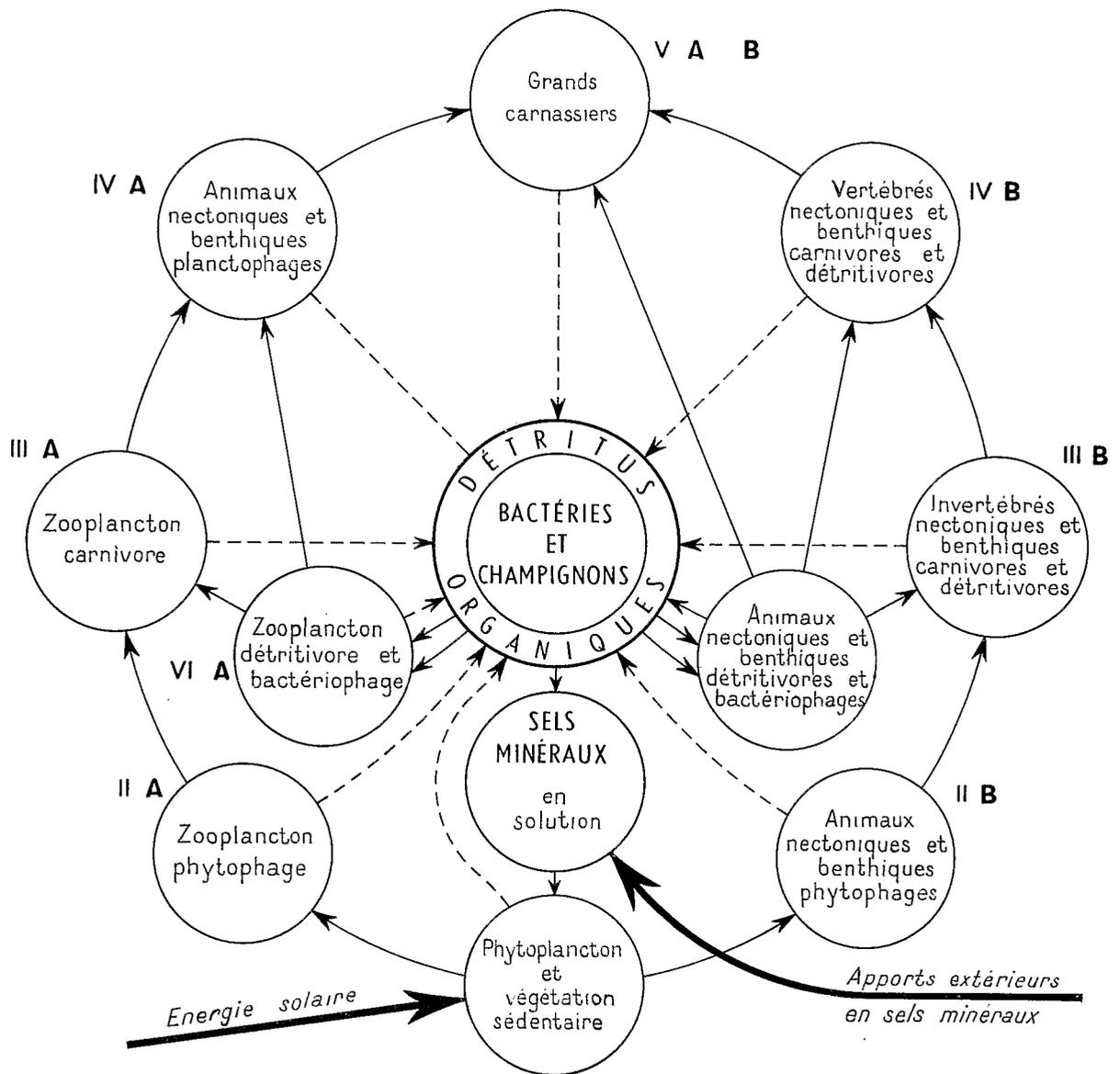


FERTILITÉ ET PRODUCTION  
VÉGÉTALE DES OCÉANS



Cycle de la matière vivante en milieu marin (d'après Z. Popovici et V. Angelescu).

# FERTILITÉ ET PRODUCTION VÉGÉTALE DES OCÉANS

par E. POSTEL

Trois préoccupations majeures dominent l'humanité :

Se reproduire. Ce qui n'a jamais posé et ce qui ne pose encore pas de problème, malgré un acte de parturition qui, chez certaines races, est passé du domaine de la physiologie à celui de la pathologie.

Se battre. Ce qui ne semble pas non plus avoir jamais provoqué de grosses difficultés, et ce pour quoi, en tout cas, on possède actuellement des solutions drastiques.

Se nourrir. Ce qui a toujours été, et ce qui est encore la question la plus angoissante, magistralement exposée par Malthus, dont on est obligé, bon gré mal gré, de reconnaître la justesse de vues.

