

CARACTÉRISTIQUES TROPHIQUES ET PRODUCTION PLANCTONIQUE DANS LA RÉGION SUD DE L'ATLANTIQUE MAROCAIN

Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I et III

Jean-René GRALL¹, Pierre LABORDE², Pierre LE CORRE³,
Jacques NEVEUX⁴, Paul TREGUER³ et Alain THIRIOT⁵

1. Station biologique, Roscoff, FRANCE
2. Station Marine d'Endoume et Centre d'Océanographie, Marseille, FRANCE
3. Laboratoire d'Océanologie Chimique, Université de Bretagne Occidentale, Brest, FRANCE
4. Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer, FRANCE
5. Centre Océanologique de Bretagne, Brest, FRANCE.

Summary: Physical (superficial temperatures), chemical (nutrients) and biological (phytoplankton and zooplankton) characteristics are described in relation to upwelling in the southern part of the moroccan Atlantic.

These structures are studied according to the observations and measures made during two cruises took place during two different seasons which correspond to a weak and a strong intensity of phenomena. —

Résumé: Les auteurs décrivent les caractéristiques physiques (températures de surface), chimiques (sels nutritifs) et biologiques (phytoplancton et zooplancton) liées aux remontées d'eau dans la région sud de l'Atlantique marocain.

Ces structures sont analysées d'après les observations et mesures effectuées au cours de deux campagnes océanographiques. Ces campagnes réalisées à deux saisons différentes correspondent à une faible et à une forte intensité des phénomènes. —

INTRODUCTION

Dans cet article, sont exposés les résultats généraux obtenus dans la région comprise entre le littoral atlantique du Maroc sud et les Iles Canaries au cours de deux campagnes : CINECA - CHARCOT I et CINECA - CHARCOT III.

Ces campagnes ont eu lieu, la première en janvier – février 1971, la seconde en juillet – août 1972. Elles avaient pour but l'étude des structures trophiques en domaine pélagique dans une région, où des remontées dans la couche euphotique côtière d'eau subsurface plus riche en sels nutritifs provoquent une augmentation de la production aux différents niveaux du réseau alimentaire.

Les deux saisons choisies correspondent à deux structures bien différenciées. En début d'année, les remontées d'eau sont peu marquées et n'agissent que faiblement sur la production planctonique ; en été, au contraire, le phénomène est net et on observe des gradients horizontaux et verticaux importants pour les différents paramètres mesurés : physiques, chimiques et biologiques.

Dans un premier temps, nous nous sommes attachés à réaliser la cartographie de cette région, à localiser les différents gradients et à analyser leurs caractères de variabilité.

Nous aborderons ici plus particulièrement la description des caractéristiques suivantes :

- isothermes de surface, notamment près de la côte ;
- distribution des concentrations de sels nutritifs ;
- pigments chlorophylliens et productivité primaire ;
- biomasses zooplanctoniques et localisation de certains espèces macroplanctoniques et micronectoniques.

La répartition selon la spécialité traitée était la suivante : J. R. Grall, Production pélagique primaire (¹⁴C) ; P. Laborde, Biomasse particulaire (ATP) ; P. Le Corre et P. Treguer, Sels nutritifs ; J. Neveux, Pigments chlorophylliens ; A. Thiriot, Chef de mission, zooplancton.

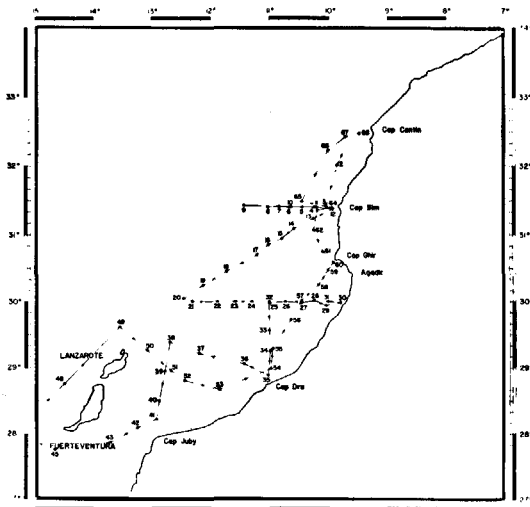


Figure 1 – CINECA-CHARCOT I ; emplacement des stations.

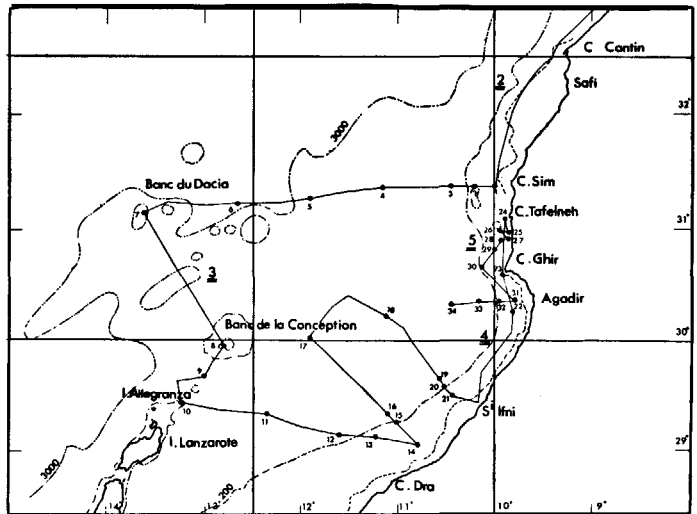


Figure 2 – CINECA-CHARCOT III (1^{ère} partie) ; emplacement des stations.

Au cours de la campagne CINECA – CHARCOT III, une étude du benthos, zoobenthos et microphytobenthos, a été réalisée. Les résultats préliminaires sont donnés à la suite de cet article (Boucher et Glemarec).

Les analyses plus détaillées des structures hydrologiques et de certains aspects trophiques du zooplancton font l'objet de publications à part (Le Floch, Boucher et Samain, Goy et Thiriot) dans ce volume.

RESULTATS

Situation en janvier – février : résultats de la campagne CINECA – CHARCOT I

Température et oxygène dissous

Au début de la campagne les températures, tout en se refroidissant lorsqu'on se rapproche de la côte, ne présentent pas de gradient très marqué. Les valeurs les plus froides (16° 5) s'observent au niveau du Cap Dra, elles sont voisines de 17° 0 au nord et supérieures entre le Cap Dra et le Cap Juby.

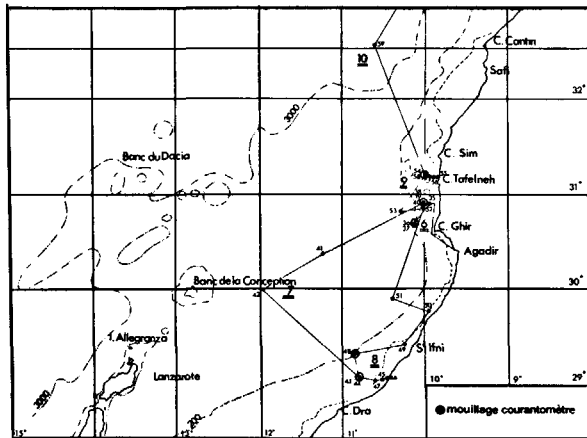


Figure 3 – CINECA-CHARCOT III (2^e partie) ; emplacement des stations.

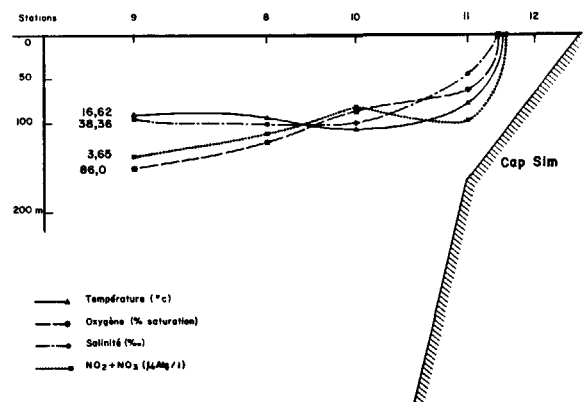


Figure 4 – CINECA-CHARCOT I (1^{ère} partie) ; mise en évidence de la remontée d'eau, radiale du Cap Sim.

C'est au niveau du Cap Sim que le phénomène est le plus net (fig. 4), les caractéristiques de l'eau de surface entre les stations les plus côtières correspondent à une remontée d'environ 150 m. Les concentrations d'oxygène dissous présentent des valeurs sous saturées en surface près de la côte, surtout dans la partie nord (fig. 5 et 6).

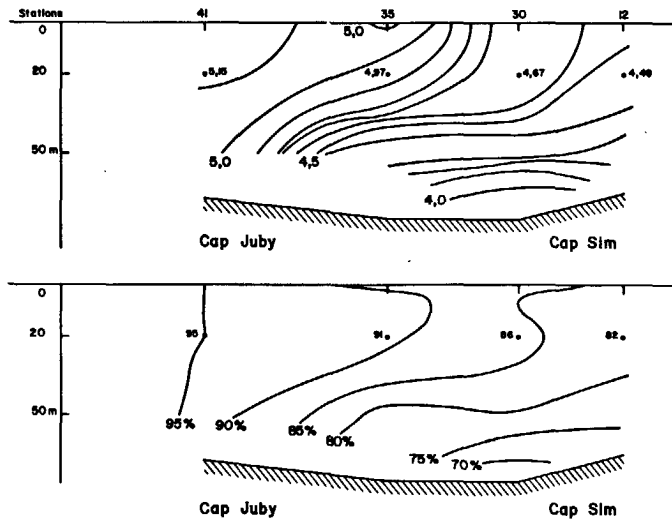


Figure 5 – CINECA-CHARCOT (1^{ère} partie); distribution verticale de l'oxygène dissous.

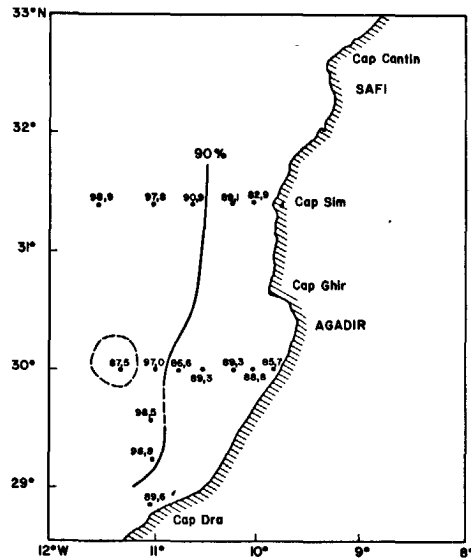


Figure 6 – CINECA-CHARCOT I (1^{ère} partie); distribution en surface des pourcentages de saturation en oxygène dissous.

Pendant la seconde partie de la campagne, par contre, un front thermique s'est formé parallèlement à la côte à environ 15 milles. Les valeurs de ce gradient correspondent aux isothermes $16^{\circ} 5$ et $17^{\circ} 0$, l'extrémité sud est située au niveau du Cap Dra (fig. 7A), plus au nord, entre le Cap Ghir et le Cap Cantin, les températures près de la côte sont inférieures à $16^{\circ} 0$; il y a eu par conséquent refroidissement de toute cette zone.

Les concentrations d'oxygène augmentent et des valeurs sursaturées apparaissent au niveau du front thermique (fig. 7B et 8), indice d'un accroissement de la production primaire.

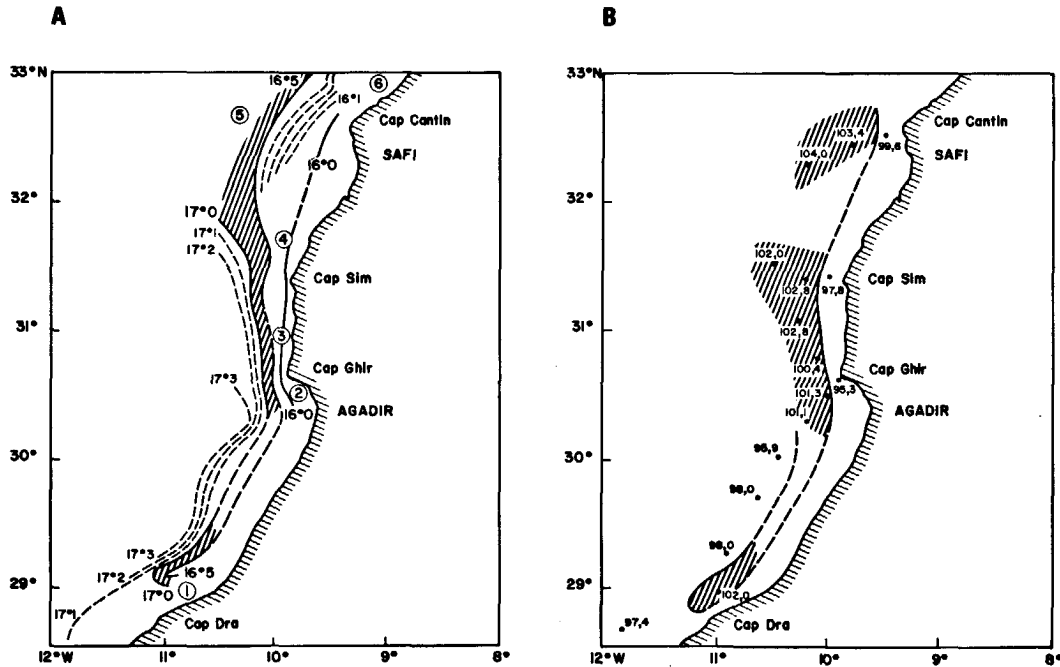


Figure 7 – CINECA-CHARCOT (2^e partie); (A) front thermique de surface, (B) pourcentage de saturation en oxygène dissous, situation en surface.

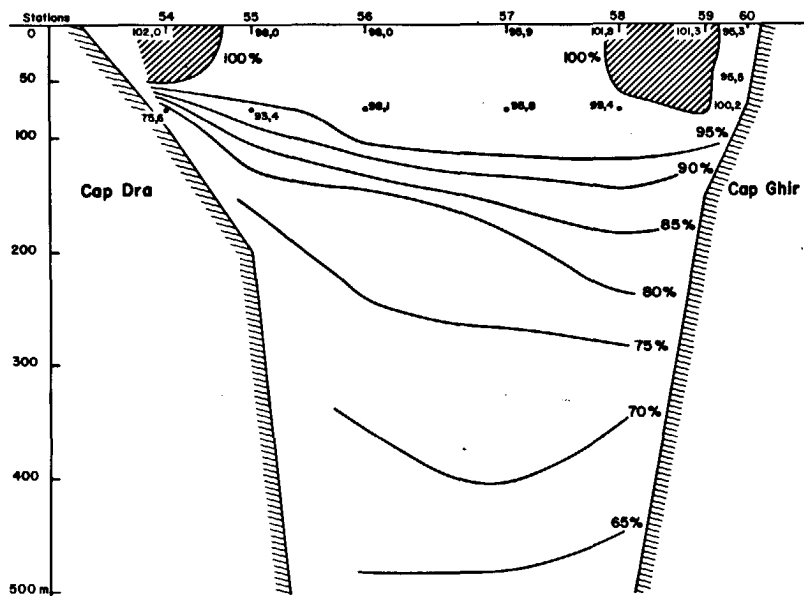


Figure 8 – CINECA-CHARCOT II (2^e partie) ; pourcentage de saturation en oxygène dissous, radiale du Cap Ghir au Cap Dra.

Phytoplancton

Les teneurs en chlorophylle *a* en surface, varient entre 0,14 et 1,75 mg/m³ ; pour l'ensemble des cinquante premiers mètres, le minimum a été observé près de la côte en début de campagne (moins de 15 mg/m²) au niveau du Cap Sim, localisation du maximum de remontée d'eau. En fin de campagne, c'est dans la partie sud du gradient thermique que se trouvent les plus fortes valeurs. La moyenne aux stations côtières est de 10,4 mg/m² pendant la première partie et de 21,1 mg/m² pendant la deuxième.

De la même façon, la production primaire journalière intégrée sur la couche d'eau de 0 à 50 m varie près de la côte entre 180 mgC/m², en début de campagne, et 1720 mgC à la fin. La productivité croît également au cours de cette période d'observation. Cependant les eaux océaniques, non influencées par la remontée d'eau et plus transparentes que les eaux côtières, ont une productivité voisine de celles-ci (55 mg C/mg chlorophylle *a*/jour). Le facteur jouant le rôle le plus important à cette époque de l'année est encore l'énergie lumineuse.

Zooplancton

La biomasse (poids sec) est mesurée sur le zooplancton prélevé au filet standard WP2 équipé d'un tissu filtrant de vide de maille 200 μ et débarassé de la fraction macroplanctonique (refus de tamis de 2 mm). La biomasse est exprimée en g/m².

Nous n'envisagerons ici que les pêches verticales effectuées dans la couche superficielle (200 m – surface ou du fond à la surface aux stations néritiques).

La valeur pour l'ensemble de la campagne est de 0,6 g/m². Les plus fortes concentrations (supérieures à 1 g/m²) sont localisées dans la zone néritique sud entre Sidi Ifni et le Cap Juby, les plus faibles se trouvent au nord de l'île Lanzarote et à l'ouest du Cap Ghir.

La différence entre la moyenne de la zone néritique (0,8 g/m²) et celle de la zone océanique (0,5 g/m²) est trop faible pour être le signe d'un enrichissement par remontée d'eau subsuperficielle à la côte.

Sur l'ensemble de la couche 200 m – surface, on n'observe pas d'augmentation sensible de la biomasse mésoplanctonique pendant la nuit ; ceci confirme nos résultats obtenus en Méditerranée (Boucher et Thiriot, 1972 ; Razouls et Thiriot, 1974). Cependant il y a concentration dans les niveaux supérieurs, la nuit, comme l'indiquent les mesures de la biomasse des prélèvements de 50 m à la surface. La biomasse nocturne de la couche 50 m – 0 est en effet environ deux fois supérieure à celle trouvée le jour.

Les données numériques des différentes mesures réalisées au cours de la campagne CINECA – CHARCOT I constituent un volume de la publication du CNEXO "Résultats des campagnes à la mer" (Thiriot, 1973).

Situation en mars : campagne CINECA – CHARCOT II

A cette époque des mesures ont été effectuées par le groupe Mediproduct (1974). Les stations sont groupées entre le Cap Sim et le sud du Cap Ghir et ne sont éloignées de la côte que de 60 milles au maximum.

Ces mesures permettent de constater cependant que le refroidissement de cette région s'est poursuivi et que la production planctonique a augmenté.

Toutes les valeurs de température sont inférieures à 17° 0 en surface. Le front thermique s'est éloigné de la côte et on observe une tache d'eau froide, inférieure à 15° 5, avec un minimum de 14° 9 entre le Cap Tafelneh et le Cap Ghir.

En dépit d'une énergie lumineuse incidente relativement constante (de l'ordre de 2 000 J/cm²), les taux de production journaliers varient considérablement, dans un rapport de 1 à 8. La production intégrée de la couche euphotique est minimale près du Cap Tafelneh au niveau des fonds de 50 m (370 mg C/m²/j) et maximale au large du Cap Ghir (2 445 mg C) sur les fonds de 800 m. Au-delà de l'isobathe de 1 000 m, elle est à peine moindre.

Les plus fortes valeurs obtenues révèlent une augmentation sensible de la production primaire par rapport aux maximums de février.

La biomasse zooplanctonique moyenne a également augmenté (1,7 g/m², au lieu de 0,5 g/m² dans la même région en janvier – février). Comme pour le phytoplancton, cette biomasse présente des variations beaucoup plus importantes de la côte vers le large. Sur les fonds inférieurs à 100 m, au niveau des températures les plus froides, la biomasse est de 0,5 g/m² seulement ; au niveau de l'isobathe 100 m, soit en bordure des eaux de remontée, on trouve les valeurs les plus fortes, 3,4 g/m² ; entre les fonds de 100 et de 1 000 m, les valeurs sont encore fortes, 2,5 g/m² ; enfin, au large, elles diminuent en demeurant encore relativement élevées, 1,3 g/m².

Situation en Juillet – Août : Résultats de la campagne CINECA – CHARCOT III

Température de surface

Le phénomène de remontée près de la côte est très net, on observe des "taches" et des "langues" d'eau froide limitées par des gradients parfois très marqués. Nous réserverons le terme de "tache" aux zones de dimensions relativement faibles, plus ou moins éphémères et celui de "langue ou panache" aux structures plus grandes et de caractère plus permanent.

En effet, à partir du schéma théorique de remontée des eaux, toute variation intervient sur la dynamique locale, que ce soit l'orientation de la côte, la présence d'un cap ou d'une chaîne de montagnes, la largeur du plateau continental, l'existence de vallées sous-marines ou de bancs. Les eaux froides ne constituent pas une bande continue. De plus les changements d'intensité et de direction des vents, ainsi que les courants de marée agissent également pour donner au phénomène de nombreux caractères de variabilité. Nous avons pu observer dans la région du Cap Tafelneh qu'au régime général des alizés, se superposait un phénomène local de variations des vents de nord qui présentaient des maximums dépassant 40 nœuds en soirée et des minimums inférieurs à 10 nœuds en matinée. Ceci n'était pas le cas plus au sud au niveau du Cap Dra – Ifni.

Le long de l'isobathe 50 m, le premier gradient indiquant une remontée d'eau froide en surface apparaît au nord du Cap Cantin (refroidissement de l'eau de 21° à 18°) ; un deuxième, au sud du cap après un léger réchauffement (de 19° à 16° en 10 milles) marque la limite nord des remontées d'eau les plus nettes.

Entre le Cap Sim et le Cap Dra nous avons, à plusieurs reprises, effectué dans la zone néritique des stations de plusieurs jours. Ceci nous a permis de différencier très nettement deux zones et d'observer le caractère plus ou moins permanent de certains résultats.

La première région est située entre le Cap Sim et le sud ouest du Cap Ghir, la seconde se trouve au niveau du Cap Dra et de Sidi Ifni. Ces deux zones directement influencées par les remontées d'eau sont séparées dans la région d'Agadir par de l'eau plus chaude, due à la "protection" du Cap Ghir. Le Cap Ghir joue en effet ce rôle, non seulement vis-à-vis des vents, mais aussi vis-à-vis du courant de circulation générale de l'eau superficielle qu'il déporte vers le large.

Dans la partie nord, si nous prenons l'isotherme 16°, nous avons tout d'abord observé une tache d'eau froide au niveau du Cap Sim au début de la campagne, avec un minimum de 14° 9, valeurs que nous n'avons pas retrouvées en fin de campagne, toutes étant supérieures à 18°.

L'isotherme 16° délimite ensuite une langue d'eau orientée vers le S.W. à partir du Cap Tafelneh. Nous avons retrouvé cette langue toujours inférieure à 16° malgré un léger réchauffement entre la première et la deuxième partie de la campagne.

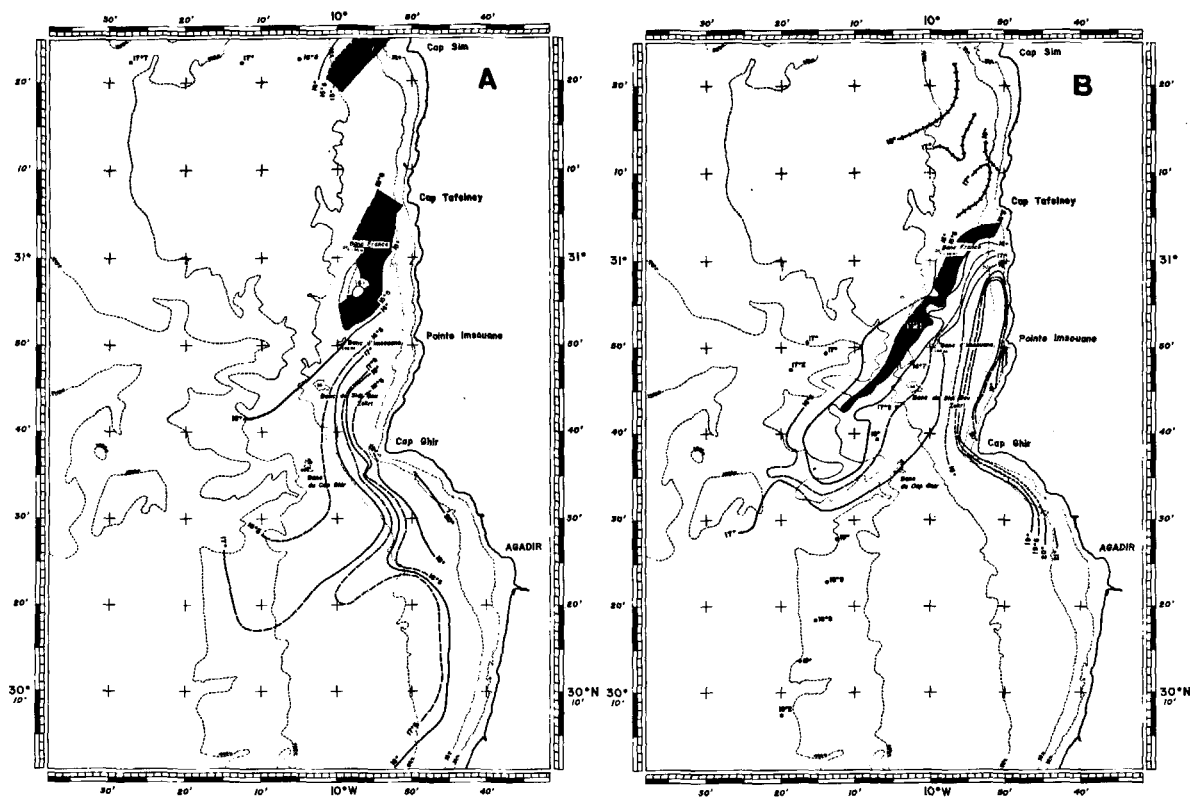


Figure 9 - CINECA-CHARCOT III ; distribution des températures en surface, (A) 1^{ère} partie, (B) 2^e partie.

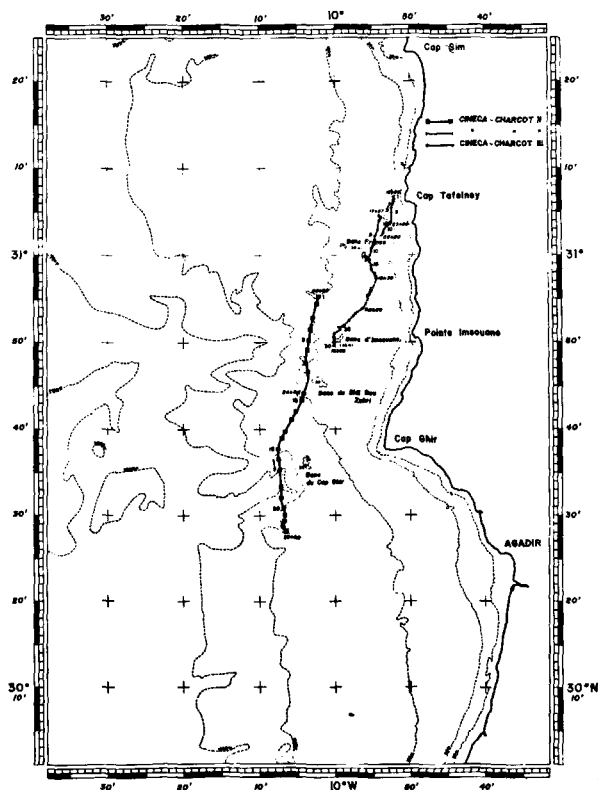


Figure 10 - CINECA-CHARCOT II et III ; trajets suivis au cours des expériences de bouée dérivante.

Vers l'ouest et le sud ouest, le gradient est peu marqué, il est plus net vers la côte. En effet, on observe entre la langue d'eau froide et la côte des températures dépassant 20° en surface au niveau de la pointe Imsouane et jusqu'au Cap Ghir. Cette eau chaude peut provenir de la baie d'Agadir, l'existence d'un contre courant superficiel côtier orienté sud nord étant visible sur certaines photographies prises par satellite (Szekielda, communication personnelle). En analysant plus en détail cette région, on constate la présence d'eau inférieure à 16° plus près de la côte, au-dessus des fonds de 20 m, et on la décèle également sous l'eau chaude superficielle en station, les remous des hélices faisant remonter de l'eau et mettant par là en évidence la présence d'une thermocline très près de la surface. Le gradient horizontal très marqué entre cette eau chaude et la langue d'eau froide correspond à une ligne de hauts fonds (Banc d'Imsouane, Banc de Sidi Bou Zekri et Banc du Cap Ghir) qui dévient l'eau venant du nord vers le sud ouest.

Trois expériences de bouée dérivante (deux au cours de la campagne CINECA – CHARCOT II et une à CINECA – CHARCOT III) ont précisé cette observation (Fig. 10).

Dans la partie sud, la température superficielle la plus basse observée est de 17° 8, mais dans l'ensemble de la région néritique, les valeurs sont supérieures à 18° et même à 19° près de la côte au niveau du Cap Dra. Cependant, il faut signaler le même phénomène que dans la région côtière de la pointe d'Imsouane, c'est-à-dire la présence d'une thermocline très marquée proche de la surface. On observe les mêmes caractéristiques pendant les deux parties de la campagne avec des valeurs légèrement supérieures à la seconde partie (entre 19 et 20°).

En conclusion, dans la région la plus directement concernée par le phénomène de remontée d'eau, il faut distinguer les zones où l'eau froide atteint la surface, comme c'est le cas au niveau du Cap Sim et du Cap Tafelneh et les zones où l'eau de surface demeure chaude et où se forme une thermocline comme c'est le cas dans la région sud et au niveau de la pointe d'Imsouane. Cette différence dans les structures thermiques se retrouve dans la répartition des concentrations en sels nutritifs et se répercute sur les productions primaire et secondaire pélagiques ainsi que sur les biomasses benthiques.

En zone océanique un tourbillon, situé au sud ouest du cap Ghir, provoque une "avancée" des eaux influencées par le phénomène de remontée jusqu'au banc de la Conception et symétriquement une "pénétration" des eaux chaudes entre le banc de la Conception et la côte. Ceci se corstare également d'après les caractéristiques photométriques (coefficient d'extinction) et se retrouve dans la distribution des biomasses phytoplanctoniques et zooplanctoniques.

Sels nutritifs

Des échantillons ont été prélevés aux profondeurs standards, jusqu'à 500 m à l'aide de bouteilles NIO. Après préfiltration à 200 µ, les nitrates, phosphates et silicates ont été analysés à bord, à l'aide d'Autoanalyzers Technicon type AA II.

Les analyses mettent en évidence des remontées d'eau de 200 à 300 m. Cette eau possède les caractéristiques de l'eau Centrale Nord Atlantique : 9 µatg/l en nitrate ; 0,6 en phosphate ; 4,5 en silicate.

La topographie des sels nutritifs fait apparaître une différence notable entre le phénomène au nord (Cap Tafelneh, Cap Ghir) et au sud (Sidi Ifni).

a) Au nord, on observe une structure de remontée d'eau. La figure 11 représente une coupe des nitrates du banc Dacia au Cap Sim, à la limite nord de la tache d'eau froide du Cap Sim. La source a été mise en évidence plus au sud au niveau du Cap Tafelneh (fig. 12).

Lors d'une expérience de bouée dérivante, le déplacement des eaux a été suivi pendant 30 heures depuis le Cap Tafelneh. Les concentrations en nitrates, phosphates et silicates passent respectivement de 9,6 ; 0,60 et 4,8 µatg/l à 6,2 ; 0,43 et 3,8 µatg/l. Dans l'axe de la langue d'eau froide, on observe alors un appauvrissement progressif en sels nutritifs, un réchauffement de la température, et le développement de la productivité primaire.

b) Au sud le phénomène est plus complexe. Il faut examiner la distribution horizontale au niveau de 10 m pour mettre en évidence deux zones de remontée : à la hauteur et au sud de Sidi-Ifni : les eaux riches en sels nutritifs n'atteignent pas la surface (fig. 12).

Trois couches d'eau peuvent être observées : (fig. 13)

– une couche superficielle de faible épaisseur, épuisée en nitrates et en phosphates. La répartition verticale des silicates met en évidence un maximum notable en surface, qui peut s'expliquer par des apports éoliens ;

TETHYS 6 (1-2) 1974

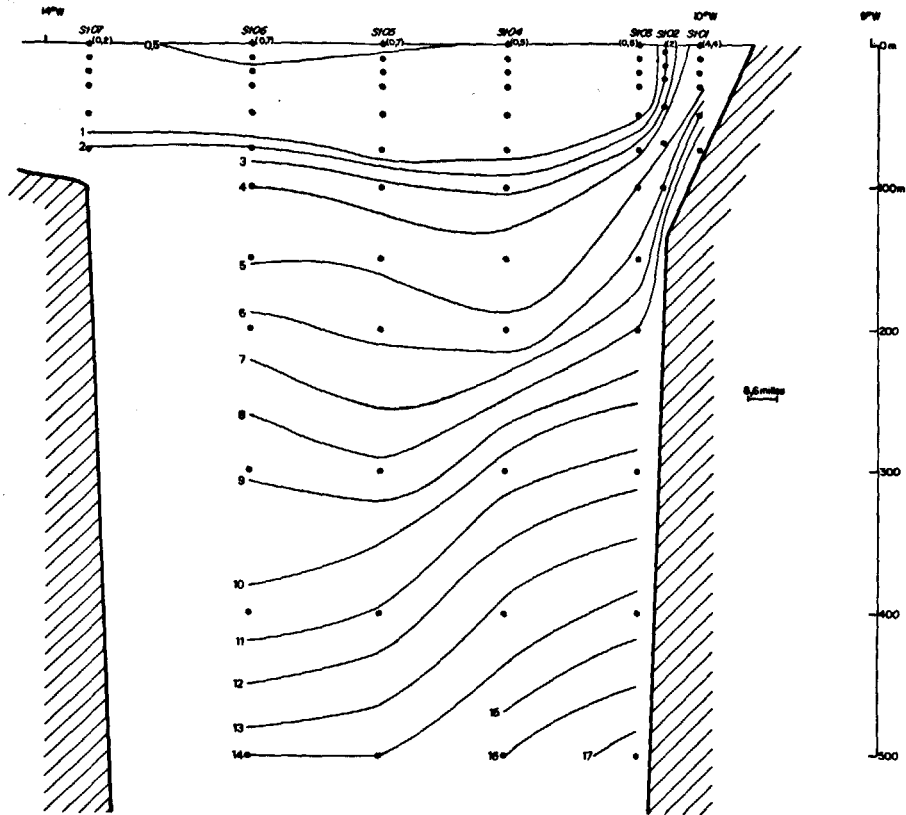


Figure 11 - CINECA-CHARCOT III ; répartition verticale des nitrates (en $\mu\text{atg/l}$), du Banc du Dacia au Cap Sim.

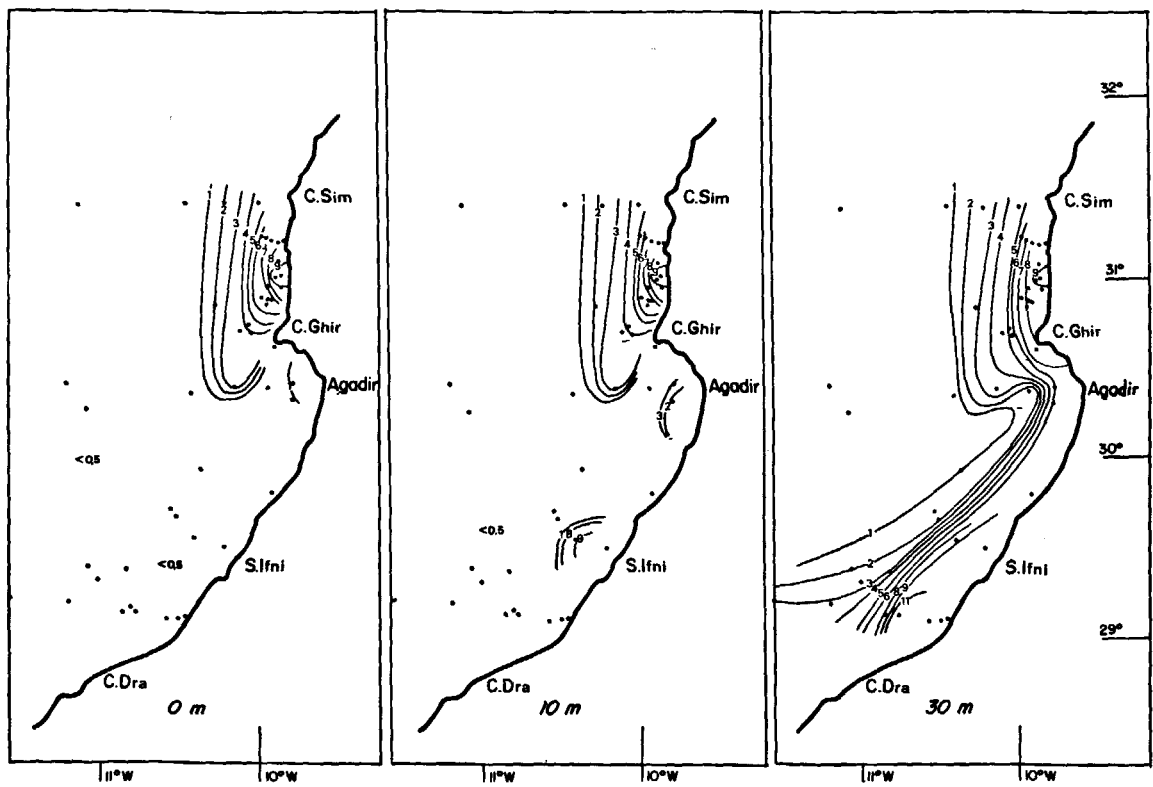


Figure 12 - CINECA-CHARCOT III (1^{ère} partie) ; répartition horizontale des nitrates (en $\mu\text{atg/l}$) pour les profondeurs 0 m, 10 m et 30 m.

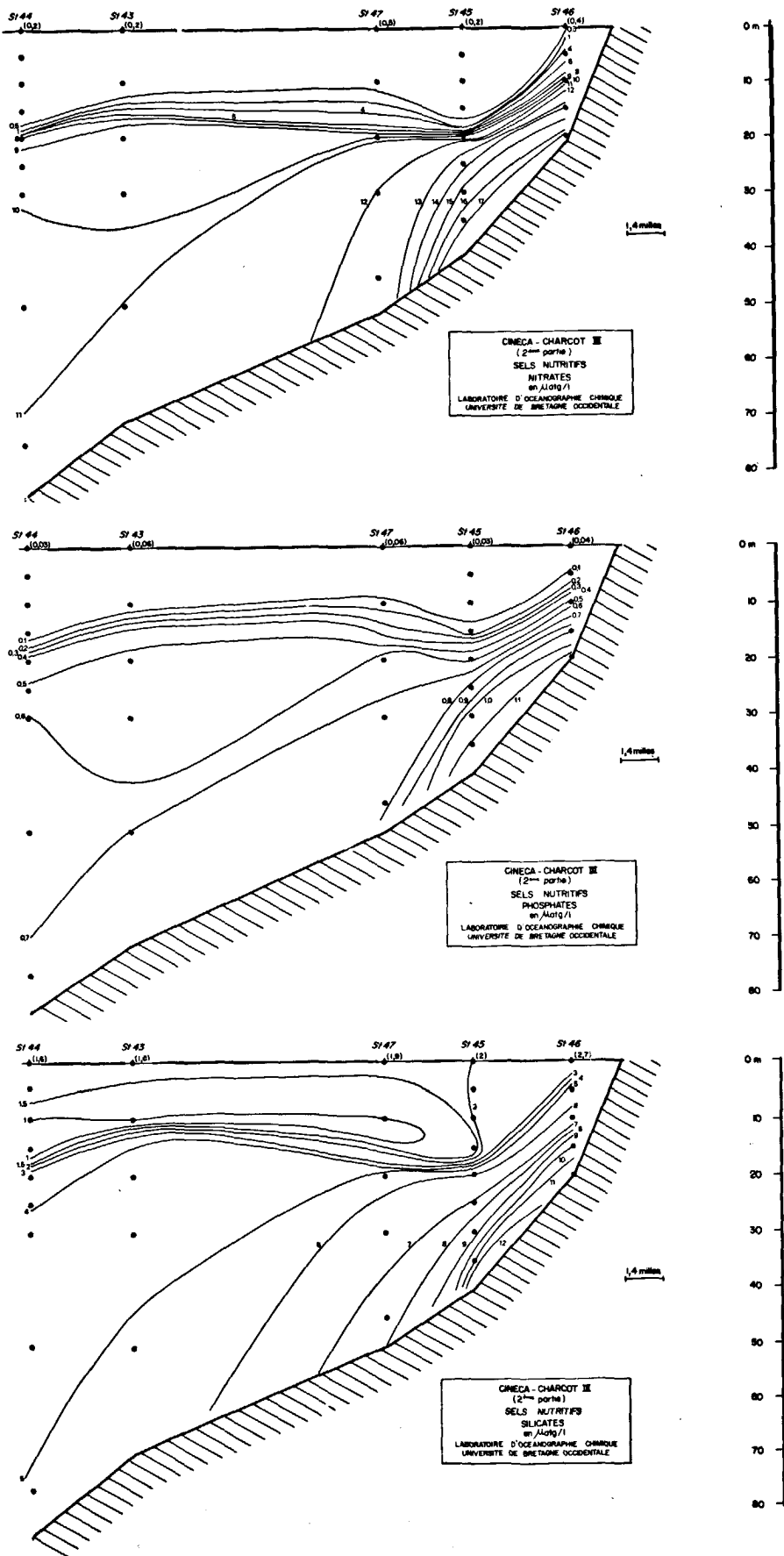


Figure 13 - CINECA-CHARCOT III, radiale des stations 43, 44, 45, 46 et 47 ; répartition verticale des sels nutritifs (en $\mu\text{atg/l}$):

– une couche intermédiaire d'eau froide, séparée de la couche supérieure par un fort gradient de sels nutritifs et qui correspond au maximum de productivité ;

– une couche caractérisée par des concentrations en sels nutritifs atteignant sur le fond 17 $\mu\text{atg/l}$ en nitrate, 1,4 en phosphate et 12 en silicate. Il ne peut s'agir d'une remontée d'eau Centrale Nord Atlantique car ces teneurs correspondraient à des profondeurs de 450 m pour les nitrates et largement supérieures à 500 m pour les phosphates et silicates.

L'origine de cette couche d'eau pourrait être attribuée à des remontées d'eau d'origine tropicale, plus riche en sels nutritifs, signalée dans cette zone lors de travaux antérieurs (Le Floch, 1974). Mais ceci n'est pas confirmé par les mesures effectuées pendant cette campagne par les physiciens.

La répartition verticale semble plutôt analogue à celle décrite par Jones (1971) dans le courant du Benguela. Cette situation correspondrait donc à un recyclage intensif des sels nutritifs, dans une zone caractérisée dans la couche intermédiaire par les plus fortes valeurs de production primaire de toute la campagne CINECA-CHARCOT III.

c) Entre ces deux zones, au niveau d'Agadir, aucune remontée d'eau ne se manifeste. La complexité de la répartition verticale des sels nutritifs peut s'expliquer par le mélange de l'eau froide et productive s'écoulant vers le sud-ouest, et de l'eau Centrale Nord Atlantique sous-jacente. Des valeurs relativement élevées de 8 ; 0,40 et 3,5 $\mu\text{atg/l}$ sont observées à 150 m respectivement pour les nitrates, phosphates et silicates.

La répartition décrite peut évoluer au cours du temps. Lors d'une deuxième prospection dans la partie nord, les plus fortes concentrations sont sensiblement décalées vers le Cap Ghir ; au sud, des concentrations plus faibles en surface sont observées sous la thermocline. Ceci peut correspondre à un déplacement vers le sud ou à un épuisement progressif de la couche riche en sels nutritifs, par ailleurs l'augmentation des températures de surface observées sur l'ensemble de la région entre les deux parties de la campagne pourrait également indiquer une diminution de l'intensité du phénomène de remontée.

Biomasse phytoplanctonique et production primaire

Les résultats correspondent aux mesures de chlorophylle *a* (déduction faite des phéopigments) et d'assimilation photosynthétique (méthode du ^{14}C) pour l'ensemble de la mission. Les valeurs d'assimilation sont exprimées par m^3 , et par m^2 pour la couche de 0 à 50 m (expériences *in situ* vraies) ou de la surface jusqu'à la profondeur où arrive 3 % de la lumière incidente (*in situ* simulé). Pendant la deuxième partie de la campagne, des mesures d'adénosine-triphosphate (ATP) ont été faites en sus.

a) en zone océanique

Les teneurs en chlorophylle *a* (fig. 14) sont inférieures à 1,3 $\mu\text{g/l}$ en surface et à 30 mg/m^2 dans la colonne d'eau de 0 à 30 m. Les isoplèthes moins resserrées dans la zone nord qu'au sud mettent en évidence l'avancée vers le sud-ouest des eaux de caractéristiques intermédiaires entre les eaux du large proprement dites et les eaux chaudes situées entre le banc de la Conception et la côte (fig. 14). Cette

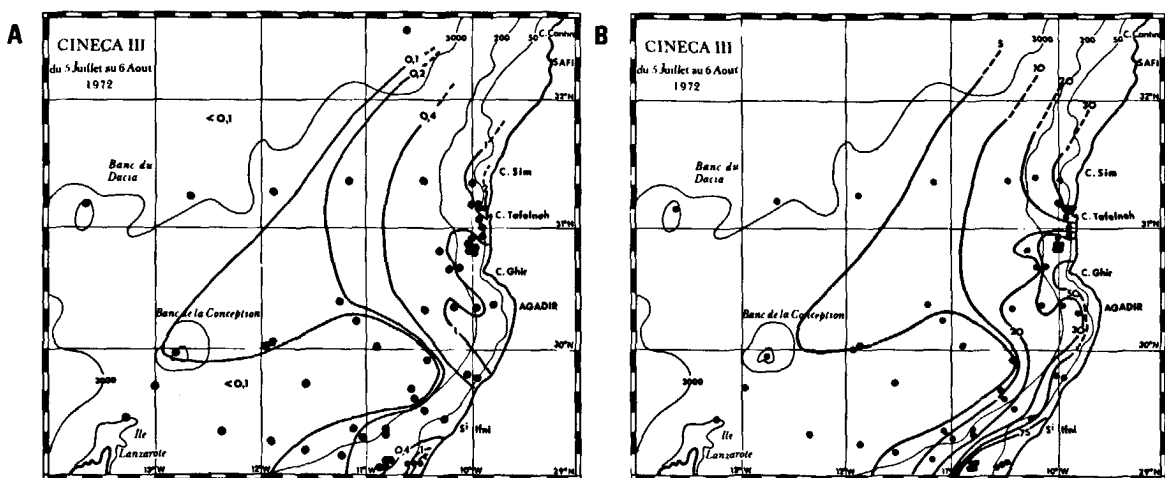


Figure 14 – CINECA-CHARCOT III ; distribution horizontale de la chlorophylle *a* ; (A) en surface, (B) valeurs intégrées de 0 à 30 m.

avancée se manifeste par des concentrations relativement plus élevées que celles des eaux qui l'entourent où les teneurs sont uniformément réparties et inférieures à $0,1 \mu\text{g}$. La production primaire moyenne est de $0,43 \text{ g C/m}^2/\text{jour}$ et le maximum ne s'observe pas en surface. Les valeurs mesurées au large de Sidi Ifni sont inférieures à celles enregistrées au nord, sur la radiale du Cap Sim, pour une même distance à la côte.

Les quelques stations effectuées au large pendant la deuxième partie de la campagne n'apportent aucune modification sensible à la répartition de la chlorophylle *a*. Aussi l'ensemble des données est-il rassemblé dans la figure 8. Dans la langue d'eau influencée par le phénomène de remontée, la production est voisine de $1 \text{ g C/m}^2/\text{j}$ et deux fois plus élevée que dans les eaux typiquement du large. Les taux sont homogènes dans les 30 premiers mètres.

La distribution générale de la somme des biomasses des autotrophes et des hétérotrophes, mesurées par l'ATP, est semblable à celle de la chlorophylle. Compte tenu de cette similitude, il est plus intéressant de considérer le rapport ATP/chlorophylle *a* qui permet de définir l'importance relative du phytoplancton autotrophe au sein de la matière vivante.

De ce point de vue, pour les valeurs intégrées, l'avancée d'eau s'avère proportionnellement plus riche en autotrophes que la langue d'eau située entre le Banc de la Conception et la côte (fig. 15).

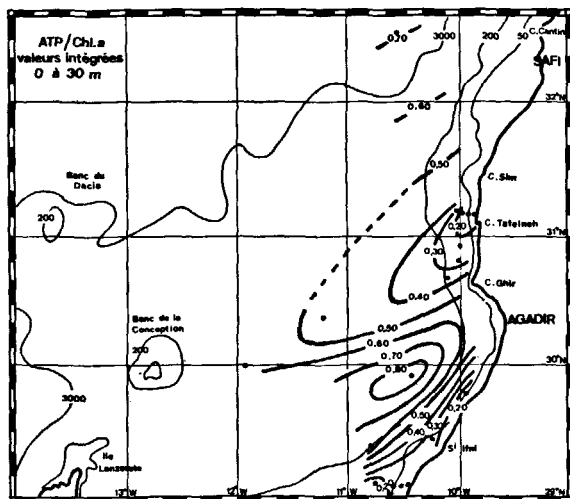


Figure 15 - CINECA-CHARCOT III (2^e partie) ; distribution horizontale du rapport ATP/Chlorophylle *a* (valeurs intégrées de 0 à 30 m).

b) en zone nétritique

Au cours de la première partie de la campagne dans la zone sud, les valeurs de chlorophylle *a* sont toutes inférieures à $0,3 \mu\text{g/l}$ en surface et à 30 mg/m^2 sur l'ensemble de la couche d'eau superficielle. Toutefois l'une des stations les plus côtières présente un taux supérieur (140 mg/m^2). A la station la plus froide (St. 15), la valeur intégrée jusqu'à 30 m n'est que de 11 mg/m^2 . Les valeurs augmentent vers le nord ; dans la baie d'Agadir et au niveau du Cap Ghir, elles sont voisines de $1 \mu\text{g/l}$ en surface et comprises entre 20 et 55 mg/m^2 .

Entre le cap Ghir et le cap Tafelneh apparaît une zone à faibles teneurs en chlorophylle *a* (inférieures à $0,5 \mu\text{g/l}$ et à 25 mg/m^2) située au niveau de l'affleurement le plus intense de la remontée d'eau. Au nord du cap Tafelneh, les valeurs augmentent de nouveau, atteignant $1,5 \mu\text{g/l}$ et 40 mg/m^2 .

Les résultats obtenus pendant l'expérience de bouée dérivante montrent d'abord une décroissance puis une augmentation de la biomasse phytoplanctonique dans la direction suivie par la bouée, surtout dans la couche des 20 premiers mètres.

La radiale nord (fig. 16) au niveau du cap Sim montre une décroissance régulière des valeurs de surface vers le large et la présence de concentrations homogènes dans la couche superficielle (0 à 30 m) de la zone côtière, correspondant à une couche de mélange liée à un régime de vents forts. L'épaisseur de cette couche homogène augmente aux stations du large.

Au niveau de la tache d'eau froide du cap Sim, les biomasses phytoplanctoniques sont supérieures (40 mg/m^2) à celles observées lors de l'expérience de la bouée dérivante (31 mg/m^2).

TETHYS 6 (1-2) 1974

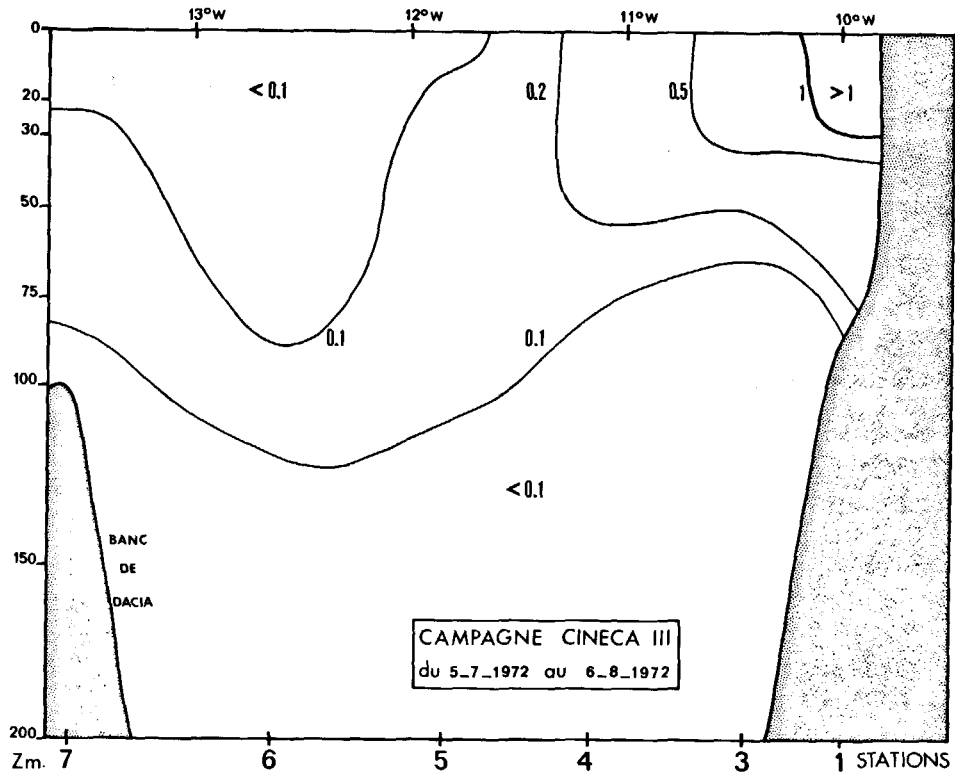


Figure 16 – CINECA-CHARCOT III (1^{ère} partie) ; distribution verticale de la chlorophylle *a*, radiale du Cap Sim.

Le taux moyen de production intégrée est de $2,1 \text{ g C/m}^2/\text{jour}$ dans la zone nord. Les productions les plus élevées s'observent en surface ou dans la zone la plus superficielle (20 premiers mètres). Le maximum, au niveau du cap Sim, est de 111 mg/m^3 à 15 m, alors qu'il est de 151 mg à 8 m à la dernière station de la bouée dérivante.

Au cours de la deuxième partie de la mission, dans la zone sud, la prospection faite plus près de la côte permet de détecter les plus fortes concentrations en phytoplancton de toute la campagne, aussi bien pour les valeurs de surface ($5 \mu\text{g/l}$ de chlorophylle *a*) que pour les valeurs intégrées (200 mg/m^2). Une coupe réalisée dans cette zone (fig. 17) montre une structure à trois couches :

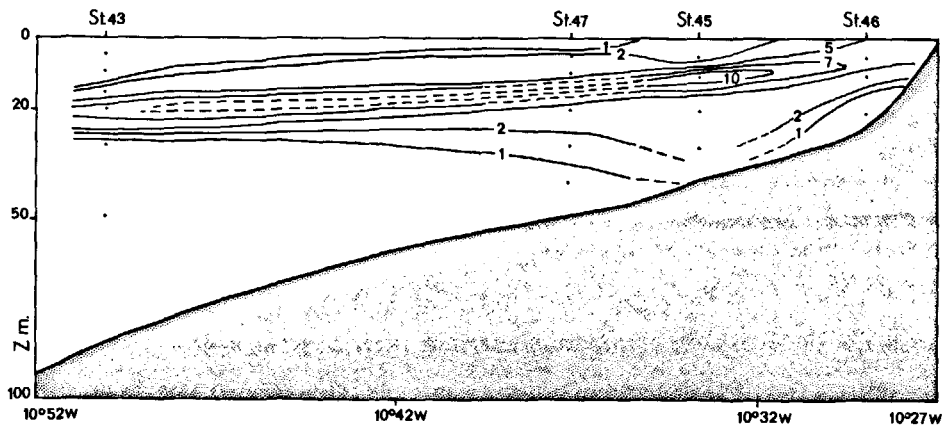


Figure 17 – CINECA-CHARCOT III (2^e partie) ; distribution verticale de la chlorophylle *a*, radiale côtière du Cap Dra.

- une couche superficielle relativement pauvre en chlorophylle s'épaississant vers le large, où la température est élevée et les sels nutritifs peu abondants.
- une couche intermédiaire à maximum de pigment très marqué (10 à 20 $\mu\text{g}/\text{l}$) d'une épaisseur limitée à une dizaine de mètres, coïncidant avec de forts gradients en sels nutritifs et en température.
- enfin une couche à faibles biomasses jusqu'au fond.

Il faut remarquer que les mesures effectuées aux profondeurs standard peuvent entraîner des différences importantes sur la localisation et les valeurs absolues du maximum. A la station 44, où des prélèvements ont été fait tous les deux mètres, le maximum (11 $\mu\text{g}/\text{l}$) situé à 22 m est dix fois plus élevé que la valeur mesurée à 20 m.

Dans la zone nord, on observe une structure nettement différente : d'une part, sur la radiale du cap Tafelneh, les valeurs aux stations côtières sont homogènes et comprises entre 1 et 2 $\mu\text{g}/\text{l}$, correspondant à des teneurs élevées et également homogènes en sels nutritifs ; d'autre part, entre le cap Ghir et le cap Tafelneh, dans l'axe de la langue d'eau froide, les maximums sont localisés en surface et les valeurs décroissent jusqu'au fond. Dans cette zone, les profils verticaux sont semblables à ceux observés pendant la première partie de la campagne.

Les deux zones nord et sud se distinguent également par la distribution verticale des taux de production. Ces taux sont nettement plus faibles au sud dans la couche superficielle (0 - 10 m), mais ils augmentent très fortement entre 15 et 20m. Le maximum absolu par unité de volume est noté à 20 m au niveau du cap Dra (308 mg C/m²/jour). Toutefois cette couche productive est assez limitée en épaisseur et les valeurs intégrées sont inférieures à celles mesurées au nord (3,2 g C/m²/j au nord et 2,3 g C/m²/j au sud, en moyenne). Le maximum de production pour toute la mission, de 4,2 g C, est noté au sud du cap Tafelneh dans la langue d'eau froide de température inférieure à 16°.

On remarque, au moins pour la zone nord, une augmentation sensible de la production entre les deux parties de la campagne.

Les plus fortes valeurs d'ATP par unité de volume en zone néritique apparaissent au sud du parallèle 29° N (1,9 $\mu\text{g}/\text{l}$ dans les 10 premiers mètres) alors que le maximum près du cap Tafelneh n'est que de 0,5 $\mu\text{g}/\text{l}$ en surface. D'après l'observation comparée des deux coupes nord et sud des rapports ATP/chlorophylle *a* (fig. 18), on retrouve une structure à trois couches superposées dans la zone sud, avec une plus grande abondance relative des autotrophes dans la couche moyenne, alors qu'au nord la structure est plus homogène, particulièrement pour les stations situées au niveau de l'isobathe 50 m où le rapport ATP/chlorophylle *a* est peu différent de la surface au fond (valeurs comprises entre 0,10 et 0,20). Il est intéressant de noter enfin, dans la coupe sud, qu'au voisinage du fond, dans la zone de recyclage présumé des sels nutritifs (entre 30 et 50 m de fond), les valeurs du rapport ATP/chlorophylle *a* sont basses et se rapprochent de celles obtenues au niveau de la couche à forte production primaire localisée entre 20 et 30 m (entre 0,10 et 0,20).

Zooplankton

Pour l'ensemble de la campagne, la biomasse moyenne est de 1,8 g/m² (aux stations correspondant à celles de la campagne CINECA - CHARCOT II, cette biomasse est de 2,7 g/m²). L'augmentation observée entre janvier et mars s'est donc poursuivie à un degré moindre cependant, pour la même région (celle du cap Tafelneh - cap Ghir) la biomasse a été multipliée par 2,4 entre janvier et mars et par 1,6 entre mars et juillet.

En zone océanique, la biomasse zooplanctonique est très pauvre, inférieure à 1 g/m², à l'exception de quatre stations qui se trouvent dans le secteur S.W. du cap Tafelneh dans une région correspondant à des températures de surface inférieures à 19°. La biomasse moyenne des stations situées dans les zones dépassant 19° est de 0,5 g/m², soit la même valeur qu'en janvier.

Au cours des deux parties de la campagne, les valeurs moyennes pour chaque zone ont été très voisines (certaines stations étaient séparées par un mois) :

zone néritique nord	première partie	2,6 g/m ²	zone océanique nord	première partie	1,2 g/m ²
	deuxième partie	2,4 g/m ²		deuxième partie	0,8 g/m ²
zone néritique sud	première partie	1,5 g/m ²	zone océanique sud	première partie	0,8 g/m ²
	deuxième partie	1,8 g/m ²		deuxième partie	0,6 g/m ²

C'est l'isobathe 200 m qui sépare la zone néritique de la zone océanique et le 30° N le nord du sud.

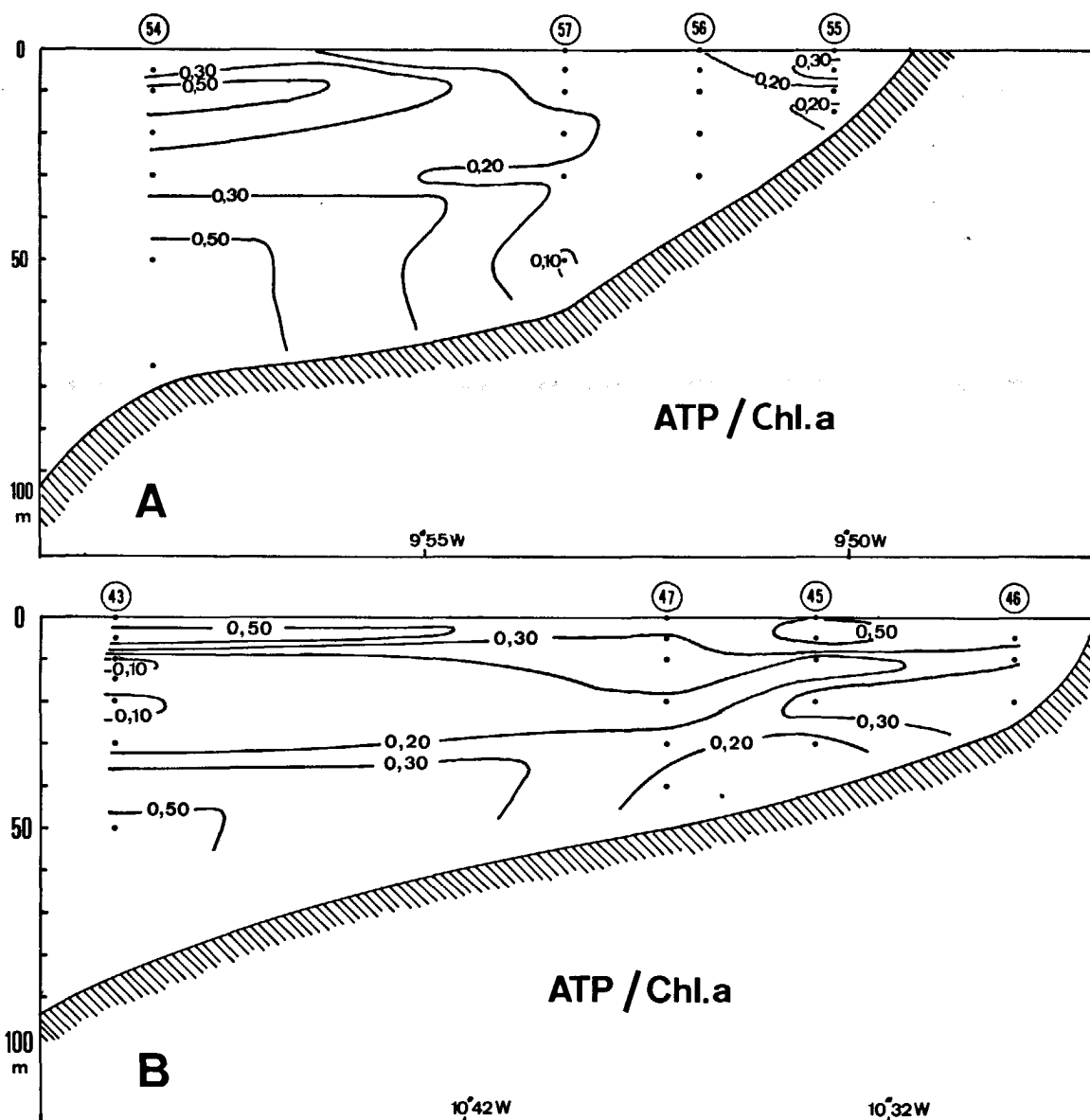


Figure 18 – CINECA-CHARCOT III (2^e partie); distribution verticale du rapport ATP/Chlorophylle *a*, pour les radiales côtières (A) Cap Tafelneh, (B) Cap Dra.

En zone néritique, l'étude des enregistrements de la température de surface nous a permis de distinguer la zone nord de la zone sud et dans la zone nord de séparer plusieurs régions différentes.

Au niveau du cap Sim, le phénomène de remontée d'eau est net en début de campagne, les biomasses correspondantes sont élevées ($3,4 \text{ g/m}^2$).

Au niveau du cap Tafelneh et dans la langue d'eau froide, les biomasses sont également élevées jusqu'au niveau du cap Ghir, aussi bien à la première partie de la campagne ($2,9 \text{ g/m}^2$) qu'à la seconde ($3,0 \text{ g/m}^2$). Cette biomasse augmente selon l'axe d'évolution de l'eau de remontée à partir du cap Tafelneh. Pendant l'expérience de bouée dérivante, la quantité de zooplancton est passée de $1,3 \text{ g/m}^2$ à $4,3 \text{ g/m}^2$ le long d'un trajet correspondant à 35 heures et à 12 milles de dérive.

Au nord du cap Tafelneh, en fin de campagne on observe la diminution de la biomasse entre les fonds de 70 m et ceux de 20 m au niveau des températures de surface les plus froides.

Plus au sud, près de la côte au niveau de la pointe Imsouane, a été trouvée la biomasse la plus élevée de la campagne ($6,0 \text{ g/m}^2$), là où existe une forte thermocline près de la surface.

Le long de la côte vers le sud après une valeur forte au niveau du cap Ghir ($5,3 \text{ g/m}^2$), la biomasse diminue au niveau d'Agadir ($1,1 \text{ g/m}^2$) pour augmenter de nouveau entre Sidi Ifni et le cap Dra ($1,7 \text{ g/m}^2$ en moyenne dans la zone néritique nord).

Dans cette zone néritique sud, malgré des conditions trophiques voisines de celles trouvées dans la partie nord et mêmes supérieures dans certains cas, on ne trouve pas de biomasses aussi élevées (3,5 au maximum). La présence de nombreux Acanthaires peut dans une certaine mesure expliquer cette faiblesse relative de la biomasse ; ce groupe en effet, lorsqu'il est abondamment représenté est compétiteur des Copépodes et constitue souvent une "fin" de réseau trophique.

Sur une radiale analogue à celle effectuée au nord du cap Tafelneh on observe de la même façon une diminution de la biomasse à partir des fonds de 80 m vers la côte.

Pour l'ensemble de la campagne on obtient les valeurs suivantes par région bathymétrique :

au-dessus des fonds inférieurs à 70 m	1,7 g/m^2
pour les fonds compris entre 70 et 100 m	2,7 g/m^2
entre 100 et 200 m	2,2 g/m^2
entre 200 et 1 000 m	1,0 g/m^2
au-dessus des fonds supérieurs à 1 000 m	0,6 g/m^2

Des résultats précisent la distribution de la biomasse dans les zones de remontée d'eau et mettent en évidence avec l'analyse détaillée, notamment celle de l'expérience de la bouée dérivante, la plus grande richesse dans les régions proches des sources froides. Dans les zones les plus froides, la biomasse, tout en étant plus pauvre que sur les fonds de 100 m, est cependant déjà relativement riche.

Le mésoplancton est constitué pour l'essentiel de Copépodes dont les espèces dominantes appartiennent aux genres *Acartia*, *Oncaea*, *Oithona*, *Temora* et *Centropages* (Boucher et Samain, 1974). Nous avons signalé la présence en grand nombre d'Acanthaires dans la zone néritique sud ; nous avons également observé l'existence de fortes concentrations de Noctilucques dans les prélèvements effectués en fin de campagne au nord du cap Tafelneh.

Le macroplancton est surtout représenté par des Siphonophores, des Chaetognathes et la Trachyméduse *Liriope tetraphylla* dont les distributions sont analysées dans un autre article (Goy et Thiriot, 1974).

Les Euphausiacés sont les seuls représentants du micronecton qui atteignent des densités relativement grandes dans nos prélèvements : les plus fortes concentrations ont été trouvées dans la partie nord de la région prospectée, dans les pêches de nuit en bordure de la zone néritique. Les plus petites espèces (genres *Euphausia*, *Nematoscelis* ou *Thysanoessa*), plus épipélagiques et à régime alimentaire de tendance herbivore,

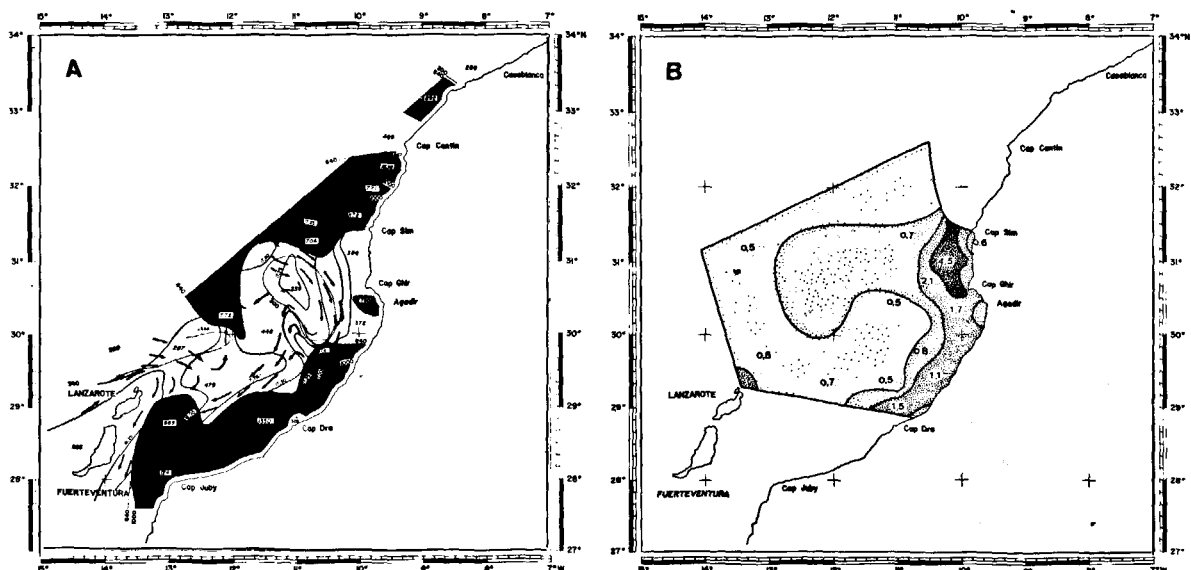


Figure 19 - Distribution de la biomasse zooplanctonique : (A) CINECA-CHARCOT I, (B) CINECA-CHARCOT III.

se trouvent tout le long du talus continental ; *Meganycitiphanes norvegica*, espèce un peu plus profonde et omnivore, est plus particulièrement localisée au niveau du cap Ghir dans une région où les isobathes 1 000 et 2 000 m se rapprochent de la côte et où ont été mesurées les plus fortes concentrations de mésoplancton.

En conclusion, au début de l'année, la différence entre les régions les plus riches en zooplancton et les régions les plus pauvres est faible ; certaines régions riches se trouvent en zone océanique, d'autres en zone néritique sans que l'on puisse constater un phénomène d'enrichissement par remontée d'eau. L'augmentation de la production est sensible dès le mois de mars dans la zone néritique et ce processus s'accroît en juillet alors que la biomasse océanique n'augmente pratiquement pas. Les plus fortes valeurs sont localisées au niveau des fonds de 100 m en particulier entre le cap Sim et le cap Ghir dans la langue d'eau froide à partir du cap Tafelneh. La valeur moyenne de la biomasse zooplanctonique de cette région atlantique marocaine ($2,6 \text{ g/m}^2$) en juillet est très voisine de la biomasse maximale observée en Méditerranée nord-occidentale en avril au moment où la divergence a son effet le plus intense sur la production zooplanctonique ($2,8 \text{ g/m}^2$) ou de celles mesurées dans le golfe de Gascogne au printemps et en été ($2,7$ et $2,8 \text{ g/m}^2$) en zone océanique.

CONCLUSIONS

Les deux campagnes réalisées par le N.O. "Jean Charcot" dans la région sud de l'Atlantique marocain, ont permis de décrire les structures pélagiques liées au phénomène de remontées d'eau à deux saisons différentes. L'intensité de ce phénomène et par suite l'enrichissement de la couche euphotique côtière en sels nutritifs est nettement plus faible en début d'année qu'en été. Les productions planctoniques sont par conséquent, elles aussi, plus importantes en été et essentiellement localisées dans certaines zones côtières plus particulièrement concernées par ce phénomène.

L'augmentation des biomasses, phytoplanctoniques et zooplanctoniques, et la formation des gradients trophiques superposés aux gradients hydrologiques se produit dès le début du printemps (février-mars).

En été, les mesures ont conduit à différencier très nettement, non seulement la zone néritique de la zone océanique, mais aussi la région côtière entre le cap Sim et le cap Ghir, de celle plus au sud au niveau de Sidi Ifni et du cap Dra. En effet, dans la région nord, l'eau de remontée atteint la surface et une langue d'eau froide se forme sous l'action des courants locaux et de la bathymétrie. La répartition verticale des paramètres physiques, chimiques et biologiques est relativement homogène, les biomasses sont élevées. Dans la région sud au contraire, les gradients horizontaux sont moins marqués ; l'eau de remontée n'atteint pas la surface et sous l'eau superficielle chaude et moins productive, on observe alors de très forts gradients verticaux. Près du fond, sur le plateau continental, se trouve une eau très riche en sels nutritifs issus de processus de recyclage. Les teneurs en chlorophylle *a* et les valeurs de production primaire sont les plus élevées de la région, au niveau de ce gradient mais sur l'ensemble de la couche d'eau ; c'est dans la région nord que se trouvent les plus fortes biomasses planctoniques.

Cette région côtière du Maroc constitue ainsi un lieu relativement privilégié pour l'étude des processus de production planctonique, des liaisons entre les différents niveaux des chaînes alimentaires et de la distribution des principales espèces.

Une nouvelle campagne doit avoir lieu en été 1973 dans la même région, elle est destinée à l'analyse plus précise de ces différents phénomènes et de leurs caractères de variabilité.

REFERENCES

- Boucher D., Glémarec M., 1973. Données préliminaires sur le benthos de la côte sud de l'Atlantique marocain. *Téthys*, 6 (1-2) :
- Boucher J., Samain J.F., 1973. L'activité amylasique indice de la nutrition du zooplancton. Mise en évidence d'un rythme quotidien en zone d'upwelling. *Téthys*, 6 (1-2) :
- Boucher J., Thiriot A., 1972. Zooplancton et micronecton estivaux des deux cents premiers mètres en Méditerranée occidentale. *Mar. Biol.*, 15 : 47-56.
- Goy J., Thiriot A., 1973. Distribution d'espèces planctoniques carnivores dans la région sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA - CHARCOT I et III. *Téthys*, 6 (1-2) :

- Groupe Mediproduct, 1973. Généralités sur la campagne CINECA – CHARCOT II (15 mars – 29 avril 1971). *Ibid.*, 6 (1-2) :
- Jones P.G.W., 1971. The southern Benguela current region in february 1966 : part I. Chemical observations with particular reference to upwelling. *Deep-Sea Res.*, 18 : 193-208.
- Le Floch J., 1973. Quelques aspects de la dynamique et de l'hydrologie des couches superficielles dans l'ouest marocain. Campagnes CINECA – CHARCOT I – III. *Téthys*, 6 (1-2) :
- Razouls C., Thiriot A., 1974. Données quantitatives du mésoplancton des deux cents premiers mètres en Méditerranée occidentale (saisons hivernales de 1966 à 1970). *Vie Milieu*, 23 (2B) (1972-1973) : 209-241.
- Thiriot A., 1973. Campagne CINECA - CHARCOT I, 22 janvier – 15 février 1971 *Publ. CNEXO, sér. Rés. Camp. Mer*, 6 : 188 pp ;

REMERCIEMENTS

Ce manuscrit est inscrit sous le n° de contribution 178 du Département Scientifique du Centre Océanographique de Bretagne.