

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'HYDROLOGIE ET DE LA PRODUCTIVITÉ PRIMAIRE DES EAUX COTIÈRES DE LA RÉGION DE TULÉAR

PAR

MAESTRINI Serge\* et Mariano Javier PIZARRO\*\*

## Résumé

L'étude de trois milieux différents : lagunaire (L), récifal (V) et mer ouverte (E) a montré l'existence d'une stratification des eaux ; il se formerait une couche superficielle de 0 à 5 mètres. C'est à 5 mètres que la teneur en chlorophylle « a » est maximale. Cette teneur est faible et laisse supposer une faible alimentation en phosphates. La productivité est maximale en surface, il n'y a pas d'inhibition due à la lumière. C'est l'étude du rapport d'assimilation qui montre l'existence d'une stratification des communautés phytoplanctoniques. Il n'y aurait pas de rapport avec la teneur en oxygène dissous, laquelle est la plus élevée dans le milieu « E ». La température des eaux de surface est plus élevée dans les eaux extérieures au complexe récifal, c'est à la station « E » que le maximum a été observé (23°54 C). La moyenne des températures est inférieure à celle observée par MENACHE à Nossi-Be. Il existe des variations périodiques de température liées, sans doute, avec le phénomène de marée. Des variations comparables sont notées à propos de la salinité qui, dans son ensemble, est plus élevée que celle observée à Nossi-Be pendant l'hiver austral (34,443 ‰ contre 35,05 ‰).

L'étude de la transparence des eaux a conduit à les classer parmi des « eaux moyennement turbides ».

Pendant trois ans, sous l'égide de l'I.O.C. (U.N.E.S.C.O.), l'océan Indien est le rendez-vous d'océanographes venus du monde entier. Grâce à la

délégation générale à la recherche scientifique, la France participe à cet effort international. Nos recherches, très sommaires, et qui ne peuvent être que préliminaires, se sont déroulées au cours des mois de juillet et août 1962, à proximité de la Station marine installée à Tuléar, sur le canal de Mozambique (PERES et PICARD, 1963); elles ont porté essentiellement sur les eaux néritiques.

## Stations étudiées

Après une série de stations préliminaires (31), nous avons décidé d'en retenir trois, présentant l'avantage d'être assez peu distantes du laboratoire, tout en étant suffisamment représentatives des différents milieux présents.

1° Station « L » (lagune)  $\varphi = 23^{\circ} 23,1 \text{ S}$ ;  $G = 43^{\circ} 39,3 \text{ E}$ . Elle est située en face du warf de Tuléar, entre le grand récif barrière et la côte. Le marnage des marées étant important (3,5 m pour la P.M.V.E. du mois de juillet) et la profondeur faible (13 m), les mouvements d'eaux constituent un facteur très important, déterminant notamment une teneur très élevée en matières en suspension. L'eau nous est apparue comme étant toujours plus ou moins turbide ; nous n'avons jamais vu le fond pourtant proche. Ce fond est vaseux et porte un peuplement dit « des vases terrigènes ».

2° Station « V » (vasque)  $\varphi = 23^{\circ} 22,9 \text{ S}$ ;  $G = 43^{\circ} 38,2 \text{ E}$ . Il nous a paru très intéressant de retenir une station à l'intérieur même du récif, l'occasion nous étant offerte par l'existence d'une grande vasque. Sa profondeur est plus importante que celle de la lagune, 18 mètres au lieu de 13 à la station « L » ; les parois sont extrêmement abruptes. Au moment des basses mers, la vasque est entièrement fermée,

(\*) Boursier du COMEXO (Délégation générale à la recherche scientifique et technique).

(\*\*) Boursier du Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y technicas de la R. Argentina.

mais dès le début du montant, des eaux lagunaires y pénètrent, poussées par le flot qui s'engage par les passes nord et sud de la lagune. Au moment des pleines mers, tout le récif est immergé et reçoit les eaux venues du large qui déferlent par-dessus le front du récif.

3<sup>o</sup> Station « E » (extérieure)  $\varphi = 23^{\circ} 20,6$  S ;  $G = 43^{\circ} 36,6$  E. Afin d'avoir un point de comparaison avec des eaux échappant à une action trop directe des influences terrigènes ou récifales, nous avons choisi une station située à l'extérieur du récif. Les eaux de la lagune étant d'une couleur vert-jaunâtre et les eaux océaniques franchement bleues, nous avons eu l'occasion de constater que le front des deux masses d'eau est très nettement visible ; la station « E » était très franchement au-delà de ce front. L'influence de la rivière Onilahy était nulle pendant la période où nous avons travaillé, son lit étant à sec depuis plusieurs mois.

### Méthodes et techniques

Les techniques utilisées pour le dosage des différents facteurs chimiques étant classiques, nous nous bornerons à les citer.

La mesure des températures a été faite au moyen de thermomètres à renversement RICHTER et WIESE, fixés sur des bouteilles à renversement MECABOLIER. La température ambiante étant très proche de celle des eaux, nous n'avons pas appliqué les corrections selon SCHUMACHER. Les échantillons d'eau de mer, destinés à la détermination de la salinité, ont été recueillis en canettes de 250 centimètres cubes, parfaitement propres et sèches. Aussitôt remplies à partir de la bouteille à renversement, elles étaient capsulées puis soigneusement paraffinées dans les délais les plus brefs. La salinité a été déterminée à la Station marine d'Endoume au moyen du salinomètre électronique I.M.C.

La méthode de WINKLER a été employée pour le dosage de l'oxygène dissous. Les échantillons étaient prélevés les premiers, à partir de la bouteille à renversement et aussitôt fixés. Pour le dosage, nous avons utilisé une solution de  $S_2 O_3 Na_2$  à 0,015 N, récemment préparée à partir d'une dose Fixanal. La précision du dosage a été améliorée par l'emploi d'une burette à piston Metrohm de 10 centimètres cubes de capacité.

Les pigments chlorophylliens ont été déterminés selon la méthode de RICHARDS et THOMPSON (1952). Les échantillons ont été recueillis au moyen d'une bouteille en plastique du type VAN DORN de six litres

de capacité. Pour la filtration des échantillons d'eaux, nous avons utilisé des membranes en collodion de 35 millimètres de diamètre, de la Membran Filter Gesellschaft de Gottingen. Le type employé, G3, a un diamètre moyen de pore de 0,6 micron. Il ne nous a pas été possible de filtrer plus d'un litre d'eau de mer, dans le délai d'une heure. La filtration s'est faite en présence de carbonate de magnésium. Les filtres ont été séchés en présence de gel de silice puis conservés pendant trois semaines à l'obscurité et à basse température. Dans notre laboratoire de Marseille, les pigments ont été extraits pendant 24 heures par de l'acétone à 90 p. 100. Les mesures de densité optique ont été faites au moyen du spectrophotomètre JOBIN et YVON, utilisant des cuves de 1 centimètre de chemin optique. Les calculs des concentrations en pigments ont été faits suivant les équations proposées par RICHARDS et THOMPSON.

