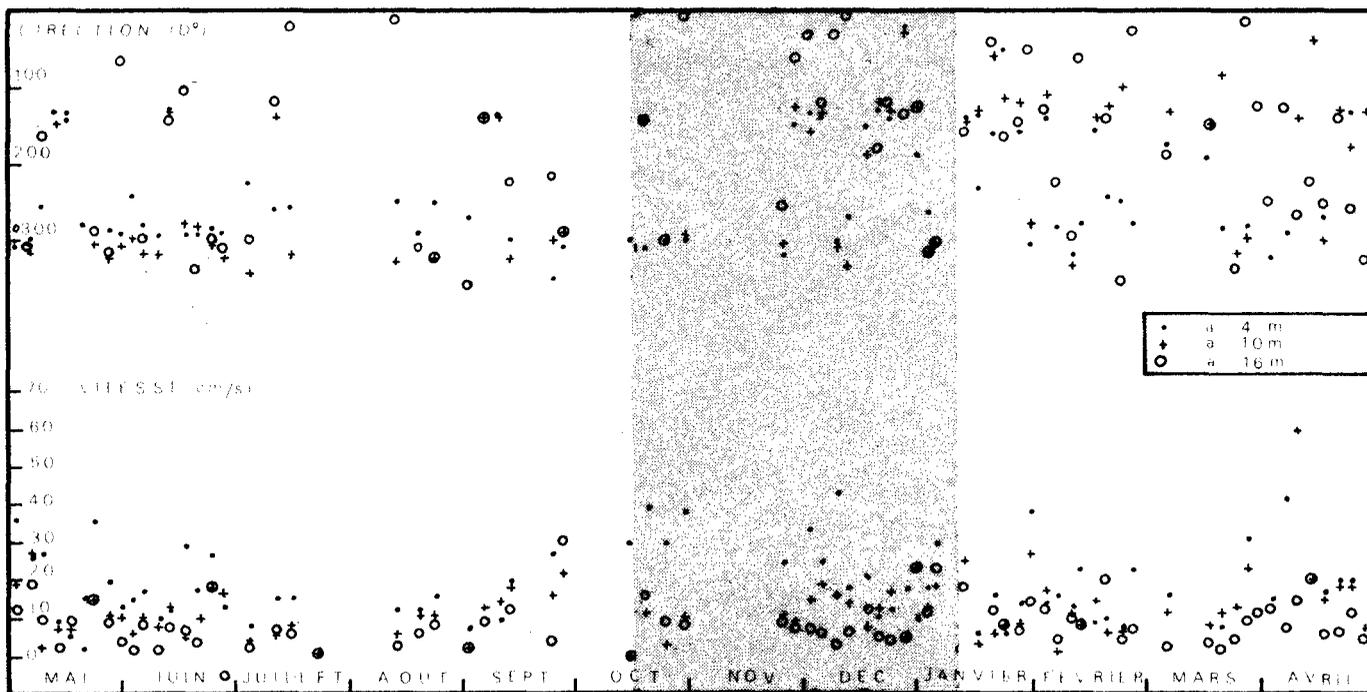
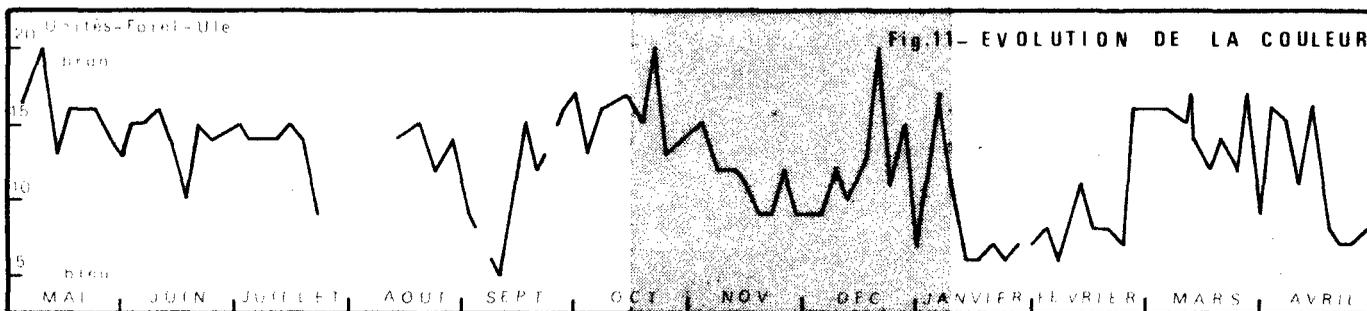
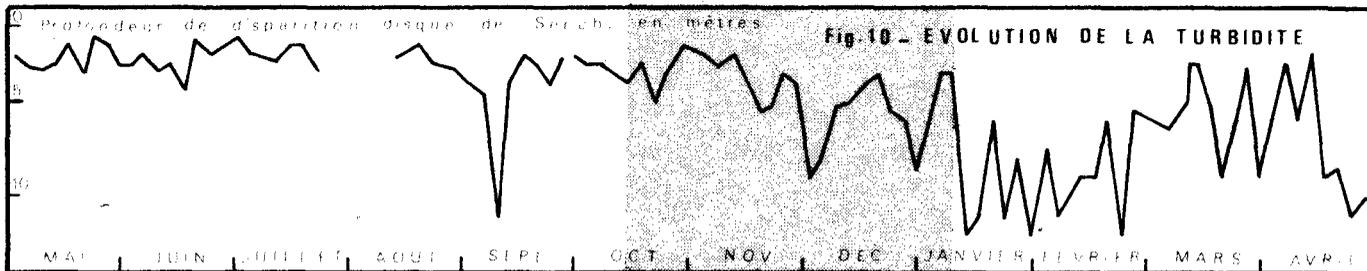


