# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE EN ZONE TROPICALE ET SUBTROPICALE DE L'ATLANTIQUE NORD

# par B. WAUTHY\* et J. LE BOURHIS †

#### Résumé

Durant l'élé 1964, le « N. O. Coriolis », après son lancement en France, effectua une croisière d'essai, baptisée « Equalant », dont l'ilinéraire est présenté fig. 1.

Les données physiques (fig. 3, 4, 5, 6) nous permettent de décrire une circulation superficielle analogue à celle déjà connue (fig. 2). Les teneurs en phosphore inorganique montrent un contraste en « fertililé potentielle » entre eaux côtières et eaux du large. La fig. 9 montre qu'en été la fertilité de la région entre l'archipel du Cap Vert et la côte africaine est due à l'influence du Courant des Canaries.

Les distributions verticales de la chlorophylle  $\alpha$  et de la production primaire sont représentées fig. 19, 20 et 21. Ces distributions ainsi que la distribution horizontale dans les couches 0-50 m et 0-100 m (fig. 10, 12, 13 et 15) montrent que le contraste existant entre les eaux côtières et les eaux du large (fig. 16) est très réduil pour la couche 0-100 m, à cause de l'épaississement de la couche photosynthétique au large (fig. 11 et 14).

Les mesures de production primaire « in situ » ont conduit à des valeurs relativement basses de l'indice de productivité  $[(mgC) (h)^{-1}(mg chl_a)^{-1}, table 3]$  qui pourraient être expliquées par la couverture nuageuse lors de la croisière. Les valeurs de production primaire de l'ordre de 0.10 à 0.20 g  $C/m^2/$ jour mesurées en été pendant la croisière devraient donc être considérées comme un minimum absolu pour la région.

#### Abstract

During summer 1964, «N.O. Coriolis», just launched in France, sailed to Dakar, undergoing trials; the track of this cruise, named « Equalant », is shown in fig. 1.

Physical data (fig. 3, 4, 5, 6) allow us to depict a surface circulation much like that classically known (fig. 2). Inorganic phosphorus data show a contrast in « potential fertility » between the coastal and the open areas. Figure 9 is intended to demonstrate that, in summer, the fertility of the area between Cap Vert archipelago and the african coast is caused by the spreading of the Canary Current.

<sup>\*</sup> Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

The vertical distributions of chlorophyll a and primary production are given in fig. 19, 20 and 21. From these, together with the horizontal distributions in the 0-50 m and 50-100 m layers (fig. 10, 12, 13 and 15) it can be seen that, although the contrast did exist between coastal and open areas (see also fig. 16) it is very reduced for the 0-100 m layer, owing to the thickening of the photosynthetic layer in the open (fig. 11 and 14).

The « in situ » measurements for primary production lead to rather low values of the « productivity index »  $[(mgC) (h)^{-1}(mg chla)^{-1}, table 3]$ ; an explanation could be tentatively found in the overcast weather during the cruise. Consequently, the range 0.10-0.20 g  $C/m^2/day$  fpund during the cruise for primary production in summer, should be taken as an absolute minimum for the area.

## INTRODUCTION

Durant la période d'essais qui suivit le lancement du « *Coriolis* », navire océanographique destiné au Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, Nouvelle-Calédonie, plusieurs croisières de mise au point ont été entreprises. La dernière a été effectuée en Atlantique tropical oriental nord du 8/6/64 au 24/7/64 et baptisée « *Equalant* ». L'itinéraire de la croisière ainsi que la position des stations et la nature des mesures effectuées ont été portés sur la fig. 1.

— Après un rappel du schéma de la circulation superficielle la plus probable en été, une étude hydrologique de la situation telle que nous l'avons observée sera esquissée.

— Les méthodes et les résultats des mesures de la production primaire seront ensuite abordés.

- En conclusion un essai d'interprétation de la production primaire en fonction des données physico-chimiques sera tenté.

## 1. SITUATION HYDROLOGIQUE SUPERFICIELLE DE LA RÉGION EN ÉTÉ 1964.

1.1. — Rappel du schéma de la circulation superficielle la plus probable. Figure 2. Les principales sources utilisées sont le Morskoi Atlas, SVERDRUP et al. (1942) et ROUCH (1948).

1.1.1. — Au nord, entre les Açores et l'Espagne, subsiste un transport diffus d'eau vers le sud, reste des diverses branches du Courant Atlantique Nord, parmi lesquelles on peut distinguer :

— une branche qui a quitté le Courant Atlantique Nord dès le franchissement de la chaîne sous-marine médiane et passe sur les Açores ;

— une branche qui a continué vers l'Est et est entrée dans le Golfe de Gascogne ; elle double le Cap Finisterre et constitue le Courant du Portugal dont une partie entre en Méditerranée.

1.1.2. — Le long de la côte africaine le transport NE-SW donne naissance au courant des Canaries qui, bien individualisé au Cap Juby, est encore marqué à la hauteur du Cap Blanc d'où il s'étale en éventail : une partie de ce courant fournit les eaux de surface entre les îles du Cap Vert et la côte.

Au Sud, ces eaux viennent buter sur le Contre-Courant Équatorial, ce qui provoque de petits contre-courants portant au nord le long de la côte.

1.1.3. — Au large, entre les îles du Cap Vert et 22°N, le reste du Courant des Canaries alimente, plus à l'ouest, le Courant Équatorial Nord.

Entre 22°N et les Açores circulent les eaux les plus «Sargassiennes» de la bordure sud du Courant Atlantique Nord.







Figure 2. — Courants de surface. Été. D'après le «Morskoi Atlas».

## 1.2. — Situation hydrologique d'après les mesures du « Coriolis ».

La routine des mesures physico-chimiques pendant cette croisière portait sur la température, la salinité, le pH, l'alcalinité, l'oxygène dissous et la teneur en phosphate inorganique, à vingtquatre niveaux, de la surface à 3 000 m.

Les figures 3, 4, 5, 6, 7 et 8 représentent respectivement la salinité en surface, la température en surface, les topographies dynamiques de la surface et à 100 m par rapport à 1 000 m et les teneurs en phosphate en surface et à 100 m.

