

Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan

Vol. III, n°2, août 1972, pp32-59

ASPECTS PRINCIPAUX DES VARIATIONS DU PHYTOPLANCTON SUR LE PLATEAU CONTINENTAL IVOIRIEN

Y. Dandonneau

R E S U M E

21 campagnes couvrant tout le plateau continental ivoirien de février 1970 à avril 1972, permettent une description de la répartition du phytoplancton pour les différentes saisons: grandes et petites saisons froides, saisons de décharge, saisons chaudes. Les moyennes annuelles des teneurs en cellules par litre en surface vont de 1 000 à 30 000, correspondant d'après un calcul de régressions, à une production quotidienne de 386 à 1 166 mg C/m². Ces valeurs font de la Côte d'Ivoire une région relativement riche, mais qui est soumise à de fortes variations saisonnières de standing crop.

A B S T R A C T

21 surveys over the whole Ivory Coast continental shelf lead to a description of the phytoplankton repartition according to the different seasons: great and small cold seasons, discharge seasons, and warm seasons. Yearly means of surface cells concentrations range from 1000 to 30000 cells per liter, corresponding to a daily production of 386 to 1166 mg C/m², according to regression analysis. These values make Ivory Coast a rather rich region, which is subjected to wide standing crop variations.

Dans le cadre du projet F.A.O. "Etude et mise en valeur des ressources en poissons pélagiques côtiers" auquel participait l'ORSTOM, une série de 29 croisières, de juillet 1969 à avril 1972, a été réalisée par les navires océanographiques "Reine Pokou" et "Président Kennedy", couvrant à chaque fois tout le plateau continental entre le Cap des Palmes et le Cap des Trois Pointes. Ces croisières, désignées par les initiales P.K. suivies du numéro d'ordre chronologique étaient destinées à déterminer les modalités géographiques des connaissances acquises devant Abidjan.

Des prélèvements de phytoplancton ont été joints à ceux d'hydrologie et de zooplancton à partir de la P.K. 08, en février 1970. Les résultats complètent ceux obtenus par REYSSAC (1970) à partir d'observations réalisées pour la plupart au voisinage immédiat d'Abidjan et qui ont permis de fixer les grands traits des variations saisonnières, précisées dans cet article. Echelonnées sur un peu plus de deux ans, ces croisières ne permettent pas une approche précise des conditions moyennes à une époque et en un lieu, qui aurait demandé au minimum cinq ou six ans. Mais la comparaison des années les unes aux autres est possible grâce aux observations suivies régulièrement depuis octobre 1967 à la station côtière d'Abidjan, et d'autre part, l'éventail des situations rencontrées au cours des P.K. 08 à 29 couvre suffisamment bien l'ensemble des phénomènes dynamiques importants connus dans cette région pour en tracer les caractéristiques géographiques.

METHODES :

Afin de faire face au dépouillement des résultats au fur et à mesure de leur acquisition, une méthode de prélèvements simple et procurant le maximum de renseignements a été mise au point (DANDONNEAU, en préparation) cette méthode consiste en des prélèvements effectués en surface uniquement, sur lesquels sont réalisés une filtration pour mesure de pigments photosynthétiques, et un comptage de cellules. Les phénomènes de surface, au cours de deux années d'observations, sont en effet apparus comme très liés à ceux des niveaux plus profonds dont ils donnent un ordre de grandeur et une image qualitative.

Les filtrations, de quatre litres en général, sur filtre en fibre de verre whatman GF/C, permettent, après extraction par l'acétone, et lecture de densité optique à 750, à 665 avant et après acidification, et à 430 millimicrons, de déterminer les teneurs en chlorophylle "a" et phéophytine "a" au moyen des équations de

LORENZEN (1967) et le rapport D430/D665 utilisé comme un indice d'âge des populations (MARGALEF - 1963).

Les comptages de cellules ont été faits selon la méthode d'UTERMOHL au microscope inversé. Seul le microplancton a été dénombré, comprenant presque essentiellement les diatomées et les dinoflagellés ; le nannoplancton très important, n'a cependant pas pu être pris en considération, à cause des difficultés d'observation dues à sa petite taille, entraînant des confusions avec des particules detritiques, et par conséquent un facteur d'appréciation personnelle trop élevé.

Ces comptages de microplancton portent sur des chaînes et non sur des cellules ce qui présente le défaut d'attribuer la même valeur à plusieurs cellules en chaîne qu'à une seule ; ce procédé a été choisi car l'inconvénient cité ci-dessus n'est pas plus grave que le fait d'attribuer la même valeur à une cellule de 200 microns de diamètre qu'à une cellule de 20 microns. Y pallier signifierait le calcul du volume cellulaire de chaque espèce, ce qui consomme beaucoup de temps... pour finalement repousser le problème aux différences de concentration de cytoplasme à l'intérieur des cellules, même pour une seule espèce. De plus, en mer comme sur la lame du microscope, ce sont les chaînes et non les cellules qui sont réparées au hasard, et détectées par le prédateur.

Parmi les espèces les plus couramment rencontrées, quatre vingt ont fait l'objet d'une étude d'association (DANDONNEAU 1971) qui a permis la définition de huit groupes dont les affinités écologiques ont été précisées comme suit :

groupes III et VII : eaux d'upwelling jeunes.
groupe IV : eaux d'upwelling mûries.
groupes V et VI : apports terrigènes.
groupe II : eaux guinéennes pauvres.
groupe VIII : eaux tropicales pauvres.
groupe I : espèces sans exigence particulière présentes la plupart du temps.

Le groupe VII se rencontre souvent dans des eaux froides desalées.

Cette classification est utilisée pour l'interprétation des phénomènes observés.

EVOLUTION DE FEVRIER 1970 A AVRIL 1972 :

Les figures 1 à 21 représentent les situations rencontrées au cours de toutes les campagnes ayant comporté des prélèvements

pour l'étude du phytoplancton. Le paramètre représenté, nombre de cellules par litre, est le seul à avoir été mesuré dans des conditions constantes sur l'ensemble des croisières ; il présente en outre l'avantage sur les teneurs en chlorophylle d'être plus indépendant des apports de matière organique, et d'une certaine manière, d'indiquer la direction du transport des eaux superficielles qui supportent une poussée phytoplanctonique : en effet, en supposant que l'on a au départ une eau homogène, les zones qui présentent la même concentration peuvent être considérées comme ayant subi le même nombre de divisions cellulaires (en négligeant les irrégularités dues au grazing) et par conséquent comme ayant suivi la même évolution. Cette approximation est très utile pour l'interprétation des situations d'upwelling où l'on a justement, au départ des blooms, des eaux jeunes, homogènes et peu peuplées.

Il convient de rappeler que les saisons physiques et phytoplanctoniques ne sont pas synchrones. Un décalage que l'on peut évaluer à une semaine environ sépare l'installation des eaux froides fertiles en surface et le développement d'un bloom. Ceci explique la contradiction apparente qui existe à la PK 08, de petite saison froide au point de vue physique (MORLIERE, REBERT 1972), alors que le phytoplancton n'a pas eu le temps de s'y développer et reste caractéristique de saison chaude, et à la PK 09 au contraire où une saison froide terminée a laissé en surface un vaste "bloom" de phytoplancton.

Le rythme mensuel des croisières est insuffisant pour comparer entre elles les années. Toutefois, les 21 croisières représentent autant d'échantillons qui sont des exemples de saison froide, grande ou petite, de saison chaude, et de saison d'apports terrigènes (MORLIERE, REBERT 1972).

La comparaison entre années est possible grâce aux observations continues à la station côtière d'Abidjan (figure 22). Le graphique des variations du nombre de cellules en surface en fonction du temps montre l'exceptionnelle richesse des grandes saisons froides de 1969 et de 1971, et l'irrégularité des petites saisons froides, pratiquement sans effet en 1968 et 1971. Les saisons des pluies s'individualisent nettement, marquées par des poussées de phytoplancton en mai-juin, et novembre-décembre de chaque année. En 1968, les pics dûs aux apports terrigènes de saison des pluies et à l'upwelling de grande saison froide, se dissocient très mal. Le premier est très important, alors que le second traduit une grande saison froide peu marquée et très brève :

Comparer les années entre elles sous l'aspect de leur valeur nutritive du phytoplancton demanderait une bonne connaissance des chaînes alimentaires ; selon le stock exploitable envisagé en fin de

chaîne, les principes peuvent varier. Ainsi, 1968, qui a vu une grande saison froide réduite, présente également les saisons pauvres les moins marquées : les herbivores peuvent s'y maintenir. Au contraire, les mois de février, mars et avril 1971 sont sans doute très proches des conditions limites de survie d'une population d'herbivores, et ce fait peut jouer un rôle plus important que l'intensité observée de la grande saison froide la même année. Les blooms très intenses ont sans doute, par enfouissement des cellules, un effet enrichissant sur la surface des sédiments ; les peuplements benthiques fixent ces apports et peuvent par la suite rester indifférents pendant plus longtemps à des saisons pauvres prolongées. On peut également se demander si les saisons froides très marquées de 1969 et 1971, qui ont vu se développer des eaux rouges (DANDONNEAU, 1970) ont eu un rôle dans la chaîne alimentaire aussi bénéfique qu'il aurait pu l'être si un bloom de diatomées avait remplacé les eaux rouges qui n'ont cependant pas entraîné de toxicité.