Pour l'évaluation de la production primaire, nous avons suivi les lignes générales de la méthode décrite par E. STEEMANN-NIELSEN (1950). Les échantillons d'eau de mer ont été prélevés sur le contenu de la bouteille en plastique de 6 litres puis répartis dans des flacons Iena de 100 centimètres cubes. Une activité de 10 microcuries, sous forme de carbonates radioactifs, a été inoculée à ces flacons. L'incubation s'est faite pendant 6 à 8 heures, dans un incubateur comparable à celui décrit par ANGOT, DOTY, OGURY (1958). Les flacons étaient éclairés par huit tubes fluorescents, donnant une lumière d'environ 17 000 lux. La température était maintenue à  $20^{\circ} \pm 2^{\circ}$  C. Après incubation, les échantillons étaient filtrés sur des membranes identiques à celles employées pour la filtration du phytoplancton. Lorsqu'il ne nous a pas été possible de filtrer immédiatement après la période d'incubation, nous avons arrêté la photosynthèse en ajoutant 1 centimètre cube de formol neutre. Après avoir séché les filtres en présence de silicagel, nous les avons placés dans un compteur à impulsions Saphymo afin de déterminer la radioactivité. Ce compteur était équipé d'un tube de GEIGER Tracerlab 2 T.C.G. L'activité comptée variait entre 400 et 6 000 coups pour 6 minutes de comptage. L'activité au « zéro thickness » a été faite sur place et dans les mêmes conditions de filtration et de mesure employées pour les échantillons. Nous avons utilisé la technique décrite par BROUARDEL et RINK (1963).

Les mesures de pénétration de la lumière ont été faites au moyen d'un photomètre de profondeur, identique à celui employé par E. STEEMANN-NIELSEN (1954). Nous avons régulièrement utilisé un filtre vert (Chance Brothers O G2 I) et neutre (ON 31).

## Interprétation des résultats

*Salinité et température.* — Pour chaque station nous avons mesuré la température (graphiques n<sup>os</sup> 2 et 3), la salinité et l'oxygène dissous. Cependant, si aux stations « L » et « V », les prélèvements ont été réguliers, par contre à la station « E » nous n'avons pu faire des prélèvements complets que par deux fois. L'étude des résultats montre qu'à la station « V », la température superficielle (tableaux n<sup>os</sup> 1 et 2) est supérieure à celle de la station « L ». Nous avons trouvé 22,99° C contre 22,75° C respectivement. La moyenne pour toute la colonne d'eau est aussi supérieure en « V », les valeurs trouvées sont les suivantes : 22,71° C à la station « V » et 22,55° C à la station « L ». Les températures obtenues à la station « E », dans les deux cas où nous les avons relevées, sont relativement plus élevées que les précédentes. La moyenne en surface et même jusqu'à 10 mètres est de 23,47° C. La température maximale était 23,54° C, le 2 août 1962. Nous avons travaillé pendant l'hiver austral (saison sèche) et les températures que nous avons obtenues sont donc parmi les plus faibles de l'année. La température la plus basse en surface et la moyenne pour toute la colonne d'eau sont respectivement 21,84° C et 21,75° C à la station « L ». Les températures correspondantes à la station « V » sont 22,52° C et 22,51° C. Au point « E », la température minimale est de un degré supérieure à celle du point « V », la valeur minimale observée en ce point étant de 23,40° C. Nos valeurs minimales pour l'hiver à Tuléar sont inférieures à celles rapportées par MENACHE (1957) dans la baie de Nossi-Bé, 0,7° C entre les mesures de températures faites le matin et le soir du même jour. A la station « L » et moins notablement à la station « V », nous avons observé une certaine périodicité des variations de température, sans doute liées au phénomène de la marée. Dans la zone intertidale (d'environ 500 m de large) où l'eau n'atteint pas 1,5 mètre d'épaisseur au moment de la pleine mer, doit se produire, lorsque la pleine mer est à midi, un réchauffement de la nappe d'eau et corrélativement une évaporation intense, entraînant une augmentation de la salinité. Par contre, si la pleine mer a lieu vers la fin de la nuit, l'effet contraire se produira. La basse mer suivante coïncide alors avec les heures à hautes intensités lumineuses tandis que la pleine mer qui suit survient à la tombée de la nuit. Ces variations seraient dues aux fortes variations diurnes de la température, liées au climat semi-désertique de la région de Tuléar. Des variations de 20° entre le jour et la nuit, pendant le mois de juillet, sont fréquentes (renseignements fournis par le Centre régional météorologique de Tuléar). Le fait que près de la côte (station « L »), les valeurs de température en surface sont inférieures à celle de la vasque et du point « E », doit être indicatif du rôle principal

joué par le refroidissement. A la station « V », le récif doit avoir un rôle protecteur, en isolant les eaux du « lagon », ce qui amène des variations de température moins importantes. Les différences entre les valeurs des températures pour chaque profondeur et la moyenne des températures pour ces mêmes profondeurs semblent appuyer nos suppositions. C'est ainsi que les différences sont plus grandes au point « L », non seulement pour la température, mais aussi pour la salinité. Nous avons d'ailleurs observé que les moyennes de température montrent l'existence d'une sorte de faible thermocline, entre 5 et 10 mètres aux deux stations considérées. Il semble qu'il se forme une couche superficielle mince dont les particularités sont liées aux mouvements des marées et aux caractéristiques de la côte. Nous verrons plus loin que cette sorte de thermocline semble être associée à une distribution des pigments planctoniques. Les valeurs de la salinité sont à la station « L » : 35,446 ‰ de moyenne générale avec un maximum de 35,469 ‰ à 10 mètres. La valeur minimale est en surface de 35,454 ‰ le 23 juillet. En moyenne, la salinité s'élève avec la profondeur. Il y a également des variations journalières comparables à celles de la température, mais moins marquées. A la station « V », la salinité moyenne pour toute la colonne est bien supérieure à celle de la station « L ». Les valeurs moyennes pour chaque profondeur sont aussi plus élevées en « V ». Les valeurs maximales trouvées en cet endroit étaient de 35,519 ‰ à 15 mètres et 35,479 ‰ en surface le même jour. Les valeurs minimales sont : 35,325 ‰ à 10 mètres et 35,445 ‰ en surface. Les écarts des valeurs de chaque profondeur, par rapport à la moyenne de la même profondeur, sont inférieurs à ceux de la station « L ». Ce fait semble indiquer une meilleure stabilisation de la colonne d'eau de la vasque, sans doute due à l'effet protecteur du récif. La distribution de la densité  $\sigma_t$ , avec la profondeur, montre une augmentation vers le fond. Il y a un accroissement brusque de la densité en dessous de 5 mètres. Ce fait est également notable au point « L », mais moins marqué. Cette distribution de la densité favorable semble en faveur de l'existence de la couche superficielle mince, dont nous avons déjà parlé.