Fig.12- DIRECTION ET VITESSE DES COURANTS

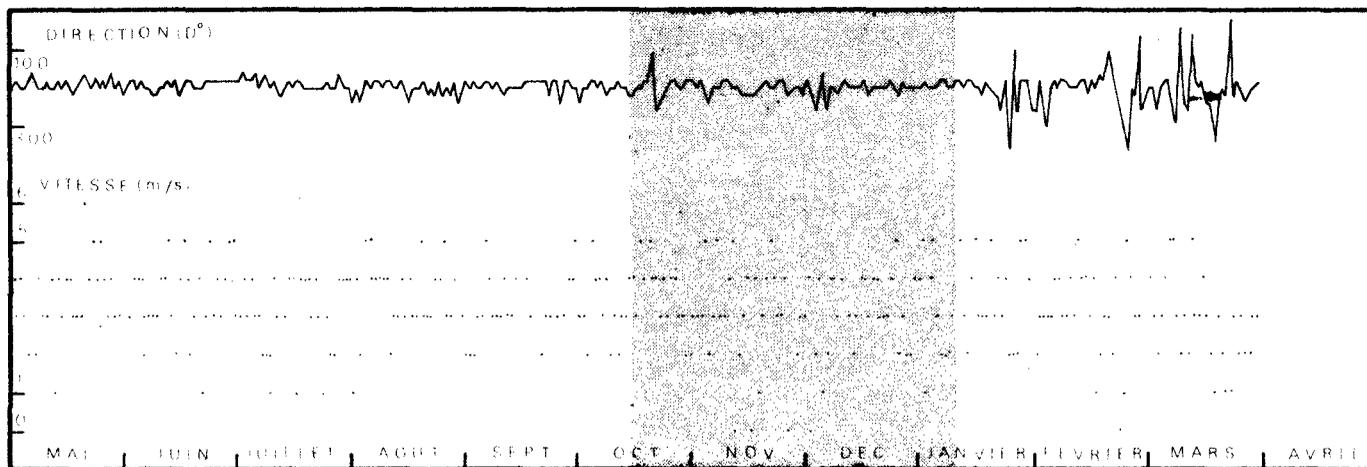
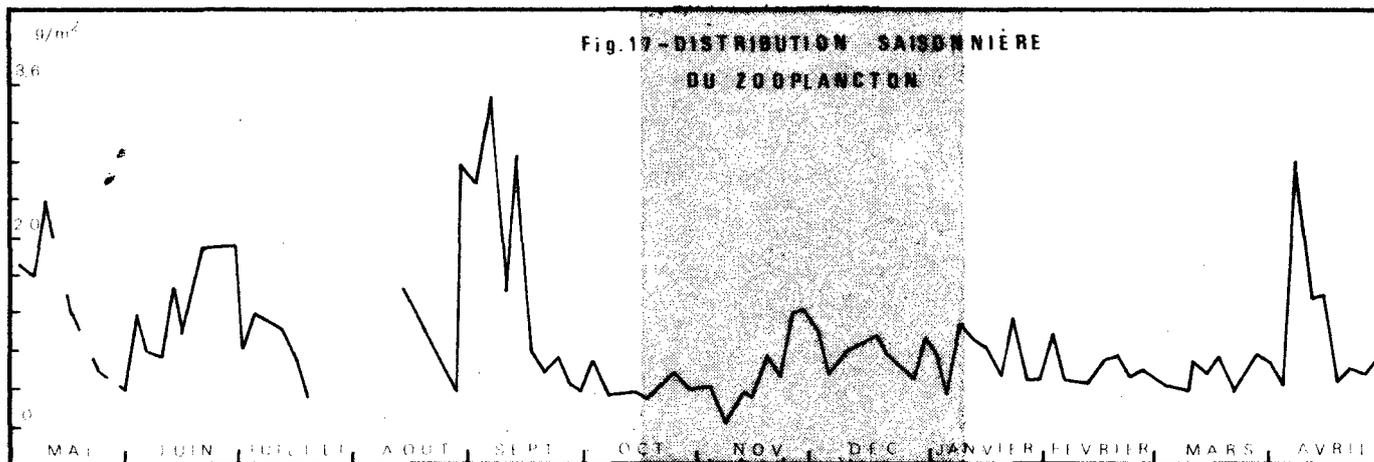