De toute manière l'effet de la production primaire sur la suite de la chaîne alimentaire ne pourra être connu qu'en confrontant des séries de données continues sur une longue période, incluant les paramètres de dynamique des populations exploitées.

CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES SAISONS

En plus des saisons thermiques décrites par MORLIERE et REBERT (1972), il faut prendre en considération, pour l'étude du phytoplancton, les saisons de pluies ou de crues des rivières, qui se manifestent par des pics de la teneur de l'eau de mer en cellules, de part et d'autre du pic principal de grande saison froide (figure 22).

Il faut donc envisager quatre types de saisons qui sont :

- La grande saison froide
- Les petites saisons froides
- Les saisons de décharge
- Les saisons chaudes.

Grande saison froide :

La régularité des grandes saisons froides et leur forte individualité font qu'il n'y a pas de difficulté à extraire des 21 campagnes étudiées ici celles qui s'y rattachent. Les PK 12, 13, 23 et 24 (figure 5, 6, 15 et 16) correspondant aux mois d'août et septembre sont bien caractéristiques de cette époque de l'année, tant par les concentrations observées que par l'examen des populations en

présence.

Les espèces les plus représentatives de la grande saison froide sont celles du groupe III (DANDONNEAU, 1971), les principales étant des diatomées du genre Rhizosolenia (R. stolterfothii, R. hyalina), du genre Chaetoceros (C. curvisetum, C. tortissimum), des espèces Leptocylindrus danicus et Guinardia flaccida, ainsi que le peridinien Ceratium tripos à l'écologie plus complexe. Ce groupe domine à l'ouest et à la côte pendant la PK 12, à l'est pendant la PK 23, et dans tout le golfe pendant la PK 24.

Au cours de l'évolution des eaux d'upwelling, ces espèces sont peu à peu remplacées par celles du groupe IV qu'on trouve à la PK 12 à l'est et au large, faisant logiquement suite à celles du groupe III au cours du transport vers le large et par le courant de guinée. Ce sont des diatomées, et le genre Rhizosolenia y domine également (R. styliformis, R. alata gracillima, R. fragilissima, R. delicatula, R. alata, R. bergonii). Les espèces Eucampia cornuta et Schroederella delicatula y sont fréquentes.

Un autre groupe a souvent de l'importance au cours de la grande saison froide : c'est le groupe VII dont les principaux représentants sont Chaetoceros tetrastichon, Nitzschia sp., et surtout Gymnodinium splendens, qui provoque souvent des eaux rouges présentant les plus fortes concentrations atteintes en Côte d'Ivoire. Ce groupe est très lié aux apports terrigènes ; les années à eaux rouges coïncident en effet avec les années où les mois de juin et juillet sont très pluvieux (DANDONNEAU, 1970).

L'effet des grandes saisons froides est difficile à cerner, du fait de son ampleur. En août 1970 (figure 5), la zone enrichie semble bien recouverte par les stations de la PK 12 : un upwelling actif à l'ouest engendre une large surface riche en cellules, mais dès la longitude de Grand-Lahou, zone de développement maximum des populations, ces eaux riches sont ramenées à la côte le long de laquelle elles s'appauvrissent vers l'est, à mesure que dans les peuplements, le groupe III est remplacé par le groupe IV. Mais la saison froide de 1970 a été peu marquée et le transport vers le large y apparaît mal. On l'observe toutefois nettement dans l'ouest à la PK 13 (figure 6).

En 1971, au contraire, la saison froide a été longue et s'est beaucoup fait sentir. La PK 24 (figure 16) dépeint une situation analogue à celle de la PK 12. Toutefois, les températures de surface qui ont été relevées sont basses sur l'ensemble du golfe (MORLIERE, REBERT, 1972) et on doit supposer que, plus au large un développement planctonique se produit, comparable à celui des eaux côtières dû, peut-être, à une branche de l'upwelling qui longe la côte.

Figure 1 : - PK 08 du 24 au 27 février 1970

La majeure partie du plateau continental est occupée par des eaux qui contiennent de 1.000 à 10.000 cellules par litre. Les plus fortes concentrations sont à l'ouest où la présence des principaux groupes d'espèces indique des enrichissements modérés de nature diverse. C'est une situation de saison chaude.

Figure 2 : - PK 09 du 4 au 10 avril 1970

Un upwelling à l'ouest d'Abidjan a permis un développement intense de populations océaniques habituellement pauvres. L'aire enrichie ne s'étend vers le large qu'à l'ouest. A l'est, le courant de Guinée ramène les eaux riches à la côte où elles vont en s'appauvrissant vers l'est.

Figure 3 : - PK 10 du 29 mai au 4 juin 1970

Les concentrations en phytoplancton sont faibles ou modérées. L'aspect principal est la répartition des zones les plus riches, situées à l'est, où les comptages ont montré la présence de cellules qui réagissent aux apports terrigènes de ce début de saison des pluies.

Figure 4 : - PK 11 du 18 au 23 juillet 1970

La situation correspondant à la campagne PK 10 s'est renforcée. Les apports terrigènes donnent lieu à un développement modéré à l'ouest (groupes V et VI) et beaucoup plus important à l'est où le groupe VII dominant est typique du mélange d'eaux d'upwelling avec des apports terrigènes.

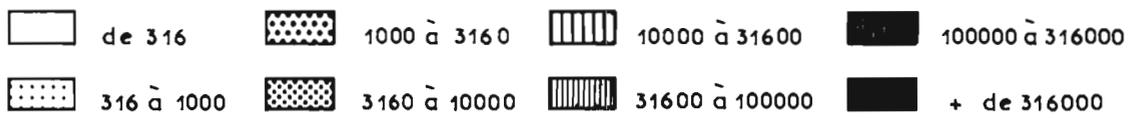
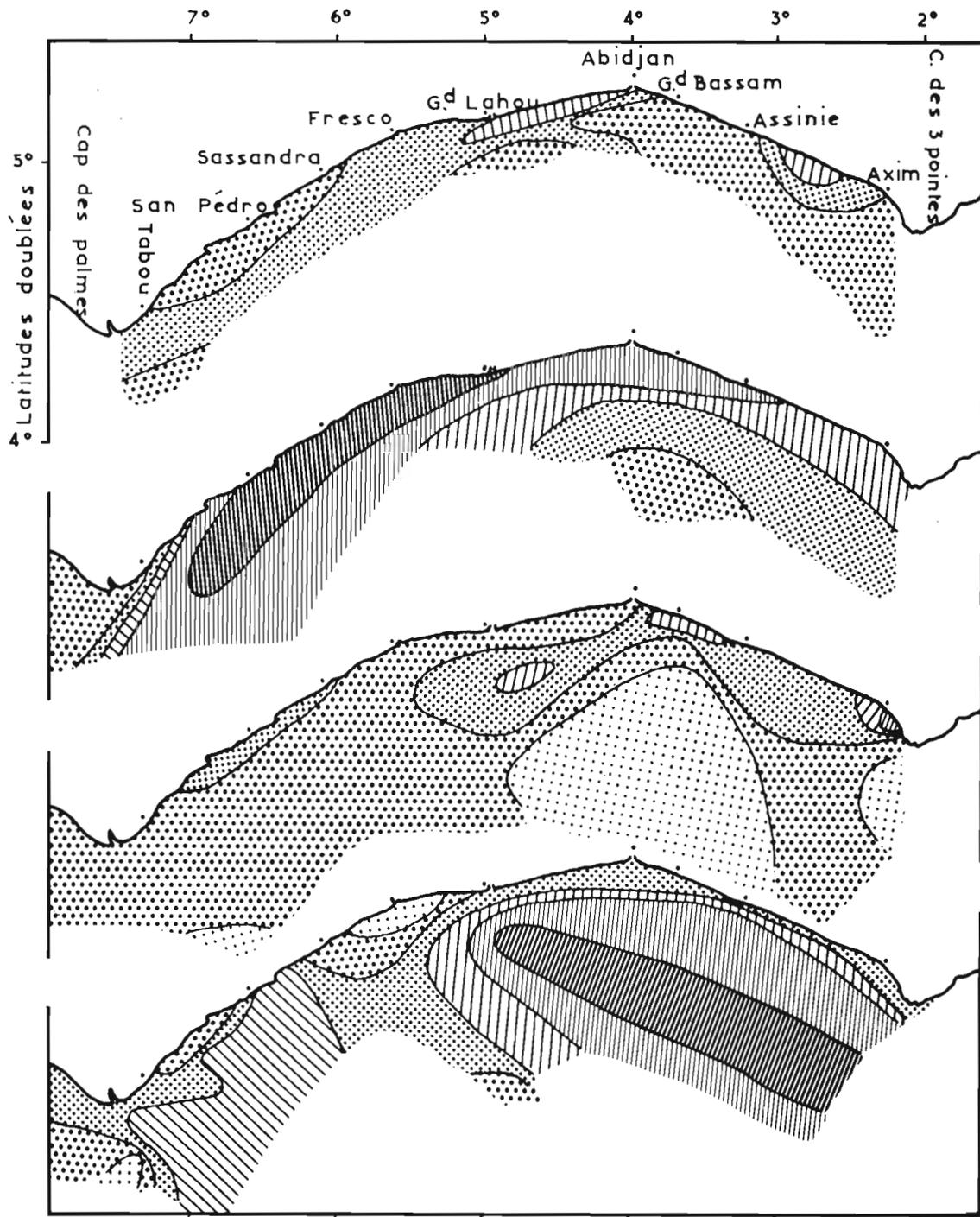