Les valeurs de la salinité que nous avons trouvées à Tuléar sont en général plus élevées que celles rapportées par MENACHE (o.c.) pour la même saison mais dans la baie de Nossi-Bé. Pour le mois de juillet, nous avons obtenu une moyenne de 35,443 ‰ contre 35,05 ‰ à Nossi-Bé en juillet 1955. En 1950, le navire anglais *William Scoresby* a relevé, à la station 1024, proche de Tuléar  $\varphi = 23^{\circ} 25' S$  et  $G = 43^{\circ} 34' E$ , une température de surface de 23,2° C, le 31 juillet. A la station 1025  $\varphi = 22^{\circ} 40' S$ ;  $G = 41^{\circ} 39' E$ , le 2 août



à quelques 130 nautiques au N.-W. de Tuléar, on a observé en surface une température de 23,62° C et une salinité de 35,40 ‰. Nous pouvons déduire de ces observations que l'influence de la côte se traduit par une élévation de la salinité et une diminution de la température. Des différences dans le même sens, mais naturellement plus réduites, s'observaient entre les stations « L » et « E ».

*L'oxygène dissous.* — Les valeurs de l'oxygène dissous sont rapportées dans les tableaux n° 1 et 2. Nous avons calculé les pourcentages de saturation en oxygène, en tenant compte des valeurs de solubilité d'oxygène déterminées par TRUSDALE DOWNING-LOWDEN (*in* BARNES, 1959). La distribution de l'oxygène dissous montre des variations semblables à celles déjà observées pour la salinité et la température. Les valeurs moyennes sont supérieures au point « L ». En ce même endroit, nous avons observé une colonne plus homogène et plus concentrée qu'en « V ». Dans la vasque, la chute de la concentration en oxygène avec la profondeur est très marquée. De la surface à 15 mètres, il y a une diminution assez importante (0,36 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/10), elle doit être liée à la présence du récif. En surface, par contre, les valeurs de saturation sont tout à fait semblables à celles des deux autres stations. Au point « L », il n'y a pas de variations à 5 mètres mais à 10 mètres ; le taux de saturation diminue de 2 p. 100. Au point « V », la variation est plus marquée et, en ce même point, elle est plus importante entre 5 et 10 mètres qu'entre 10 et 15 mètres. Au point « E », les concentrations sont en général de très peu supérieures à celles du point « L ». La station 1025 du *W. Scoresby* (*cf.* plus haut) fait état d'une concentration de 4,93 cm<sup>3</sup>/1 en surface. D'autres travaux portant sur l'oxygène dissous des eaux océaniques (*cf.* ORREN 1963) indiquent, pour des stations relativement proches de Tuléar, des concentrations supérieures à celles que nous avons obtenues. Nous n'avons pas trouvé d'indices permettant de relier la concentration en oxygène dissous à l'activité photosynthétique du phytoplancton. Il semble que la température soit le facteur le plus important réglant la concentration en oxygène dissous des eaux côtières étudiées.

*Pigments phytoplanctoniques et production primaire.* — Les valeurs des différents pigments photosynthétiques, et de la productivité primaire sont réunies dans les tableaux n° 3-4-5 et graphiques n° 5-6-7-8 ; nous y avons également porté les valeurs moyennes pour chaque profondeur. Ces dernières valeurs montrent, qu'au point « L », la concentration en chlorophylles « a » et « b » est nettement supérieure à celle du point « V ». Les concentrations en chlorophylles « c » et en pigments caroténoïdes sont également plus fortes en « L » qu'en « V » mais la

différence est moins importante. Au point de vue distribution relative, nous remarquons que la concentration en chlorophylle « a » est relativement plus basse que celle des autres pigments ; elle est très peu supérieure à la concentration en chlorophylle « b » et autres pigments caroténoïdes non astacine. C'est à la profondeur de 5 mètres que nous avons observé la concentration moyenne maximale de la chlorophylle « a » et des autres pigments. Dans tous les cas, c'est la chlorophylle « c » qui a la plus grande concentration, la valeur la plus élevée était de 4,22 m. USP/m<sup>3</sup> à 5 mètres. Au point « V », nous avons observé une distribution comparable à celle du point « L » mais les concentrations sont plus faibles, sauf pour celles de la chlorophylle « c » qui sont plus fortes.

Nous avons calculé le rapport :

*Caroténoïdes non astacine*

*Chloro. « a »*

les valeurs obtenues sont groupées dans les tableaux n° 3 et 4. Ce rapport, d'après YENSTCH et VACCARO (1958) augmente lorsque la concentration en nitrate minéral du milieu tombe. Dans des cultures de *Paeodactylum tricordatum*, *Dunadiella euchlora* et *Ditylum brightwelli*, enrichies en nitrate minéral, ils ont trouvé des valeurs de 0,22-0,40-0,29. Dans un milieu naturel (Vyneyard Sound, en juillet 1957) ils ont obtenu des valeurs de 0,18 et 0,22 pour la même relation. Au large de Mar-del-Plata (Argentina), nous avons obtenu des valeurs de 0,20 environ ; cette aire marine néritique est considérée comme étant hautement productive et à forte teneur en sels nutritifs. Les valeurs obtenues à Tuléar étant plus élevées par rapport à celles précédemment citées, il apparaît que la zone côtière de Tuléar serait mal approvisionnée en nitrates.

Les valeurs de la productivité primaire, exprimées en milligrammes de Carbone fixé par heure d'incubation et par mètre cube, indiquent une activité photosynthétique plus grande dans la zone lagunaire post-récifale (station « L »). La valeur maximale trouvée en ce point est de 3,26 mg C/h/m<sup>3</sup>, en surface le 28 juillet. Le minimum de 0,28 mg C/h/m<sup>3</sup> a été observé le 19 juillet à 10 mètres. A deux exceptions près, les valeurs maximales de productivité primaire ont été trouvées en surface et sont plus faibles de moitié environ, à 10 mètres. Nous n'avons pas noté d'indice d'une inhibition due à la lumière. Au point « V », nous avons observé la valeur maximale de 2,77 mg C/h/m<sup>3</sup> en surface, le 3 août, et un minimum de 0,15 mg C/h/m<sup>3</sup> à 18 mètres, le 30 juillet. Sauf deux exceptions, nous n'avons pas observé de différences importantes entre la productivité primaire en surface et à 5 mètres, par contre au-dessous, les valeurs diminuaient régulièrement malgré l'augmentation de la teneur en chlorophylle « a ».

Nous avons calculé le rapport :

$$\frac{g \text{ C assimilé/heure}}{g \text{ Chloro « a »}}$$

désigné par les initiales N.A., qui traduit, en quelque sorte, le rendement de la chlorophylle « a » pour la photosynthèse. Dans des conditions d'intense illumination, la concentration en chlorophylle « a » est généralement basse mais la productivité est importante, il y a donc un N.A. élevé. Lorsque l'intensité de la lumière diminue, avec la profondeur par exemple, la concentration en chlorophylle « a » augmente. Il y a donc une meilleure utilisation de l'énergie lumineuse et le N.A. diminue.