Si, d'une part aucune limitation n'intervient dans le développement de l'effectif humain, si, d'autre part les puissances morales sont assez fortes pour s'opposer à l'emploi des armes d'extermination, la recherche d'un équilibre entre production et consommation deviendra de plus en plus difficile, et la sta-

bilité même de cet équilibre sera continuellement remise en cause.

A moins que l'astronautique nous ouvre de nouvelles sources de matières premières extra-terrestres, la courbe d'accroissement de l'humanité se heurtera donc à une asymptote fixée par la quantité de matière disponible sur notre globe. C'est cette asymptote qu'il convient de situer le plus haut possible, et c'est pour cela qu'il est nécessaire d'ouvrir à l'activité humaine des champs jusqu'à maintenant très partiellement mis en valeur comme les déserts et les océans.

Des conceptions uniquement accrochées au départ aux sciences du sol ont peu à peu gagné l'océanographie jusqu'à provoquer l'éclosion d'une véritable « agronomie marine ». Sans doute est-on encore loin de pouvoir, comme en agriculture, agir sur la productivité, mais du moins commence-t-on à comprendre son mécanisme et entrevoit-on déjà les facteurs dont l'influence est prépondérante.

## I. — LE CYCLE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

C'est probablement Hooker qui, suivant l'expédition antarctique anglaise de 1839 à 1843, fut le premier à attirer l'attention sur la similitude des cycles de la matière organique sur terre et dans les océans.

Dans l'un comme dans l'autre de ces milieux le monde animal vit aux dépens du monde végétal, qui synthétise lui-même sa propre matière à partir du gaz carbonique et des sels minéraux, grâce au phénomène de la photosynthèse, dans lequel la source d'énergie est fournie par la lumière incidente.

Engagée dans un cycle plus ou moins compliqué, la matière vivante aboutit fatalement à la mort. Elle se trouve alors dégradée

par les bactéries qui restituent au règne minéral ses éléments d'origine et recréent ainsi les conditions de départ propres à une nouvelle synthèse.

Le cycle dans son entier apparaît donc comme formé d'une phase constructive (élaboration de la matière végétale), d'un certain nombre de phases de transformation (passage de la matière végétale à la matière animale par phytophagie, et transformation même de cette matière animale d'un type à l'autre par zoophagie), d'une phase destructive (dégradation de la matière végétale ou animale par action bactérienne). Seule la première d'entre elles retient, aujourd'hui, notre attention. . .

O. R. S. I. O. M.

Collection de Référence

3

n° 11470

## II. — LES BASES DE LA PRODUCTION MARINE

### a) Nature des végétaux.

En mer les végétaux sont représentés :

- par des formes fixées supérieures (zostères, posidonies, cymodocées...);
- par des formes fixées inférieures (algues vertes, brunes et rouges);
- par des formes libres flottantes macroscopiques (sargasses);
- par des formes libres flottantes naines ou microscopiques (phytoplancton).

Les formes fixées ne peuplent évidemment que les franges littorales. Les sargasses sont concentrées en des espaces restreints. La grosse masse des végétaux marins est constituée par le phytoplancton.

Les diatomées (à squelette siliceux) dominent dans les eaux froides et tempérées. Ce sont des végétaux verts typiques à biologie bien définie. Les flagellés, notamment les coccolithophoridés (à squelette calcaire) dominent les eaux chaudes. Ce sont des végétaux aberrants, parfois autotrophes, parfois hétérotrophes (1).

De toutes les formes phytoplanctoniques les diatomées sont de très loin les mieux connues et, sauf mention contraire, c'est à leur activité que se rapportent les résultats exprimés dans le cours de cet exposé.

### b) Facteurs influents sur la photosynthèse.

De nombreux facteurs influent sur la photosynthèse. Cependant deux d'entre eux ont une action prépondérante. Ce sont la lumière et la température.

#### LA LUMIÈRE.

Elle est indispensable, mais son excès n'est pas obligatoirement favorable. L'observation et l'expérience montrent en effet que sous nos latitudes, en plein soleil, l'intensité lumineuse est en général au-dessus de sa valeur optimale (2) de sorte que la densité plancto-

---

(1) Des algues bleues peuvent également, bien que généralement rares, donner lieu localement à de très fortes concentrations. La Mer Rouge doit paradoxalement son nom à certaines d'entre elles (genre *Trichodesmium*), chez lesquelles la couleur originelle est masquée par un pigment rouge. Cette question de couleur chez les végétaux primitifs est parfois désarmante, même pour les spécialistes.

(2) Qui varie d'ailleurs, dans des limites restreintes, avec l'espèce considérée.

nique augmente à partir de la surface pour atteindre son maximum à quelques mètres en-dessous. Plus profondément, en même temps que la densité diminue, l'activité photosynthétique se ralentit progressivement de façon telle qu'à une certaine profondeur ses effets se trouvent exactement contrebalancés par ceux de l'activité respiratoire. Il n'y a plus augmentation de matière. C'est ce qu'on appelle, à la suite de Jenkin (1937), la *profondeur de compensation*.