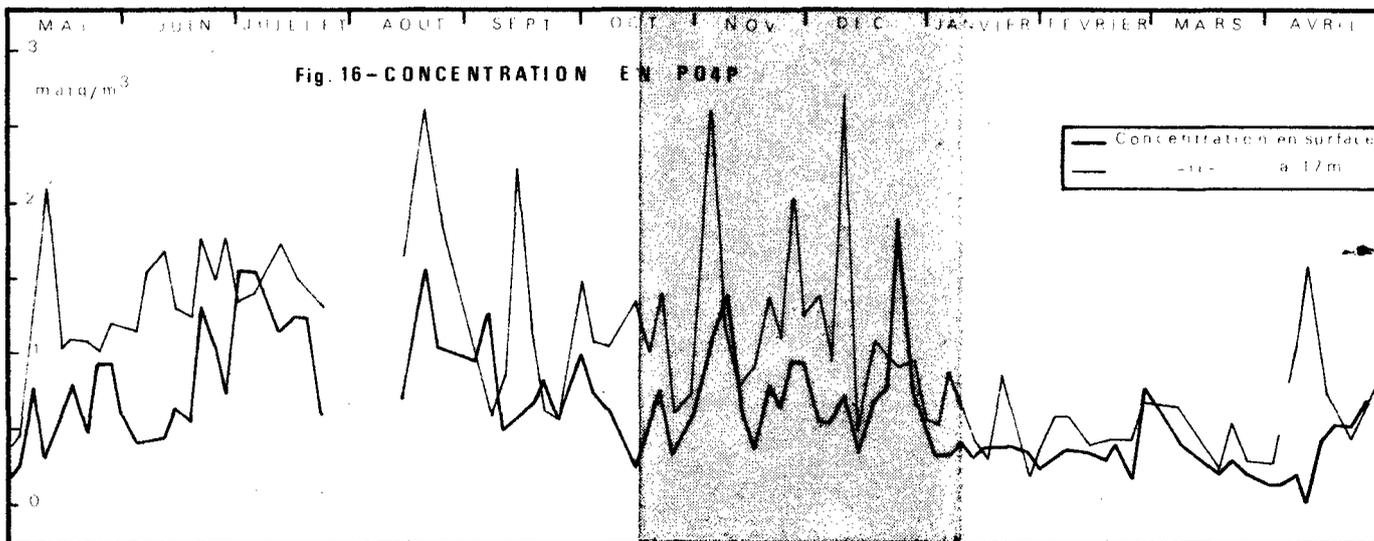
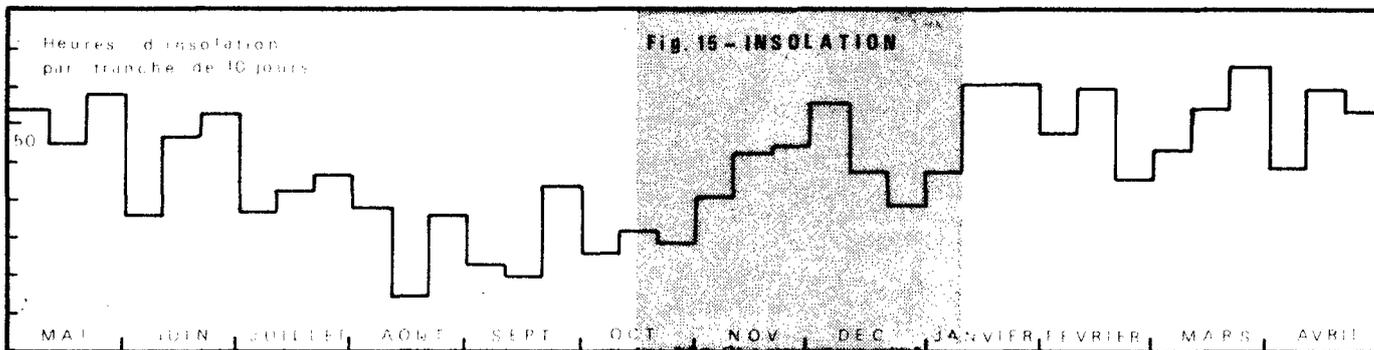
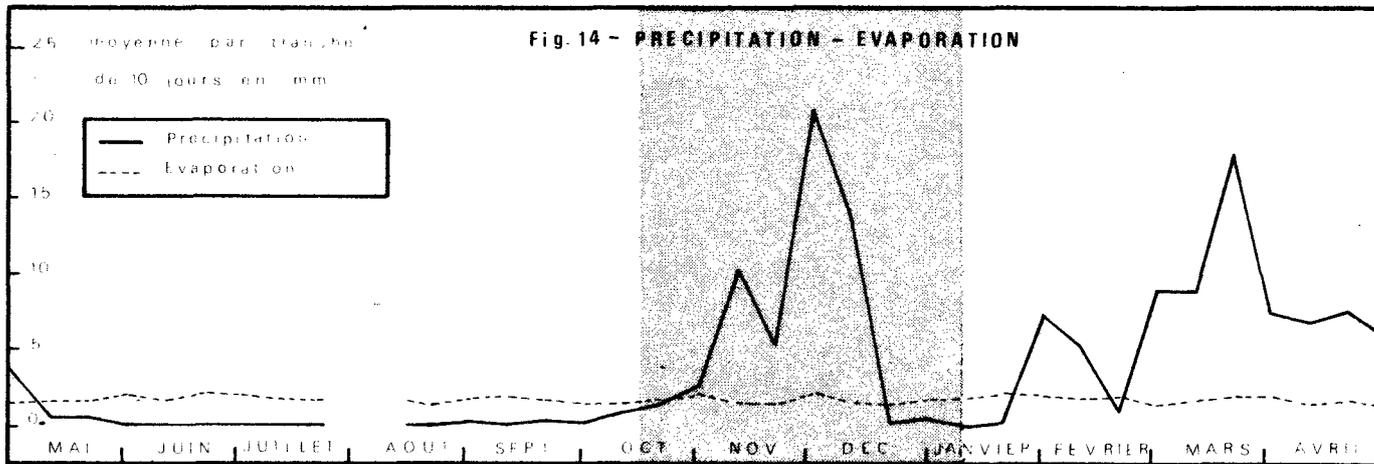