La situation observée concorde dans son ensemble avec le schéma attendu pour la saison considérée et permet de préciser certains détails :

1.2.1. - Au Nord, les eaux qui sortent du golfe de Gascogne et doublent le Cap Finisterre ont des caractéristiques rappelant leur origine nord-atlantique (température basse,  $<18^{\circ}$ C; salinité faible,  $<35.80^{\circ}/_{00}$ ; richesse relative en phosphate >0.20 atg/1); le tracé des isothermes (fig. 4) pratiquement parallèles à la côte, et les courants géostrophiques (fig. 5) traduisent l'existence d'un transport NS : c'est le courant du Portugal. Ces eaux repoussent les eaux plus chaudes, plus salées et moins riches en phosphate de la branche plus méridionale du Courant Atlantique Nord qui passe sur les Açores.

1.2.2. - A l'Ouesl, entre les Açores et la station 30 (24°N) pénètrent des eaux plus franchement centre-atlantiques; elles sont très salées (>37,00 °/00) chaudes (>22°C), pauvres en phosphate (<0.20 atg/1) et leur influence se fait sentir en surface jusqu'aux Canaries et jusqu'à Madère comme le montre le tracé de l'isotherme 20°C (fig. 4) et la remontée de l'isoligne 36,50 °/00 (fig. 3); cette influence apparaît même à 100 m à la station 2 d'après les teneurs en phosphate (fig. 8) et la topographie dynamique à 100 m (fig. 6). Les topographies dynamiques mettent en évidence une amorce de transport WE des eaux de surface en direction de Gibraltar.

1.2.3. — Le long de la côte africaine, nos stations nous ont seulement permis d'observer le débouché du Courant des Canaries à la hauteur du Cap Blanc.

Ce courant serait alimenté en partie par des eaux profondes amenées en surface par « upwelling » le long des côtes marocaines, eaux caractérisées par une salinité faible, une température basse et une richesse relative en phosphate (SVERDRUP et al, 1942; ROUCH, 1948).

Ces caractéristiques sont conservées jusqu'au Cap Blanc où le courant s'étale en éventail et couvre la zone délimitée par la station 30, les îles du Cap Vert et Dakar. Cette disposition en éventail apparaît nettement dans la distribution de la salinité et du phosphate en surface (fig. 3 et fig. 7) ; le tracé de l'isotherme 20° (fig. 4) atteste l'importance de l'impact du courant froid sur les eaux chaudes du large ; les topographies dynamiques (fig. 5 et 6) indiquent des flux en accord avec les courants superficiels observés et mettent bien en évidence la présence d'un contrecourant nord près de la côte, entre Dakar et le Cap Blanc ; ce contre-courant est formé des eaux du courant des Canaries qui butent au sud sur les eaux d'origine équatoriale ; une partie seulement de ces eaux « Canariennes » s'échappe directement entre la station 30 et l'archipel du Cap Vert et alimente plus à l'ouest le Courant Équatorial Nord.

1.2.4. - Au Sud donc, les eaux de surface originaires du Courant des Canaries viennent buter sur les eaux très chaudes (>25°C) peu salées (<36,00 °/oo) et moins riches en phosphate du Contre Courant Équatorial. Les isothermes perpendiculaires à la côte et le gradient méridien très fort (fig. 4) illustrent bien cet effet de barrage. La richesse relative en sels nutritifs des eaux superficielles de la région comprise entre l'archipel du Cap Vert et la côte africaine pose le problème de son origine. En effet, la présence à faible profondeur (moins de 50 m en moyenne) d'une surface de discontinuité peut limiter sérieusement la contribution des eaux riches sous-jacentes par diffusion ou turbulence verticale. En fait, l'examen des distributions horizontales montre que la concentration en phosphate décroît vers le Sud en surface (fig. 7) et vers le Nord à 100 m (fig. 8);



Figure 3. Salinité en surface, en º/oo.



Figure 4. Température en surface, en °C.



Fig. 5. — Topographie dynamique en surface par rapport à 1 000 m. Espacement des isolignes : 5 cm.



Fig. 6. — Topographie dynamique à 100 m par rapport à 1 000 m. Espacement des isolignes : 5 cm.



Fig. 7. — Phosphate inorganique en surface, en mAtg/m<sup>3</sup>.



Fig. 8. — Phosphate inorganique à 100 m, en mAtg/m<sup>3</sup>.



Fig. 9. — Distributions verticales de la densité et des teneurs en phosphate inorganique dans la couche 0-200 m entre les Canaries et Dakar.

il y a donc un enrichissement des eaux de surface par advection venant du nord. La figure 9 qui représente la distribution verticale des teneurs en phosphate et de la densité pour la couche 0-200 m le long de la côte précise ce point ; du fait de la turbulence cyclonique dont le centre est à la station 9 et de la discontinuité très marquée et peu profonde aux stations 10 et 12, il apparaît clairement que la source d'enrichissement des eaux au-dessus de la surface de discontinuité est à la station 8 ; l'inversion du phosphate à cette station montre que cette source est indépendante des couches profondes.

Il semble que nous puissions donc avancer que la richesse relative de cette région était due, à l'époque de notre croisière, au courant des Canaries.

# 2. ÉTUDE SUR LA PRODUCTION PRIMAIRE

Cette étude a porté sur l'évaluation de la biomasse végétale «instantanée » par mesure des teneurs en pigments d'une part et sur son évolution dans le temps par mesure du taux de fixation du carbone sous forme organique d'autre part.

# 2.1. — Méthodes.

2.1.1. — Pigments. La méthode de RICHARDS-THOMPSON (1952) a été utilisée dans son principe et les équations révisées par PARSONS-STRICKLAND (1963) retenues pour les calculs; les détails d'application de cette méthode pouvant présenter quelque intérêt sont les suivants :

- prélèvement de 08.00 à 10.00 TL,

— filtration sur deux filtres millipore HA d'échantillons d'une vingtaine de litres sous une dépression de 0.3 à 0.5 kg/cm<sup>2</sup>,

— extraction à l'obscurité et à la température ambiante par l'acétone à 90 % pendant 24 heures,

- enregistrement des spectres d'absorption sur un Beckman DB en cuves de 1 cm de trajet optique,

— lecture des extinctions optiques sur les enregistrements,

— correction de turbidité par soustraction de la lecture à 750 m $\mu$ ; la turbidité relative D750/D665 était en moyenne de 0,05 et ne dépassait 0,10 que dans 21 % des cas,

- correction d'absorption propre des deux filtres aux différentes longueurs d'onde utilisées.