La pénétration différentielle des raies du spectre solaire, son influence sur l'activité photosynthétique et l'étagement des végétaux (3), l'absorption d'énergie par le milieu, le pourcentage de cette énergie utilisée par le phytoplancton, ont donné lieu à de nombreux travaux. On retiendra que, d'après les auteurs les plus récents (Sverdrup et collaborateurs 1946, Graham et collaborateurs 1956) l'optimum d'éclairement se situe aux alentours de 3 000 lux, la profondeur de compensation, dans nos régions et par beau temps, à une quarantaine de mètres (4), le pourcentage d'énergie utilisé par le phytoplancton, toujours dans nos régions, à 0,30 % (bois et forêts 0,16 %, terres cultivées 0,13 %, déserts 0,004 %).

#### LA TEMPÉRATURE.

La chaleur intervient comme facteur limitant avec des températures au-dessus et au-dessous desquelles l'activité végétale est interrompue. Ceci est particulièrement net dans les hautes latitudes où les espèces survivent à l'état ralenti ou sous formes sporulées, pour se multiplier d'une façon spectaculaire lorsque les conditions propres à leur développement se trouvent rétablies. Dans l'intervalle des températures nécessaires à la manifestation d'une vie active, il existe, comme pour la lumière, un optimum marqué par l'épanouissement généralisé de l'espèce à laquelle il correspond.

### c) Nature et sources des matières premières.

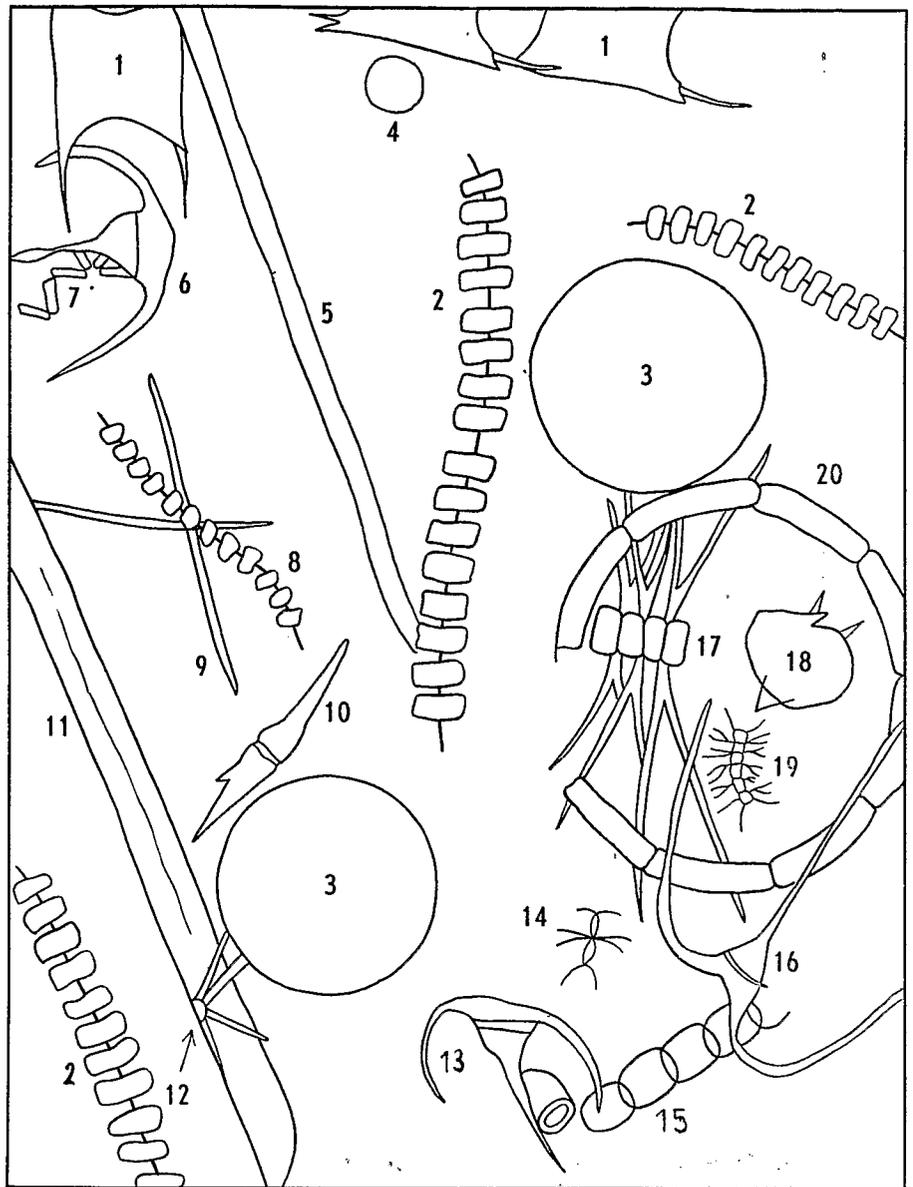
Le gaz carbonique provient en partie de la respiration des êtres vivants (animaux et végétaux), en partie des échanges air-mer.