Figure 5 : PK 12 du 10 au 15 août 1970

L'upwelling de grande saison froide est installé. Son activité est modérée et les concentrations atteintes, maximales à la côte, ne dépassent pas 80 000 cellules par litre. Deux types de peuplements bien séparés suggèrent deux cellules d'upwelling : à l'ouest et à la côte, on trouve des espèces d'eau froide néritiques (groupe III) ; à l'est et au large, des espèces également caractéristiques des upwellings, mais plus océaniques et apparaissant en général plus tard. (groupe IV)

Figure 6 : - PK 13 du 14 au 18 septembre 1970

La distribution du phytoplancton durant cette période illustre bien le mécanisme de l'upwelling : les eaux de surface sont transportées vers le large et vers l'est, et le développement du phytoplancton accompagne leur déplacement. Le maximum de phytoplancton se trouve entre des eaux jeunes à développement rapide à l'ouest et des eaux qui vieillissent et s'appauvrissent lentement à l'est.

Figure 7 : - PK 14 du 12 au 16 octobre 1970

L'upwelling de grande saison froide a totalement cessé et le golfe est occupé par des eaux très mélangées et assez pauvres, où l'on trouve dans les peuplements des traces d'upwelling (groupes III et IV), d'eaux guinéennes (groupe II), et d'apports terrigènes (groupes V et VI).

Figure 8 : -PK 15 du 9 au 14 novembre 1970

La composition du phytoplancton est très proche de celle de PK 14, et les répartitions sont très voisines. On remarque seulement, depuis PK 14, un appauvrissement général, les concentrations observées ne dépassant pas 5 000 cellules par litre.

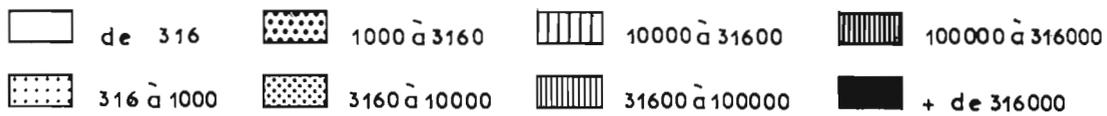
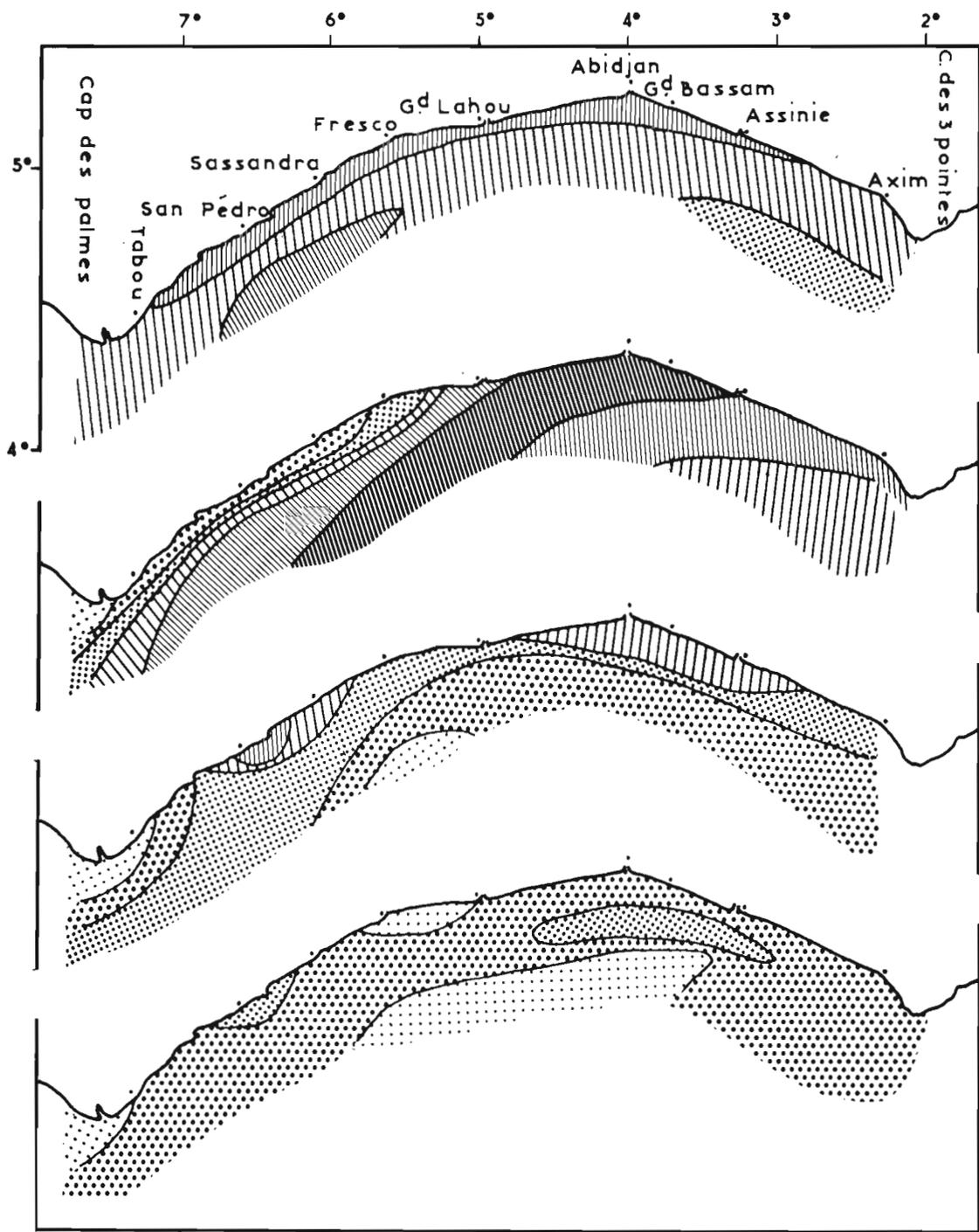


Figure 9 : - PK 16 du 14 au 18 décembre 1970

Les apports terrigènes conditionnent nettement la composition des populations au cours de cette croisière : les groupes V et VI dominent en effet sur toute l'étendue du golfe, mais on note aussi l'apparition d'espèces du groupe VIII qui arrivent avec les eaux tropicales. Les concentrations sont faibles et le maximum vers l'est est typique de la dynamique des apports terrigènes, le développement n'intervenant qu'après le mélange de ces apports avec l'eau de mer.

Figure 10 : - PK 18 du 2 au 4 mars 1971

Les eaux tropicales océaniques pauvres ont envahi le golfe où les enrichissements en sels nutritifs se font très peu sentir.

Figure 11 : - PK 19 du 5 au 9 avril 1971

On observe là encore des eaux tropicales pauvres dans tout le golfe, où une bande plus pauvre sur les fonds de 60 m pourrait correspondre à une convergence.

Figure 12 : - PK 20 du 3 au 7 mai 1971

Les caractères dominants sont les mêmes que pour les deux précédentes campagnes, les concentrations restant toujours faibles. On note toutefois la présence en quantité un peu plus importante de cellules des groupes V et VI qui indiquent des apports terrigènes correspondant au début de la saison des pluies.