2.1.2. — Fixation du carbone. Nous avons suivi la méthode de STEEMAN-NIELSEN (1952). Les ampoules de CI4 ainsi que le matériel de comptage de la radioactivité retenue sur les filtres nous ont été fournis par le C.S.I.R.O., Australie. Nous n'avons utilisé que l'incubation «in situ»; le prélèvement des échantillons se faisait généralement vers 06.00 TL ; deux flacons clairs et un flacon opaque étaient ensuite placés dans une « chaussette » de filet à larges mailles que l'on renrenvoyait à la profondeur du prélèvement correspondant pour une durée de 5 heures (07.00 TL à 12.00 TL en moyenne). Nous avons souvent obtenu des fixations à l'obscurité élevées qui n'ont pas été retenues ; une correction moyenne de 40 cpm tirée des échantillons donnant des fixations basses a été appliquée dans tous les cas.

## 2.2. — Résultats.

Les résultats sont consignés dans le tableau 1 ; on y trouve, par station et par niveau, la teneur en chlorophylle a en mg/m<sup>3</sup>, les rapports des chlorophylles  $b^*$  et c à la chlorophylle a, le

<sup>\*</sup> Les rapports b/a ne sont donnés qu'à titre indicatif et ne seront pas utilisés dans l'interprétation compte tenu de la signification douteuse de la chlorophylle b ainsi déterminée.



Fig. 10. — Chlorophylle a dans la couche 0-50 m, en mg/m<sup>2</sup>.



Fig. 11. — Chlorophylle a dans la couche 0-100 m, en mg/m<sup>2</sup>.



Fig. 12. — Chlorophylle a dans la couche 50-100 m en % de la chlorophylle a dans la couche 0-100 m.



Fig. 13. — Production primaire dans la couche 0-50 m, en mgC/m<sup>2</sup>/jour.



Fig. 16. — Valeurs en surface du rapport D430/D665.



Fig. 14. — Production primaire dans la couche 0-100 m, en mgC/m<sup>2</sup>/jour.



Fig. 17. — Valeurs du rapport D430/D665 pour l'ensemble de la croisière.



Fig. 15. — Production primaire dans la couche 50-100 m en % de celle de la couche 0-100 m.



chl c/chl a pour l'ensemble de la croisière. rapport des densités optiques à 430 et 665 m $\mu$  des extraits acétoniques et la fixation de carbone organique en mg/m<sup>3</sup>/hr<sup>\*</sup>. Lorsque des faibles teneurs en chlorophylles *b* ou *c* ont conduit à des rapports à la chlorophylle *a* inférieurs à 0,1, ces derniers ont été remplacés par des croix. Dans le tableau 2 figurent les estimations des quantités en mg/m<sup>2</sup> de chlorophylle *a* et de carbone fixé par journée de 10 heures, pour les couches 0-20 m, 20-50 m, 50-100 m, ainsi que les pourcentages de ces valeurs (entre parenthèses) par rapport aux valeurs 0-100 m ; ces estimations ont été obtenues par planimétrie à partir des profils tracés pour chaque station.

Les valeurs du rendement photosynthétique exprimées en mg de carbone fixé par heure et par unité de chlorophylle a sont portées dans le tableau 3.

La répartition géographique des quantités par m<sup>2</sup> dans les couches 0-50 m et 0-100 m est donnée figures 10 et 11 pour la chlorophylle a, figures 13 et 14 pour la production primaire. Les figures 12 et 15 présentent en outre les quantités par m<sup>2</sup> pour la couche profonde 50-100 m en % des quantités dans la couche 0-100 m.

La figure 16 donne la répartition des valeurs de surface du rapport D430/D565 ; les figures 17 et 18 présentent les relations entre les pigments, respectivement entre les caroténoïdes et la chlorophylle a et entre la chlorophylle c et la chlorophylle a. Quatre profils types des teneurs en chlorophylle a et des quantités de carbone fixé par photosynthèse sont présentés figure 19 ; deux stations ne se rattachent pas à l'un de ces types : la station 8 et la station 5, dont les profils sont donnés respectivement figure 20 et figure 21.

## 2.3. — Commentaires.

#### 2.3.1. — Distributions verticales.

Bien qu'assez disparates sur l'ensemble de la croisière, les profils des distributions verticales de la chlorophylle a et de la production primaire aux différentes stations peuvent être groupés par régions. Ce groupement a conduit à établir des profils types qui sont donnés figure 19; chaque profil a été établi à partir des moyennes des mesures des stations incluses.

Le Type 1 (stations 12, 18, 20, 22) caractérise la région délimitée par le Cap Blanc, les îles du Cap Vert et Dakar ; la faible épaisseur de la couche superficielle isotherme commande la répartition verticale des variables étudiées et on trouve le maximum de production vers 30 m, au-dessus du maximum de chlorophylle a qui se situe vers 40 m ; ce dernier correspond à une accumulation des phytoplanctes au niveau de la surface de discontinuité.

Le Type 3 (stations 25, 27, 29) est caractéristique des eaux centre-atlantiques; l'extension de la couche euphotique est importante par suite de la faible teneur des particules en suspension; la production primaire décroît lentement de la surface au fond; la chlorophylle a présente un maximum profond, situé au-dessous de 80 m.

Le type 2 (stations 14, 16, 24) fait la transition entre les types 1 et 3, son maximum de chlorophylle étant vers 50 m.

Le type 4 (stations 41, 43, 45, 47) caractérise la radiale entre les Açores et le golfe de Gascogne ; le profil de chlorophylle a est marqué par une augmentation progressive de la surface à un maximum vers 60 m, tandis que l'activité photosynthétique soutenue dans les quarante premiers mètres décroît assez brusquement en-dessous de 50 m.

<sup>(\*)</sup> Bien que la raison d'être d'une station « in situ » soit la mesure approchée de la production réelle par jour et non par heure, nous avons calculé un taux horaire moyen pour disposer d'une base de comparaison, même imparfaite.



chlorophylle <u>a</u> mg/m<sup>3</sup>
+---+ production primaire mgC/m<sup>3</sup>/h

Fig. 19. — Profils-types de la chlorophylle *a* et de la production primaire caractérisant certaines régions de la zone étudiée.