ODUM en 1958 a défini trois types d'adaptation chlorophyllienne aux conditions d'illumination. Dans une communauté stratifiée, où la concentration en chlorophylle « a » augmente régulièrement avec la profondeur, les N.A. varient entre 0,4 et 4,0 g C/chloro « a »/h. Une communauté adaptée à des illuminations faibles a une teneur en chlorophylle « a » relativement élevée, son N.A. est alors plus bas et varie de 0,1 à 1. La « mixing community » est celle qui est soumise à des variations d'illuminations très fréquentes et très brutales. Une communauté de ce type est caractérisée par une teneur en chlorophylle « a » relativement constante avec la profondeur, son N.A. peut alors varier entre 1 et 10. Il existe également des communautés adaptées à des conditions d'illumination très intense, présentant les plus grands N.A., de 8 à 40, et les plus basses concentrations en chlorophylle « a ». Les valeurs du N.A. obtenues aux stations « L » et « V » sont groupées dans les tableaux nos 3 et 4. Malgré le faible nombre des résultats, nous avons pu établir une classification provisoire des communautés présentes aux points étudiés. En tenant compte des valeurs que nous avons obtenues pour le N.A., la distribution de la concentration en chlorophylle « a » et ses relations avec les pigments caroténoïdes, il nous semble qu'aux deux stations étudiées existaient une communauté stratifiée. Cette disposition est plus remarquable au point « V » où l'on voit, au-dessous de 5 mètres, une augmentation très régulière du N.A. Au point « L », la profondeur plus faible ne permet pas d'avoir un tableau aussi clair qu'au point « V ».

Dans tous les cas, nous avons observé à la profondeur de 5 mètres une concentration en chlorophylle « a » maximale et une relation caroténoïdes/chlorophylle « a » minimale, ce qui semble confirmer l'existence de la faible thermocline dont nous avons déjà parlé.

*Photométrie.* — A l'occasion des sorties destinées à recueillir des échantillons d'eau de mer, nous avons effectué quelques séries de mesures photométriques dans le but de connaître les caractéris-

tiques optiques des eaux étudiées. Nos mesures ont été faites au moyen d'un photomètre de profondeur identique à celui employé par STEEMANN-NIELSEN (1954) à bord de la *Galathea*. Toutes nos mesures ont été faites avec un filtre vert et, en deux occasions, avec un filtre rouge et un filtre bleu. Soit  $I_0$  l'intensité de la lumière incidente à la surface d'un milieu absorbant et  $I$  l'intensité du rayon lumineux ayant traversé une épaisseur  $m$  de milieu, la relation reliant ces deux intensités est donnée par la loi de BEER-LAMBERT :

$$\text{Log } \frac{I_0}{I} = K.m \quad (1)$$

où  $K$  est le coefficient d'absorption qui dépend à la fois de la nature du milieu absorbant et de la longueur d'onde de la lumière incidente. Si nous ramenons l'expression (1) sous la forme d'un logarithme décimal nous obtenons :

$$\text{Log } \frac{I_0}{I} = 0,434 K.m = k.m$$

$k$  est le coefficient d'extinction de dimension  $L^{-1}$ .

Si  $T\%$  est le pourcentage de la lumière incidente qui traverse un mètre de milieu absorbant homogène, on peut calculer  $k$  au moyen de l'expression suivante:

$$k = \text{Log } \frac{(100)}{T\%}$$

et si le milieu reste homogène pour une longueur de  $m$  mètres, nous aurons :

$$k = \frac{1}{m} \cdot \log \frac{100}{T\%}$$

Nous avons calculé les coefficients d'extinctions à différentes profondeurs, au moyen de l'expression suivante :

$$k_i = 2 - \log \frac{Ti \cdot 100}{Ti - 1}$$

où  $Ti$  est le pourcentage de transmission à la profondeur de  $i$  mètres, et  $Ti - 1$ , le pourcentage de transmission à la profondeur d'un mètre au-dessus de  $i$ , et que nous considérons égal à 100. Le calcul de la valeur du coefficient d'extinction à différentes profondeurs permet de savoir si celui-ci se maintient constant ou varie, ce qui serait le témoignage de l'existence de nappes d'eau à caractéristiques optiques différentes. Dans les tableaux nos 6 et 7 et les graphiques nos 9-10-11, nous avons rapporté les valeurs calculées  $k-1$  mètres, et le pourcentage de transmission à différentes profondeurs, pour la lumière verte, aux trois stations « L », « V » et « E ». Parmi toutes nos mesures, nous avons choisi celles effectuées dans les conditions les plus proches, au point de vue état de la mer, conditions d'illumination, et à des dates rapprochées.

Aux trois stations étudiées, nous avons observé une valeur maximale de  $k$ , dans les premiers mètres. Il semblerait donc qu'il y ait une grande perte de lumière dans les tout premiers mètres, mais ceci est sans doute dû au fait que la mesure de surface est réalisée juste au-dessus de l'eau. Dans ces conditions, nous mesurons toute la lumière incidente, y compris la plus grande partie de celle réfléchiée par la surface de l'eau. Ainsi, cette lumière perdue par réflexion vient s'ajouter à celle absorbée par le premier mètre d'eau. Selon certains auteurs, la perte de lumière par réflexion de la surface peut varier entre 5 p. 100 et 15 p. 100 ; de toutes façons, nous avons observé une absorption plus grande dans la nappe supérieure que dans les couches inférieures. Cette couche turbide est plus marquée dans la zone dite lagunaire et moins notable au point « E ». Au point « L », il semble bien que les eaux de toute la colonne soient plus turbides que les eaux des autres stations ; c'est ainsi que les eaux situées entre 5 mètres et le fond, quoique moins turbides que celles de surface, le sont encore plus que les eaux de surface aux points « E » et « V ». Les valeurs moyennes obtenues au point « L » sont les suivantes : de la surface à 5 mètres,  $k = 0.149 m^{-1}$  ; de 5 à 10 mètres,  $k = 0.108 m^{-1}$ . Dans la vasque du récif, les moyennes correspondantes sont de 0 à 5 mètres,  $k = 0.099 m^{-1}$  et de 5 à 14 mètres,  $k = 0.063 m^{-1}$ . Au point « E », nous n'avons pu faire qu'une seule mesure, les valeurs obtenues en cette occasion indiquent une transparence encore plus grande que celle du récif. Les moyennes sont les suivantes : de 0 à 5 mètres,  $k = 0.072 m^{-1}$  et de 5 à 14 mètres,  $k = 0.061 m^{-1}$ .

Dans la vasque, les valeurs de  $k$  sont plus régulières ; il y a une légère turbidité qui se limite à une couche superficielle de 3 à 4 mètres d'épaisseur. Au point « E », l'eau semble très homogène au

point de vue optique et plus transparente que celle de la vasque ; c'est en « E » que la valeur moyenne de  $k$  pour toute la colonne d'eau est la plus basse. Il faut tenir compte que ces résultats sont ceux d'une seule mesure, mais il semble malgré tout que les eaux du point « E » sont au moins aussi claires que celles du récif. D'après les valeurs données par STRICKLAND (1958, p. 475) les eaux côtières de Tuléar peuvent être classées comme des « eaux côtières modérément turbides ».

La lumière rouge, comme cela est bien connu, est vite absorbée ; son coefficient d'extinction est le plus élevé, les valeurs obtenues ne présentent pratiquement pas de différence entre les points « L » et « V ». Les valeurs moyennes de  $k$  pour toute la colonne sont respectivement :  $0.250 m^{-1}$  pour le point « L », et  $0.210 m^{-1}$  pour le point « V ». Les valeurs données par STRICKLAND (o.c.), pour les eaux côtières, sont tout à fait semblables aux nôtres. La lumière de courte longueur d'onde est plus affectée par la présence de particules en suspension dans l'eau que ne le sont les lumières de plus grandes longueurs d'onde. C'est ainsi que nous avons obtenu des coefficients d'extinction de la lumière bleue un peu plus élevés que leurs homologues en lumière verte.