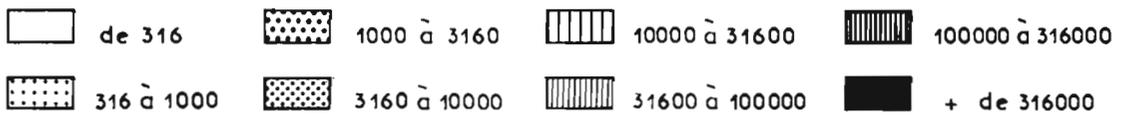
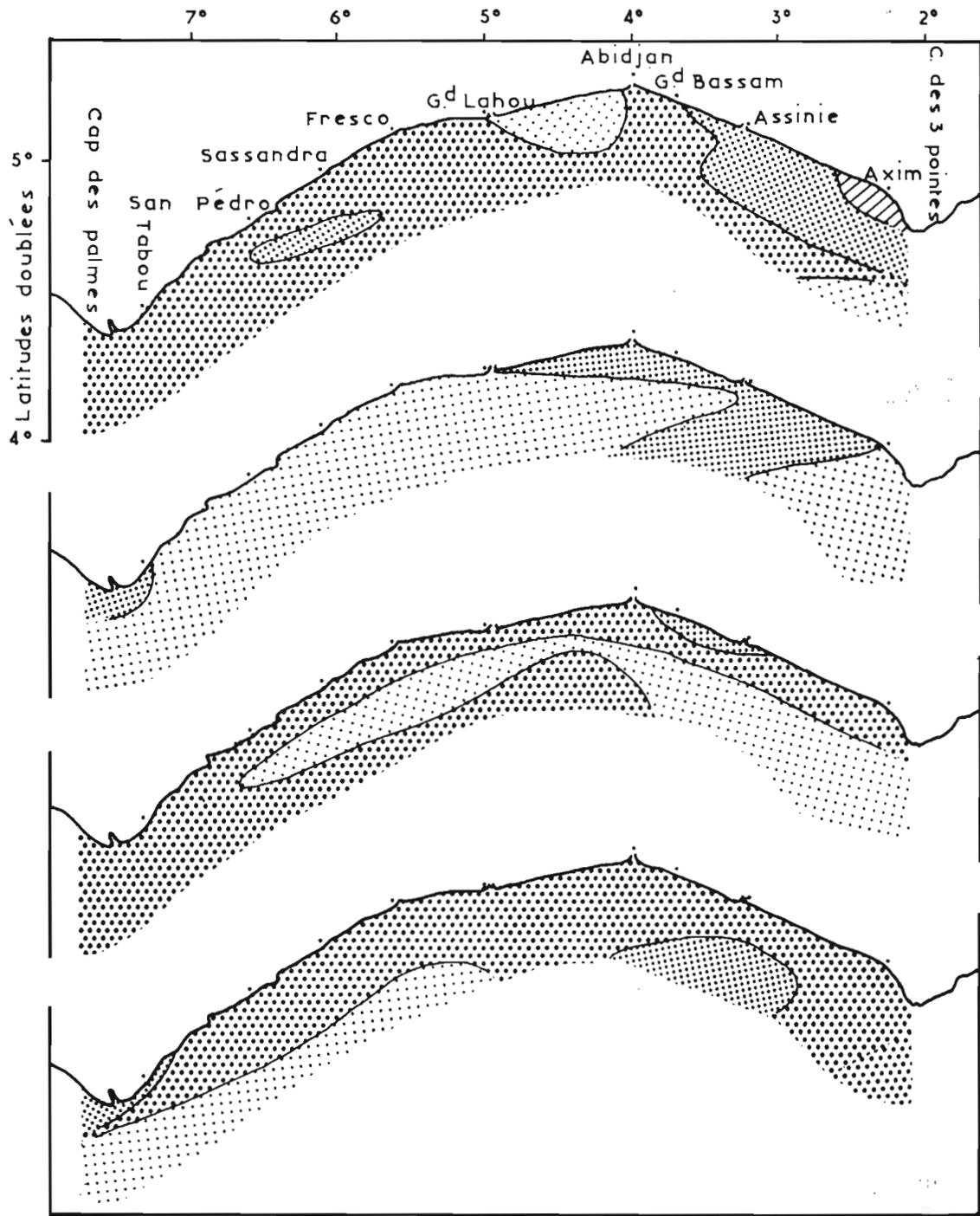


Figure 13 : - PK 21 du 7 au 12 juin 1971

Les eaux sont toujours pauvres et dominées par des algues du genre *Trichodesmium*, caractéristiques des eaux tropicales. Une bande pauvre, continue, sur les fonds de 200 m, pourrait correspondre à une convergence, mais on s'explique mal, alors, pourquoi les *Trichodesmium*, qui vivent surtout en surface, ne s'y trouvent pas concentrés. Une divergence conviendrait mieux, bien que les effets enrichissants n'en soient pas observés nettement de part et d'autre.

Figure 14 : - PK 22 du 26 au 31 juillet 1971

L'upwelling de grande saison froide a débuté mais n'est qu'en partie responsable de la poussée de phytoplancton observée à cette campagne. Les eaux de surface, dont la température va de 24,5° à 26,5°, sont peu salées et correspondent à un mélange d'eaux d'upwelling avec des eaux de pluies. Ces dernières sont responsables de la dominance des groupes V et VI dans les populations. Enfin, le transport vers le large est très faible.

Figure 15 : - PK 23 du 23 au 28 août 1971

Les températures basses dans tout le golfe sont le résultat d'une très grande activité de l'upwelling. Le transport vers le large est intense, et, sur le plateau continental, les eaux, très jeunes n'ont pas eu dans la plupart des cas le temps d'évoluer. Le développement du phytoplancton, très rapide, se manifeste à des moments différents selon les endroits. Il s'en suit une répartition très contrastée et très désordonnée où, à l'ouest, une tendance aux eaux rouges se concrétise devant Grand-Lahou.

Figure 16 : - PK 24 du 27 septembre au 2 octobre 1971

Les températures de surface très basses (MORLIÈRE et REBERT, 1972) correspondent à des eaux riches en sels nutritifs ; le phytoplancton n'est abondant qu'à la côte, où, peut-être, une branche côtière de l'upwelling permet un développement dans la zone d'observations. Plus au large, les eaux sont entraînées vers le sud où elles doivent donner naissance à des blooms très importants.

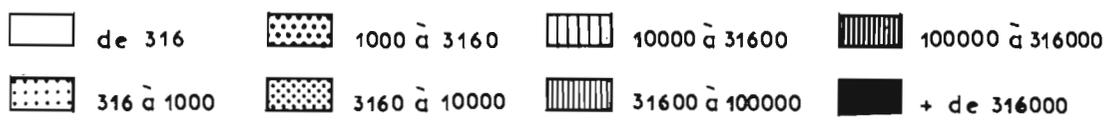
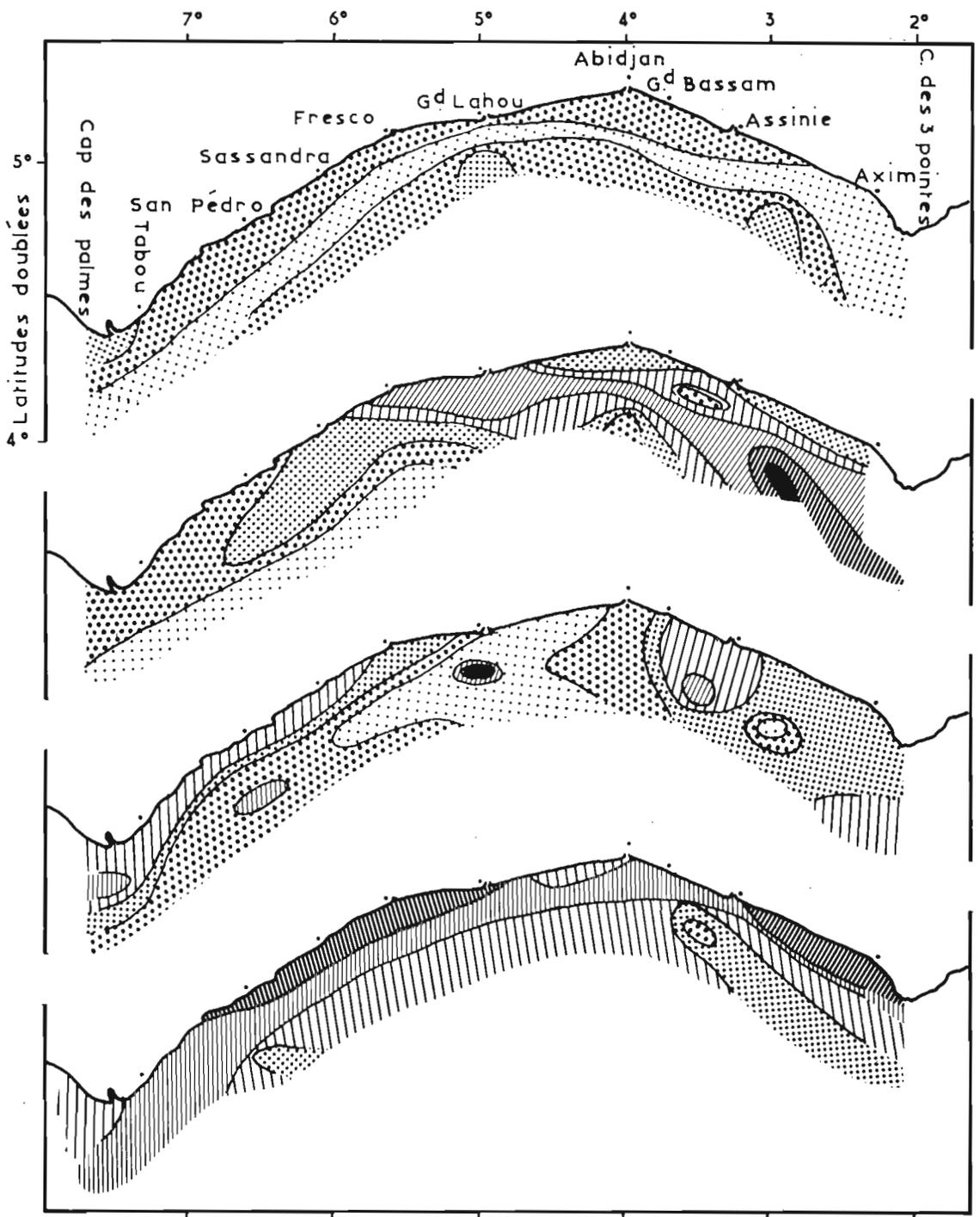


Figure 17 : - PK 25 du 16 au 25 novembre 1971

L'hypothèse la plus vraisemblable pour expliquer cette répartition est une divergence sur les fonds de 200 mètres à l'ouest, donnant, vers l'est et vers le nord, des populations plus riches après développement. Ces populations sont dominées par les algues du groupe III. A l'est, les eaux sont pauvres.