## 2.3.2. Distributions horizontales.

Elles précisent l'opposition déjà esquissée par l'examen des distributions verticales entre les eaux du large, pauvres en phytoplancton et les eaux plus côtières, relativement riches. L'influence des eaux sortant du golfe de Gascogne et l'enrichissement dû au courant des Canaries sont bien marqués.

En ce qui concerne la chlorophylle a, le contraste est bien apparent dans la couche 0-50 m (figure 10) ; la station la plus riche (station 8) a une teneur huit fois plus forte que celle des stations pauvres (stations 33 et 37). Si l'on considère la couche 0-100 m (figure 11) ce contraste s'atténue du fait de l'augmentation, au large, de l'épaisseur de la couche euphotique ; la figure 12 montre qu'il y a tendance à l'accumulation de la chlorophylle a en-dessous de 50 m aux stations du large.

La production primaire offre pour sa part une distribution analogue : si dans la couche 0-50 m (figure 13) les stations riches sont trois fois plus productives que les stations du large, l'extension considérable de la couche photosynthétique à ces dernières stations (figure 15) fait que sur l'ensemble de la croisière la fixation du carbone inorganique ne varie que de 0,10 à 0,20 gC/m/<sup>2</sup>jour pour la couche 0-100 m (figure 14).

#### 2.3.3. Rapports quantitatifs entre les différents pigments.

2.3.3.1. Chlorophylle c/chlorophylle a: la faible précision obtenue sur les valeurs de la chlorophylle c aux teneurs rencontrées jette un doute sérieux sur la signification de ce rapport; nous avons cependant porté dans la figure 18 les valeurs trouvées aux différents niveaux pour l'ensemble de la croisière; ces valeurs sont en majorité inférieures à l'unité; les valeurs supérieures à l'unité se trouvent surtout dans les vingt premiers mètres ou en profondeur, à partir de 100 mètres. Il est à remarquer qu'à la station 8, riche en pigments, on trouve un rapport c/a très homogène, voisin de 0,7, pour toute la couche 0-100 m (tableau 1).

2.3.3.2. Caroténoïdes/chlorophylle a : selon MARGALEF (1961) le rapport D430/D665 des densités optiques des extraits acétoniques des pigments du phytoplancton aux longueurs d'onde 430 et 665 mµ serait un indice caractéristique de la composition taxonomique et de l'état physio-logique de la population considérée. Cet indice serait faible pour une population jeune à quelques espèces dominantes se développant vigoureusement dans une eau « neuve », et croîtrait au fur et à mesure de l'évolution de cette population vers un stade où de nombreuses espèces faiblement représentées végètent dans une eau « usée ».

En l'absence d'étude qualitative sur la composition taxonomique des populations rencontrées et en l'absence de déterminations des teneurs en nitrates qui peuvent indiquer une déficience en azote, toute interprétation de la signification possible de ce rapport à chaque station est exclus. Pour l'ensemble de la croisière, les valeurs par niveau ont été portées figure 17; il semble que les valeurs les plus superficielles soient plus élevées que celles qui correspondent au maximum de la chlorophylle a et que l'importance de la chlorophylle a diminue à partir de 100 m; il n'est pas impossible qu'il y ait là un indice supplémentaire de l'existence de conditions défavorables en surface.

Il est toutefois intéressant de signaler quelques cas particuliers.

— à la station 8, station riche en pigments, le rapport D430/D665 est faible, voisin de 4, et constant pour toute la couche 0-100 m (figure 20).

— par contre, la station 5 montre dans les 30 premiers mètres un phytoplancton peu productif dont les valeurs D430/D665 sont élevées, diminuant de la surface jusqu'au niveau de l'accumulation de la chlorophylle a pour croître à nouveau en profondeur (figure 21).

Enfin, à l'échelle de la croisière, il semble que les fortes valeurs superficielles du rapport D430/D665 soient associées aux eaux du large les plus pauvres, en opposition avec les eaux plus côtières relativement riches où les rapports sont en général faibles (figure 16).

#### 2.3.4. Rendement photosynthétique.

En l'absence de mesures de la pénétration de la lumière il est difficile d'interpréter les rapports des quantités de carbone organique produit par la photosynthèse aux quantités de chlorophylle *a* correspondantes.

L'examen du tableau 3 montre cependant que le rendement décroît en moyenne avec la profondeur : cela s'explique d'une part par l'atténuation de la lumière et d'autre part par l'adaptation des phytoplanctes des couches subsuperficielles à la faible luminosité par accroissement de leur teneur en chlorophylle a. Mais les rendements en général plus élevés dans la couche 0-20 m que dans la couche 20-50 m qui reflètent l'absence d'inhibition de la photosynthèse en surface, attendue en zone tropicale (STEEMAN NIELSEN, 1957), impliquent que l'intensité lumineuse en surface ait été faible au cours de cette croisière ; de fait, toute la croisière s'est déroulée sous un ciel complètement couvert, ce qui peut en outre expliquer que les rendements obtenus aient été inférieurs à ceux trouvés par SUSHCHENYA et FINENKO (1965) pour des échantillons de surface incubés à la lumière solaire directe.

#### 2.3.5. Production primaire dans la zone prospectée.

Nous avons essayé de comparer nos résultats à ceux obtenus lors de quelques croisières antérieures en des points voisins de nos stations :

Croisières du *Discovery*, de l'Atlantis et du *Crawford* (DT02, A247, CR10 et CR16 dans IGY Oceanography Report Number 4, 1961),

Croisière de la Galathea (Galathea Report 1957),

Croisière du Michael-Lomonosov (Sushchenya et Finenko 1964 et 1965).

-- A 40°N les résultats du Crawford en octobre 1957 (stations 0245, 0247, 0249) correspondaient à des quantités de chlorophylle a de l'ordre de 22 à 30 mg/m<sup>2</sup> entre la surface et 100 mètres, contre 17 à 28 mg/m<sup>2</sup> pour le *Coriolis* (stations 39, 41, 43, 45). Le long du méridien 25°W entre 18°N et 35°N les résultats du *Discovery* en octobre (stations 3594, 3595, 3596) et décembre (station 3639) 1957, et ceux de l'*Atlantis* en février 1959 (stations 5763, 5766) correspondaient à des quantités de chlorophylle a de l'ordre de 14 à 31 mg/m<sup>2</sup> contre 12 à 26 mg/m<sup>2</sup> pour le *Coriolis* (stations 25, 27, 29, 31, 33, 37).