---

(3) Notamment des végétaux fixés qui tendraient à développer une couleur complémentaire de celle des radiations qui leur parviennent.

(4) Dans les basses latitudes, à une centaine.

Quelques éléments caractéristiques du phytoplancton : 1 *Biddulphia sinensis*, 2 et 4 *Thalassiosira gravida*, 3 *Coscinodiscus concinnus*, 5 *Rhizosolenia alata*, 6 *Ceratium tripos*, 7 *Thalassiothrix nitzschioides*, 8 *Thalassiosira nordenskioldi*, 9 *Nitzschia delicatissima*, 10 *Ceratium furca*, 11 *Rhizosolenia stiliformis*, 12 *Thalassiothrix frauenfeldi*, 13 *Ceratium longipes*, 14 *Chaetoceros densus*, 15 *Melosira borneri*, 16 *Ceratium macroceros*, 17 *Chaetoceros decipiens*, 18 *Peridinium depressum*, 19 *Chaetoceros curvisetus*, 20 *Rhizolenia stoltereformis*. Largeur du champ : 0,7 mm (d'après C.E. Lucas in M. Graham).



Les sources occasionnelles auxquelles on pourrait penser, telles que les phénomènes éruptifs par exemple, sont négligeables.

En dehors de cet élément primordial, les plus importants parmi les sels nutritifs dissous sont les nitrates et les phosphates (1). Ils peuvent être, soit d'origine terrestre, c'est-à-dire charriés à la mer par les fleuves qui y aboutissent, soit d'origine marine, c'est-à-dire dérivés des matières organiques livrées à l'activité bactérienne. Dans un cas comme

dans l'autre, les seules fractions utilisées sont celles qui se trouvent dans la *zone photique*, définie comme la nappe dans laquelle la pénétration de la lumière est suffisante pour assurer le déroulement de la photosynthèse. On conçoit que de très fortes réserves puissent se constituer dans les couches sous-jacentes et que l'enrichissement des eaux de surface se fasse de bas en haut à l'occasion de phénomènes dynamiques dont nous aurons l'occasion d'aborder ultérieurement l'examen.