Fig.13- DIRECTION ET VITESSE DES VENTS



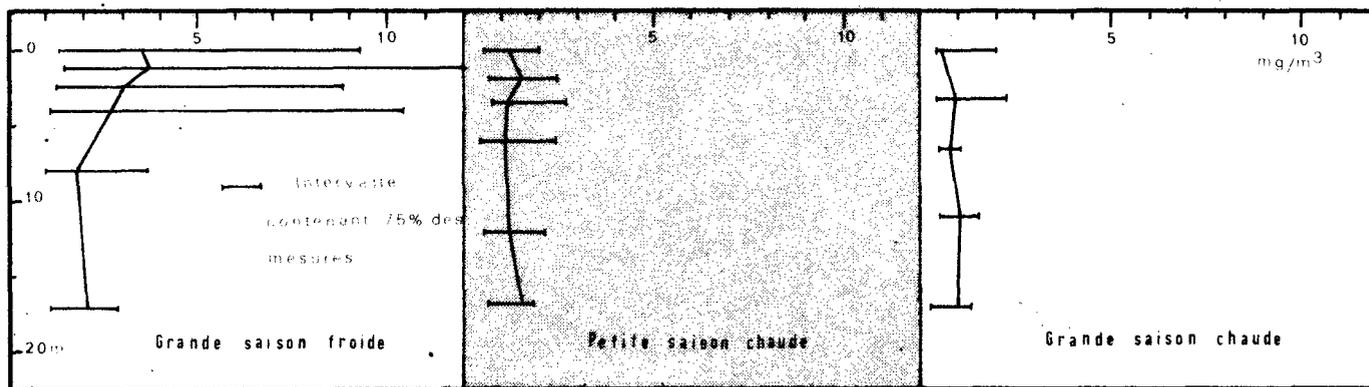
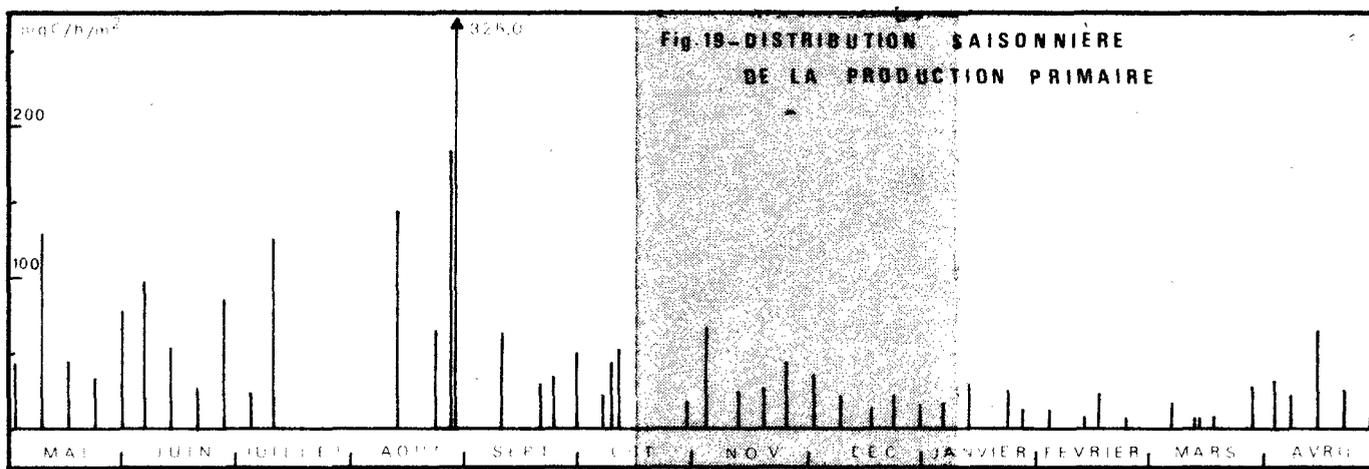