Dans la région influencée par le Courant des Canaries les résultats du *Discovery* correspondaient en octobre 1957 à 98,5 mg/m<sup>2</sup> (station 3587) avec une teneur en surface égale à 0,90 mg/m<sup>3</sup>; la teneur en surface mesurée en août 1963 par le Michael Lomonosov (station 2) était égale à 1,09 mg/m<sup>3</sup>. A la station la plus riche du *Coriolis* (station 8) dans cette région la teneur en chlorophylle  $\alpha$  en surface était égale à 1,00 mg/m<sup>3</sup> et la quantité de chlorophylle entre la surface et 100 m était égale à 54 mg/m<sup>2</sup>.

Les résultats des croisières citées ayant été obtenus avec application des formules de RICHARDS-THOMPSON (1952) doivent être minorés de 30 % (WAUTHY, LE BOURHIS, 1966) pour pouvoir être comparés aux teneurs en chlorophylle a du *Coriolis* obtenues par application des formules de PARSONS-STRICKLAND. La distribution horizontale observée pour la chlorophylle a concorde donc avec ces résultats antérieurs.

En outre, des calculs effectués à partir des résultats de ces croisières ont montré l'analogie des profils de distribution verticale de la chlorophylle a: tendance à l'accumulation dans la couche 50-100 m au nord de 45°N et à l'ouest d'une ligne Canaries-Iles du Cap Vert, richesse relative de la couche 0-50 m par rapport à la couche 50-100 m à l'est de cette ligne.

— Les valeurs de production primaire obtenues au cours de la croisière du N. O. *Coriolis* sont comprises entre 0.088 et 0,187 grammes de carbone fixé par mètre carré et par jour entre la surface et 100 mètres.

#### B. WAUTHY ET J. LE BOURHIS

A 40°N les valeurs du *Coriolis* étaient de l'ordre de 0,135 à 0,153 gC/m<sup>2</sup>/jour alors que les estimations de production du Crawford en octobre 1957 étaient de l'ordre de 0,180 à 0,200 gC/m<sup>2</sup>/ jour (stations 0245, 0247, 0249), et celles de la Galathéa de 0,11 gC/m<sup>2</sup>/j en juin 1952 (station 768). Le long du méridien 25°W entre 18°N et 35°N les valeurs du *Coriolis* étaient de l'ordre de 0,088 à 0,137 gC/m<sup>2</sup>/j entre la surface et 100 mètres, alors que les estimations de production étaient de l'ordre de 0,11 à 0,23 gC/m<sup>2</sup>/j pour le *Discovery* en octobre (stations 3594, 3595, 3596) et décembre (station 3639) 1957. En novembre 1957 les estimations de production du Crawford à 16°N étaient de 0,220 et 0,290 gC/m<sup>2</sup>/j (stations 0280 et 0283) alors que les valeurs du *Coriolis* en des stations voisines (22 et 24) étaient 0,170 et 0,133 gC/m<sup>2</sup>/j.

Il semble donc que les évaluations de production *in situ* du *Coriolis* aient été dans l'ensemble inférieures aux estimations de production antérieures, établies à partir d'incubation artificielle. Le contraste est plus accusé encore dans la région influencée par le Courant des Canaries où la valeur de la production pour la station la plus productive (station 8) du *Coriolis* était de 0,187 gC/m<sup>2</sup>/j, alors que les estimations de la Galathéa en novembre 1950 étaient de 0,67 et 0,56 gC/m<sup>2</sup>/j (stations 4 et 5), et que Sushchenya et Finenko citent une valeur record de 3,5 gC/m<sup>2</sup>/j.

Il semble que le niveau peu élevé de la production puisse être attribué aux conditions météorologiques défavorables lors de cette croisière : sur les 16 stations « in situ » effectuées, 9 se sont déroulées sous un ciel complètement couvert, les autres ne bénéficiant que d'un temps très nuageux. D'après STEEMAN NIELSEN (1957), les variations de l'intensité lumineuse dues à la couverture nuageuse n'auraient que peu d'effet sur la production par unité de surface ; mais les courbes présentées par SUSHCHENYA et FINENKO (1965) laissent penser que cet effet a été nettement sousestimé.

#### 3. CONCLUSION

L'analyse hydrologique succincte de la région où s'est déroulée la croisière « Equalant » du *Coriolis* en été 1964 montre que l'échauffement des eaux superficielles avait conduit à une situation nettement stratifiée isolant ces dernières des eaux profondes. Dans ces conditions la production primaire de ces eaux est faible, par suite de leur épuisement en sels nutritifs dû à leur activité photosynthétique antérieure ; tout apport de sels nutritifs augmente sensiblement le niveau de la production comme en témoignent l'influence des eaux sortant du golfe de Gascogne et l'intrusion du Courant des Canaries au large du Cap Blanc. Ce courant est responsable de la richesse relative des eaux de surface entre les îles du Cap Vert et la côte de Mauritanie, du moins à cette période de l'année.

Le contraste très net entre les eaux côtières riches et les eaux du large pauvres s'atténue sensiblement si l'on considère les productions par unité de surface, du fait de l'extension considérable de l'épaisseur de la couche euphotique des eaux du large.

Le niveau de production 0,10-0,20 gC/m2/j pour l'ensemble de la région, estimé à partir des mesures « in situ » effectuées au cours de cette croisière, semble inférieur aux estimations d'autres auteurs, en particulier pour la région influencée par le Courant des Canaries ; la forte couverture nuageuse au cours de cette croisière pourrait expliquer ces faibles productions mesurées « in situ ».