Figure 18 : - PK 26 du 3 au 8 janvier 1972

Les eaux sont très pauvres, particulièrement dans la zone centrale. A l'ouest une zone plus riche et peuplée de cellules des groupes V et VI correspond probablement à des apports terrigènes, tandis qu'à l'est les cellules du groupe IV, dominantes mais en faible concentration, sont des vestiges d'un upwelling.

Figure 19 : - PK 27 du 7 au 11 février 1972

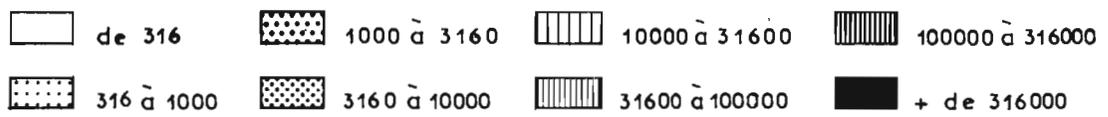
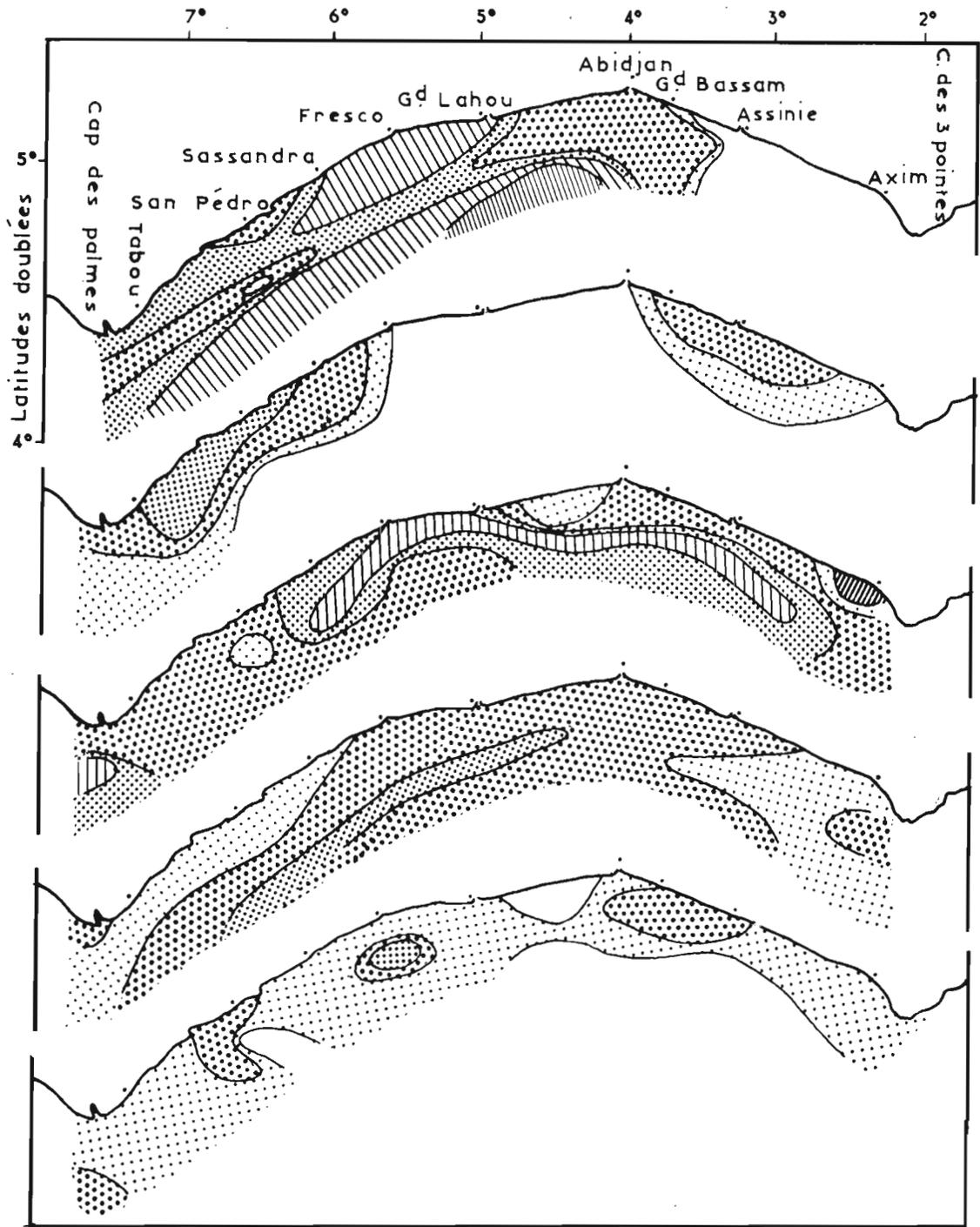
Un upwelling dans la moitié ouest du golfe a permis le développement du phytoplancton, principalement des espèces des groupes III et IV. L'upwelling ayant cessé, la zone riche se trouve rassemblée le long d'une convergence sur le plateau continental, et s'éloigne vers l'est.

Figure 20 : - PK 28 du 6 au 11 mars 1972

Dans la partie ouest du golfe, un accroissement des concentrations vers l'est et en s'éloignant de la côte suggère l'existence d'un mouvement d'upwelling. Toutefois, les concentrations en microplancton restent faibles, et bien qu'il y ait une majorité de cellules du groupe III à l'ouest, puis du groupe IV à l'est, comme dans les situations d'upwelling, l'intensité des remontées d'eau est faible ou commence à peine, et cette période s'apparente à la saison chaude.

Figure 21 : - PK 29 du 13 au 18 avril 1972

Les concentrations en phytoplancton très faibles sur l'ensemble du golfe, et la dominance des algues du groupe VIII correspondent à l'avancée des eaux tropicales. C'est une situation typique de saison chaude.