Nous n'avons pas observé de limitation de la photosynthèse par la lumière jusqu'à des profondeurs de 20 mètres, où elle était encore à plus de 1 p. 100 de son intensité de surface. Cependant, il nous semble que les eaux côtières de Tuléar soient moins transparentes que ne le laissait supposer la présence du récif corallien.

Manuscrit reçu le 25 septembre 1965.

TABLEAU N° 1

Profondeur mètres	Température		Salinité 0/00		Oxygène ml/L		% Saturation		Date
	« L »	« V »	« L »	« V »	« L »	« V »	« L »	« V »	
0	22,96	23,13	35,460	35,477	4,61	4,52	95	96	19/vii
10	22,28	21,72	35,490	35,325	4,55	4,53	95	94	
0	22,97	23,38	35,459	35,461	4,62	4,97	97	106	20/vii
10	22,90	22,25	35,462	35,489	4,61	4,25	97	88	
0	21,84	22,63	35,454	35,476	4,84	4,34	100	90	23/vii
5	21,73	22,64	35,442	35,472	4,82	4,37	100	91	
10	21,68	22,45	35,458	35,481	4,79	4,23	99	88	
0	23,00	23,78	35,453	35,453	4,40	5,24	92	112	25/vii
5	22,93	23,46	35,462	35,449	4,36	5,06	91	108	
10	22,71	23,13	35,482	35,455	4,57	4,55	96	96	
15	-	22,98	-	35,452	-	4,37	-	92	

Profondeur mètres	Température		Salinité 0/00		Oxygène ml/L		% Saturation		Date
	« L »	« V »	« L »	« V »	« L »	« V »	« L »	« V »	
0	22,80		35,450		4,73		99		28/vii
5	22,79		35,464		4,65		97		
10	22,47		35,458		4,78		99		
0	22,45	22,83	35,436	35,479	4,69	4,39	98	93	30/vii
5	22,37	22,80	35,461	35,465	4,78	4,39	99	93	
10	21,77	22,82	35,509	35,506	4,49	4,39	93	93	
15	-	22,78	-	35,459	-	4,33	-	91	
0	22,53	22,52	35,312	35,469	4,78	4,44	100	93	31/vii
5	22,37	22,52	35,392	35,472	4,78	4,40	100	92	
10	21,42	22,49	35,558	35,443	4,80	4,36	95	91	
15	-	21,50	-	35,519	-	4,11	-	84	
0	22,87	22,88	35,387	35,445	4,71	4,60	99	97	3/viii
5	22,87	22,78	35,384	35,432	4,70	4,57	98	96	
10	22,72	22,73	35,376	35,428	4,69	4,46	98	94	
15	-	22,38	-	35,460	-	4,41	-	91	
0	23,36	22,74	35,477	35,452	4,64	4,66	98	97	4/viii
5	23,14	22,65	35,460	35,440	4,68	4,61	98	96	
10	22,76	22,61	35,431	35,422	4,69	4,58	96	95	
15	-	22,88	-	-	-	4,33	-	91	

TABLEAU N° 2

Valeurs moyennes à chaque profondeur dans les Stations « L » et « V »

Profondeur	Température		Salinité 0/00		Oxygène ml/L		% Saturation	
	« L »	« V »	« L »	« V »	« L »	« V »	« L »	« V »
0	22,75	22,99	35,432	35,464	4,67	4,65	98	98
5	22,60	22,81	35,438	35,455	4,68	4,57	98	96
10	22,30	22,53	35,469	35,443	4,66	4,42	96	92
15		22,50		35,473		4,29		90
Moyennes	22,55	22,71	35,446	35,459	4,67	4,48	97	94
<i>Station E</i>								
	Profondeur m	Temp. °C	Salinité 0/00	Oxygène ml/L				
	0,5	23°40	35,432	4,67	} le 29-7			
	5	23°40	35,435	4,68				
	10	23°40	35,436	4,64				
	15	23°39	35,429	4,65				
	20	23°30	35,445	4,68				
	30				} le 2-8			
	0,5	23°54	35,467	4,66				
	5	23°53	35,462	4,67				
	10	23°53	35,454	4,72				
	15	23°50	35,478	4,67				
	20	23°47	35,482	4,63	} moyennes du 29-1 moyennes du 2-8			
	30	23°34	35,464	4,65				
		23°38	35,435	4,67				
		23°49	35,468	4,67				
	Moyenne de la colonne d'eau	23°44	35,452	4,67				

TABLEAU N° 3

Données de production primaire au POINT «L»

Profondeur mètres	Pigments chlorophylliens					Photo-synthèse mgC/h/m <sup>3</sup>	C.n.-Ast. Chla	N° As. grC/grChla	Date
	« a » mg/m <sup>3</sup>	« b » mg/m <sup>3</sup>	« c »	C.Ast.	C.n.-Ast.				
						mUSP/m <sup>3</sup>			
0	—	—	—	—	—	—	—	—	19/vii
5	.60	.16	3.03	0.83	0.45	0.40	0.75	0.66	
10	.50	.20	2.57	0.82	0.60	0.28	1.20	0.56	
0	.57	.98	3.03	1.05	0.76	—	1.33	—	20/vii
5	.56	.37	4.22	1.03	0.78	—	1.40	—	
10	.23	.43	2.53	2.55	0.58	—	2.53	—	
0	.33	.25	2.72	0.70	0.33	1.93	1.00	5.82	21/vii
5	.29	.23	1.00	0.53	0.31	—	1.07	—	
10	.37	.31	1.99	0.83	0.28	0.54	0.76	1.46	
0	.27	.40	1.32	0.71	0.27	2.44	1.00	9.00	25/vii
5	.28	.24	1.50	0.56	0.28	1.11	1.00	3.54	
10	.30	.12	0.78	0.83	0.55	0.88	1.83	2.92	
0	—	—	—	—	—	3.26	—	—	28/vii
5	.57	.48	3.03	1.14	0.57	0.54	1.00	9.50	
10	.35	.06	2.05	0.66	0.55	1.17	1.57	3.34	
0	.31	.08	1.20	0.61	0.43	2.80	1.42	9.00	30/vii
5	.43	.33	2.50	0.82	0.36	1.84	0.84	4.26	
10	.25	.00	2.90	0.50	0.43	0.97	1.72	3.86	
0	.52	.17	3.19	0.70	0.41	—	0.79	—	31/vii
5	.75	.42	2.85	0.95	0.53	—	0.71	—	
10	.08	.10	1.95	0.26	0.22	—	2.75	—	
0	.63	.30	2.13	0.96	0.05	—	0.08	—	3/viii
5	1.44	.50	1.60	2.97	1.60	—	1.11	—	
10	.60	.28	2.35	0.61	0.30	—	0.50	—	
0	.26	.62	0.22	1.10	0.43	0.97	1.66	3.73	4/viii
5	.64	.85	—	2.14	—	1.56	—	2.44	
10	.47	.28	1.36	0.50	0.23	1.12	0.49	2.37	
<i>Moyennes :</i>									
0	.41	.40	1.94	0.83	0.38	2.84	1.04	6.89	
5	.62	.40	2.19	1.20	0.54	1.08	0.99	4.08	
10	.35	.20	2.05	0.78	0.41	0.82	1.48	2.59	