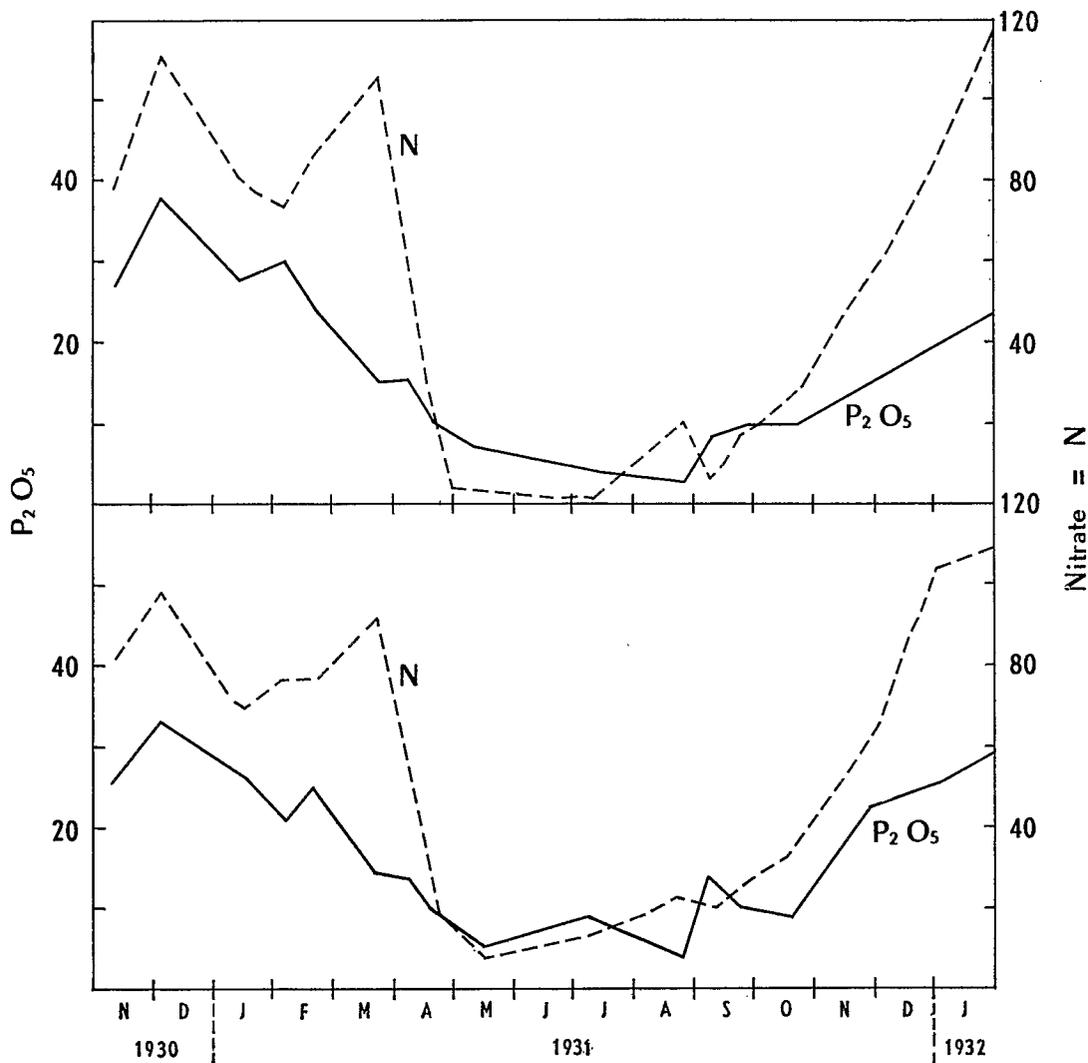
### III. — ASPECT DYNAMIQUE DU PROBLEME

Les premières observations méthodiques ont eu lieu dans la Manche où Harvey (1928)

a mis en évidence un cycle saisonnier confirmé depuis par de nombreux travaux.

(1) Autres éléments importants : silice, fer, manganèse, etc.

L'hiver est caractérisé par de fortes concentrations de sels nutritifs dans les eaux de



Cycle annuel du phosphore et de l'azote en Manche. Le phosphore est exprimé en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et l'azote (nitrates + nitrites) en N, le tout en mg/m<sup>3</sup> (d'après L.H.N. Cooper in M. Graham).

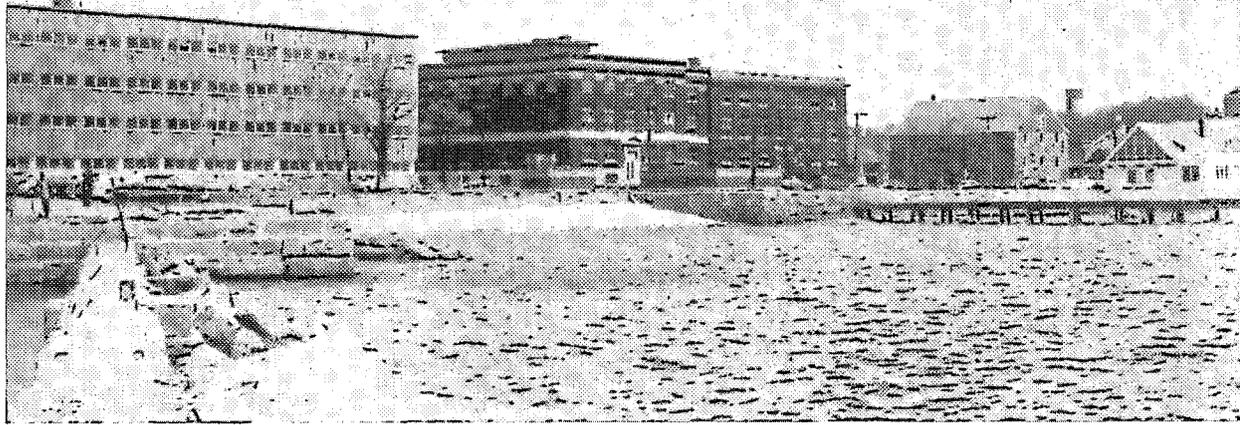
surface, concentrations qui diminuent rapidement au cours du printemps, tandis qu'on assiste à une croissance et à une multiplication brutale des diatomées. En même temps l'échauffement des niveaux supérieurs tend, par stratification densimétrique, à réduire les échanges entre les eaux de surface chaudes et riches en phytoplancton, et les eaux de profondeur froides, pauvres en végétation, mais encore riches en sels dissous. Le processus aboutit, par auto-accélération, à l'établissement d'un régime stable dans lequel couches superficielles et couches profondes sont séparées par une frange de discontinuité thermique, à laquelle on a donné le nom de *thermocline*. Ce régime se poursuit en général pendant tout l'été, et il faut le brassage apporté par les tempêtes d'automne pour provoquer, à partir des niveaux sous-jacents, un réensemencement des couches de surface en éléments nutritifs. Une nouvelle floraison de phytoplancton s'épanouit, bientôt limitée

par la diminution de l'intensité lumineuse et la chute progressive de température due à l'approche de l'hiver. L'agitation marine s'amplifie, les pluies deviennent plus fréquentes, les fleuves grossissent, les apports terrigènes augmentent, les réserves de surface se reconstituent. Les conditions propres au démarrage d'un prochain cycle se trouvent à nouveau réunies.