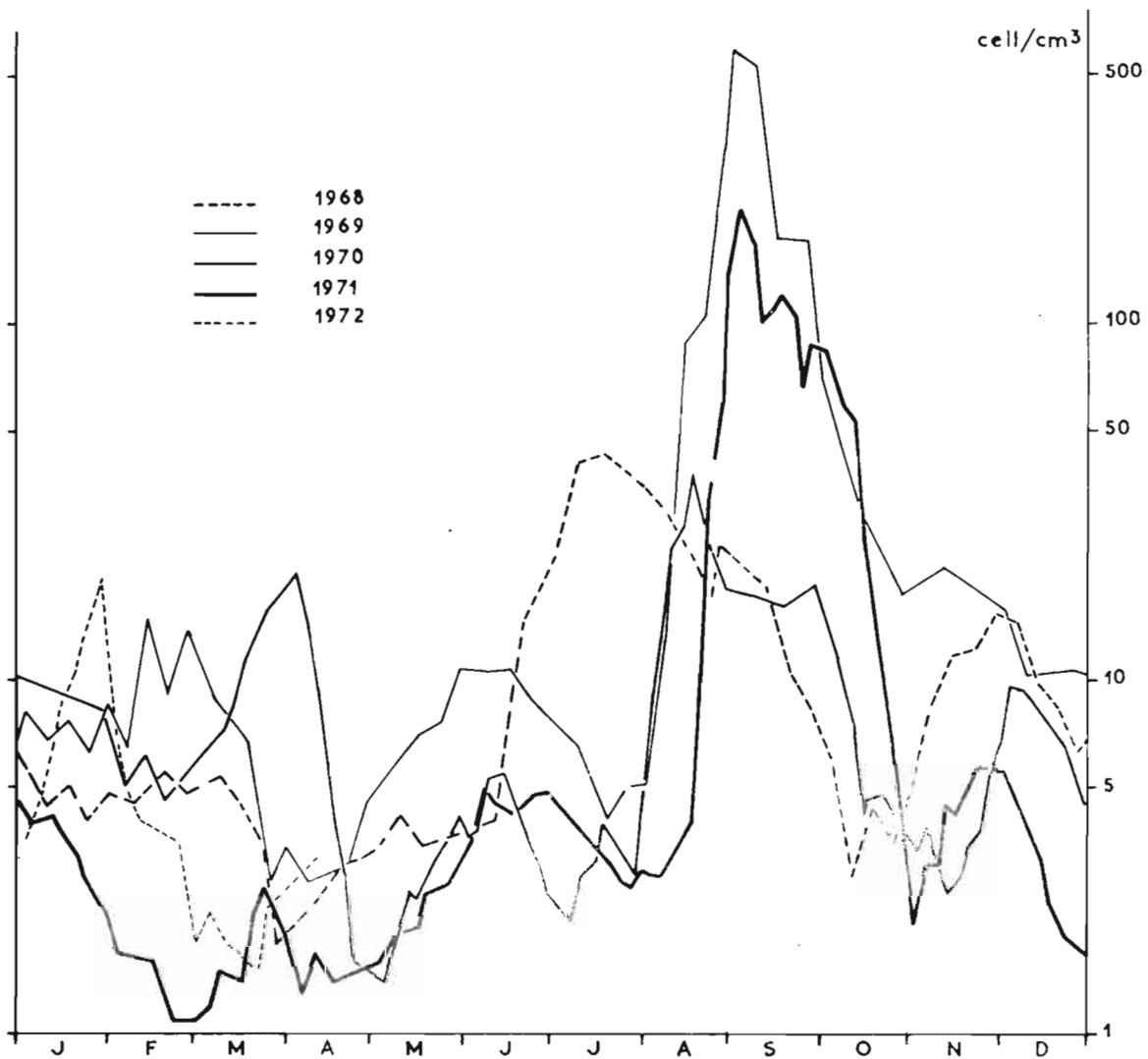


Figure 22 : Variations de la teneur en microplancton en surface à la station côtière d'Abidjan de janvier 1968 à avril 1972 (lissage par moyenne géométrique sur cinq points).

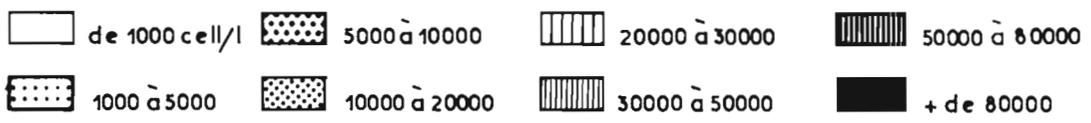
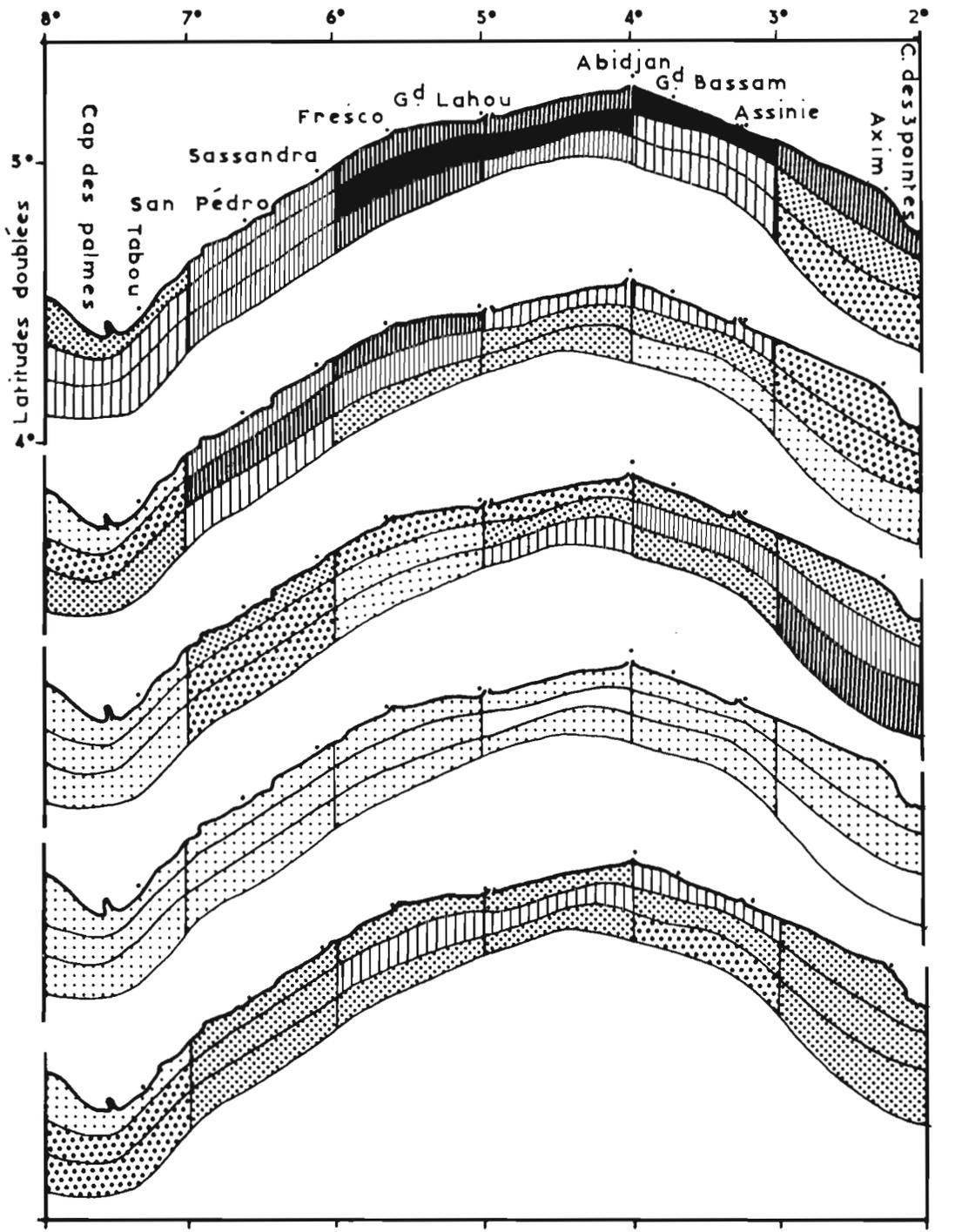
La PK 23 présente un exemple remarquable de la difficulté de l'étude des upwellings : les zones riches y sont réparties en taches réduites, différentes dans leurs peuplements. Le transport vers le large est si intense que le développement n'a pas partout eu le temps de se produire. Là où il a eu lieu, on trouve des taches très riches en phytoplancton, dont les dimensions ne peuvent pas être précisées. Le modèle suivant peut être avancé pour décrire et expliquer cette situation : une masse d'eaux juvéniles est portée en surface où elle reçoit de la lumière ; le développement du plancton se fait au cours de cette dérive vers le large, mais il n'a lieu que si l'eau de mer contient des germes aptes à déclencher ce développement ; ces germes peuvent être des cellules d'espèces diverses, sur lesquelles, lors de ces phases de démarrage, les apports terrigènes, même à l'état de traces, jouent un grand rôle. On conçoit alors facilement, vu le caractère aléatoire de la répartition de ces germes, que le développement des eaux d'upwelling se fasse d'une manière aussi difficile à observer. Par la suite, probablement, ces taches se rejoignent, et, les conditions étant malgré tout assez uniformes, une espèce, ou un groupe d'espèces, finit par dominer les autres, mais ceci se passe loin de la côte et a échappé aux campagnes PK.

La figure 23 représente les concentrations moyennes observées aux PK 12, 13, 23 et 24, sur le plateau continental. On y voit que les concentrations croissent puis décroissent d'ouest en est, conformément à une remontée d'eau à l'ouest et à un transport vers l'est par le courant de Guinée, aboutissant à des eaux plus mûres qui forment, au Cap des Trois Pointes avec les eaux de l'upwelling du Ghana, un front, étudié par BAUDIN-LAURENCIN et REBERT (1970). La zone la plus riche est la zone centrale, de Sassandra à Abidjan, mais la dérive vers le large apparaît peu : les changements qui ont lieu sur le plateau continental constituent par rapport à la grande saison froide des cas particuliers très divers. Lors des saisons froides intenses, les phénomènes les plus amples se déroulent probablement plus au large.