TABLEAU N° 4

Données de production primaire au POINT «V»

Profondeur mètres	Pigments chlorophylliens					Photo-synthèse mgC/h/m <sup>3</sup>	C.n.-Ast. Chla	N° As. gC/gChla	Date
	« a » mg/m <sup>3</sup>	« b » mg/m <sup>3</sup>	« c »	C.Ast.	C.n.-Ast.				
						mUSP/m <sup>3</sup>			
0	—	—	—	—	—	—	—	—	19/vii
5	.36	.00	2.10	0.67	0.21	1.21	0.58	3.37	
10	.28	.12	2.77	0.75	0.56	1.21	2.90	4.30	
0	—	—	—	—	—	—	—	—	20/vii
5	.13	.06	1.88	0.56	0.03	—	0.23	—	
10	.15	.05	0.40	0.36	0.15	—	1.00	—	
0	.10	.18	0.72	0.58	0.32	0.37	3.20	3.70	21/vii
5	.33	.55	3.23	1.31	0.41	0.94	1.24	2.35	
10	.29	.27	1.52	0.63	0.03	0.23	0.10	0.79	
15	.11	.09	0.59	0.41	0.00	0.33	0.00	3.00	
18	.46	.00	0.00	0.96	0.16	0.51	0.35	1.11	
0	.05	.20	0.00	0.27	0.21	0.27	4.02	5.04	25/vii
5	.19	.19	1.53	0.62	0.37	0.21	1.94	1.10	
10	.14	.12	0.74	0.49	0.09	0.27	0.64	1.92	
15	.28	.15	0.85	0.55	0.00	0.24	—	0.86	



Profondeur mètres	Pigments chlorophylliens					Photo-synthèse mgC/h/m <sup>3</sup>	C.n-Ast. Chla	N° As. gC/gChla	Date
	« a » mg/m <sup>3</sup>	« b » mg/m <sup>3</sup>	« c »	C.Ast.	C.n-Ast.				
				mUSP/m <sup>3</sup>					
0	.28	.24	1.52	0.55	0.36	0.32	1.14	1.14	30/vii
5	.25	.09	0.67	0.54	0.28	0.37	1.12	1.48	
10	.31	.10	0.78	0.61	0.37	-	1.19	-	
15	.14	.12	0.75	0.45	0.24	0.43	1.72	3.07	
18	.29	.35	0.29	0.32	0.61	0.15	3.20	0.79	
0	.42	.35	2.25	0.85	0.18	0.80	0.43	1.90	31/vii
5	.49	.33	2.20	0.77	0.22	0.57	0.45	1.16	
10	.21	.00	2.08	0.55	0.20	0.52	0.95	2.47	
15	.46	.35	2.23	0.78	0.00	0.43	0.00	0.94	
0	.21	.26	0.22	0.55	0.31	2.77	1.48	12.80	3/viii
5	.42	.41	2.18	0.30	0.21	0.83	0.50	1.98	
10	.30	.09	1.45	0.51	0.22	1.13	0.73	3.75	
15	.45	.07	2.63	0.63	0.31	0.87	0.69	1.92	
0	.16	.10	3.33	0.96	0.10	1.77	0.63	1.11	4/viii
5	.45	.39	4.34	0.12	0.30	0.47	0.67	1.04	
10	.14	.12	7.50	0.36	0.23	1.62	1.64	1.16	
15	.25	.41	2.44	0.97	0.00	1.10	-	4.40	
<i>Moyennes :</i>									
0	.20	.22	1.47	0.63	0.25	1.21	1.81	4.16	
5	.33	.25	2.27	0.61	0.25	0.51	0.84	1.78	
10	.23	.11	2.18	0.53	0.23	0.70	1.03	2.40	
15	.28	.20	1.58	0.63	0.09	0.55	1.20	2.36	
18	.38	.18	0.15	0.64	0.38	0.33	1.87	0.95	

TABLEAU N° 5

Données de production primaire au point « E »

Prof. en m.	Pigments chlorophylliens					N C.n.asta Chlo. « a »	Date
	« a » mg/m <sup>3</sup>	« b » mg/m <sup>3</sup>	« c » C. asta C. non asta				
			mU.S.P./m <sup>3</sup>				
0	.08	.15	0.96	0.21	0.24	3	21/7
5	.37	.05	1.63	0.69	0.46	1,24	
0	.14	.12	0.74	0.43	0.41	2,92	24/7
5	.30	.14	2.90	0.82	0.61	2	
10	.61	.80	6.70	1.77	0.84	1,21	
0	.16	.03	2.11	0.61	0.42	2,62	29/7
5	.41	.23	3.50	1.07	0.61	1,46	
10	.31	.29	3.32	0.92	0.41	1,32	
15	.15	.16	2.60	0.62	0.14	0,93	
20	.18	.27	1.59	0.70	0.31	1,72	
25	.28	.16	1.55	0.66	0.15	0,53	
0	.28	.24	1.50	0.41	0.34	1,21	2/8
5	.38	.31	2.00	0.70	0.19	0,50	
10	.32	.31	3.23	0.62	0.06	0,18	
15	.42	.40	2.25	0.40	0.45	1,07	
20	.29	.07	1.60	0.44	0.49	1,67	
25	.24	.66	1.85	0.43	0.38	1,58	
30	.04	.15	0.83	0.22	0.26	6	
<i>Moyenne</i>							
0	.16	.13	1.32	0.41	0.35	2,18	
5	.36	.18	2.50	0.82	0.46	1,28	
10	.41	.55	4.41	1.10	0.43	1,04	
15	.28	.28	2.42	0.51	0.30	1,06	
20	.23	.17	1.60	0.57	0.40	1,74	
25	.26	.16	1.70	0.55	0.27	1,03	
30	.04	.15	0.83	0.22	0.26	6	