#### Références

- DOTY (M. S.) and CAPURRO (L. R. A.), 1961. Productivity measurements in the World Ocean. IGY Oceanography Report nº 4.
- MARGALEF (R.), 1959. Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivité, composition taxonomique et propriétés dynamiques des populations. Rapp. et Proc. Verb. C.I.E.S.M.M., Vol. XV, Fasc. 2.
- NIELSEN (E.), STEEMAN, 1952. « The use of radio-active carbon for measuring organic production in the sea ». J. Cons. 18: 117.
  - and JENSEN (E. A.), 1957. «Primary production : the autotrophic production of organic matter in the oceans ». Galathea Report, Vol. 1.
- PARSONS (T. R.) and STRICKLAND (J. D. H.), 1963. « Discussion of spectrophotometric determination of marine plant pigments, with revised equation for ascertaining chlorophylls and carotenoïds ». J. Mar. Res., 21: 155-163.
- RICHARDS (F. A.) with THOMPSON (T. G.) The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. J. Mar. Res., 11 (2).
- Rouch (J.), 1948. « Traité d'océanographie physique ». Payot, Paris.
- STRICKLAND (J. D. H.), 1960. «Measuring the production of marine phytoplankton». Fish. Res. Bd. Canada, Bull. 122.
- SUSHCHENYA (L. M.) and FINENKO (Z. Z.). 1964. «On the productivity of Plankton in the tropical part of the Atlantic. Part I. Pigment concentration in plankton. Okeanologiya, 4 (5).
- , 1965. « Primary production in the tropical part of the Atlantic ». Okeanologiya, 6, 1015.
- SVERDRUP (H. U.), JOHNSON (M. W.) and FLEMING (R. H.), 1942. « The oceans, their physics, chemistry and general biology ». Prentice-Hall, Inc. New York.
- WAUTHY (B.), LE BOURHIS (J.), 1966. Considérations sur l'étude des pigments du phytoplancton marin en zone tropicale oligotrophe. *Cah. ORSTOM*, sér. Océanogr., vol. IV, nº 4.

# TABLEAU 1

Z	chl a	$\frac{\operatorname{chl} b}{\operatorname{chl} a}$	$\frac{\mathrm{chl}\ c}{\mathrm{chl}\ a}$	D430 D665	mgC/h/m³
Station 05		14/6/6	4	l 28	 3º30N-18º15W
0 5 10 20 30 50 75 100	0,23 0,32 0,23 0,29 0,13 0,55 0,43 0,26	0,8 0,8 0,5 0,1 1,1 0,8 0,3 0,6	3,62,12,20,64,31,20,80,7	15,39,46,46,04,34,24,65,5	0,064 0,080 0,060 0,047 0,059 0,158 0,084 0.075
Station 08	,,,,,	16/6/6	4	25	2º12N-18º10W
0 5 10 20 30 50 75 100	1,00 1,04 1,00 1,07 0,94 0,39 0,28	$0,1 \\ + \\ 0,1 \\ 0,1 \\ 0,1 \\ 0,2 \\ 0,1$	0,6 0,7 0,8 0,7 0,7 0,8 0,8	4,1 3,9 4,2 3,8 3,9 3,7 4,0	0,787 0,478 0,875 0,291 0,080 0,031 0,024 0,038
Station 12	· · ·	1 I I I 29/6/64 13º58I		3°58N-19°14W	
0 5 10 20 30 50 70 100	0,40 0,23 0,25 0,41 0,22 0,07 0,05	0,8 + + 0,2 0,4 0,2	2,7 + 0,4 0,9 0,9 0,2	7,7 4,1 3,6 4,8 4,5 5,1 5,5	0,270 0,121 0,204 0,161 0,611 0,008 0,000 0,000
Station 14	. I	1 30/6/6	4	18	°45N-22°07W
0 5 10 20 30 50 70 100	0,10 0,06 0,09 0,14 0,18 0,50 0,20 0,04	0,6 0,4 0,6 0,2 0,1 0,2 0,4 0,6	2,5 1,7 1,2 1,0 1,0 0,9 2,1 2,0	7,5 7,3 5,2 4,1 4,1 4,2 4,4 6,1	0,443 0,168 0,176 0,112 0,202 0,188 0,020 0,014
Station 16		1/7/64	1	14º16N-22º33W	
0 5 10 20 30 40 50 80	0,08 0,12 0,08 0,11 0,12 0,29 0,36 0,11	+ 0,2 0,2 0,1 0,4 0,5 0,4	0,2 0,6 0,5 0,5 0,5 0,6 0,9 1,0	$\begin{array}{c} 4,2\\ 3,7\\ 4,4\\ 3,3\\ 3,1\\ 4,2\\ 4,1\\ 4,6\end{array}$	0,340 0,170 0,160 0,152 0,190 0,156 0,072 0,017

Le symbole + indique des valeurs des rapports b/a et c/a inférieures à 0,1.

TABLEAU 1 (Suite)

Z	chl a	$\frac{\mathrm{chl}}{\mathrm{chl}} \frac{b}{a}$	$\frac{\operatorname{chl} c}{\operatorname{chl} a}$	D430 D665	mgC/h/m³
Station 18		2/7/6	4	15	6º23N-20º33W
0 5 10 20	0,09	+	0,7	5,0	0,357 0,188 0,235 0.130
30	0,51	0,4	0,8	4,7	0,963
40	0,40	0,5	1,0	4,1	0,187
50	0,17	0,4	1,0	4,6	0,037
70	0,06	0,2	0,8	5,0	
100	0,25	0,4	·1,0	5,4	0,000
Station 20		3/7/6	4	15	7°03N-18°54W
0	0,32	0,1	0,9	5,8	0,354
5					0,305
10	0,22	+	0,3	4,1	0,473
20	0,27	+	0,9	3,7	0,275
30	0,40	0,3	0,8 ·	3,9	0,554
40	0,33	0,4	0,9	3,8	0,204
50	0,35	0,3	0,9	3,9	0,079
70	0,55	0,2	0,7	4,9	
100	0,25	0,8	1,6	5,0	0,000
Station 22	22 4/7/64		4	17°03N-21°33W	
0	0,15	0.1	0,7	4,2	0,138
5	,	,		,	0,110
10	0,14	l +	0,3	4,4	0,187
20	0,15	0,2	0,2	5,0	0,171
30	0,17	+	0,5	3,8	0,446
40	0,76	0,2	0,5	3,5	0,220
50	0,56	0,4	0,7	3,9	0,234
70	0,09	0,3	1,0	4,8	
100	0,05	0,4	1,2	5,8	0,000
Station 24		5/7/6	4	16	6°54N-24°20W
0	0.08	+	0.1	2.7	0.140
5	- ,	1	- , -		0,160
10	0,10	0,3	1,3	5,0	0,137
20	0,11		0,2	3,6	0,217
-30	0,16	0,6	0,4	3,7	0,159
40	0,22	0,1	0,4	3,6	0,122
50	0,48	0,3	0,8	4,0	0,108
70	0,20	0,4	0,7	4,1	
100	0,09	0,4	0,9	4,1	0,022
Station 25		8/7/6	4	12	7•44N-24•54W
0	0,06	+	0,6	6,9	0,231
5					0,069
10	0,10	+	0,6	4,9	0,162
20	0,13	+	0,4	4,0	0,044
30	0,05	+	1,0	3,8	0,098
40	0,08	0,2	1,1	6,5	0,080
50	0,16	0,2	0,6	4,0	0,042
70	0,14	0,6	1,3	4,0	
100	0,12	.0,6	1,2	5,6	0,037