Tel est le schéma applicable aux mers continentales de faible profondeur situées sous les moyennes et les hautes latitudes.

Plus au sud où la chaleur et la lumière sont suffisantes pour assurer la pérennité de la photosynthèse, le phénomène est plus régulier, sans période de repos, mais également sans période de pointe, de sorte que la productivité totale reste bien souvent inférieure à celle de nos régions.

Enfin plus au large les apports terrigènes deviennent négligeables. Le réenrichissement des couches de surface ne peut se faire qu'à



Un des hauts lieux de la Recherche océanographique mondiale : la « Woods Hole Oceanographic Institution » (Woods Hole, Massachusetts).

partir des réserves sous-jacentes, mobilisées, en dehors des tempêtes, par des phénomènes dynamiques intéressant la circulation générale des océans. Les remous provoqués par les grands courants s'inscrivent ainsi comme des causes importantes. On réalise facilement qu'ils soient amplifiés et multipliés dans les zones de friction, et que les fronts de contact entre courants de sens inverses deviennent des régions de forte productivité. C'est ce qui arrive par exemple au sud de Terre-Neuve où le Gulf Stream prend en écharpe le courant du Labrador.

D'autres causes, mal connues, peuvent également provoquer des remontées d'eaux profondes, que les océanographes désignent de leur nom anglais : les *upwellings*. Parmi les explications les plus généralement admises figure celle qui fait intervenir l'action d'un vent régulier sur les molécules de surface. Entraînées dans un « courant de dérive », celles-ci laissent derrière elles un déficit en eau. Ce déficit conduit à un déséquilibre topo-

graphique comblé en partie par l'écoulement de couches superficielles environnantes, en partie par des *upwellings*. Il est exact que de telles remontées sont régulièrement constatées dans les régions d'alizés. On les connaît notamment le long des côtes du Maroc et du Sahara, et au large de l'Afrique du Sud (versant atlantique).

Apports terrigènes, courants, frictions entre courants, *upwellings*, telles sont les causes qui renouvellent la fertilité des eaux de surface et conditionnent par conséquent leur productivité. On comprend que suivant la manifestation, l'absence ou l'intensité de chacun de ces phénomènes, cette productivité subisse des variations considérables et qu'il existe, en mer comme sur terre, des zones fertiles et des zones arides. Bien que la couleur ne soit pas un critère universellement reconnu, il est admis que les eaux vertes ou jaunes sont en général les plus riches, tandis que le bleu pur est, dans la majorité des cas, la marque du désert.

#### IV. — MESURE DE LA PRODUCTIVITE

Fertilité et productivité sont deux notions intimement liées l'une à l'autre. La première, statique, repose sur l'estimation qualitative et quantitative des sels nutritifs présents dans un milieu, la seconde, dynamique, sur l'éva-

luation de la matière synthétisée à partir de ces éléments initiaux.

Les premières mesures de productivité ont été en réalité des mesures de fertilité.

Malgré leur intérêt, elles ne donnent qu'un



Le savant danois Steeman Nielsen qui a découvert et mis au point la méthode d'évaluation par traceurs radio-actifs (carbone 14).

aperçu incomplet de la capacité de production d'une masse d'eau, aussi a-t-on été amené à envisager d'autres mesures portant sur le produit fini et sur son potentiel de productivité, c'est-à-dire sur le phytoplancton et son activité photosynthétique.

Les biologistes ont mis au point des méthodes de récolte, maintenant standardisées, grâce auxquelles ils peuvent réaliser des échantillonnages soumis ensuite à des examens variés.

La plus simple consiste à traîner, pendant un temps donné, à une vitesse donnée, un filet à mailles fines d'un diamètre donné, et à estimer après sédimentation et éventuellement dessiccation, le volume ou le poids de plancton recueilli. On définit ainsi ce que les auteurs de langue anglaise appellent la *standing crop*, terme sans équivalent en français, et qu'on pourrait traduire approximativement par récolte instantanée, étant bien entendu qu'instantané est pris dans son sens large. Répétée à intervalles réguliers l'opération conduit à une évaluation moyenne de la production dans le laps de temps considéré.

Une amélioration sensible fait porter l'examen, non plus seulement sur la totalité de la masse récoltée, mais aussi sur sa fraction active, matérialisée par les pigments chloro-

phylliens. On les extrait par solvants et on les dose par colorimétrie. On peut ainsi évaluer « l'énergie créatrice » d'un échantillon, et par conséquent de la masse d'eau dont il provient, avec d'autant plus de précision que les techniques modernes permettent d'isoler les différents types de chlorophylle.