TABLEAU N° 6

Pénétration de la lumière verte

Prof. mètres	ZONE LAGUNAIRE POINT « L »						ZONE DU RECIF POINT « V »						POINT « E »	
	date : 25/vii heure : 10h 00 mn soleil : 38°		31/vii 11h 00mn 44°		3/viii 10h 00mn 44°		25/vii 11h 45mn 46°		20/vii 10h 15mn 34°		31/vii 35°		21/vii 9h 40mn 38°	
	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )
0	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-
1	61	0.215	48	0.318	54	0.267	60	0.223	75	0.126	68	0.168	66	0.188
2	54	0.054	35	0.240	47	0.063	45	0.125	63	0.077	38	0.253	63	0.020
3	48	0.052	30	0.167	31	0.184	40	0.052	37	0.232	33	0.062	47	0.123
4	38	0.104	23	0.127	24	0.111	38	0.024	35	0.025	32	0.015	45	0.020
5	30	0.081	17	0.132	18	0.127	37	0.011	32	0.040	30	0.063	42	0.030
6	25	0.081	14	0.085	14	0.110	36	0.013	26	0.092	29	0.015	38	0.045
7	20	0.098	11	0.105	11	0.105	35	0.130	24	0.035	25	0.066	34	0.048
8	15	0.125	8	0.139	8	0.137	-	-	20	0.080	21	0.076	28	0.087
9	13	0.063	6	0.125	6	0.125	26	0.057	18	0.048	18	0.070	25	0.050
10	10	0.115	-	-	5	0.081	25	0.016	15	0.080	16	0.053	18	0.143
11	-	-	-	-	-	-	22	0.034	13	0.064	14	0.040	16	0.053
12	-	-	-	-	-	-	20	0.036	10	0.115	10	0.143	15	0.027
13	-	-	-	-	-	-	15	0.125	9	0.045	9	0.043	13	0.065
14	-	-	-	-	-	-	14	0.036	-	-	8	0.053	12	0.035
Moyennes ...	0-max	0.100		0.136		0.130		0.061		0.085		0.078		0.066

TABLEAU N° 7

Pénétration de la lumière verte, rouge et bleue et coefficients d'extinction correspondants aux points « L » et « V »

Profondeur mètres	VERT		ROUGE		BLEU		VERT		ROUGE		BLEU	
	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )	T %	k (m <sup>-1</sup> )
0	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—	100	—
1	85	0.072	46	0.337	59	0.230	74	0.130	45	0.347	65	0.180
2	52	0.225	23	0.300	50	0.073	66	0.051	27	0.225	50	0.114
3	45	0.062	15	0.186	41	0.087	51	0.113	18	0.177	46	0.035
4	37	0.085	10	0.177	34	0.082	51	0.090	13	0.143	40	0.063
5	30	0.093	6	0.233	29	0.070	47	0.036	8	0.210	36	0.047
6	26	0.065	4	0.176	24	0.085	30	0.195	5	0.206	31	0.066
7	21	0.093	2	0.300	20	0.080	27	0.047	4	0.096	28	0.047
8	18	0.068	1	0.300	15	0.126	22	0.090	2	0.303	25	0.050
9	15	0.095	—	—	13	0.065	20	0.042	—	—	20	0.098
10	12	0.085	—	—	10	0.114	18	0.047	—	—	18	0.047
Moyennes	0-5m	0.107		0.244		0.108		0.066		0.220		0.087
	5-10	0.081		0.258		0.074		0.084		0.201		0.062
	0-10	0.094		0.250		0.091		0.075		0.210		0.075
Zone lagunaire : date : 19/vii haut. sol. : 38° Heure : 9h 30mn-9h 45mn							Zone récif (vasque) : date : 19/vii haut. soleil : Heure : 10h 30mn-10h 53mn					

## BIBLIOGRAPHIE

ANGOT M., DOTY M.S. et OGURI M., (1958). — *Mesure de la productivité primaire en eau de mer par la Technique de C14*. « Institut français d'Océanie ». Rapport scientifique n° 4.

ANONYME (1950). — *Station List, R.R.S. « Williams Scoresby »*, *Discovery Rep.* vol. XXVI pg. 232-233.

BARNES H. (1959). — *Apparatus and Methods of Oceanography. Part One. Chemical*. « Ed. George Allen & Unwin Ltd ». London pg. 302.

BROUARDEL J. et RINK E., (1963). — *Mesure de la production organique en Méditerranée dans les parages de Monaco à l'aide du C14*. « Ann. Inst. Océanograph. », vol XL, fasc. 2 ; pg. 164,

MENACHE M. (1957). — *Etude préliminaire de l'eau de mer dans la Baie de Nossi-Be*. « Mémoire de l'Institut Scient. de Madagascar », série Océanogra., t. pg. 317-323.

ODUM H.T., Mc. CONNELL W. et W. ABBOT (1958). — *The Chlorophyll «A» of communities*. « Publi. of the Institut. of Marine Sciences », vol. 5, pg 65-96.

ORREN M.J. (1963). — *Hydrological observation in the South west Indian Oceans. Départ. of Comm. & Industrie. Report n° 45*. « Republic of South Africa ».

PERES J.M. et J. PICARD (1962). — *Note préliminaire générale sur le benthos littoral de la région de Tuléar (Madagascar)*. « Annales de la Faculté des sciences et technique de Madagascar », 1962, pg 145-152.

RICHARDS F.R. et T.G. THOMPSON (1952). — *The estimation and characterisation of plankton population by pigments analysis. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments*. « J. of Mar. res », vol. II, pg 156-172.

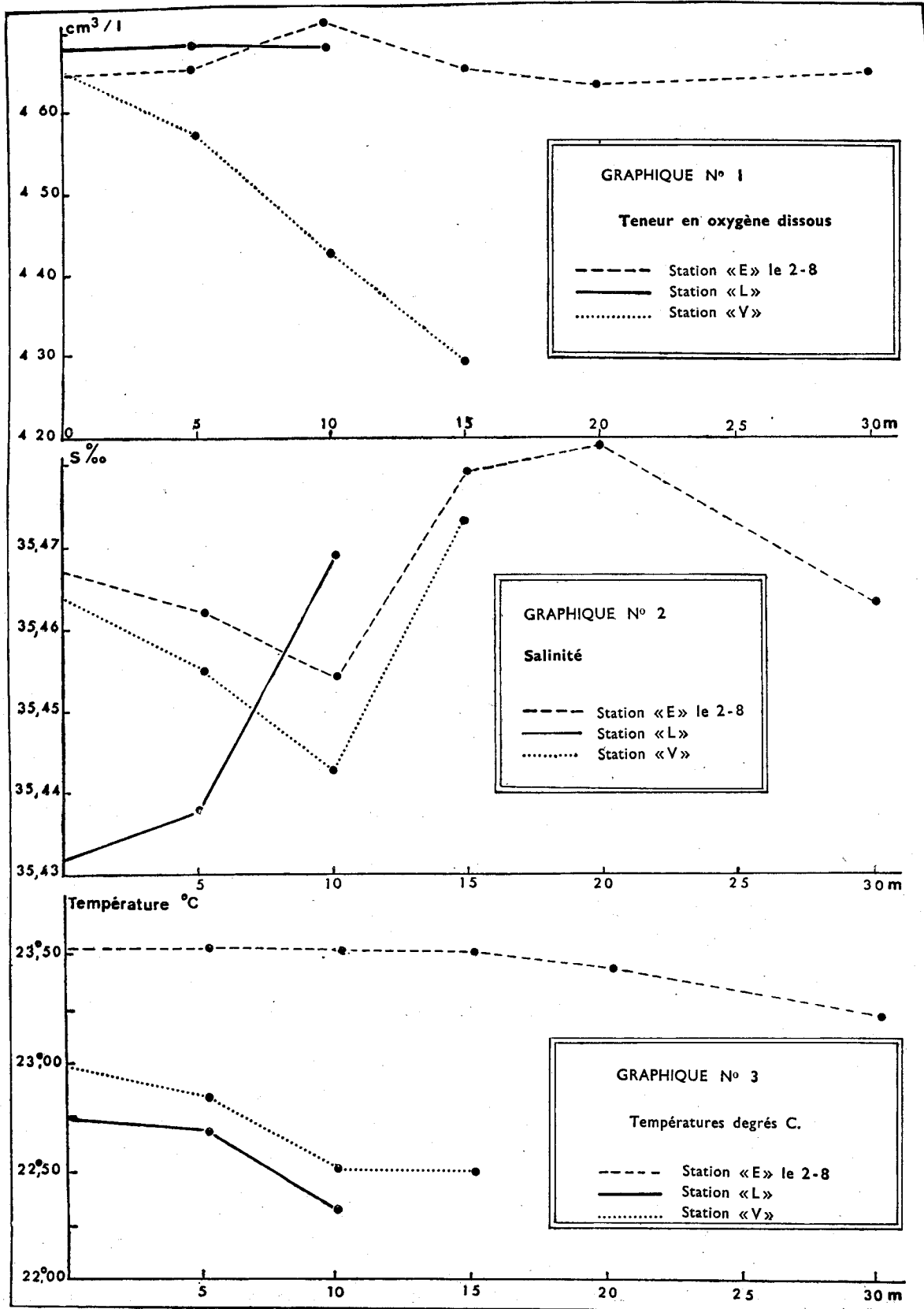
STEEMANN-NIELSEN E. (1952). — *The use of Radioactive Carbon (C14) for measuring organic production in the sea*. « J. du Cons ». vol. 18, pg 117-140.