Petites saisons froides :

Les refroidissements qui se produisent pendant la grande saison chaude découlent d'un mécanisme assez complexe ; MORLIERE et REBERT (1972) les décrivent comme des upwellings dûs à des renforcements des vents de sud-ouest. Beaucoup plus réduits que celui de grande saison froide, ils ne donnent pas lieu à des développements phytoplanctoniques comparables ; les blooms de petite saison froide sont plus limités dans l'espace et le temps. De plus, leur brièveté, et le temps nécessaire au phytoplancton pour épuiser les

- Figure 23 : - Conditions moyennes de grande saison froide (PK 12-13-23-24). Les concentrations sont élevées au centre et à l'ouest, succédant à la zone de remontée des eaux lors du transport vers l'est qui s'accompagne d'un appauvrissement et d'un rapprochement de la côte vers le Cap des Trois Pointes.
- Figure 24 : - Conditions moyennes de petite saison froide (PK 9-25-27). Les concentrations sont moins élevées qu'en grande saison froide, et l'appauvrissement et le rapprochement de la côte vers l'est se font sentir dès 5°W.
- Figure 25 : - Conditions moyennes de saison de décharge (PK 10-11-14-15-16-22). L'enrichissement par les apports terrigènes se fait d'une manière dispersée, en fonction des débouchés de lagune et de rivières, et le développement du phytoplancton a tendance à se faire au large, et à l'ouest, après mélange avec l'eau de mer.
- Figure 26 : - Conditions moyennes de saison chaude (PK 8-19-20-21-26-28-29). Les eaux pauvres recouvrent uniformément le plateau continental où les enrichissements par l'eau profonde ou les apports terrigènes sont très réduits.
- Figure 27 : - Concentrations moyennes annuelles en microplancton en surface. Sur toute une année, les différences ont tendance à s'estomper. La zone centrale (de 3° à 6°W) apparaît plus riche du fait principalement de la grande saison froide qui y provoque les plus fortes concentrations. La région du Cap des Palmes est la seule à rester pauvre en toute saison.



sels nutritifs à sa disposition, font qu'ils ne coïncident pas avec les petites saisons froides hydrologiques. Les situations décrites ici comme résultant d'une petite saison froide n'ont donc pas obligatoirement été observées pendant un refroidissement hydrologique. Les PK choisies comme se rattachant à ces saisons sont les PK 9, 25 et 27 (figure 2, 17 et 19).

La PK 25 ne présente pas des concentrations en phytoplancton très élevées, et sa position au mois de novembre, peu propice aux upwellings (MORLIERE, REBERT 1972) n'en fait pas un bon exemple de petite saison froide. Toutefois, la dominance des cellules du groupe III, et une remontée des isothermes dans l'ouest, justifient ce choix. Mais par les populations en place, cette campagne s'apparente beaucoup à la grande saison froide de 1971 qui a pris fin une vingtaine de jours auparavant.

La PK 27 au contraire, est bien typique : survenant à la fin de l'important refroidissement de janvier 1972, elle montre un développement caractéristique des cellules du groupe IV dans la majeure partie du golfe. La zone la plus riche se déplace entre la côte et les fonds de 200 m, de Sassandra à Assinie. Il n'y a pas, ou peu, de transport vers le large, et l'ouest du golfe est pauvre : c'est là en effet que les eaux froides arrivent en surface et le développement n'a pas eu le temps de s'y produire.

La PK 9 a eu lieu à la fin d'un refroidissement, et on y observe les populations en place dans l'eau qui s'est réchauffée lors de son passage en surface. Les concentrations en phytoplancton y sont très importantes le long de la côte, dont elles ne se décollent qu'à l'extrême ouest où il y aurait eu un léger transport vers le large. Les populations de phytoplancton y ont un caractère particulier : ce sont en effet les cellules du groupe VIII qui ont bénéficié de la quasi totalité de l'apport de sels nutritifs. Ce groupe, habituellement d'eau tropicale chaude, salée et pauvre, domine en fin de saison chaude comme c'est le cas au mois d'avril, mais sous forme de peuplements très clairsemés. En avril 1970, ce groupe qui occupait les eaux du golfe, a donc été le bénéficiaire de l'upwelling, les espèces qui le composent n'ayant pas eu à entrer en compétition avec celles des groupes III ou IV.

La figure 24 montre les conditions moyennes pour ces trois campagnes : les concentrations sont beaucoup moins élevées qu'en grande saison froide, et le maximum se trouve plus à l'ouest, la source de l'upwelling étant plus limitée ; de plus, comme les températures y sont supérieures à celles de grande saison froide, le développement et le vieillissement des populations y sont plus rapides. Une légère dérive vers le large apparaît entre 6° et 7° W, zone d'upwelling maximum. La répartition des stations couvre bien la zone intéressée par ces refroidissements et en donne une

assez bonne description.

Ces petites saisons froides sont plus ou moins fréquentes d'une année à l'autre, et maintiennent par leurs suites les eaux de grande saison chaude à un niveau nutritif satisfaisant ; lorsqu'elles manquent pendant une longue période, comme en 1971, des eaux très pauvres s'installent sur le plateau continental, et les conséquences biologiques sur les niveaux ultérieurs de la chaîne alimentaire peuvent être importantes.

Les saisons de décharge :

Se traduisant par un léger pic juste avant l'upwelling de grande saison froide, ou, en novembre-décembre, par un maximum comparable à ceux causés par les refroidissements de janvier, l'effet des apports terrigènes apparaît d'autant plus mal que, comme il a été dit ci-dessus, les saisons thermiques et phytoplanctoniques ne coïncident pas et qu'il est difficile d'affirmer qu'il n'est pas dû à un upwelling. Cependant, très important en juin-juillet 1968 en l'absence de refroidissement, cet effet est apparu comme une explication possible. La confirmation a été fournie par l'étude d'association entre espèces (DANDONNEAU, 1971) d'où se dégagent nettement deux groupes (V et VI) très liés l'un à l'autre, et se développant dans des eaux chaudes et dessalées. Ces groupes, qui apparaissent en proportion importante au moment des saisons de pluies ou de crues, et provoquent des poussées phytoplanctoniques, se composent principalement de diatomées du genre Chaetoceros (C.; affine, C. didymum, C. lacinosum, C. compressum, C. lorenzianum, C. socialis) ; les diatomées Skeletonema tropicum, Bellerochea malleus, et Cerataulina pelagica, y apparaissent aussi très souvent.

Les débouchés des rivières et des lagunes sont distribués le long de la côte à une certaine distance les uns des autres, et les décharges sont interrompues au moment des marées montantes. La distribution du phytoplancton pendant les saisons de décharge est donc probablement très morcelée. D'autre part, surtout en juillet, cette saison se mêle à la grande saison froide qui débute. Très souvent donc le golfe ivoirien n'est pas dans son ensemble sous l'influence d'une saison de décharge. Toutefois, les PK 10, 11, 14, 15, 16 et 22 (figure 3, 4, 7, 8, 9, et 14) ont été considérées comme dominées par les apports terrigènes, le plus souvent à cause de la présence en abondance des groupes phytoplanctoniques V et VI dans les parties les plus riches du golfe.

Les PK 11 et 22 se sont déroulées fin juillet en eau froide ; le début de la grande saison froide a eu lieu une semaine auparavant

d'après la station côtière d'Abidjan, et ce délai est trop faible pour expliquer les fortes concentrations en phytoplancton dans la partie est du plateau continental. De plus, les groupes V et VI y sont bien représentés. Ces campagnes décrivent donc vraisemblablement des blooms de phytoplancton dûs aux apports terrigènes de saison des pluies, et repris par l'upwelling qui relance leur développement.

La PK 10 correspond aux premières pluies de mai-juin 1970. Les PK 14, 15 et 16 aux crues des rivières et aux pluies de la petite saison des pluies.

La figure 25 montre les conditions moyennes pour ces six campagnes. On y remarque que les secteurs les plus riches sont à l'est et décollés de la côte. Les eaux douces qui arrivent en mer ne sont pas propices, en effet, à un développement planctonique : trop différentes de l'eau de mer, elles doivent d'abord s'y mélanger, et perdre une partie de la très forte turbidité qui limite la pénétration lumineuse et la photosynthèse. Le développement intervient donc au large, où se fait le mélange, et à l'est, où les apports terrigènes sont entraînés par le courant de Guinée.

Les saisons chaudes :

D'octobre à juin, elles constituent le cas général, entrecoupées par les petites saisons froides et par les saisons de décharge. Elles se caractérisent avant tout par leur pauvreté, et aussi par la présence des algues des groupes II et VIII. Le groupe II comprend principalement des Ceratium (C. trichoceros, C. marseilleense, C. candelabrum, C. macroceros, C. breve, C. gibberum, C. schmidtii) et les espèces Dinophysis caudata et Chaetoceros coarctatum ; il est surtout abondant en octobre-novembre-décembre, lors de la dessalure. Les eaux tropicales salées, qui s'installent de janvier à juin, sont, elles, caractérisées par le groupe VIII auquel il convient d'ajouter le genre Trichodesmium, qui peut proliférer en surface. Le groupe VIII comprend des Ceratium (C. cariense, C. pentagonum, C. extensum, C. teres), des Ornithocercus (O. magnificus, O. quadratus, O. steinii), les espèces Amphisolenia bidentata et Podolampas palmipes ; les diatomées sont représentées par Hemiaulus indicus (responsable du bloom observé à la PK 09), Chaetoceros dadayi, et les Rhizosolenia R. cylindrus et R. styliformis longispina.

Les PK 8, 18, 19, 20, 21, 26, 28, et 29 représentaient des situations de saison chaude. On y note quelques zones plus riches, variables d'une PK à l'autre, et dont la cause est le plus souvent des apports terrigènes très localisés.

La figure 26 traduit bien l'uniformité et la pauvreté de cette saison qui a été particulièrement longue et soutenue en 1971.