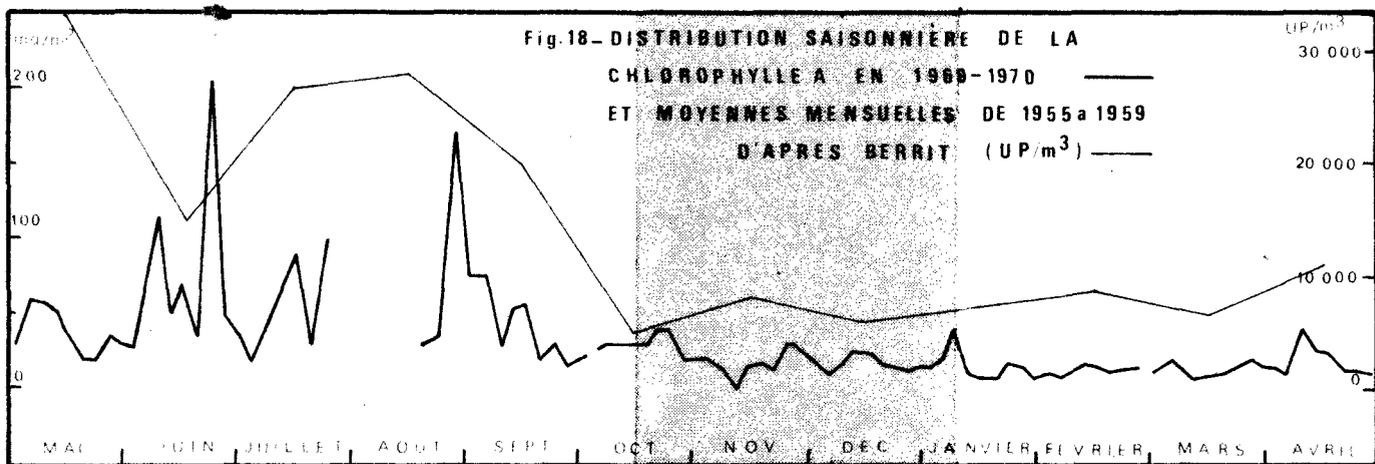


Fig.20- DISTRIBUTION VERTICALE DE LA CHLOROPHYLLE A