Corrélativement les océanographes calculent directement l'activité photosynthétique. Dans l'opération la plus classique deux échantillons d'eau de même provenance sont immergés à même profondeur dans des récipients clos, l'un transparent, l'autre opaque. L'oxygène est dosé au départ. Il est à nouveau dosé au bout d'un certain temps. Les teneurs ont changé. Les différences sont dues :

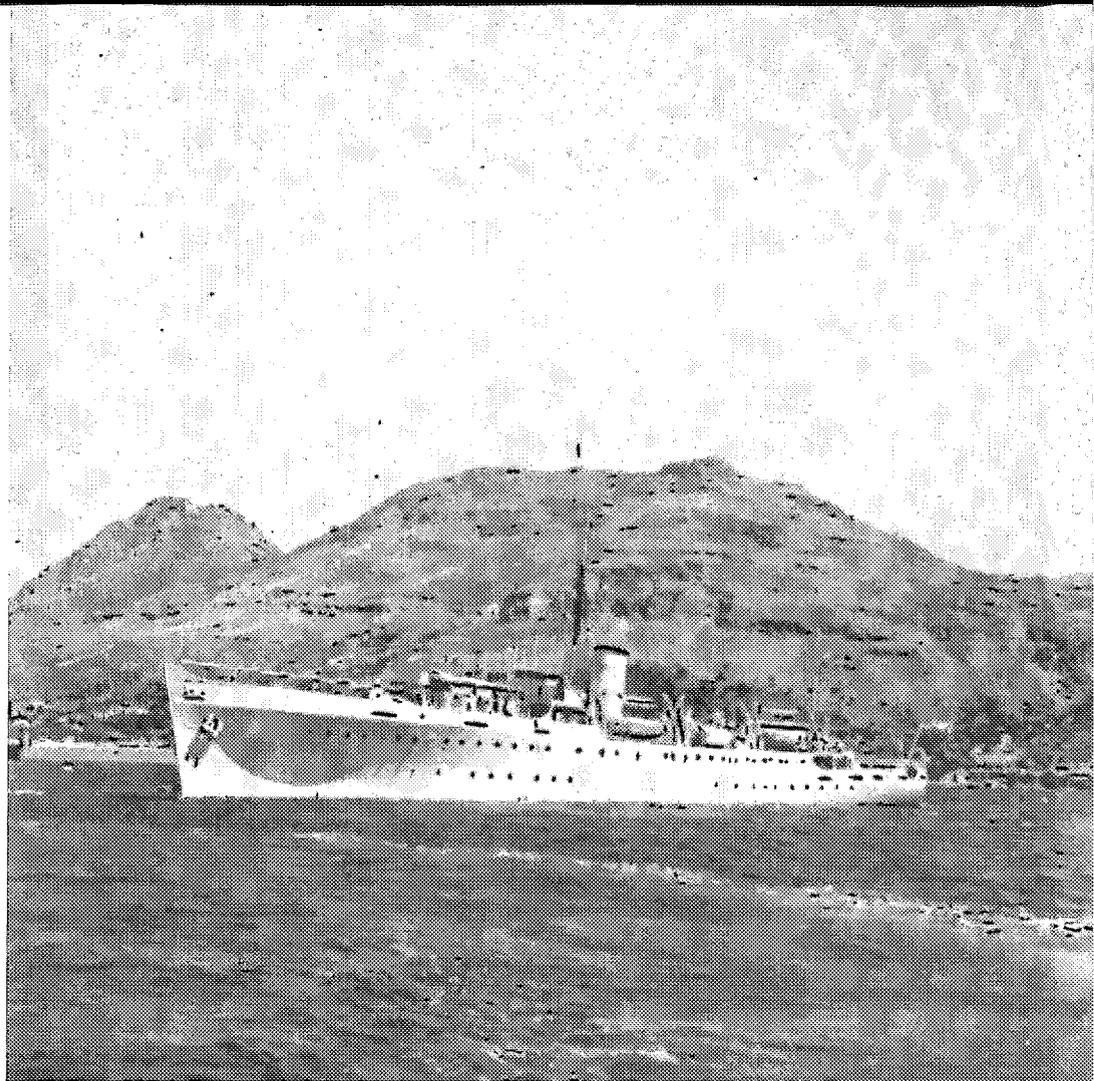
— pour la bouteille opaque à l'activité respiratoire seule ;

— pour la bouteille transparente au bilan activité photosynthétique + activité respiratoire.

Il est facile, à partir des résultats obtenus, de rétablir la valeur de la seule activité photosynthétique. Des prélèvements faits à différentes profondeurs et réimmergés après examen préliminaire à leur profondeur d'origine permettent d'évaluer, avec une approximation satisfaisante, la productivité de toute une colonne d'eau.