DISCUSSION

REYSSAC (1970), dépeint les variations du phytoplancton en Côte d'Ivoire comme soumises à un régime très simple, caractérisé par deux saisons froides, l'une intense pendant l'hiver austral, l'autre plus brève en janvier-février, qui provoquent deux pics de production primaire. Une multiplication des observations dans le temps, à la station côtière d'Abidjan, a donc permis de préciser le cycle annuel que l'on peut schématiser comme suit :

- En janvier, un upwelling s'exerce pendant une quinzaine de jours et provoque une poussée de phytoplancton de petite saison froide.

- A la fin de cet upwelling, les eaux tropicales pauvres envahissent le golfe ivoirien. C'est la saison chaude la plus marquée, et elle dure jusqu'en juin.

- Cette saison chaude est en général interrompue plusieurs fois par des petites saisons froides, de période et de durée variables.

- En juin, les pluies provoquent une saison de décharge caractérisée par une poussée d'un type particulier qui répond aux apports terrigènes.

- De juillet à octobre, l'upwelling de grande saison froide est accompagné par les développements de phytoplancton les plus importants.

- D'octobre à décembre une saison chaude ramène des eaux pauvres.

- Durant cette même période, une ou plusieurs saisons de décharges, correspondant aux pluies et aux crues des rivières, déclenchent de petites poussées de production primaire.

La multiplication des observations dans l'espace grâce aux campagnes PK a permis de comprendre et de délimiter ces phénomènes. La figure 27 montre la répartition moyenne annuelle du microplancton sur le plateau continental. Les différentes formes d'enrichissement s'y unissent pour donner un tout relativement homogène d'où ressort seulement la pauvreté du secteur à l'ouest de 7° W, et la richesse du secteur compris entre 3° W et 6° W. Ces valeurs ne concernent que la surface. Cependant, DANDONNEAU (en préparation) montre que les valeurs des paramètres en profondeur y sont liées.

La quantité de microplancton dans la couche euphotique est fournie par celle de surface à l'aide de l'équation de régression.

$$y = 900x + 10\ 500 \text{ avec } r = 0,83$$

où y est le nombre de cellules par cm^2 , et x le nombre de cellules par cm^3 en surface, d'après les données de la station côtière et d'une radiale jusqu'aux fonds de 200 m. Le coefficient de corrélation r est très élevé, et l'allure de la carte (figure 27) ne serait donc pas changée si elle représentait les valeurs pour toute la couche euphotique, à la place de celles de surface.

Une très grossière approximation de la productivité primaire peut être fournie par une étude de régression : les résultats obtenus en 1968 (DANDONNEAU et MENARD, 1969) permettent le calcul de l'équation de régression suivante :

$$y = 4,25 \log x + 1,68 \text{ avec } r = 0,47$$

où y représente la productivité primaire en surface en $\text{mg}/\text{m}^3/\text{h}$ et x la quantité de microplancton en surface en cellules/ cm^3 .

Une autre équation de régression calculée d'après les profils de production in situ publiés par REYSSAC (1970), et couvrant une année dans des conditions assez variées donne :

$$y = 12,4 x + 17,8 \text{ avec } r = 0,63$$

où y est la production par m^2 et par heure et x la production par m^3 et par heure en surface.

Les deux coefficients de corrélation, 0,47 et 0,63, sont peu élevés. Toutefois, on peut penser que, sur des moyennes à l'échelle d'une année, ils autorisent le calcul d'un ordre de grandeur.

Ces deux équations permettent donc de passer des teneurs en cellules par litre en surface, à la productivité en surface puis à la productivité par m^2 . Considérant que les conditions d'éclairément sont bonnes de 07 h à 17 h on obtient la production quotidienne par mètre carré en multipliant par 10.

La figure 27 peut alors être interprétée comme la carte de répartition des moyennes annuelles de production par mètre carré et par jour, en portant dans la légende les valeurs 386, 756, 913, 1075, 1166, 1281, et 1387 $\text{mg C}/\text{m}^2/\text{jour}$ à la place de 1000, 5000, 10 000, 20 000, 30 000, 50 000 et 80 000 cellules par litre.

On voit que les moyennes annuelles de production varient de 386 à 1 166 $\text{mg C}/\text{m}^2/\text{jour}$. REYSSAC (1970) trouve à la station côtière 500 $\text{mg C}/\text{m}^2/\text{jour}$. Dans le secteur correspondant (4 à 5° W, fonds de 30 m) on trouve ici 913 à 1 075 $\text{mg C}/\text{m}^2/\text{jour}$, c'est-à-dire des valeurs nettement plus élevées. Il faut y voir sans doute, l'effet d'incubations courtes (1 à 2 heures) qui évitent la chute de la productivité que l'on observe en prolongeant les expériences au delà d'un certain seuil (BARNETT et HIROTA, 1967),

et peut-être aussi aux variations que l'on observe d'une année à l'autre.

Les valeurs moyennes estimées dans cet article sont proches de celles publiées par MAHNKEN (1969) pour EQUALANT I en juillet-août dans la même région, et inférieures aux données non publiées de la station côtière de Pointe Noire au Congo (DUFOUR, communication personnelle).

Une correction devrait être apportée pour passer de la répartition du microplancton à celle de la production primaire ; on sait en effet (MARGALEF, 1958) que, au cours de l'évolution d'une masse d'eau, le maximum de productivité précède celui de la teneur en cellules. Comme en Côte d'Ivoire, les eaux vieillissent au cours de leur transport d'ouest en est par le courant de Guinée, et en considérant comme exacts les résultats obtenus entre 4 et 5° ouest (où ont eu lieu les observations qui ont servi au calcul des régressions), il est probable que les quantités de carbone fixées par mètre carré et par jour sont sous-estimées à l'ouest de 5° W et surestimées à l'est de 4° W ; mais ceci ne doit pas modifier d'une manière importante le bilan à l'échelle de tout le golfe ivoirien.

CONCLUSION :

Les eaux du golfe ivoirien sont donc, en moyenne, relativement riches. Des données homogènes manquent sur la côte d'Afrique pour les situer avec précision, mais on peut penser qu'il s'agit d'un secteur productif entre les eaux moins riches du Libéria, et celles, pauvres, du fond du golfe de Guinée. Les variations saisonnières y ont une très grande amplitude (1 à 30 en moyenne) et, excepté la grande saison froide, sont irrégulières. Il peut être plus important pour l'étude des stocks pélagiques de surveiller la fréquence des enrichissements par upwelling ou décharge que de chiffrer l'intensité de la grande saison froide dont la production pléthorique sédimente sur le fond. A cet effet, maintenant que le mécanisme de saisons a été précisé par les campagnes PK, il est important de conserver des observations rapprochées à une station de référence ; la station côtière d'Abidjan, qui a permis de situer les campagnes PK par rapport aux phénomènes qui s'y déroulaient, remplit très bien ce rôle. Les observations qui y sont faites peuvent, en tenant compte des résultats des campagnes PK, être étendues à tout le plateau continental du golfe ivoirien.

BIBLIOGRAPHIE

- BARNETT, A. M. & HIROTA, J. (1967) - Changes in the apparent rate of ^{14}C uptake with length of incubation period in natural phytoplankton populations. *Limnol. and Oceanogr.*, 12 (2), pp. 349-353.

- BAUDIN LAURENCIN, F. & REBERT, J. P. (1970) - La pêche thonnière à Abidjan de 1966 à 1969. Doc. Scient. CRO Abidjan, 1 (1), pp. 37-61.
- DANDONNEAU, Y. (1970) - Un phénomène d'eaux rouges au large de la Côte d'Ivoire causé par *Gymnodinium splendens* Lebour. Doc. Scient. CRO Abidjan, 1 (1), pp. 11-19.
- DANDONNEAU, Y. (1971) - Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. I/- Groupes d'espèces associées. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., 9 (2), pp. 247-265.
- DANDONNEAU, Y. (en préparation) - Etude 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.
- DANDONNEAU, Y. & MENARD, H. (1969) - Résultats des observations effectuées sur le phytoplancton du plateau continental de Côte d'Ivoire. Doc. Scient. Prov. CRO Abidjan, 12 p.
- LORENZEN, C. J. (1967) - Determination of Chlorophyll and Phaeopigments : spectrophotometric equations. *Limnol. and Oceanogr.*, 12 (2), pp. 343-346.
- MAHNKEN, C. V. W. (1969) - Primary organic production and standing stock of zooplankton in the tropical atlantic ocean EQUALANT I and II. *Bull. of Mar. Sc.*, 19 (3), pp. 550-567.
- MARGALEF, R. (1958) - Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton - Perspectives in marine biology, pp. 323-349 - Univ. California Press.
- MARGALEF, R. (1963) - Modelos simplificados del ambiente marino para el estudio de la sucesion del fitoplancton y del valor indicador de sus pigmentos. *Inv. Pesq.*, 2^o, pp. 11-52.
- MORLIERE, A. & REBERT, J. P. (1972) - Etude hydrologique du plateau continental ivoirien. Doc. Scient. CRO Abidjan, 3 (2), pp. 1-30.
- REYSSAC, J. (1970) - Phytoplancton et production primaire au large de la Côte d'Ivoire. *Bull. IFAN*, 23, ser. A, n^o 4, pp. 869-981.