8

÷

Z	chl a	$\frac{\mathrm{chl} \ b}{\mathrm{chl} \ a}$	$\frac{\mathrm{chl} \ c}{\mathrm{chl} \ a}$	D430 D665	mgC/h/m³
Station 27		9/7/6	4	20	000N-25004W
0	0,07	+	0,6	4,9	0,190
5					0,146
10	0,06	+	0,2	4,8	0,163
20 20	0,06	0,3	1,2	8,4	0,137
30	0,06	+	0,6	6,7	0,115
40 50	0,00	+	0,5	5,1 5,4	0,104
50 70	0.14	+	0,5	3.9	0,000
100	0,36	0,1	0,4	2,7	0,096
Station 29		10/7/6	54	22	e16N-24•55W
0	0.10				0.140
0	0,12	0,2	1,5	2,2	0,140
					0,110
$\frac{10}{20}$					0.062
30					0,094
40	0,09	+	0,4	2,9	0,083
50	0,13	0,1	0,4	2,8	0,070
70	0,55	+	0,1	1,6	
100	0,55	+	0,2	1,5	0,083
Station 31		17/7/6	64	25	•19N-24•54W
0	0.07	0.5	2.1	13.0	
10	0,04	+	+	4,3	
20	0,05	+	0,5	3,7	
30	0,07	+	0,3	4,0	
40	0,07	+	0,3	3,5	
50	0,07	+	0,3	5,3	
70	0,08	+	0,2	3,0 2.5	
100	0,15	0,1	0,5	0,0	
Station .33		12/7/6	54	27	∘51N-24∘56W
0	0,04	0,3	1,0	8,9	
10	0,04	+	0,5	3,1	
20	0,04	+	0,5	3,4	
30	0,05	0,1	0,6	3,4	
40 50	0,00	0,0	1,5	1,0	
70	0,07		0.1	1,5	
100	0,11	- -	0,2	1,9	
Station 37		I         I         I           14/7/64         34º11N-25º10W		e11N-25°10W	
<u> </u>	0.05	0.9	1.0	20	
10	0,05	0,2 _L	1,0	२,४ ३,६	
20	0.05	・ 一 で 1	0.8	3,3	
30	0,05	+	0.6	3.7	
40	0,06	, +	0,3	3,1	
50	0,08	0,3	1,1	5,0	
70	0,30	0,2	0,8	3,8	
100	0,11	0,3	1,1 .	5,3	

TABLEAU 1 (Suite)

.

Z	chl a	$\frac{\operatorname{chl} b}{\operatorname{chl} a}$	$\frac{\operatorname{chl} c}{\operatorname{chl} a}$	$\frac{\text{D430}}{\text{D665}}$	mgC/h/m³
Station 39	l	 15/7/(	l 34	3:	l 200N-26018W
0 20 30 40 50 . 70 100	0,07 0,08 0,16 0,18 0,17 0,31 0,13	$ \begin{array}{c} 0,4 \\ + \\ 0,2 \\ 0,2 \\ 0,2 \\ 0,1 \\ 0,1 \end{array} $	1,6 0,2 0,9 0,9 0,9 0,7 0,8	$\begin{array}{c} 4,3\\ 3,3\\ 3,3\\ 3,4\\ 4,3\\ 3,8\\ 4,1\end{array}$	
Station 41	•	19/7/6	34	38	3048N-23011W
$\begin{array}{c} 0\\ 5\\ 10\\ 20\\ 30\\ 40\\ 50\\ 60\\ 80\\ 100\\ 150\\ \end{array}$	0,04 0,11 0,08 0,14 0,21 0,17 0,15 0,03	0,6 + + + 0,2 0,2 0,2 0,4 0,4	2,5 0,5 0,4 0,8 0,6 1,1 0,1	7,0 2,2 3,8 3,6 4,2 4,0 4,1 5,5	0,118 0,167 0,120 0,121 0,196 0,195 0,135 0,029
Station 43		20/7/	<b>6</b> 4	4	)°10N-20°39W
$\begin{array}{c} 0\\ 5\\ 10\\ 20\\ 30\\ 40\\ 50\\ 60\\ 80\\ 100\\ 150\\ 200\\ \end{array}$	0,08 0,07 0,09 0,13 0,29 0,31 0,10 0,02 0,02	+ + + + + + + 0,3 0,3 0,2 0,3 1,0	0,8 0,7 0,2 0,4 0,4 0,4 0,8 0,8 0,8 0,9 1,3 3,5	7,1 $3,6$ $3,5$ $3,5$ $4,0$ $4,3$ $4,2$ $4,6$ $8,0$ $4,6$	0,213 0,159 0,164 0,129 0,170 0,146 0,134
Station 45		21/7/0	54 1		41º50N-17º45W
$\begin{array}{c} 0\\ 5\\ 10\\ 20\\ 30\\ 40\\ 50\\ 60\\ 80\\ 100\\ 150\\ \end{array}$	0,07 0,21 0,26 0,13 0,22 0,41 0,32 0,11 0,02	0,2 0,8 0,7 + 0,2 0,3 0,3 0,3 0,3 0,7	0,8 2,5 2,3 0,4 0,6 0,7 0,7 0,7 0,7 2,0	3,6 1,0 1,8 4,0 4,0 3,8 3,5 3,8 4,7	0,155 0,132 0,091 0,318 0,173 0,174 0,046

TABLEAU 1 (Suite)