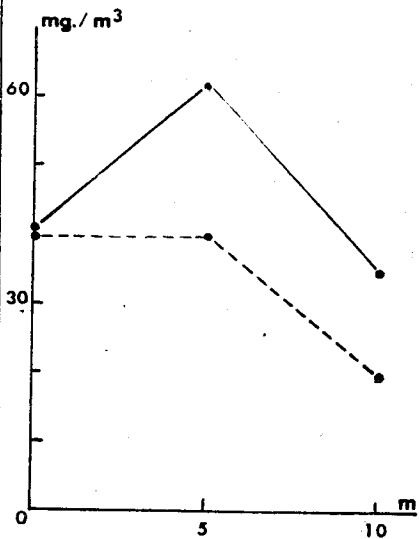
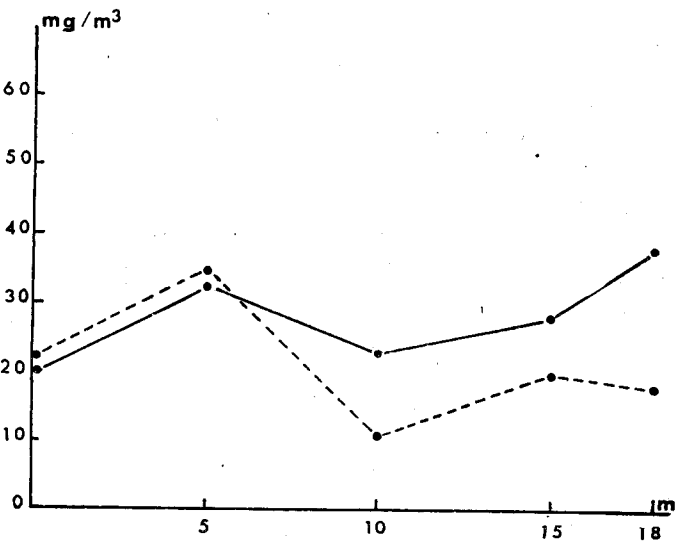
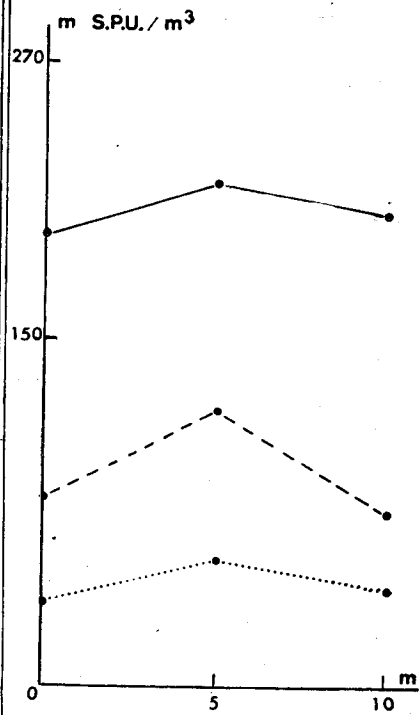
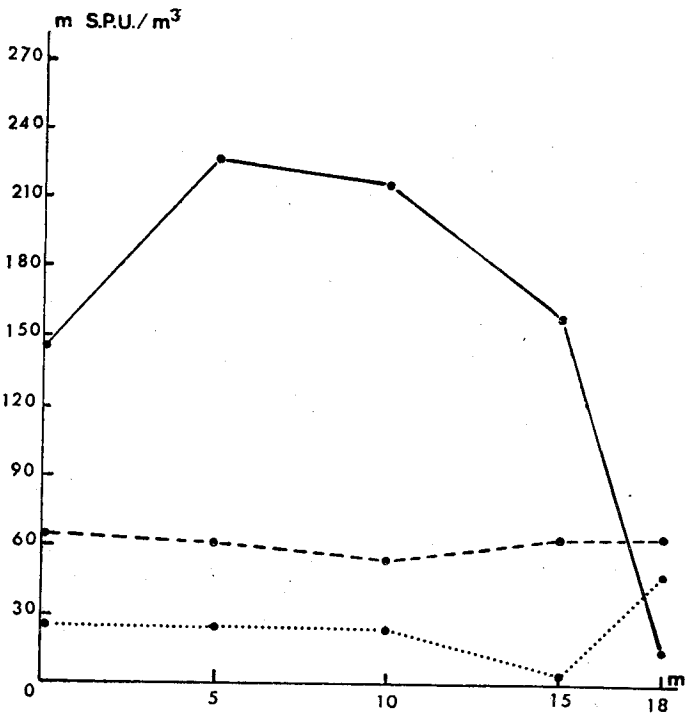
STEEMANN-NIELSEN E. et A. JENSEN (1957). — *The autotrophic production of organic matter in the ocean*. « Galathea Rept », vol. 1, pg. 49.

STRICKLAND J.D.H. (1958). — *Solar radiation penetrating in the ocean. A review of requirements, data, methods of measurements with particular reference of photosynthetic productivity*. « J. Fisch. Res. board of Canada », vol. 15 (3), pg 453-493.

STRICKLAND J.D.H. (1960). — *Measuring the production of Marine phytoplankton*. « Bull. n° 122 Fisch. res. board of Canada ».

YENTSCH C.S. et R.F. VACCARO (1958). — *Phytoplankton nitrogen in the Oceans*. « Limnol and Oceanog », vol. 3, pg 443-448.





**GRAPHIQUE N° 5. Pigments**  
 Station «V» — Chlorophylle C  
 --- Caroténoïdes type Astacine  
 ..... Caro. non Astacine

**GRAPHIQUE N° 6**  
 Station «L»  
 Pigments  
 — Chlorophylle A  
 --- Chlorophylle B