Enfin l'emploi des traceurs radioactifs a conduit un océanographe danois, Steeman-Nielsen, à la mise au point d'une méthode extrêmement séduisante, qui a connu, au cours des dernières années, un très large retentissement. En voici le principe : à la base se trouve toujours l'indispensable prélèvement d'eau de mer. Celui-ci, additionné d'une solution titrée de *carbone 14* (généralement sous forme de carbonate), est exposé à la lumière, puis passé sur un filtre spécial dont on détermine ensuite la radioactivité. Le protocole d'expérience est particulièrement strict. Les volumes, les temps, les intensités d'éclairement sont définis avec une exactitude minutieuse. La radioactivité du filtre, lequel a retenu tous les éléments planctoniques, dépend de la quantité fixée d'atomes de carbone 14. Celle-ci est elle-même proportionnelle à l'activité photosynthétique, dont elle réalise par conséquent une matérialisation accessible à la mesure. Comme dans le cas précédent, des résultats intéressants l'ensemble d'une couche d'épaisseur déterminée peuvent être obtenus à partir de prélèvements étagés.

Le navire océanographique danois « Galathea » quittant la base navale de Simonstown (False Bay, Afrique du Sud) au cours de sa croisière de circum-navigation.



Quelle que soit la méthode choisie, des expériences répétées dans le temps permettent l'intégration des données dans un cycle saisonnier, et conduisent ainsi à l'évaluation de

la quantité de matière synthétisée dans la région ou la masse d'eau considérée, c'est-à-dire, dans le cadre d'une année, à la mesure de sa *production globale*.

#### V. — PRODUCTION ESTIMÉE

Aucune des méthodes exposées n'aboutit d'ailleurs à des résultats sans appel. Les estimations sérieuses doivent être basées sur une revue critique des chiffres donnés par chacune d'elles. Entraînés par leur enthousiasme, les premiers auteurs voyaient dans la mer une source presque inépuisable de matière vivante. La réalité semble moins exaltante. Harvey (1950) estime que la production de matière organique par mètre carré (1) et par an est de l'ordre de 200 grammes pour la Manche et de 300 grammes pour le Golfe du Maine (Atlantique nord-américain). Ces deux

points, situés dans des régions où les apports terrigènes sont volumineux, doivent être considérés comme des secteurs de haute productivité, et une extrapolation qui consisterait à calculer la production totale des océans par simple règle de trois, en partant des chiffres précédents, serait aussi dénuée de sens que celle qui consisterait à calculer la production des terres émergées en partant de chiffres relatifs à la Beauce ou à la Plaine des Flandres.

Malgré le petit nombre d'observations effectuées en dehors des eaux régulièrement fréquentées par les océanographes (Atlantique nord, Pacifique nord, Mer du Japon), et en raison de l'attrait exercé sur l'homme par les

(1) C'est-à-dire pour une colonne d'eau ayant pour base 1 m<sup>2</sup> et pour hauteur la hauteur de la zone photique.



Régions de haute fertilité marine (en noir). On remarque qu'elles correspondent à des zones où les apports terrigènes sont importants ou à des zones affectées par des phénomènes dynamiques (courants et upwellings) d'après L.A. Walford.

statistiques, de nombreux chercheurs ont quand même tenté une évaluation de cette production totale. Retenons les chiffres les plus récents. Loomis (1949) a avancé celui de  $9 \times 10^{10}$  tonnes, Rabinovitch (1951) celui de  $15,5 \times 10^{10}$  tonnes.

Bien que modestes par rapport à la plupart des données antérieures, ces évaluations ont encore été sérieusement réduites par Steeman-Nielsen (1952) à la suite du dépouillement des observations faites au cours de la croisière danoise de circumnavigation (croisière Galathea). Il y a de fortes chances pour que son chiffre ( $2 \times 10^{10}$  tonnes) soit celui qui se rapproche le plus de la réalité. La production marine s'aligne ainsi sur une valeur très voisine de celle de la production terrestre (estimée de  $1,8$  à  $1,9 \times 10^{10}$  tonnes), et les espoirs mis en une manne océanique quasi inépuisable doivent être définitivement abandonnés.

Cette vérité vient à son heure pour renforcer le cri d'alarme poussé par les naturalistes sur la précarité des ressources naturelles, l'intérêt de leur exploitation ménagée, la nécessité de leur conservation. L'asymptote dont nous parlions au début reste entièrement dans les limites de l'épure. Il faut tout mettre en œuvre pour qu'elle garde au moins sa hauteur sur l'axe des ordonnées.

#### BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- 1956. — GRAHAM M. — Sea Fisheries. Edward Arnold Ltd, London.
- 1958-59. — HARDY A. — The open sea (T. I et II). Collins, London.
- 1954. — POPOVICI Z. et ANGELESCU V. — La Economía del mar (T. I et II), Coni, Buenos Aires.
- 1942. — SVERDRUP H. U., JOHNSON M. W. et FLEMMING R. H. — The Oceans. Prentice Hall, New York.
- 1958. — WALFORD L. A. — Living resources of the sea. The Ronald Press Cy, New York.

# FERTILITÉ ET PRODUCTION VÉGÉTALE DES OCÉANS

Extrait de la Revue "*Science et Nature*"  
Numéro 48 . Novembre . Décembre 1961

pp 14-23  
N° : 11470  
Cote 1 B  
...S.I.S. No. Fiches Documentaires