8----1

Z	chl a	$\frac{\operatorname{chl} b}{\operatorname{chl} a}$	$\frac{\operatorname{chl} c}{\operatorname{chl} a}$	D430 D665	mgC/h/m³
Station 47	1	22/7/6	<b>1</b> 54	45	] 9014N-15011W
0 5	0,07	0,3	1,2	3,8	0,178 0.254
10	0,07	+	0,9	3,7	0,237
20	0,09	0,2	0,8	3,8	0,220
30	0,25	+	0,7	3,8	0,170
40	0,20	+	0,7	4,0	0,124
50					0,061
60	0,42	0,2	0,8	4,2	
80	0,29	0,1	0,8	4,1	0,011
100	0,07	0,1	0,8	4,7	
150	0,02	+	0,7	3,7	
200	0,01	0,5	2,0	8,0	
Station 49	I	23/7/6			4•40N-12•17W
0	0.09	0.1	0.9	45	
10	0,05		0,5	4.5	
20	0.08	-]- _L	0,4	34	
20	0.13	- -	0,0	4.5	
40	0.11		0,4	51	
40 60	0.63	0.2	0,0	4.2	
80	0.36	0.2	1.0	47	
100	0.07	0,2	1.2	45	
120	0.07	0,2	1,~	4.8	
150	0,02	0,3	1,4	7,5	
Station 51		24/7/6	 54	46	3°23N-09°22W
	1				
0	0,08	0,6	1,3	5,5	
20	0,06	0,2	0,5	3,9	
40	0,12	0,1	0,8	3,9	
50	0,12	0,1	0,7	4,3	
60	0,25	0,1	1,0	4,5	
70	0,30	0,1	0,9	4,1	
80	0,29	0,1	0,8	4,0	
100	0,11	0,1	1,0	4,0	
			ι Ι		. <b>I</b>

•

TABLEAU 1 (Suite)

.

.

Chattian .	mgchl a/m²				mgCm²/j (10 h)			
Station	0-20 m	20-50 m	50-100 m	0-100 m	0-20 m	20-50 m	50-100 m	0-100 m
5	5,7	9,1	21,2	36	17,5	34,2	63,9	115,6
	(15.8)	(25.3)	(58,9)	(100)	(15,1)	(29,6)	(55,3)	(100)
8	19,4	22,4	12,2	54	129,0	33,7	24,6	187,3
	(35,9)	(41.5)	(22.6)	(100)	(68,9)	(18,0)	(13.1)	(100)
12	5,8 (26,4)	9,9 (45,0)	6,3 (28,6)	22 (100)	40,5 (28,3)	102,5 (71,7)	0	143,0 (100)
14	2,7	9,1 (39,6)	11,2 (48,7)	23 (100)	41,3 (30,2)	62,3 (45,6)	33,1 (24,2)	136,7 (100
16	2,8	7,3	9,9	20	42,0	54,0	25,2	121,2
	(14,0)	(36,5)	(49,5)	(100)	(34,7)	(44,6)	(21,7)	(100)
18	5,3	12,3	5,4	23	45,0	129,5	10,2	184,7
	(23.0)	(53,5)	(23,5)	(100)	(24,4)	(70,1)	(5,5)	(100)
20 .	5,3	10,9	6,8	23	70,8	90,9	21,3	183,0
	(23,0)	(47,4)	(29,6)	(100)	(38,7)	(49,7)	(11,6)	(100)
22	3,5	13,3	9,2	26	34,8	93,6	41,6	170,0
	(13,5)	(51,2)	(35,3)	(100)	(20,5)	(55,0)	(24,5)	(100)
24	2,7	7,3	12,0	22	38,5	51,7	42,6	132,8
	(12,3)	(33,2)	(54,5)	(100)	(29,0)	(38,9)	(32,1)	(100)
25	2,7	3,8	8,5	15	28,8	30,5	29,2	88,5
	(18,0)	(25,3)	(56,7)	(100)	(32,5)	(34,5)	(33,0)	(100)
27	2,1 (13,1)	3,0 (18,7)	10,9 (68,2)	$\begin{array}{c} 16 \\ (100) \end{array}$	34,6 (25,1)	45,3 (32,9)	57,7 (42,0)	137,6 (100)
29	3,0	4,1	18,9	26	22,8	32,0	47,2	102,0
	(11,5)	(15,8)	(72,7)	(100)	(22,4)	(31,4)	(46,2)	· (100)
31	1,8 (15,0)	3,2 (26,7)	7,0 (58,3)	12 (100)				
33	1,9 (15,8)	3,0 (25,0)	7,1 (59,2)	12 (100)				
37	1,9 (11,9)	3,0 (18,7)	10,1 (70,4)	16 (100)				
39	2,3 (11,5)	5,5 (27,8)	12,0 (60,7)	20 (100)				
41	2,3 (13,5)	3,9 (22,9)	10,8 (63,6)	17 $(100)$	30,4 (22,3)	61,6 (41,1)	44,6 (32,6)	136,6 (100)
43	2,2	4,8	14,0	21	35,6	51,6	48,0	135,2
	(10,5)	(22,9)	(66,6)	(100)	(26,3)	(38,2)	(35,5)	(100)
45	4,4	7,3	16,3	28	30,6	70,3	52,1	153,0
	(15,7)	(26,1)	(58,2)	(100)	(20,0)	(46,1)	(33,9)	(100)
47	2,4	7,2	15,4	25	51,0	50,0	41,8	142,8
	( 9,6)	(28,8)	(61,6)	(100)	(35,7)	(35,0)	(29,3)	(100)
49	2,8 (10,0)	5,3 (18,9)	19,9 (71,9)	28 (100)				
51	2,0 (10,5)	4,9 (25,8)	$\begin{array}{c} 12,1\\ \textbf{(63,7)} \end{array}$	19 (100)				

.

TABLEAU 2

Station	0-20 m	20-50 m	50-100 m	0-100 m	
5	0,31	0,37	0,30	0,32	
8 -	0,66	0,15	0,20	0,35	
12	0,70	1,04	0,00	0,65	
14	1,53	0,68	0,30	0,59	
16	1,50	0,74	0,25	0,61	Bannorts
18	0,85	1,05	0,19	0,80	mgC/m <sup>2</sup> /h
20	1,33	0,83	0,31	0,80	
22	1,00	0,70	0,45	0,65	mgcni a/m*
24	1,42	0,71	0,35	0,60	
25	1,07	0,80	0,34	0,59	
27	1,65	1,51	0,53	0,86	
29	0,76	0,78	0,25	0,39	-
41	1,32	1,58	0,41	0,80	
43	1,62	1,07	0,34	0,64	
45	0,70	0,96 `	0,32	0,54	
47	2,12	0,69	0,27	0,57	

TABLEAU 3