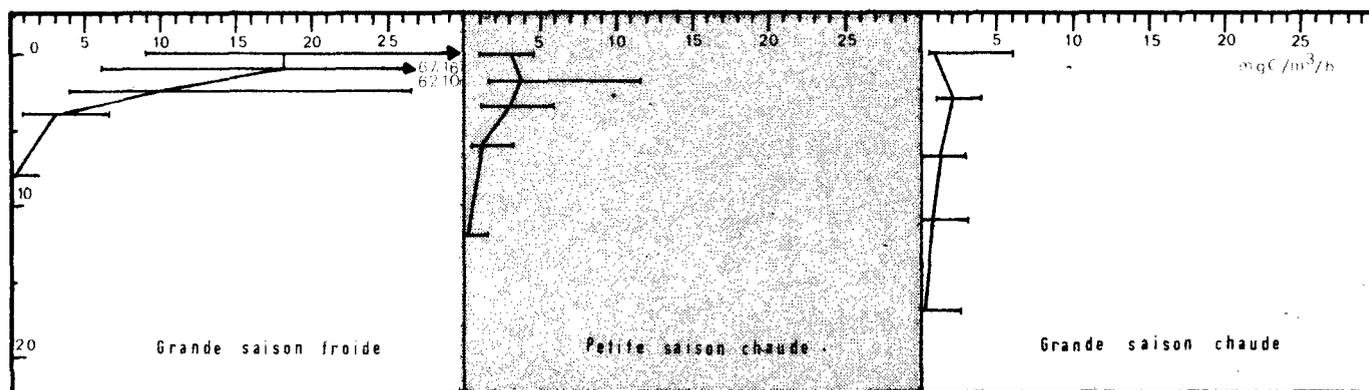


Fig.21- DISTRIBUTION VERTICALE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE