

N° d'ordre : 974

50376  
1982  
121

50376  
1982  
121

# THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour l'obtention du titre de

**DOCTEUR 3<sup>e</sup> CYCLE**

par

Cécile DUPOUY

**ETUDE DES FLORAISONS DU PHYTOPLANCTON  
SUR LA RADIALE ROSCOFF - PLYMOUTH  
(MANCHE OCCIDENTALE) EN 1980 ET 1981  
APPORT DES IMAGES SATELLITAIRES  
DE LA COULEUR DE L'OCEAN**



Soutenu le 24 juin 1982 devant la Commission d'Examen

Membres du Jury	M. HERMAN	Président
	M. RICHARD	Rapporteur
	M. VIOLLIER	Examineurs
	M. DESCHAMPS	
	M. JACQUES	
	M. AIKEN	
	M. HOLLIGAN	

*A mes parents*

*Le suivi continu entre Roscoff et Plymouth n'aurait pu être réalisé sans l'appui et la compréhension de la compagnie des Brittany Ferries.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement le Commandant CHAPRON qui nous a autorisés à traverser la Manche aussi souvent que nous le voulions et toutes les fois que nous le désirions.*

*Mais, c'est surtout au cours de ces nombreuses traversées que nous avons rencontré le plus de gentillesse et d'amabilité, de la part des Commandants qui nous ont accueillis à bord et des personnes de l'équipage qui nous ont tant aidés et encouragés.*

Je remercie tout d'abord Madame J. LENOBLE, qui m'a accueillie au Laboratoire d'Optique Atmosphérique malgré ma formation de biologiste et qui m'a permis matériellement de réaliser cette étude, ainsi que Monsieur HERMAN qui a accepté de présider ce jury.

Merci également à Monsieur P.Y. DESCHAMPS qui en initiant le programme "Couleur de l'océan" au laboratoire m'a permis de réaliser ce travail d'océanographie, en m'apportant sympathie et précieux conseils.

Comment résumer ici toute l'aide et les encouragements que j'ai reçus de Monsieur VIOLLIER au cours de la réalisation de cette étude. Aurais-je pu surmonter les nombreux obstacles de la physique ou des mathématiques, sans sa patience et sa disponibilité ?

Malgré ses lourdes responsabilités à la Station Marine de Wimereux, Monsieur A. RICHARD m'a toujours soutenue au cours de ce travail. Que ce soit au début en acceptant de me diriger que pour les tous derniers conseils, il a constamment été présent et efficace. Sincèrement merci.

Je voudrais exprimer ici tout ce que je dois à Monsieur J.R. GRALL: pour la part décisive qu'il a eue dans la réalisation de ce projet et pour l'enthousiasme qu'il m'a communiqué au cours de nos discussions. J'espère dans ce travail être restée fidèle à ses idées et ses espoirs.

J'adresse mes remerciements à Monsieur G. JACQUES, qui a suivi la réalisation de cette étude avec intérêt, me faisant profiter de son expérience de la biologie du phytoplancton, et qui m'a fait l'honneur de participer au jury.

Je suis très reconnaissante à Monsieur J. AIKEN d'avoir accepté de faire partie de ce jury. Je pense à l'aide amicale qu'il m'a apportée en m'associant aux campagnes à bord du John Murray, ainsi qu'au chaleureux accueil de toute l'équipe de l'IMER de Plymouth, notamment Messieurs M. JORDAN et G. ROBINSON.



*Je suis sincèrement touchée par la participation à ce jury de Monsieur P. HOLLIGAN du M.B.A. de Plymouth qui m'a fait profiter de ses connaissances considérables du phytoplancton en Manche.*

*Il est difficile de remercier à la fois toutes les personnes de la Station Biologique de Roscoff qui m'ont accueillie et aidée durant ces deux années :*

*Monsieur J. BERGERARD, qui m'a permis de travailler à la Station.*

*Monsieur L. CABIOCH, qui m'a fait confiance pour la réalisation des campagnes Pluteus.*

*A tous les membres de l'équipe Phytoplancton qui m'ont initiée avec patience aux différentes techniques d'analyse et m'ont constamment encouragée.*

*A l'équipe des Marins du Pluteus sans qui je n'aurais pu mener à bien les campagnes en mer.*

*A tous les vacataires et amis qui ont courageusement participé aux traversées "car-ferry" Roscoff-Plymouth.*

*A tous les ingénieurs et techniciens qui ont toujours résolu avec efficacité et gentillesse les nombreux problèmes du matériel.*

*A tous les amis qui m'ont rendu le séjour en Bretagne si agréable.*

*Ma plus vive reconnaissance va aux personnes des équipes de l'U.B.O., du COB, et de l'I.S.T.P.M. qui se sont toujours intéressés à ce programme et qui m'ont si souvent encouragée, aussi bien au moment du travail en mer, que pour les analyses au laboratoire ou encore pendant la rédaction de ce manuscrit. Cette thèse est une contribution à leur initiative.*

*Merci surtout à Messieurs P. LE CORRE, J. LE FEVRE, F. SAMAIN, P. CAMUS.*

*Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la collaboration de nombreuses personnes du L.O.A., c'est à dire Messieurs J.Y. BALOIS, P. LECOMTE, C. VERWAERDE pour les mesures en mer d'optique marine, Mademoiselle C. DEROO pour toute la partie informatique.*

*Je tiens également à remercier toutes les personnes de la Station Marine de Wimereux qui m'ont chaleureusement accueillie, et également si souvent aidée au cours des campagnes ou au laboratoire.*

La réalisation du texte doit tout à Madame THEROUX que je remercie pour sa compétence lors de la dactylographie, à Monsieur D. MENU pour la partie graphique si parfaitement réalisée, et aux personnes qui ont assuré la reproduction si rapidement. Merci de leur gentillesse et de leur compréhension.

Enfin, merci à tous ceux que j'ai oubliés et qui m'ont rendu le séjour agréable, que ce soit à Roscoff, à Wimereux ou à Plymouth.

## SOMMAIRE

RESUME

INTRODUCTION

### PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DE L'ETUDE

#### CHAPITRE I - CADRE DE L'ETUDE ET OBJECTIF POURSUIVI

I-1 - Revue des connaissances actuelles

I-1-1 - Hydrologie générale

I-1-2 - Etudes d'océanographie biologique

I-1-3 - Observations d'optique marine

I-2 - Orientation de l'étude

I-2-1 - Etude in situ de la variabilité saisonnière et spatiale  
du phytoplancton

I-2-2 - Recherche des caractéristiques optiques des eaux

I-2-3 - Utilisation de la télédétection

#### CHAPITRE II - MATERIELS ET METHODES

II-1 - Moyens à la mer

II-1-1 - Présentation des campagnes

II-1-2 - Matériels et méthodes

II-1-2-1 - Réalisation des traversées Roscoff-Plymouth

II-1-2-2 - Réalisation des campagnes en mer

II-1-2-3 - Traitement et conservation des échantillons

II-1-3 - Analyses au laboratoire

II-2 - Détermination de l'état bio-optique

II-2-1 - Détermination des propriétés apparentes

II-2-2 - Relation entre propriétés optiques et biologiques

II-3 - Utilisation de la télédétection couleur de l'océan

II-3-1 - L'expérience CZCS et le traitement du signal

II-3-1-1 - Caractéristiques de CZCS

II-3-1-2 - Traitement du signal

II-3-2 - Présentation des images

II-3-3 - Un exemple de traitement

II-4 - Conclusion

## DEUXIEME PARTIE : RESULTATS

### CHAPITRE III - RESULTATS DE L'ETUDE HYDROBIOLOGIQUE SUR LA SECTION ROSCOFF-PLYMOUTH EN 1980 ET 1981

III-1 - Introduction

III-2 - Localisation de la zone frontale

III-3 - Evolutions saisonnières comparées 1980-1981

III-3-1 - Période hivernale

III-3-2 - Période printanière

III-3-3 - Période estivale

III-3-3-1 - Début de la période estivale 80-81

III-3-3-2 - Milieu de la période estivale

A - 1980

B - 1981

III-3-3-3 - Fin de la période estivale

III-4 - Résumé et conclusions

### CHAPITRE IV - OPTIQUE MARINE

IV-1 - Caractéristiques optiques

IV-1-1 - Atténuation diffusé

IV-1-1-1 - Variation de l'atténuation pour 5 longueurs  
d'onde du spectre visible

IV-1-1-2 - Influence de la répartition verticale des  
pigments du spectre visible

IV-1-1-3 - Influence du contenu de l'eau de mer sur  
l'atténuation

IV-1-2 - Réflectances

IV-1-2-1 - Variations de la réflectance pour 5 longueurs  
d'onde

IV-1-2-2 - Influence du contenu de l'eau de mer

IV-1-3 - Conclusion

IV-2 - Algorithme d'extraction de la chlorophylle en Manche

IV-2-1 - Chlorophylles équivalentes  $C_{sat}$

IV-2-2 - Détermination de la concentration en pigments à partir des  
mesures optiques

IV-2-3 - Conclusion

IV-3 - Conclusion générale

## CHAPITRE V - UTILISATION DES IMAGES CZCS EN MANCHE

V-1 - Images des pigments et de la température en Manche

V-2 - Interprétation

V-2-1 - Comparaison aux résultats de terrain

V-2-2 - Informations nouvelles apportées par le satellite

V-2-2-1 - Répartition des biomasses

V-2-2-2 - Hétérogénéité spatiale

V-3 - Analyse quantitative

V-3-1 - Validité de l'algorithme "Manche"

V-3-2 - Estimation des biomasses

V-4 - Conclusion

## TROISIEME PARTIE : DISCUSSION ET CONCLUSION

### CHAPITRE VI - CONTRIBUTION DE L'ETUDE A LA CONNAISSANCE DES DEVELOPPEMENTS PHYTOPLANCTONIQUES EN MANCHE OUEST

#### BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE I - LOCALISATION DES STATIONS

ANNEXE II - METHODOLOGIE DES PRELEVEMENTS SUR LA RADIALE

ANNEXE III - METHODES D'ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES

ANNEXE IV - METHODES D'ANALYSES BIOLOGIQUES. RESULTATS (tableaux de données  
et graphiques)

ANNEXE V - MESURES D'OPTIQUE MARINE - RESULTATS (tableaux)

ANNEXE VI - TELEDETECTION

## RESUME

Cette étude océanographique du phytoplancton de la Manche Ouest met en oeuvre des moyens nouveaux : suivi régulier des propriétés de la surface sur une ligne commerciale entre Roscoff et Plymouth en 1980 et 1981, utilisation d'images de l'expérience Coastal Zone Color Scanner sur le satellite Nimbus 7 (CZCS) et campagnes de mesures d'optique marine permettant l'interprétation des données satellitaires en 1981.

Elle permet de mettre en évidence une importante variabilité des poussées phytoplanctoniques en relation avec la présence du front thermique. En 1981, à l'aide de la combinaison d'images CZCS et de mesures en mer, on décrit un développement de Diatomées sur le front thermique, et une floraison massive de Dinoflagellés dans la zone stratifiée, celle-ci s'étendant sur une surface de 30 000 km<sup>2</sup> et persistant pendant plus d'un mois. Les eaux de la Manche, au moins à cette période, ont des propriétés optiques (atténuation et réflectances) influencées par le phytoplancton, ce qui conduit à établir un algorithme permettant l'analyse quantitative des scènes CZCS.

L'expérience CZCS apporte donc une vision synoptique des processus phytoplanctoniques, qui, associée à une étude de l'état bio-optique du milieu marin, devient un outil indispensable à toute étude d'océanographie biologique.

- PHYTOPLANCTON. FLORAISON
- OCEAN. COULEUR/SATELLITE. IMAGE
- MANCHE OCCIDENTALE. FRONT THERMIQUE
- OPTIQUE MARINE
- SATELLITE. IMAGE/OCEAN. COULEUR

## INTRODUCTION

Le but de cette étude est d'apporter une contribution à la connaissance du cycle saisonnier du phytoplancton en Manche, sur une zone jusqu'ici relativement peu décrite (entrée de la Manche Ouest à l'Est d'une ligne Land's End - Ile d'Ouessant).

Nous avons tenté de résoudre cette question en mettant en oeuvre des moyens originaux. Les méthodes choisies sont d'une part, un suivi régulier dans l'espace et dans le temps des caractéristiques de surface sur une ligne commerciale Roscoff-Plymouth, d'autre part l'utilisation d'images de l'expérience satellitaire de la NASA (Coastal Zone Color Scanner), embarquées sur NIMBUS-7.

Par comparaison aux croisières océanographiques classiques, ces méthodes présentent l'avantage d'étendre les observations sur des centaines de kilomètres (car-ferry) ou sur des milliers de kilomètres carrés (satellite), pour ainsi dépasser le cadre d'une station plus ou moins représentative. Grâce à la vision synoptique d'une large étendue puis à la répétitivité des passages du satellite, on s'affranchit de l'inconvénient ayant trait à la durée des investigations en mer. Ces mêmes méthodes réduisent obligatoirement la variété des paramètres possibles (notamment les profils verticaux dans la zone euphotique), mais apportent une dimension nouvelle à nos connaissances, indispensable à la compréhension des processus biologiques pélagiques.

Les informations satellitaires de la couleur de l'océan, pour être pleinement utilisées requièrent un minimum de connaissances en optique marine. C'est pourquoi, une partie de ce travail est consacrée à l'étude des relations entre paramètres biologiques et optiques.

La complémentarité des mesures spatiales et des "vérités-mer" a permis de décrire un important renouvellement des biomasses (et des espèces) phytoplanctoniques en relation avec la structure thermique des eaux. D'importantes différences dans les déroulements des cycles saisonniers 1980 et 1981, ainsi que dans les répartitions spatiales des floraisons algales, ont été mises en évidence.

Dans une première partie, nous définirons le cadre de notre étude et les méthodes utilisées.

Au premier chapitre, nous présenterons un bilan des recherches effectuées par différents auteurs dans les domaines de l'hydrologie, de la biologie et de l'optique marine sur la Manche. Nous exposerons alors pourquoi et comment une nouvelle optique d'étude doit être définie, en contribution aux connaissances acquises.

Le deuxième chapitre sera consacré à la description des moyens mis en oeuvre lors de notre étude (campagnes, imagerie satellitaire) et plus précisément, des matériels et méthodes employés dans les trois domaines abordés: biologie, optique marine et télédétection.

Nous analyserons ensuite les résultats obtenus dans une deuxième partie, laquelle comportera les trois chapitres suivants:

- évolution comparée des cycles biologiques établis d'après nos mesures en mer en 1980 et 1981
- les résultats d'optique marine
- l'interprétation des images "satellite".

Dans la troisième et dernière partie, nous discuterons les résultats obtenus et proposerons une synthèse sur les apports des différents domaines dans la connaissance des développements du phytoplankton en Manche Ouest.



PREMIERE PARTIE

PRESENTATION DE L'ETUDE

## CHAPITRE I - CADRE DE L'ETUDE ET OBJECTIF POURSUIVI.

La Manche dans son ensemble constitue un champ d'observation largement pris en compte, depuis les premières explorations océanographiques jusqu'à nos jours. Il n'en reste pas moins que d'importants domaines restent encore peu étudiés. Nous proposons dans cette présentation en deux parties, d'une part, une revue représentative des connaissances actuelles, d'autre part la définition des objectifs de notre étude.

### I-1 - Revue des connaissances actuelles

Cette revue tente d'exposer les résultats obtenus en Manche dans les domaines de l'hydrologie générale, de l'écologie du phytoplancton, et de l'optique marine, lors des cinquante dernières années.

#### I-1-1 - Hydrologie générale : un front thermique estival

D'après les études anciennes de DIETRICH en 1951 et les suivis hydrographiques depuis 1959 jusqu'à 1978 d'ARMSTRONG, BUTLER et BOALCH (1962, 1970, 1972, 1974), on note de très forts gradients de température de surface dans le Déroit de la Manche Ouest. Le brassage par les courants de marée sur le Plateau Continental détruit la thermocline estivale au large des côtes, sur une largeur d'une trentaine de milles. Le front thermique ainsi formé suit approximativement la ligne des 2 noeuds des courants de marée, et se prolonge d'Ouessant à la Cornouailles anglaise (voir figure 1). Le mécanisme de formation de ce front a été étudié par différents auteurs : SIMPSON et HUNTER (1974), FEARNHEAD (1975), PINGREE et GRIFFITHS (1978a) et GARZOLI (1979). D'après leurs modèles, la prévision de la position moyenne du front peut être effectuée à l'aide de deux paramètres : la hauteur de la colonne d'eau, H, et la vitesse du courant de marée, u.

Le front de la mer d'Iroise au niveau d'Ouessant est bien marqué, typiquement 3 °C en 5 kilomètres. Sa position est relativement stable, bien qu'il soit déformé par des tourbillons cycloniques bien mis en évidence par les thermographies satellitaires (PINGREE, 1979a), et qui, d'après cet auteur, pourraient être dus à un phénomène d'instabilité barocline.

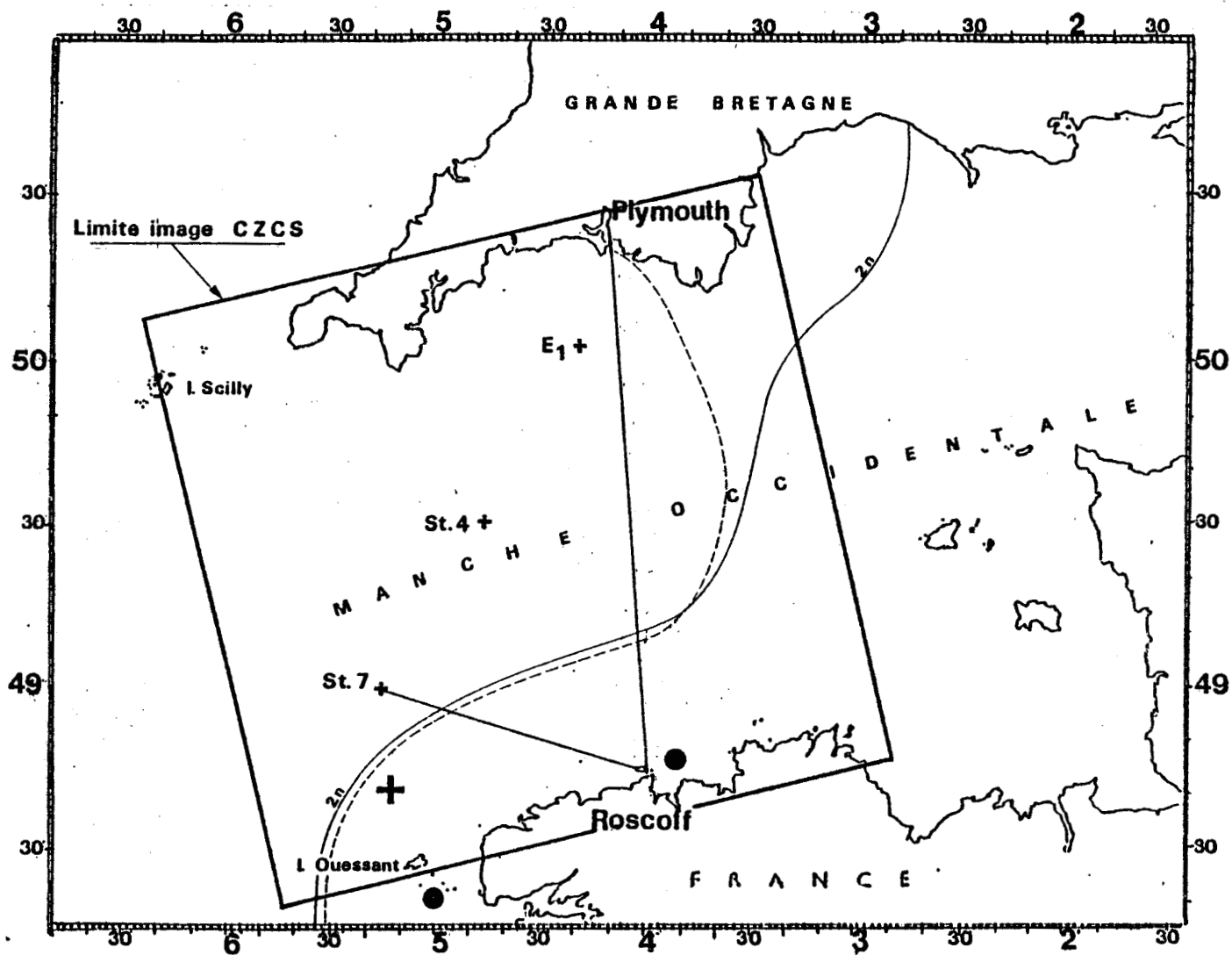


Figure 1: Position moyenne du front thermique (—) d'après PINGREE, 1975, par rapport à la ligne d'isovitesse de 2 noeuds (---) d'après DIETRICH, 1951.

Localisation des études antérieures: ●, françaises, +, anglaises, et celle de la présente étude:

(—) : radiales, (—) : limite des images CZCS.

Stations  $E_1$ , 4 et 7 d'après BOALCH, 1978.



A l'entrée de la Manche, par contre le front est plus diffus et sa position est très variable (PINGREE, 1975a). Le gradient plus faible du paramètre de stratification (dépendant de H et u), rend plus aléatoire la position du front, et ceci à cause de la pente monotone du plateau continental dans cette zone.

L'étroite relation entre l'établissement du front thermique d'Ouessant et le développement du phytoplancton a été mise en évidence par différents auteurs, et laisse à penser qu'il en est de même dans la partie plus orientale de l'entrée de la Manche.

### I-1-2 - Etudes d'océanographie biologique

Les études biologiques regroupent des recherches de type différent, soit des suivis très localisés, soit des études extensives sur une vaste échelle.

#### a - Suivis pluriannuels dans une région de référence

A Roscoff, l'étude du cycle phytoplanctonique a été entreprise par JACQUES (1963), GRALL et JACQUES (1964). La succession des espèces phytoplanctoniques (GRALL, 1972a) et le déterminisme de la production primaire (GRALL, 1966, 1972b) ont été analysés dans les parages de Roscoff (voir figure 1). Ces travaux ont été ensuite poursuivis par WAFAR (1981), et JEZEQUEL (1981). Les caractéristiques de ce cycle sont : la floraison intense et régulière de la diatomée *Rhizosolenia delicatula* au printemps, et les maxima de biomasse et de production pendant la période estivale. Cette région marine, située en zone brassée a cependant un net caractère littoral.

A Plymouth, des études similaires à la station hydrographique E<sub>1</sub>, en comparaison aux stations 4 et 7<sup>\*</sup>, situées au centre de la Manche (figure 1) ont été effectuées sur une décennie par BOALCH et al (1978). La station E<sub>1</sub>, quoique située entre la zone brassée côtière et la Manche est typique de la zone stratifiée : le cycle de la production primaire est très typé avec un seul maximum au printemps, les eaux stratifiées de surface restant appauvries de juin à août. Les cycles aux autres stations sont ceux d'une zone intermédiaire (4) et brassée (7).

---

\* Notation des stations propre aux auteurs anglais.

L'étude très complète effectuée à  $E_1$  par HOLLIGAN (1977) est une première tentative de relier la répartition de la biomasse phytoplanctonique aux conditions physicochimiques du milieu (exemple d'accumulation à la thermocline estivale).

Les eaux brassées de Roscoff, et les eaux à thermocline estivale ( $E_1$ ) présentent des cycles saisonniers du phytoplancton très différents, mais encore peu représentatifs de l'ensemble de la Manche Ouest.

#### b - Etudes extensives du plancton en relation avec la structure thermique

Une étude pionnière en ce domaine est celle de SOUTHWARD (1962) sur le zooplancton en Manche. La surveillance hydrographique de la Manche Ouest par ARMSTRONG et al (1970, 1972, 1974), en déterminant les variations saisonnières de la salinité, des sels nutritifs, de la matière particulaire en relation avec la température, ébauche déjà le cycle phytoplanctonique de la région étudiée.

Les premières observations de l'association entre le front thermique et la distribution du phytoplancton ont été faites au large d'Ouessant par LE FEVRE et GRALL (1970) et GRALL et al (1971). Elles font état d'accumulations algales et de phénomènes de marée rouge qui ont été ensuite observés en Manche Occidentale en 1976 (GRALL, 1976) et en zone côtière (LE FEVRE, 1978 ; BOALCH, 1979).

Plus tard nous trouvons les travaux du M.B.A. de Plymouth sur le phytoplancton du système frontal qui s'étend d'Ouessant au large des côtes françaises (carte 1), par PINGREE et al, 1975b, 1976, 1977a, 1977b, PINGREE, 1978b, PINGREE et al, 1979b et HOLLIGAN et al, 1977, 1980, HOLLIGAN, 1978, 1979, 1981. Une comparaison avec l'étude des autres fronts autour des Iles Britanniques (Mer Celtique, Orcades, Shetland, Flamborough Head) a également été réalisée (PINGREE et al, 1978).

Le schéma de base de la distribution bidimensionnelle du phytoplancton dans la zone frontale en période estivale est présenté figure 2 d'après PINGREE, (1977a). Du côté homogène, A, le brassage créé par les

---

\* Marine Biological Association, Plymouth, Grande Bretagne.

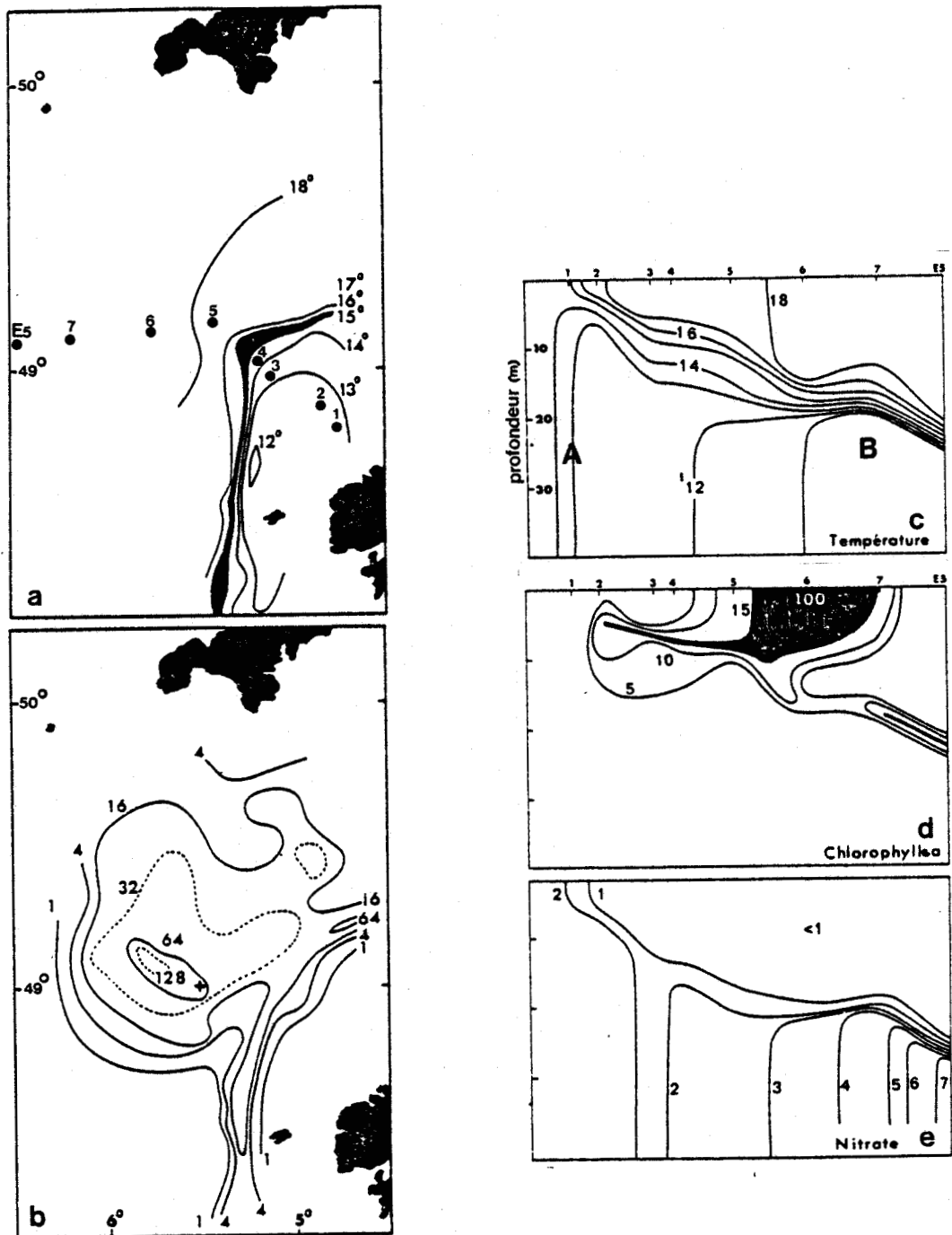


Figure 2: Données hydrographiques de la région frontale d'Ouessant en Août 1976 d'après PINGREE et al. 1977a.

**a**, température de surface ( $^{\circ}\text{C}$ ), **b**, chlorophylle a de surface ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )  
 Coupes verticales de la température ( $^{\circ}\text{C}$ ): **c**, de la chlorophylle a ( $\text{mg m}^{-3}$ ): **d** et des nitrates ( $\mu\text{gat l}^{-1}$ ): **e**, de la zone brassée. **A** (station 1) à la zone stratifiée (station E5).

courants de marée permet la remontée des sels nutritifs du fond. Toutefois, la croissance y serait limitée par les manques de lumière et de stabilité. La région brassée resterait donc enrichie en sels nutritifs non assimilés, mais pauvre en phytoplanton (PINGREE, 1975b, 1976, et HOLLIGAN, 1981). Du côté stratifié, B, la stabilité et un éclaircissement suffisant autoriseraient une croissance algale dans un premier temps en surface. Puis, au cours de l'été, comme le stock de sels nutritifs ne peut plus se renouveler, les algues ne se multiplient plus qu'à la profondeur de la thermocline.

En zone frontale, la stabilité de la masse d'eau étant intermédiaire, des échanges se créent à travers cette zone, notamment grâce aux tourbillons, ce qui a été mis en évidence par PINGREE (1979b). Un apport de sels nutritifs de la zone brassée allié à un éclaircissement suffisant à la surface permettraient une croissance sur le front des algues initialement accumulées à la profondeur de la thermocline. Par la combinaison de ces différents facteurs, des concentrations très élevées de chlorophylle sont alors trouvées sur le front (figure 2) (PINGREE et al 1975, 1976, 1977a, 1977b).

Dans des conditions favorables, après une marée de vive eau, ces tâches peuvent se transformer en marées rouges (PINGREE, 1976) et s'étalent du côté stratifié du front sur des centaines de kilomètres.

Les algues responsables de ces tâches étendues sont des Dinoflagellés, spécialement l'espèce *Gyrodinium aureolum* Hulburt, dont la préférence pour les eaux de température élevée, et de stabilité intermédiaire a été déterminée statistiquement par HOLLIGAN et al (1980).

L'originalité de cette étude réside dans le fait qu'elle tente de fonder un mécanisme général de la croissance phytoplanctonique en référence aux structures hydrologiques, et ceci malgré une grande variabilité dans le temps depuis 1975 et sur les différentes zones frontales.

#### c - Surveillance automatisée

Grâce au développement d'instruments de mesures automatisés remarquables, tel le "Continuous Plankton Recorder" de HARDY (1935), utilisé

sur des routes standards, une somme considérable de données a été accumulée sur la distribution des espèces planctoniques et des principales propriétés hydrologiques (ROBINSON, 1961, 1970), COLEBROOK et ROBINSON, 1961, 1965). L'exploitation de ces résultats a permis de trouver des cycles de variations de longue amplitude déterminants pour les cycles biologiques (RUSSEL et SOUTHWARD, 1971). Si les résultats apportés par ce système restent discutables, ils ont permis de dresser de véritables atlas des espèces phytoplanctoniques en relation avec leur milieu (LAKKIS, 1967).

Un nouvel instrument remorqué, l'"Undulating Oceanographic Recorder" permettant l'échantillonnage de l'ensemble de la zone euphotique a été mis au point par BRUCE et AIKEN, 1975. Des résultats récents ont été recueillis dernièrement en Manche (AIKEN, 1980, 1981a, 1981b) et montrent plusieurs enrichissements de la masse d'eau en zone frontale entre Roscoff et Plymouth (août 1979).

### I-1-3 - Observations d'optique marine

Nos connaissances d'optique marine sur les eaux de la Manche étaient réduites : pas d'études multispectrales, quelques mesures intégrées sur tout le spectre visible (400-700 nm) ou à une longueur d'onde centrale (530 nm). Ces déterminations associées à des études de production primaire sont tout à fait isolées dans le temps et dans l'espace.

Des travaux anciens de POOLE et ATKINS (1929) à la station  $E_1$  montrent que le coefficient d'extinction total de la lumière est variable au cours de l'année (entre 0,07 et 0,17  $m^{-1}$ ) mais qu'aucune variation saisonnière ne peut être définie sur les deux années 1927 et 1928. Un maximum a été observé en été (0,23  $m^{-1}$  à - 15 m), correspondant à une accumulation en profondeur de matière en suspension.

HOLLIGAN et HARBOUR (1977), donnent des valeurs du coefficient d'atténuation  $K$  ( $m^{-1}$ ) situées dans un intervalle de 0,07 (station  $E_1$ , mai 1976) à 0,34  $m^{-1}$  (station  $E_1$ , août 1976).

GRALL, (1972b) a mesuré des valeurs du coefficient d'extinction à 530 nm au large de Roscoff, dont la gamme de variation est très étroite



(0,08 à 0,19  $m^{-1}$ ).

Tous ces coefficients observés K sont comparables, et sont de l'ordre de 0,1 à 0,2  $m^{-1}$ , ce qui correspond à des eaux relativement claires (la profondeur du 1% de l'éclairement s'établit en moyenne à 30 m, d'après GRALL, 1972b).

Aucune tentative sérieuse n'a été faite pour relier ces coefficients à la biomasse du phytoplancton.

## I-2 - Orientation de l'étude

En exposant, dans la première partie de ce chapitre, les divers résultats obtenus sur la Manche, on mesure l'état actuel des connaissances. Si l'hydrologie générale peut maintenant être comprise, et les structures thermiques modélisées, il n'en est pas de même pour le phytoplancton. On s'interroge en effet de savoir si les conclusions apportées sur la distribution des espèces phytoplanctoniques au large d'Quessant sont applicables à la zone de gradient thermique diffus et variable de notre région d'étude. D'autre part, les études laissent encore en suspens les questions de l'étendue spatiale et de la régularité des développements intenses du phytoplancton selon les années.

Les mesures d'optique marine sont encore partielles et incomplètes et ne peuvent être utilisées comme références des eaux de la Manche.

Nous cherchons donc à apporter un complément des données de terrain sur la zone de la Manche la moins étudiée, de manière à définir les variations spatio-temporelles du phytoplancton ainsi que les propriétés optiques des eaux naturelles. Ces données serviront à interpréter les données disponibles de couleur de l'océan apportées par CZCS au cours de notre étude.

Nous définissons dans cette deuxième partie les objectifs de notre étude et exposons les moyens nouveaux que nous devons utiliser.

I-2-1 - Etude in situ de la variabilité saisonnière et spatiale du phytoplancton

Recueillir au cours de deux années consécutives (1980-1981) le plus grand nombre de données dans le temps sur une vaste zone (200 km) n'est possible que si on se limite à une seule dimension, par exemple, la couche superficielle de la mer.

D'autre part, recherchant une comparaison directe avec les données satellite, nous avons recherché une méthode permettant de rendre compte des variations spatiales du phytoplancton à moyenne et grande échelle (supérieure à 1 et 100 km).

Pour ces deux raisons, nous avons basé notre étude sur l'utilisation du car ferry, traversant la Manche de façon rapide et régulière entre Roscoff et Plymouth.

Nous avons donc adapté à notre trajet une technique mise au point à la Station Marine de Wimereux en 1980 (DUPONT, BENTLEY, 1981). Celle-ci permet un échantillonnage en semi-continu sur les 185 km de la radiale de façon quasisynchrone (5 heures 1/2).

Ce mode régulier d'étude de la couche de surface (11 radiales en 1980, 3 en 1981) rejoint ceux de PARSONS et ANDERSON (1970) sur l'Atlantique Nord et STEELE et HENDERSON (1979) sur la mer du Nord (expérience FLEX).

De manière à compléter les mesures obtenues du car ferry qui ne reflètent que la surface, des campagnes en mer ont été planifiées en mars, juin et juillet 81 (figure 1) et ont consisté en profils verticaux et en mesure optiques sur la radiale Roscoff-Plymouth. Il s'agit des deux campagnes "John Murray" et de la campagne "Pluteus", cette dernière ayant été détournée vers l'ouest en raison de mauvaises conditions météorologiques.

Remarques : La radiale Roscoff-Plymouth ne coupe pas systématiquement le front thermique, mais est parfois en position tangente (voir figure 3 FROUIN (1981)). En effet la position du front thermique atteint sa limite de pénétration à l'est, dans des conditions de stratification optimales (PINGREE, 1975) rarement réalisées.

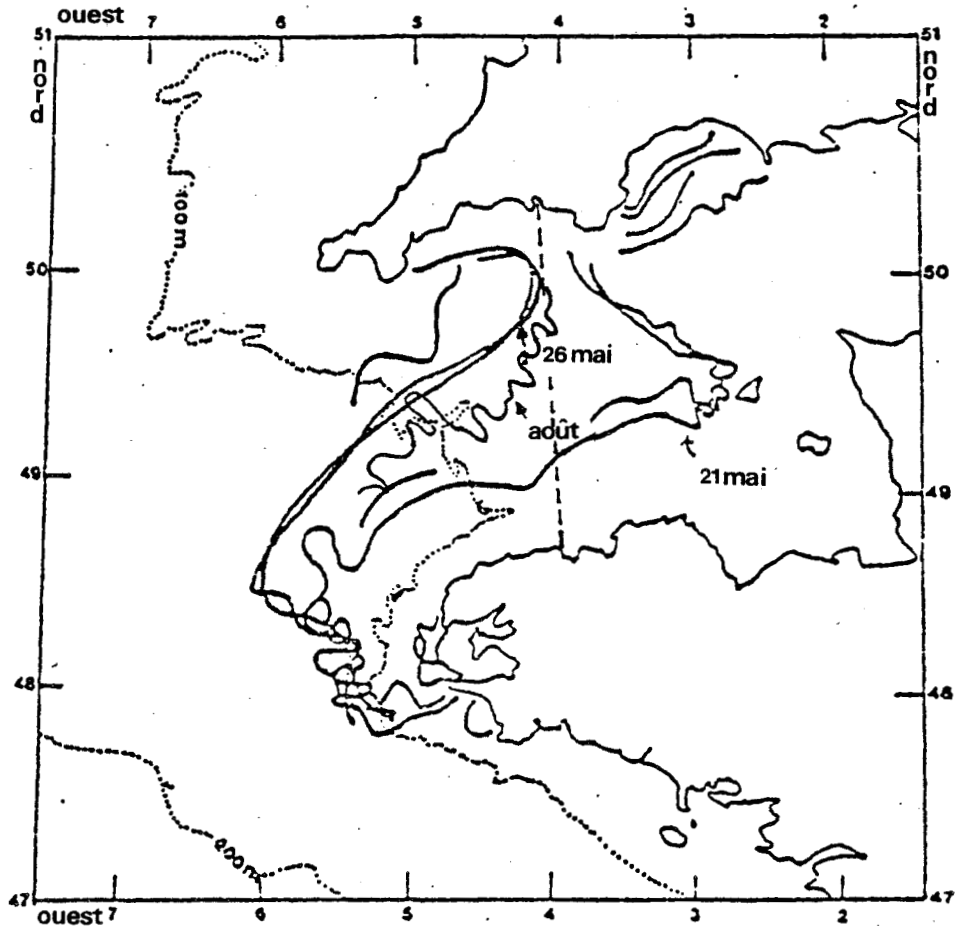


Figure 3: Localisation de la radiale Roscoff-Plymouth (---) en position tangente au front de marée (d'après FROUIN, 1981): exemples du 26 mai et du mois d'août. 1978 tracés à partir de thermographies de l'expérience HCMM. (Heat Capacity Mapping Mission).

Nous avons pu réaliser les deux campagnes sur la radiale Roscoff-Plymouth grâce à une participation à des croisières océanographiques organisées par l'I.M.E.R. (Institute for Marine Environmental Research) de Plymouth en vue d'exploiter les résultats du U.O.R. mark 2 (AIKEN, 1982) sur le navire John Murray en mars et juillet 81.

Nous avons pu effectuer l'ensemble des 14 radiales à bord des car ferry de la compagnie "Brittany Ferries" : les Cornouailles, le Penn ar Bed, l'Armorique, et le Prince of Brittany.

### I-2-2 - Recherche des caractéristiques optiques des eaux

L'objectif des mesures d'optique marine est double : d'une part interpréter les données captées par le radiomètre de l'expérience satellitaire, d'autre part, caractériser les eaux de la Manche, dans la limite des situations observées : mars, juin et juillet 81.

#### a - Interprétation de la couleur de l'océan

La couleur de l'océan est la mesure des réflectances de la mer dans le spectre visible. Les réflectances sont reliées par une relation approchée, (MOREL et PRIEUR, 1977) aux propriétés intrinsèques du milieu par l'équation:

$$R = \alpha B \frac{b}{a}$$

$\alpha$  = constante

B = constante de rétrodiffusion

b = coefficient de diffusion

a = coefficient d'absorption

(les définitions mathématiques de ces termes étant données en annexe V.

Les propriétés intrinsèques dépendent elles mêmes des constituants de l'eau de mer et principalement de la concentration en chlorophylle.

Notre principal objectif est d'obtenir des mesures des réflectances et des coefficients d'atténuation diffuse de la mer, coïncidant

avec les prises de vue du satellite, cette analyse devant s'effectuer à différentes longueurs d'onde, de préférence identiques à celles du radiomètre de CZCS.

La concentration des différents constituants, principalement celle du phytoplancton, peut ensuite être retrouvée à partir de la combinaison des réflectances. Ceci n'est vérifié que dans le cas d'eaux océaniques (cas 1 de MOREL) pour lesquelles on peut considérer que les divers constituants covarient avec la chlorophylle (MOREL, 1980). La question reste posée pour les autres types d'eau, notamment les eaux de la Manche pour lesquelles l'influence des rejets continentaux, bien qu'inférieure à celle de la Mer du Nord empêche leur classification en type océanique.

### b - Caractéristiques bio-optiques des eaux

A défaut de coïncidence avec les photographies de CZCS (performance difficile à réaliser sur la Manche en raison de la forte couverture nuageuse), les mesures recueillies permettent de définir un premier état bio-optique des eaux, ce qui consiste à quantifier les relations entre les propriétés optiques et les propriétés biologiques qui les influencent. SMITH et BAKER, (1978a,b), MOREL et PRIEUR, (1977), HOJERSLEV, (1980), CARPENTER et CARPENTER (1979), PRIEUR et SATHYENDRANATH, (1981), BUKATA et al (1981), ont ainsi élaboré des modèles à une ou plusieurs composantes suivant les types d'eau considérés.

Ces deux objectifs, intimement liés, ont pu être réalisés au cours des trois campagnes 81, en mesurant simultanément les propriétés optiques apparentes et la concentration en chlorophylle, ce qui nous a permis de construire les corrélations nécessaires, les premières à être établies sur la zone de la Manche Ouest.

### I-2-3 - Utilisation de la télédétection

La télédétection de la couleur de l'océan consiste à mesurer le signal globalement rétrodiffusé et réfléchi par l'ensemble mer-atmosphère, la part provenant de l'atmosphère perturbant par ailleurs fortement le signal marin. Ce principe, exploité initialement par des mesures avion

(CLARKE et al, 1970) puis de façon expérimentale par DESCHAMPS et al (1977a), (1977b), VIOLLIER (1976), VIOLLIER et al (1978a, 1978b, 1978c), VIOLLIER et BAUSSART, (1979) a été par la suite utilisé pour l'utilisation de radiomètres embarqués sur satellite mesurant la couleur de l'océan, CZCS, et futurs (DESCHAMPS et al, 1980).

L'utilisation de satellites en océanographie promet une amélioration des connaissances des ressources végétales et animales (YENTSCH, 1973). Parmi les premières applications de LANDSAT, on peut citer celles de LE MOALLE 1979 sur la production du lac Tchad, de HORTSMANN et al, 1978 et HORTSMANN et HARDTKE (1981) sur l'étude des processus d'eutrophisation de la Baltique ou des transports de sédiments, enfin celle de LE FEVRE et al (1982, à paraître), DUPOUY (1981), sur l'observation de matériel biologique de forme cyclonique sur le front d'Ouessant.

L'expérience CZCS lancée en 1978 sur le satellite Nimbus 7 a été décrite par HOVIS et al, 1980, et ses premières applications ont été présentées par GORDON et al, 1980. D'après ces auteurs, les traitements des perturbations de l'atmosphère permettent de mesurer la concentration en chlorophylle\* avec un facteur 2 ( $0,5 \log C$ ) dans le Golfe de Floride.

D'autres résultats positifs ont été obtenus sur des régions variées grâce à l'application de corrections atmosphériques : détermination de la répartition de la chlorophylle et de la turbidité en Méditerranée (VIOLLIER, 1980), concentration en seston de la Baie du Mont Saint Michel (VIOLLIER, 1980), tracé de la fluorescence in situ dans les eaux californiennes (SMITH et WILSON, 1980), détermination quantitative de la chlorophylle dans ces eaux (SMITH et BAKER, (1982a,b), coefficients d'atténuation diffuse (à 490 nm) dans le Golfe du Mexique (AUSTIN et PETZOLD, 1980).

---

\* Le terme chlorophylle désignant ici tout pigment photosynthétique absorbant aux mêmes longueurs d'onde que la chlorophylle a.

Aucune étude n'a encore été faite sur les eaux de la Manche. Pourtant, nous avons vu en première partie de cette présentation que le développement du phytoplancton, lié à la formation des fronts thermiques estivaux présente des répartitions spatiales et temporelles d'un caractère très variable.

Le champ d'observation du satellite (1500 km), la résolution spatiale définie (800 m x 800 m) permettent une vision synoptique des processus phytoplanctoniques sur l'ensemble de la zone, et une visualisation des structures à une échelle suffisante (supérieure au km<sup>2</sup>).

Le radiomètre de CZCS possédant également un capteur de température, on peut alors aisément relier les deux types de champs d'observations : images de la chlorophylle et de la température de la mer et formuler des hypothèses sur le rôle de la structure thermique dans l'écologie du phytoplancton.

La répétitivité des passages du satellite Nimbus 7 permet par ciel clair de visualiser la même scène quatre jours de suite par semaine, rendant possible l'observation suivie d'une floraison à l'échelle de temps de la croissance phytoplanctonique, propriété d'autant plus utile lorsque la zone d'étude est influencée par la marée.

On détient donc un instrument capable d'étendre nos mesures le long de la radiale Roscoff-Plymouth à toute la largeur de la zone, et de façon répétée, dans la mesure où le signal venant de l'atmosphère est éliminé et que l'interprétation des données par des mesures bio-optiques est possible.

## CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

Ce chapitre décrit les différents moyens mis en oeuvre au cours de l'étude et les matériels et méthodes utilisés. La première partie traite des modes d'acquisition des données de terrain, physicochimiques, biologiques et optiques. La deuxième partie définit les méthodes utilisées dans la caractérisation de l'état bio-optique des eaux. La troisième et dernière partie est consacrée à la télédétection : traitement des images et présentation des données disponibles.

### II-1 - Moyens à la mer

#### II-1-1 - Présentation des campagnes

Les tableaux 1 et 2 présentent les dates et conditions de marée des 14 traversées sur car ferry et des 3 campagnes en mer. Nous avons effectué 11 traversées en 1980, et 3 en 1981. Celles-ci ont été programmées l'année suivante de façon à s'intercaler entre les dates des campagnes (tableau 2). Les sorties en mer ont été réalisées dans des conditions de marée variables. Les coordonnées précises des stations sont données en annexe I.

#### II-1-2 - Matériels et méthodes

##### II-1-2-1 - Réalisation des traversées Roscoff-Plymouth

###### a) Echantillonnage lors du suivi

Les prélèvements sont réalisés à partir du car-ferry, toutes les 5 ou 10 minutes pendant la totalité de la durée du trajet "aller" (5 h et demi à 6 h). Celui-ci s'effectue en général le matin, le trajet retour dans l'après-midi. A la vitesse du ferry, plus de 13 noeuds, le pas d'échantillonnage qui en résulte est au minimum de 3,5 kilomètres, et au maximum, du double. Une radiale type compte donc 30 à 50 points de prélèvement sur une distance de 185 kilomètres. La figure 4 montre à titre d'exemple une radiale complète (le 6 août 80). Les instants de prélèvements sont chronométrés. Les positions exactes des points sont ensuite calculées par rapport aux coordonnées relevées par le Bord, la vitesse du bateau étant considérée constante (figure 4).



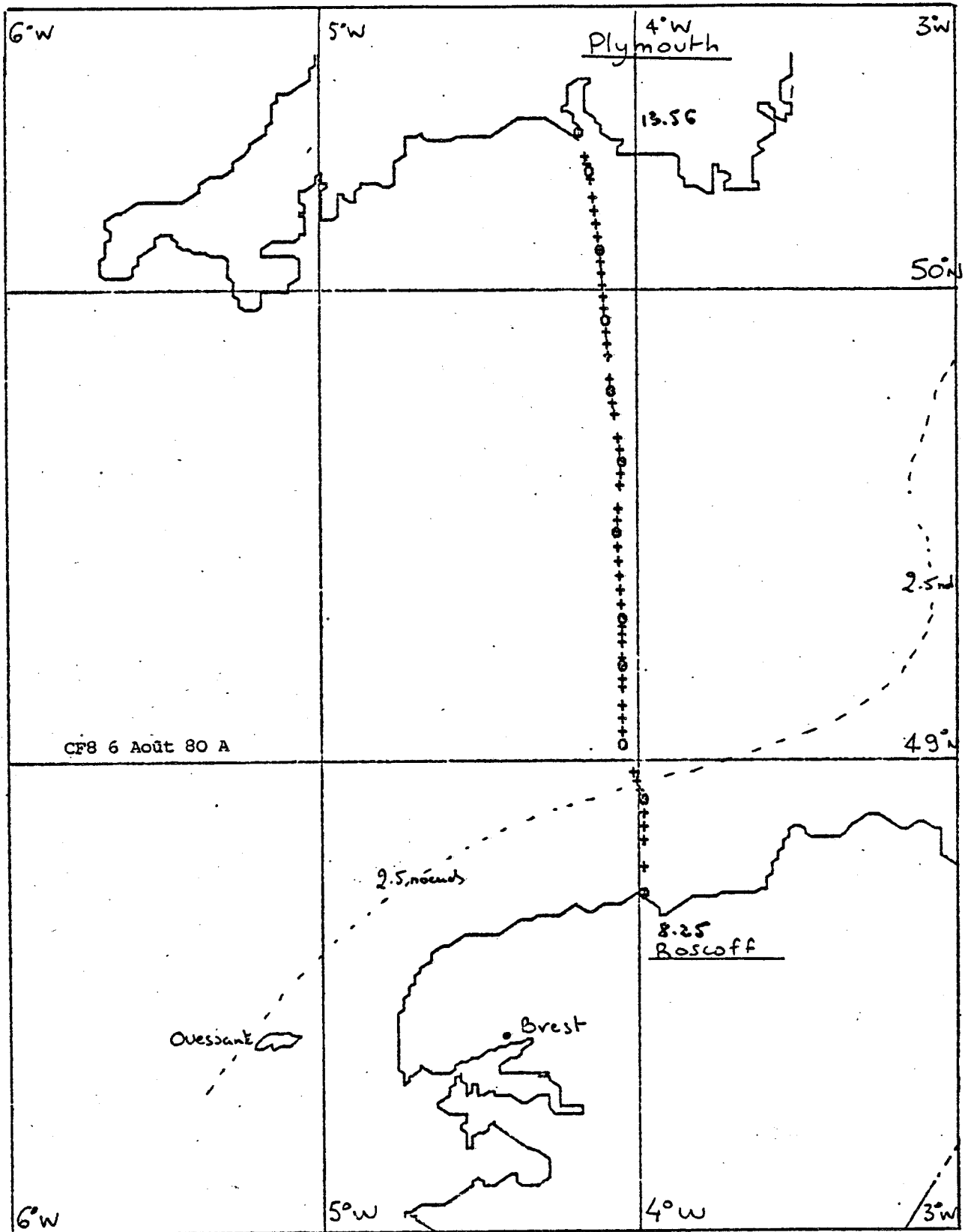


Figure 4 : Trajet moyen du car-ferry sur la radiale ROSCOFF-PLYMOUTH

● Positions du navire ((coordonnées du Bord)

+ Points de prélèvement

Remarque: le pas d'échantillonnage est ici de 3 km, ce qui correspond à un intervalle de temps entre chaque prélèvement de 5 minutes.



Tableau 1 - Moyens à la mer. - Radiales Roscoff-Plymouth (A et R)  
1980-1981

Dates	Coefficients de marée	Situations/PM Brest au départ de Roscoff (A) Plymouth (R)	Tendances du courant
29 mars 80	70	PM + 4 h 30	Jusant
19 avril 80	86	PM + 30 mn	Flot
3 mai 80	83	PM + 20 mn	Flot
17 mai 80	94	PM+ 25 mn	Flot
11 juin 80 A	87	PM + 4 h 30	Jusant
R	90	PM + 1 h 30	Flot
2 juillet 80 A	84	PM - 1 h 30	Flot
R	82	PM - 5 h 30	Jusant
17 juillet 80 A	69	PM - 1 h	Flot
R	65	PM - 5 h 30	Jusant
6 août 80	55	PM - 6 h 30	Jusant
26 août 80 A	97	PM + 4 h 45	Renverse
R	102	PM	Flot
9 septembre 80	86	PM - 6 h 15	Jusant
1er novembre 80	41	PM + 4 h 30	Jusant
2 juillet 81 A	96	PM + 1 h 15	Flot
R	96	PM - 3 h 40	Jusant
5 août 81 A	73	PM - 2 h 15	Flot
R	68	PM - 6 h 45	Jusant
20 août 81 A	89	PM - 5 h 20	Renverse

Tableau 2 - Moyens à la mer. - Campagnes 1981

Campagne	Dates	Coefficients de marée	Lieu
John Murray I	26-27-28 mars 81	64 53 43 59 48 38	Manche Ouest Eaux anglaises
Pluteus	15-16 juin 81	65 70 68 73	Manche Ouest Eaux françaises
John Murray II	15-16-17 juillet 81	63 70 76 67 73 79	Manche Ouest Roscoff-Plymouth



L'échantillonnage qui en résulte est de type quasi-continu et est adapté à notre objectif qui est de reconstituer l'hétérogénéité spatiale du phytoplancton à moyenne et grande échelle (supérieure à 10 km).

#### b) - Mode de prélèvement

L'eau de surface est prélevée soit à l'aide d'un seau (pour les 6 premières radiales) soit par l'intermédiaire de la pompe à incendie du navire, fonctionnant en continu. La profondeur échantillonnée est de 0 à 2 m au seau, et de 5 m avec la pompe, cette profondeur étant celle du tirant d'eau du navire où se situe la prise d'eau. Le débit peut être réglé manuellement avec une force moyenne. L'effet de la pression de la pompe à incendie brise les longues chaînes de diatomées, mais ne modifie pas le nombre total de cellules (annexe II tab.2). Aucun effet d'évitement de la pompe par les espèces mobiles (telles *G.aureolum* Hulburt ou les Noctiluques) n'a été observé puisque ces espèces ont pu être échantillonnées pendant l'été 81.

### II-1-2-2 - Réalisation des campagnes en mer

#### a) - Localisation des stations

Les campagnes John Murray comprennent théoriquement 11 stations, espacées chacune de 16,6 km (9 milles, figure 5). Cependant, en raison du mauvais temps, la campagne John Murray 1 (mars 81) n'a pu être accomplie en totalité : seules les stations 1 à 7 ont été réalisées. De même, la campagne Pluteus (juin 81) a dû être rapprochée de la côte, et orientée en direction de l'ouest.

#### b) - Prélèvements hydrologiques

Les prélèvements d'eau sont réalisés à l'aide de bouteilles à renversement de type N.I.O., lors des campagnes John Murray et de type NISKIN avec le "Pluteus".

Pour les campagnes John Murray, seule l'étude de la zone euphotique était programmée. Les profondeurs de prélèvements étaient donc de

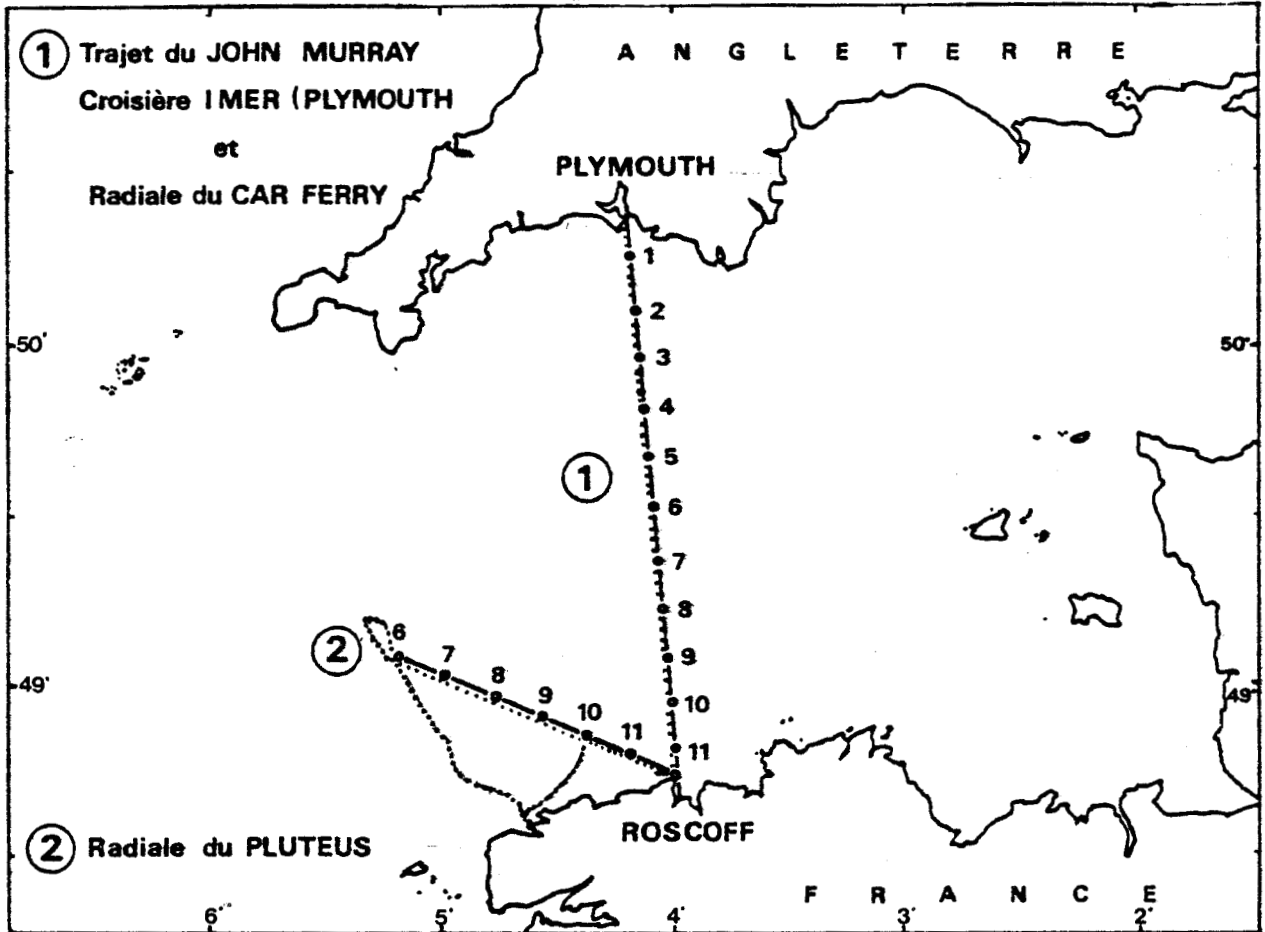


Figure 5: Positions des stations lors des campagnes John Murray: ① et Pluteus ② sur la ligne Roscoff-Plymouth. Trace du suivi continu de la fluorescence (.....).  
Remarque: on n'a effectué en mars (John Murray 1) que les 7 premières stations.

0,5, 10, 15, 20 et 30 m (5, 10, 20, 30, 40 en mars). Pour la campagne Pluteus, elles étaient de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 70 et fond, les stations du large n'ont pu être effectuées entièrement.

Nous avons réalisé grâce à un circuit d'eau continu des enregistrements de la fluorescence de surface afin de compléter les données ponctuelles des stations (Pluteus, juin 81 et John Murray 2, juillet 81).

### c) - Matériel et méthode d'obtention des données optiques

En chaque station, les mesures d'optique sont réalisées immédiatement avant les prises d'échantillons.

Nous avons utilisé un radiomètre fabriqué par la compagnie allemande EOS. Cet appareil qui peut être immergé jusqu'à une profondeur de 50 mètres, mesure les éclairagements plans horizontaux  $E_u^\lambda$  et  $E_d^\lambda$  dans cinq bandes spectrales décrites tableau 3. Quatre bandes sont identiques à celles de CZCS, la bande à 400 nm a été ajoutée pour tenter de distinguer entre chlorophylle et substances jaunes. La température et la pression de l'eau sont mesurées simultanément, ce qui permet de calculer la profondeur à laquelle la mesure a été faite.

<u>Canal</u>	<u>Longueur d'onde centrale ( <math>\lambda</math> nm)</u>
1	400
2	443
3	520
4	550
5	670

Tableau 3 - Caractéristiques spectrales du radiomètre

### II-1-2-3 - Traitement et conservation des échantillons

Les échantillons d'eau de mer sont traités immédiatement à bord du ferry dès la fin du prélèvement. La température est mesurée, puis on filtre l'eau en vue des analyses de la chlorophylle et de la charge particulaire à l'aide d'un ensemble sous vide. On congèle à bord les sous

échantillons destinés à l'analyse des sels nutritifs. Les échantillons destinés à l'analyse néphélométrique de la turbidité sont conservés au frais.

Les méthodes sont identiques lors de l'ensemble des campagnes. Avec le Pluteus, nous avons complété nos analyses par des mesures en ammoniacque et en oxygène dissous. Les réactifs ont été ajoutés immédiatement (à bord) aux prélèvements et les analyses effectuées à terre au laboratoire.

### II-1-3 - Analyses au laboratoire

J'ai effectué la plupart des analyses au laboratoire à la Station Biologique de Roscoff, selon les méthodes de STRICKLAND et PARSONS, (1972). J'ai réalisé les mesures néphélométriques dans le laboratoire de A. AMINOT au C.O.B.. J'ai procédé à des déterminations spécifiques et comptages avec l'aide des chercheurs de la S.B.R. de Roscoff et de la Station Marine de Wimereux (annexe IV).

Les dosages des sels nutritifs ont été effectués par le laboratoire de P. LE CORRE (U.B.O.) (annexe III).

Les précisions concernant les mesures à la mer et les différentes analyses sont données aux annexes II, III et IV.

## II-2 - Détermination de l'état bio-optique

### II-2-1 - Détermination des propriétés apparentes

La détermination des réflectances marines à partir du rapport des éclairagements remontants  $E_u^\lambda$  et descendants  $E_d^\lambda$  mesurés in situ est détaillée en annexe V.

Celle des coefficients d'atténuation diffuse  $K^\lambda$  se fait d'après la pente de la droite du logarithme de  $E_d^\lambda$  en fonction de la profondeur. Elle est également détaillée et illustrée en annexe V.

Les deux exemples choisis représentent deux stations situées l'une

en milieu homogène, l'autre en région stratifiée, en présence d'une thermocline.

### II-2-2 - Relation entre propriétés optiques et biologiques

Les mesures en mer des paramètres biologiques (essentiellement le phytoplancton) et des propriétés apparentes ont été synchronisées dans le but d'établir différentes corrélations.

De manière à définir l'influence du phytoplancton sur l'atténuation de la lumière et sur la couleur de l'océan, on cherche une équation qui relie ces propriétés à la concentration en chlorophylle.

On considère que les propriétés optiques du phytoplancton dépendent de la concentration en pigments totaux (chlorophylle a et phéopigments). En cas d'hétérogénéité verticale de la distribution du plancton, on utilise la moyenne pondérée des pigments sur les 10 premiers mètres.

### II-3 - Utilisation de la télédétection couleur de l'océan

Nous avons dit au chapitre I que la télédétection était un outil puissant, dans la mesure où nous savons corriger le signal global des effets perturbateurs de l'atmosphère et où nous possédons ensuite une méthode de détermination des différents constituants.

Dans une première partie, nous donnons les spécificités de l'expérience CZCS, et nous exposons brièvement les principes et méthodes de traitement et d'interprétation des données télédétectées.

En deuxième partie, nous présentons les images disponibles.

En conclusion, nous présentons un exemple de traitement d'image.

#### II-3-1 - L'expérience CZCS et le traitement du signal

##### II-3-1-1 - Caractéristiques de CZCS



Nous présentons les caractéristiques de CZCS (d'après VIOLLIER, 1981).

CZCS est embarqué sur Nimbus 7, dont l'orbite a les caractéristiques suivantes :

- circulaire à l'altitude de 955 km
- synchronisée par rapport au soleil
- le temps solaire moyen du noeud ascendant est 12 h
- l'inclinaison est de  $99^{\circ} 28'$  par rapport à l'Equateur.

La combinaison de ces paramètres et du champ d'observation (79 degrés) donne à CZCS une répétitivité d'environ 4 observations d'un point sur 6 jours.

Les caractéristiques du radiomètre sont les suivantes :

- 6 canaux, voir tableau 4
- toute mesure codée sur 8 bits
- champs instantané : 0,05 degré
- d'où résolution spatiale : 825 mètres (largeur d'un pixel)
- champ total : 79 degrés
- d'où largeur balayée : 1566 km
- possibilité d'incliner le plan de balayage jusqu'à 20 degrés de la verticale de manière à éviter la réflexion spéculaire du soleil (tilt).

Canal	$\lambda_c$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	Rapport S/N
1	443	20	158
2	520	20	200
3	550	20	176
4	670	20	
5	750	100	
6	11500		

Tableau 4 - Caractéristiques des canaux de CZCS, longueur d'onde centrale, largeur, rapport signal sur bruit.

## II-3-1-2 - Traitement du signal

### a) - Correction des effets de l'atmosphère

Plusieurs algorithmes de correction atmosphérique permettant de retrouver les réflectances provenant de la mer (GORDON, 1978, VIOLLIER, 1980c) VIOLLIER et al, 1980a ont été élaborés.

Bien qu'un certain nombre de problèmes soient apparus quant aux incertitudes de la calibration radiométrique (VIOLLIER, 1981, 1982 a, b), une synthèse des premiers résultats démontre que la concentration en chlorophylle peut être détectée avec une précision appréciable, au moins dans le cas d'eaux océaniques (cas 1 de MOREL).

### b) - Détermination de la concentration en pigments

Le principe d'extraction de la concentration des différents constituants consiste en rapports ou différences de réflectances de longueurs d'onde différentes (MOREL, 1980).

Une corrélation entre les rapports  $R_{440}/R_{550}$ , ou  $R_{520}/R_{550}$ , et la concentration en chlorophylle est recherchée. Cet algorithme basé sur nos mesures en mer sera ensuite utilisé dans le traitement final des images satellitaires. Il sera comparé à celui d'autres auteurs : CLARK, (1980) SMITH et WILSON, (1980).

### c) - Les étapes du traitement

Le traitement de correction atmosphérique mis au point par VIOLLIER et al, (1980) nous permet de retrouver à partir des données brutes, les réflectances provenant uniquement de la mer.

Présenté de façon schématique p. suivante, il comprend 7 étapes qui consistent à :

- obtenir des réflectances calibrées à partir des données brutes digitalisées
- effectuer les corrections atmosphériques
- utiliser l'algorithme de détermination de la chlorophylle (et du seston), construit à partir des mesures d'optique marine.

## Les 7 étapes du traitement

d'après VIOLLIER, 1981 (thèse)

Masque du continent et des nuages à  
l'aide du canal 5 (750 nm)

Entrée des données

Calibration radiométrique<sup>+</sup>  
Normalisation au flux incident  
Correction distance terre-soleil F  
Quantité d'ozone  $U_{o3}$   
Géométrie  
Coefficient d'Angström n  
Compte numérique du pixel

Réflectances calibrées

Correction Rayleigh-ozone  
(on corrige l'effet des molécules de l'atmosphère  
= absorption par l'ozone et diffusion Rayleigh)

Correction aérosols  
(on corrige l'effet de la diffusion par les aérosols  
brume, brouillard, particules en suspension dans  
l'air : on utilise le canal 4 (670 nm) pour lequel  
la réflectance résiduelle de l'eau est très faible)

→ Choix d'un coefficient d'Angström n  
(conséquences examinées au chapitre V)

Réflectances de la mer

Algorithme pour retrouver les concentrations des cons-  
tituants de l'eau de mer : chlorophylle a et parti-  
cules minérales



<sup>+</sup> Avec corrections en fonction du numéro de l'orbite, VIOLLIER 1982.

On aboutit alors aux 6 documents (ou images) finaux, (tableau 5).

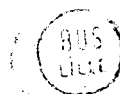
Une discussion sur la possibilité d'utilisation de différences de réflectances comme algorithme est trouvée en annexe IV ).

Image	Canal ou rapports de canaux	Interprétation
Image 1	440/550	Chlorophylle (surface) (concentration faible)
Image 2	520/550	Chlorophylle (surface) (concentration forte)
Image 3	550	Seston (surface)
Image 4	670	Aérosols
Image 5	750	Masque continent-nuages/ mer
Image 6	11500	Température*

Tableau 5 - Documents produits après traitement des données satellitaires.

---

\* Il est important de noter que la détection de la température (infrarouge) repose sur des bases physiques très différentes de celles de la couleur de l'océan. Le document brut à 11500 nm fournit la température des premiers microns de la surface de la mer.



## II-3-2 - Présentation des images

Nous présentons ci-dessous trois tableaux résumant les caractéristiques des données magnétiques, l'hydrologie et la météorologie au moment du passage du satellite.

Les données magnétiques que nous avons utilisées ont été reçues de l'Université de Dundee où elles ont été prétraitées. Ensuite, celles-ci sont rendues accessibles sur Péricolor par le Laboratoire d'Optique Atmosphérique (Lille I). La zone d'intérêt est alors sélectionnée avec une meilleure résolution et traitée selon les étapes vues précédemment.

### a) - Caractéristiques des scènes

Les trois scènes correspondent à la période estivale 1981. Leur localisation, approximativement centrée sur la Manche à  $4^{\circ} 30' W$  et  $49^{\circ} 30' N$  est presque identique d'une scène à l'autre. Le tableau 6 résume leurs caractéristiques :

Date	Orbite	Heure de passage G.M.T.	Tilt	Gain
22 juin 81	13437	11 h 20	20	0
29 juillet 81	13948	10 h 50	18	0
28 août 81	14363	11 h 20	20	0

Tableau 6 - Caractéristiques des bandes magnétiques de CZCS.

Remarque : L'image de juillet correspondant à une extrémité de la bande magnétique d'origine est notablement déformée dans le sens Est-Ouest, ce qui explique sa plus grande largeur de champ (planche I, figure 6).

### b) - Hydrologie au passage du satellite

Les conditions courantologiques lors des prises de vue sont : amplitude de marée moyenne, milieu de jusant. Les images du 29 juillet et 28 août sont précédées d'une période de faible amplitude de marée.

Le tableau 7 résume les conditions instantanées :

Date	Heure G.M.T.	Phase de la marée / P.M. de Brest	Coefficient
22 juin	11 h 20	P.M. + 4 h 40 mn	70-67
29 juillet	10 h 50	P.M. - 3 h 40 mn	75
28 août	11 h 28	P.M. - 4 h	79-80

Tableau 7 - Caractéristiques de la marée au passage du satellite.

c) - Météorologie au passage du satellite

Nous avons reporté au tableau 8 les statistiques météorologiques de la décade précédant la prise de vue par rapport à la moyenne mensuelle, ainsi que les caractéristiques du jour.

Date de prise de vue	Rayonne- ment glo <sub>2</sub> bal MJ/M <sup>2</sup>	Durée d'insola- tion heures	Vent force m/s	Nb jours direc- tion	Pression atmos. mb jour	Vent m/s jour
22-6-81	20.7/18.2	8.5/6.8	2.0/2.7	6 NE	1025	NE 1.5
29-7-81	15.9/16.8	6.3/6.2	2.8/2.9	3W 2E	1020	E 2.8
28-8-81	17.5/15.5	8.6/6.7	1.6/1.8	4NE	1030	W 1.5

Tableau 8 - Caractéristiques météorologiques de la décade précédant la prise de vue et du jour.

Les prises de vue de juin et août succèdent à une période relativement ensoleillée de vent moyen. Le mois d'août se singularise par un nombre important de jours de brouillard et de vent faible ce qui a pu influencer positivement la stabilité de la masse d'eau superficielle.

### II-3-3 - Un exemple de traitement

La planche I illustre un exemple de traitement des effets atmosphériques.

Les photos ① et ② sont les documents bruts du 29 juillet et du 28 août 1981.

On remarque que les scènes sont fortement dissimulées sous des brumes et brouillards qui couvrent aussi bien la mer que les continents.

Les photos ③ et ④ constituent les produits "chlorophylle" provenant du traitement de la partie supérieure gauche des images brutes. Elles sont le résultat du rapport des canaux vert/jaune ( $R_{520}/R_{550}$ ) comme l'indique le tableau 5.

Les images traitées sont totalement exemptes de perturbation atmosphérique ③ et ④. Apparaissent alors des formes marines, résultant d'un enrichissement en pigments verts de la couche de surface (premiers mètres) que l'on relie à la concentration en chlorophylle du phytoplancton.

A la vision de cette série de documents, on comprend l'intérêt et la nécessité de la mise au point des traitements des perturbations atmosphériques.

On obtient alors des documents d'une remarquable utilité puisqu'ils nous permettent de reconstituer de véritables cartes de la "chlorophylle" marine.

Nous nous proposons à travers la présente étude d'analyser ces résultats.

### II-4 - Conclusion

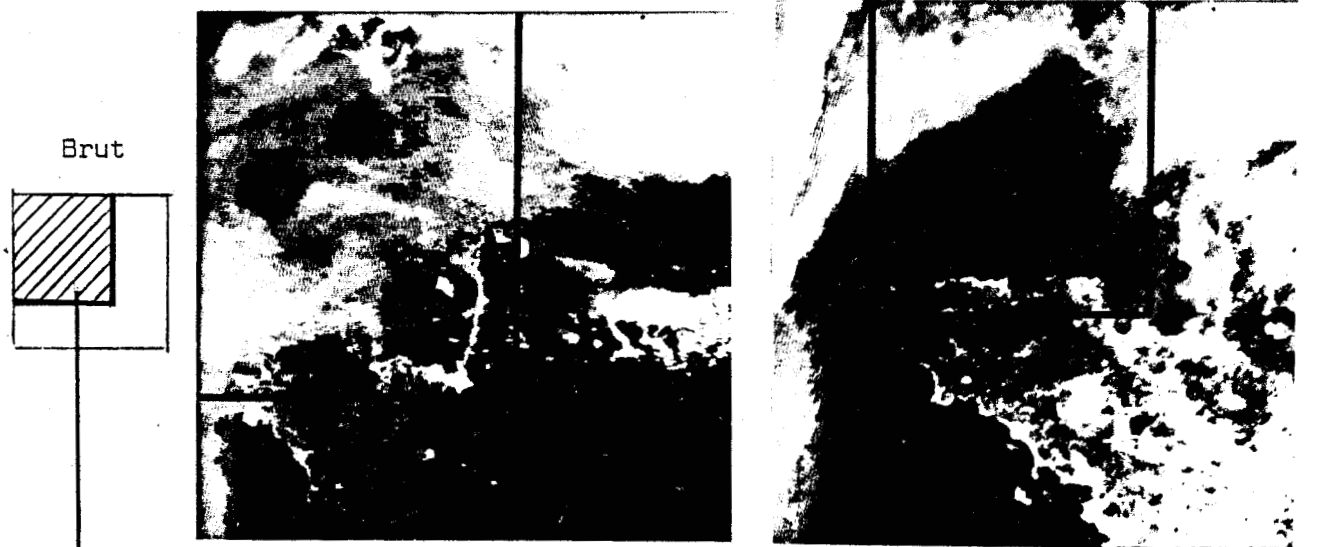
Nous avons décrit au cours de ce chapitre l'ensemble des moyens mis en oeuvre : mesures biologiques et optiques au cours de radiales fré-

29 juillet 81

28 août 81

①

②

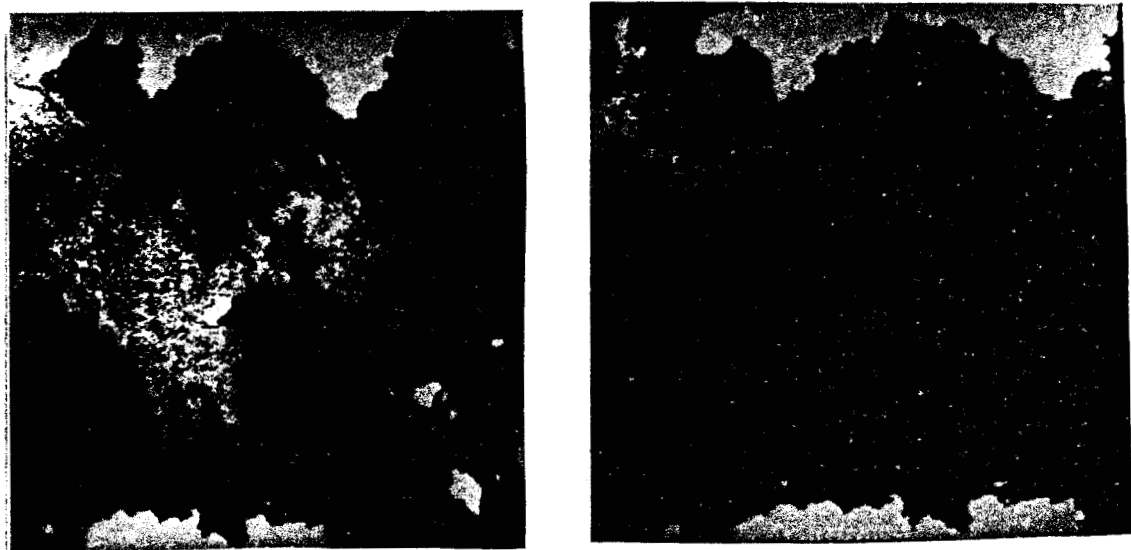


Les documents bruts sur la Manche Occidentale font observer la présence d'importants filets de brume couvrant à la fois la mer, la Bretagne au Sud et l'Angleterre au Nord.

③

④

Traité



Documents résultant du traitement de la partie supérieure gauche des images brutes ① et ②.

Ces images de la "chlorophylle" révèlent des masses spectaculaires de phytoplancton s'étendant en Manche Ouest entre les côtes bretonnes et la Cornouailles en juillet (photo ③).

Au mois d'août, la tache s'est considérablement réduite (photo ④). Ces résultats sont analysés lors de la présente étude.

Figure 6 - Planche I

BIUS  
LILLE



quentes, de campagnes classiques entre Roscoff et Plymouth, et utilisation d'images couleur de l'océan (CZCS) dont le traitement a été effectué au Laboratoire d'Optique Atmosphérique.

L'utilisation simultanée des méthodes appartenant à des domaines divers tels que : la biologie marine, l'optique marine, le traitement d'images, nous a conduit à nous limiter aux seuls paramètres considérés dans ce chapitre.

Néanmoins, elle nous permet de démontrer que ces méthodes sont complémentaires. Nous l'entreverrons dans les chapitres suivants.

DEUXIEME PARTIE

RESULTATS

## CHAPITRE III- RESULTATS DE L'ETUDE HYDROBIOLOGIQUE SUR LA SECTION ROSCOFF - PLYMOUTH EN 1980 ET 1981.

### III-1 - Introduction

Nous présenterons au cours de ce chapitre les résultats obtenus au cours des radiales effectuées sur la ligne commerciale Roscoff-Plymouth en 1980 et 1981, ainsi que des campagnes en mer John Murray 1, Pluteus et John Murray 2 en 1981.

L'ensemble des mesures réalisées se trouvent en annexe sous forme de graphiques montrant pour chaque radiale la variation spatiale de la température, des pigments et des sels nutritifs de surface en fonction de la distance de Roscoff. Nous présentons ci-dessous trois exemples typiques de ces transects aux figures 7, 8 et 9. Le front thermique peut être repéré sur les trois figures par le tracé de la température situé dans la partie supérieure. Au centre, on trouve le tracé de la chlorophylle et des phéopigments, permettant d'individualiser des zones distinctes : soit la zone brassée et riche (en juin), soit la zone stratifiée (en août) soit encore des floraisons se limitant à la zone frontale (26 août). Enfin dans la partie inférieure des graphiques, on représente les variations des teneurs en sels nutritifs. Les résultats de ces suivis seront trouvés sous forme de schémas plus synthétiques au cours de ce chapitre (schémas 11 et 12).

Les coupes verticales des principales propriétés résultant des campagnes en mer Pluteus et John Murray seront par contre présentées en illustration du texte (figures 13, 14, 15 et 18).

Nous nous limiterons à interpréter les variations spatiales et saisonnières du phytoplancton en fonction de caractéristiques physicochimiques simples du milieu : température, sels nutritifs dissous.

Nous exposerons successivement l'évolution du front thermique le long de la radiale, puis les cycles saisonniers observés en 1980 et 1981, appuyés par des observations sur la composition spécifique du phytoplancton.

11 JUIN 80

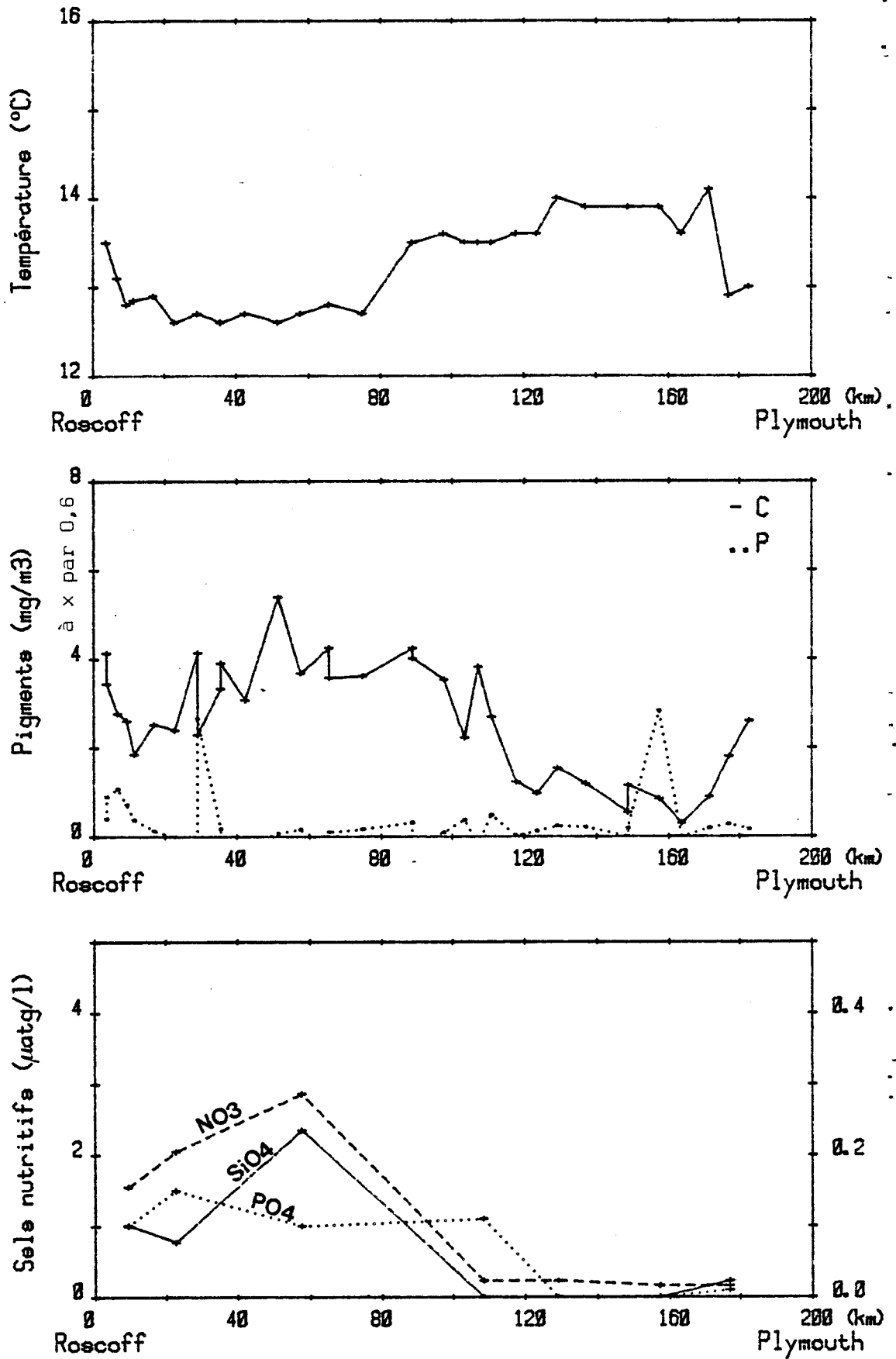
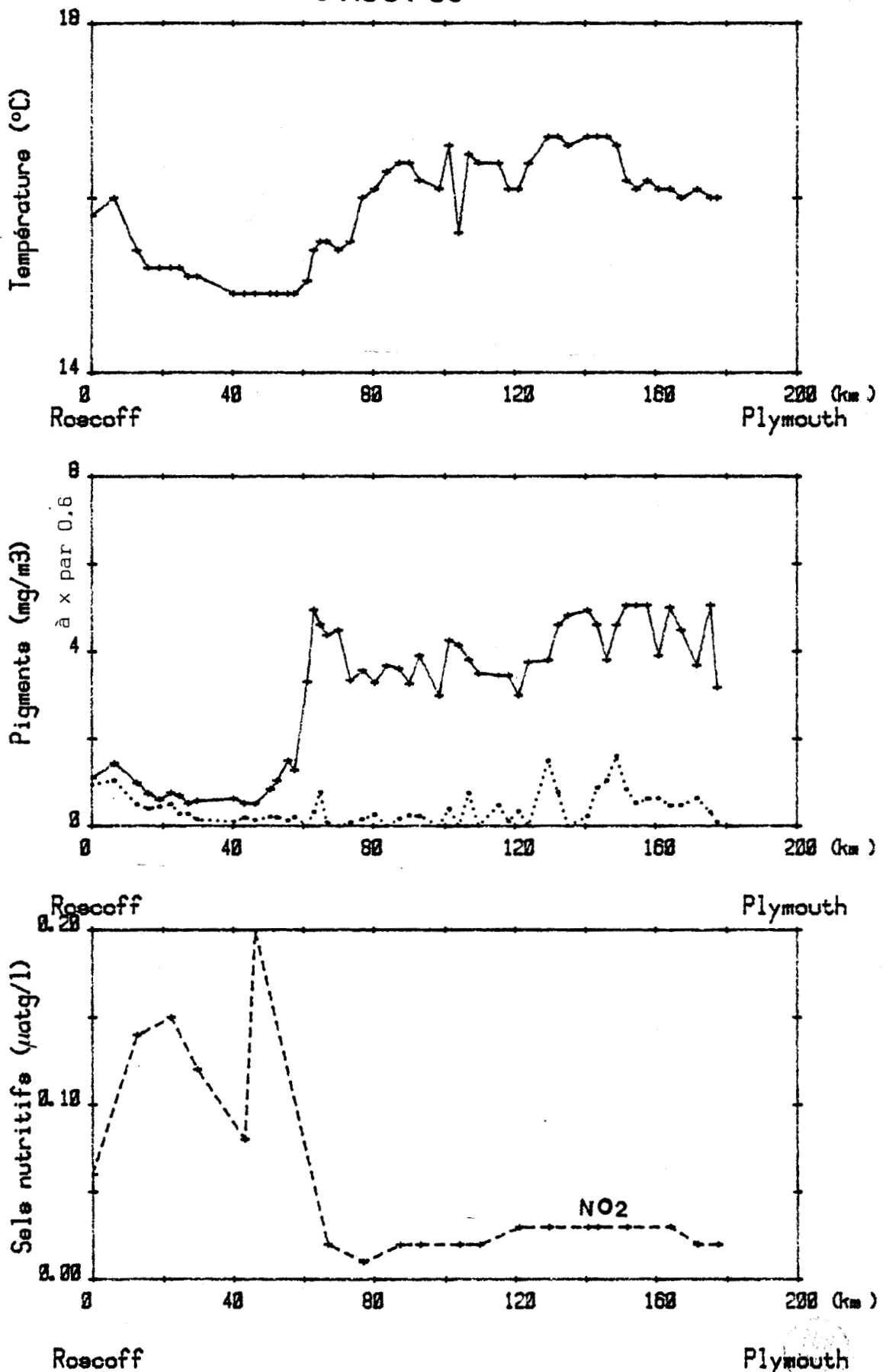


Figure 7 : Variations spatiales de la température, de la chlorophylle a (C) et phéopigments (P), des teneurs en sels nutritifs de surface (2m) au cours du trajet Roscoff-Plymouth du 11 Juin 1980.

6 AOUT 80



Roscoff

Plymouth

Figure 8 : Variations spatiales de la température , de la chlorophylle a (C) et des phéopigments (P), des teneurs en sels nutritifs (nitrites) de surface au cours du trajet Roscoff-Plymouth du 6 Août 80.

BNS  
11112

26 AOUT 80.

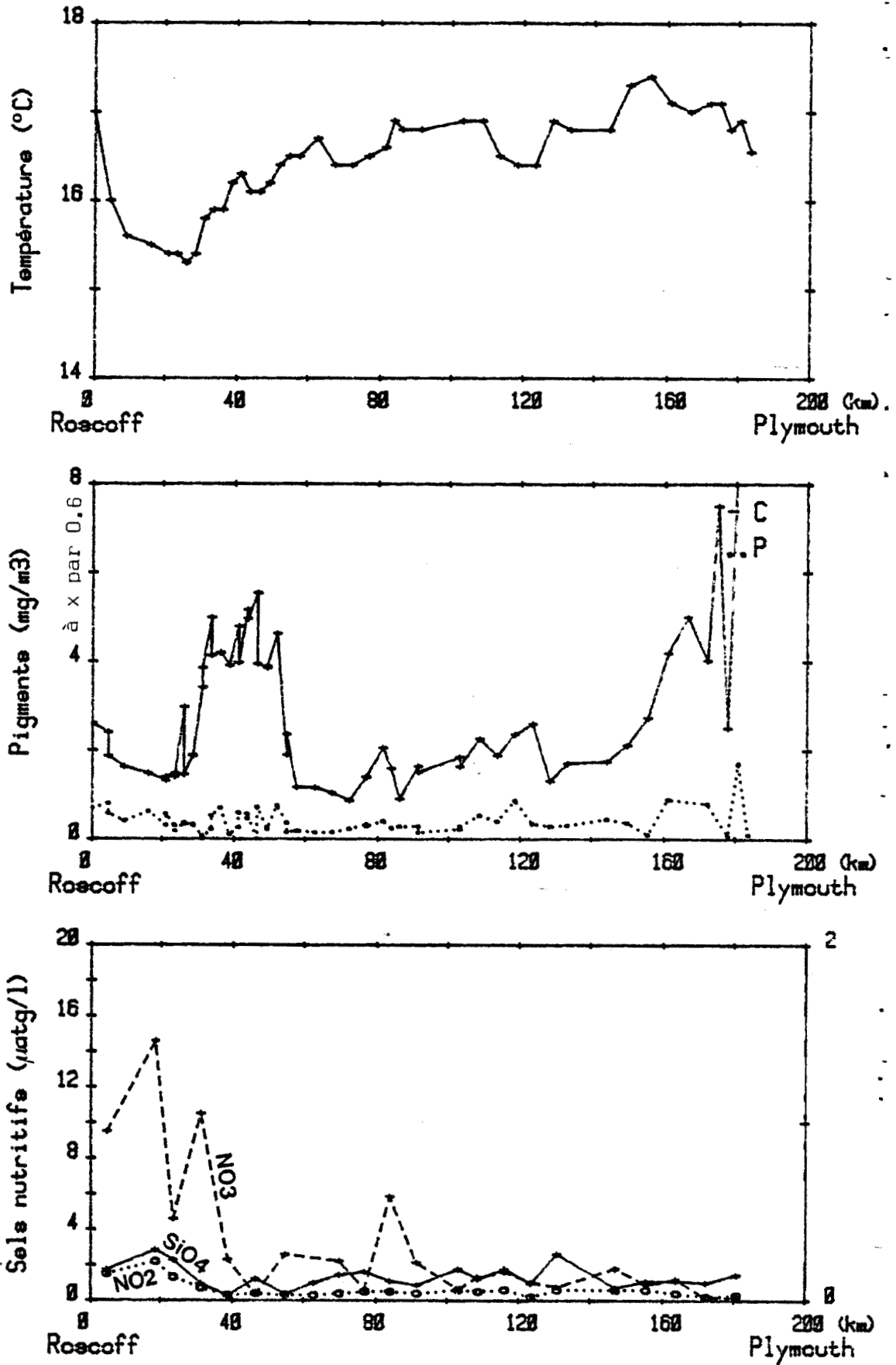


Figure 9 : Variations spatiales de la température, de la chlorophylle a (C) et des phéopigments (P), des teneurs en sels nutritifs de surface (5m) au cours du trajet Roscoff-Plymouth du 20 Août 1980.

### III-2 - Localisation de la zone frontale

Grâce aux mesures régulières faites en 1980 à bord du car ferry, on a pu schématiser l'évolution du front thermique sur la zone Roscoff-Plymouth (figure 10).

Si on élimine les fluctuations de la position du front au cours d'un cycle de marée (entre les trajets aller et retour) ou lors d'une période de tempête, on constate un sensible rapprochement du front vers les côtes françaises au cours de l'été. Ce fait est lié à "l'avancée" de la thermocline en Manche Ouest, au fur et à mesure que la stratification thermique estivale s'accroît (PINGREE, 1975).

Le gradient de température est généralement variable et assez faible en 1980 (voir tableau 9). La largeur de la zone de transition thermique,  $\Delta X$ , est importante par rapport à celle d'Ouessant qui ne dépasse pas 5 km (chapitre I).

Date	$\Delta T^{\circ} C$	$\Delta X$ Largeur du front thermique (km)
11 juin 80	.95	15
	1.35	55
2 juillet 80	1.23	40
17 juillet 80	.94	22
6 août 80	1.53	30
26 août 80	1.00	13
	1.60	60
9 septembre 80	1.2	13
2 juillet 81	1.64	33
5 août 81	1.47	34
20 août 81	.8	10

Tableau 9 - Gradient thermique  $\Delta T^{\circ} C$ , et largeur de la zone de transition  $\Delta X$ , entre Roscoff et Plymouth (80-81).

Le front thermique est plus prononcé en 1981. En effet, le gradient est maximal ( $1.64^{\circ} C$ ) dès le début du mois de juillet.

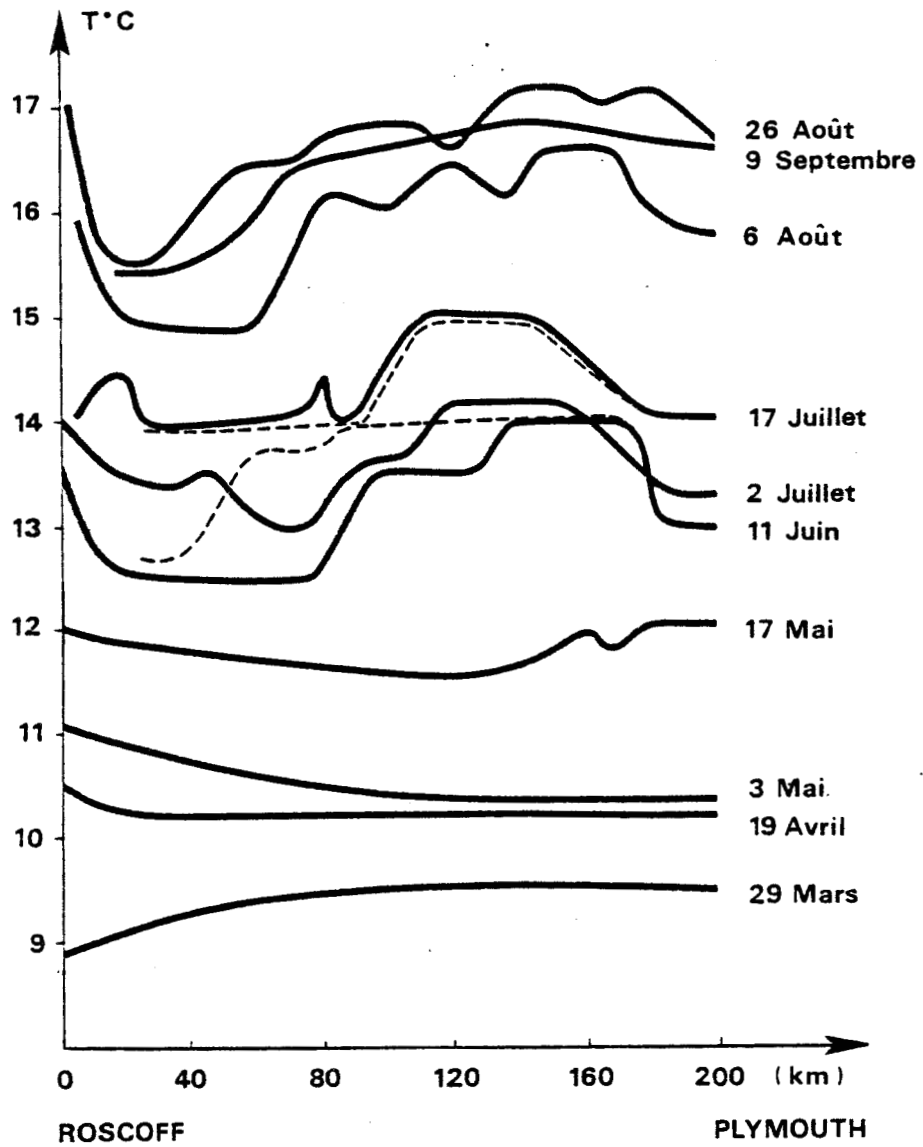


Figure 10 - Etablissement du front thermique sur la radiale Roscoff - Plymouth au cours de l'année 1980.

—————→ aller  
 - - - - - ← retour



### III-3 - Evolutions saisonnières comparées 1980-1981

Les schémas synthétiques représentant l'ensemble des mesures à la mer décrivent à la fois la variation spatiale de la biomasse chlorophyllienne de surface et son évolution saisonnière. Deux diagrammes différents pour les années 1980 et 1981 peuvent être comparés (figures 11 et 12).

Le front thermique est marqué en tiretés, tandis que les biomasses moyennes de chaque zone sont signalées par différents niveaux de gris sur les figures.

Les cycles saisonniers des deux années sont étudiés en les partageant en trois périodes caractéristiques: hivernale, printanière et estivale. Cette dernière est composée de sous-parties correspondant à des événements particuliers.

Les observations sur la composition du phytoplancton sont regroupées en différentes figures et tableaux montrant les résultats de nos déterminations spécifiques et de nos comptages. Nous avons reconstitué l'évolution saisonnière de la concentration en chlorophylle, des densités cellulaires et des proportions des principaux groupes pour chaque secteur: secteur brassé en 1980 (20) et en 1981 (23), secteur stratifié en 1980 (21) et en 1981 (24), enfin secteur frontal (22) pour 1980 et 1981. Nous nous référerons dans le texte à cet ensemble de figures qui se situent à la fin du chapitre.

Nous examinons successivement les différentes périodes et tentons d'en dégager les caractères déterminants.

#### III-3-1- Période hivernale

La période hivernale est représentée par la situation du 1<sup>er</sup> novembre pour laquelle nous avons mesuré entre Roscoff et Plymouth une température et une concentration en chlorophylle quasiment homogènes (température de 14°C et biomasse de 0.3 mg m<sup>-3</sup>). On remarque de fortes teneurs en sels nutritifs dans les eaux de surface (8 µatg/l nitrates).

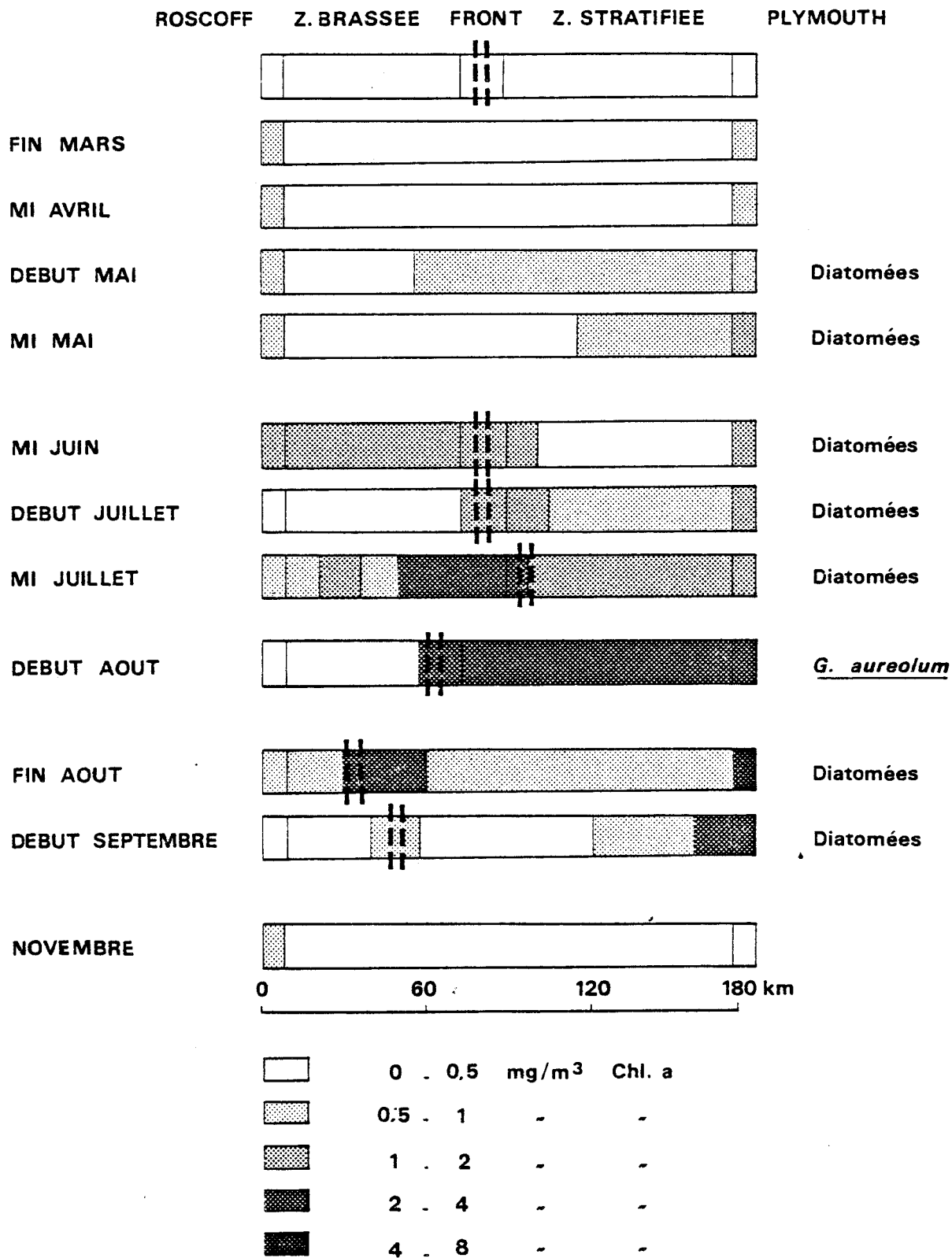
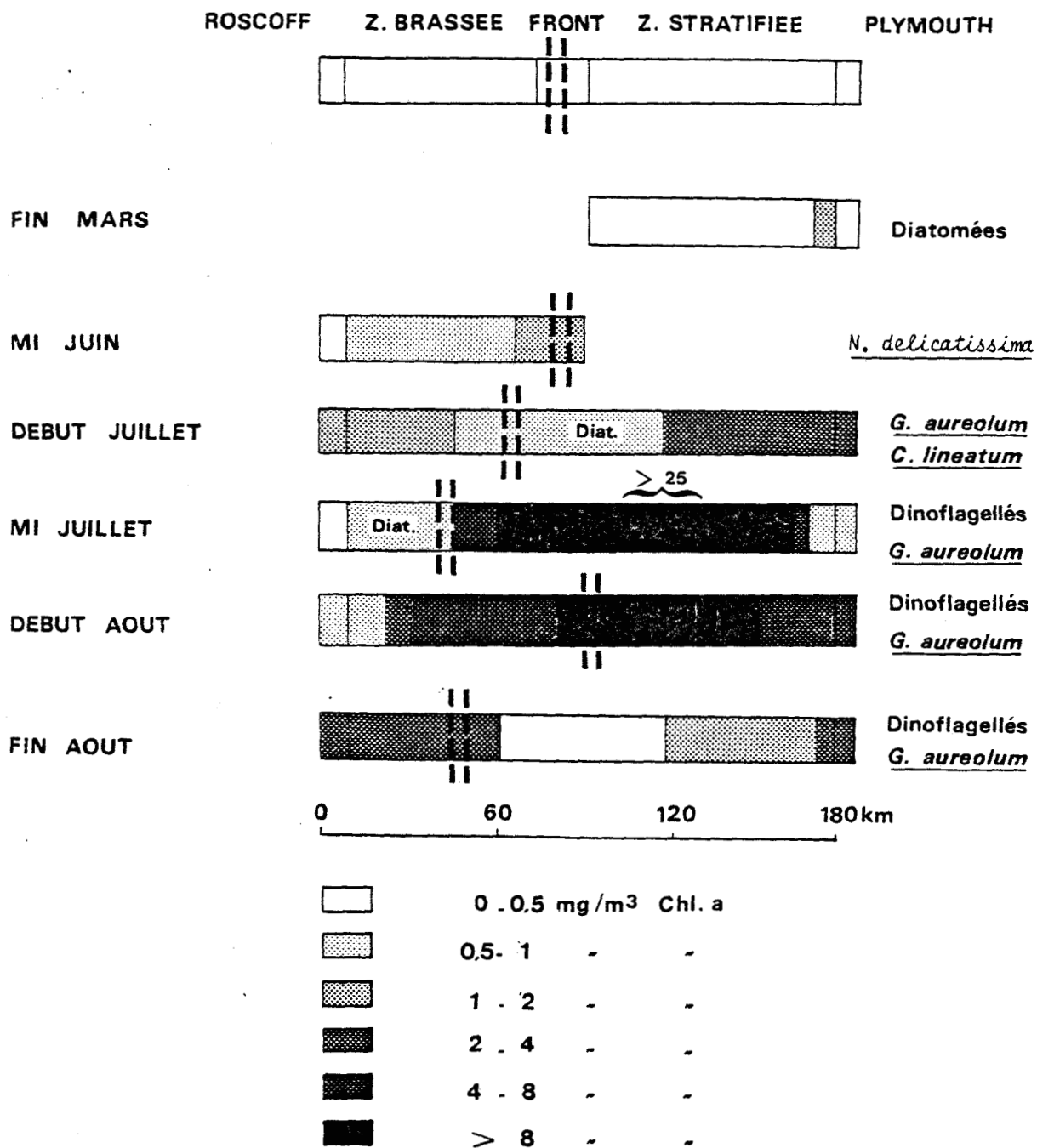


Figure 11 - Représentation schématisée des évolutions saisonnière et spatiale de la chlorophylle *a* de surface pour les différents secteurs de la radiale Roscoff - Plymouth. Le front thermique est indiqué en tiretès, les différents niveaux de biomasse en gris.



.1981.

Figure 12 - Représentation schématisée des évolutions saisonnière et spatiale de la chlorophylle *a* de surface pour les différents secteurs de la radiale Roscoff - Plymouth. Le front thermique est indiqué en tiretès, les différents niveaux de biomasse en gris.



### III-3-2- Période printanière

On retrouve au schéma 11 les deux radiales du 29 mars et du 19 avril 1980, caractéristiques des propriétés de la couche superficielle à cette époque. La température varie de Roscoff-Plymouth autour de  $10^{\circ}$  C, et la concentration en chlorophylle ne dépasse pas  $0,5 \text{ mg/m}^3$ , excepté en zone côtière où elle atteint  $0,7 \text{ mg/m}^3$ .

Les données obtenues en mars 81 au cours de la campagne John Murray 1 et présentées à la figure 8 apportent des informations sur la répartition verticale de la température et de la chlorophylle dans la zone euphotique.

Les variations de ces paramètres suivant des profils verticaux sont faibles et leurs caractéristiques sont identiques à celles de 1980. On remarque un refroidissement des eaux de  $0,6^{\circ}$  C, du large à Plymouth, et deux valeurs plus importantes de chlorophylle : la première à la station 2, et la deuxième au centre de la Manche (maximum de  $1,2 \text{ mg.m}^{-3}$ , figure 13). Ces dernières sont attestées par une diminution de la pénétration de l'éclairement. En effet, la profondeur du 1% de la radiation verte<sup>+</sup> est de 45 m en  $M_2$ ,  $M_3$  et  $M_7$  au lieu de 75 m aux autres stations. En admettant que cette profondeur soit approximativement celle du niveau inférieur de la zone euphotique (BOUGIS, 1974, JACQUES, 1979), on peut penser qu'il n'y a pas de limitation de la photosynthèse par l'éclairement à cette période.

Remarque : La réduction de cette profondeur à la station  $M_1$  indique un important apport d'eaux continentales au large de la Baie de Plymouth.

La composition du phytoplancton à la fin de cette période (avril 81) est dominée par les diatomées, présentes en densités réduites, aussi bien dans les eaux du large qu'en milieu côtier (observations Pluteus : figure 23, page 74).

---

<sup>+</sup> 520 nm étant la longueur d'onde la plus pénétrante.

25 . 26 Mars 81

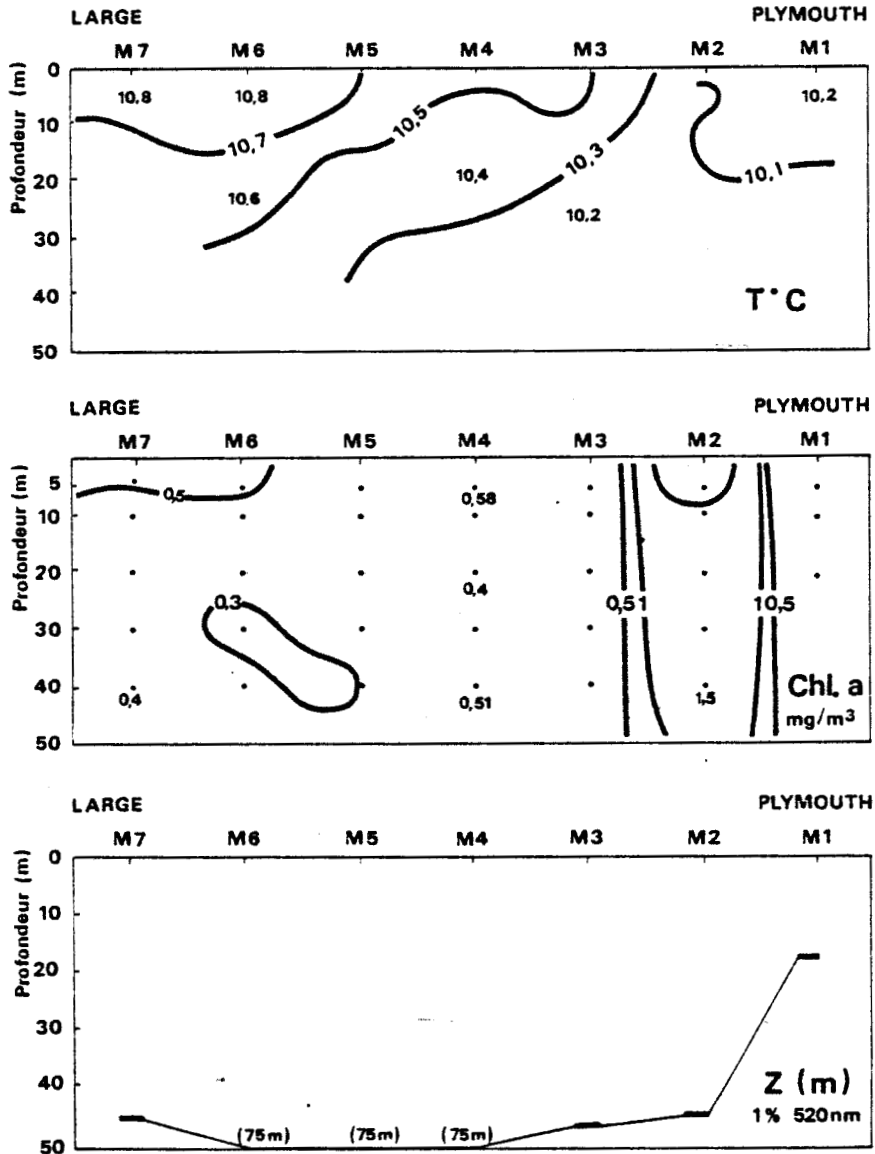


Figure 13 - Coupes comparées de la température ( $T^{\circ}\text{C}$ ) et de la chlorophylle ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) dans les 50 premiers mètres. Profondeur du niveau 1% de la radiation verte ( $Z$  m 1% 520 nm) des eaux centrales de la Manche à Plymouth les 25 et 26 mars 1981 (John Murray )

La fin de la période est illustrée par les deux suivis continus Roscoff-Plymouth des 3 et 17 mai 80. En examinant, schéma 11, la radiale effectuée le 3 mai, on note une augmentation de la chlorophylle (liée à un réchauffement des eaux de surface près de Roscoff) et, fait remarquable, des floraisons prononcées au centre de la Manche. Là, les diatomées se sont multipliées, leur proportion augmentant vis à vis du nanoplancton (figure 20). Seule, la région des 50 km au large de Roscoff reste pauvre, cette zone étant brassée par les forts courants de marée de la Manche.

Cette situation dissymétrique de la biomasse de surface se retrouve le 17 mai (même schéma) où les proportions des différents groupes, diatomées et nanoplancton sont identiques à celles du 3 mai (figures 20 et 22, pages 70 et 72).

Les données réunies au cours des deux années 1980 et 1981 décrivent donc des situations identiques: le début de la période printanière est caractérisé par un milieu homogène et brassé dans lequel peuvent débuter de légères floraisons de Diatomées superficielles. La fin de cette période montre un réchauffement des eaux de surface depuis mars (2° à 3°C) et des multiplications de Diatomées peu denses (au maximum 100 000 cellules/l) et localisées.

### FII-3-3 - Période estivale

La période estivale (1980-1981) s'étend de juin à septembre, et peut être scindée en trois parties, ce qui correspond à une présentation chronologique de nos observations:

- début de la période: juin
- milieu " " : juillet et août
- fin de la période: fin août (et septembre 80)

Cette séparation est assez arbitraire, mais permet une comparaison plus aisée des développements phytoplanctoniques observés lors des deux années.

#### III-3-3-1 - Début de la période estivale 80-81

Cette période marque le début d'une évolution phytoplanctonique très différente d'une année à l'autre, ce qui apparait lors de la comparaison des résultats obtenus aux mois de juin:

- radiale Roscoff-Plymouth du 11 juin 80
- campagne Pluteus du 15 et 16 juin 81

#### a- Température

En 1980, on décèle un front thermique marqué à 80 km de Roscoff (figure 7), ce qui permet de distinguer une zone froide correspondant à la région des forts courants de marée et une zone chaude stratifiée.

La coupe des températures du 15 et 16 juin 81 (figure 14) montre dans la région brassée de la station 12 à 7 un réchauffement des premiers mètres, variable d'une station à l'autre, formant des lentilles

## PLUTEUS

15.16 JUIN 81

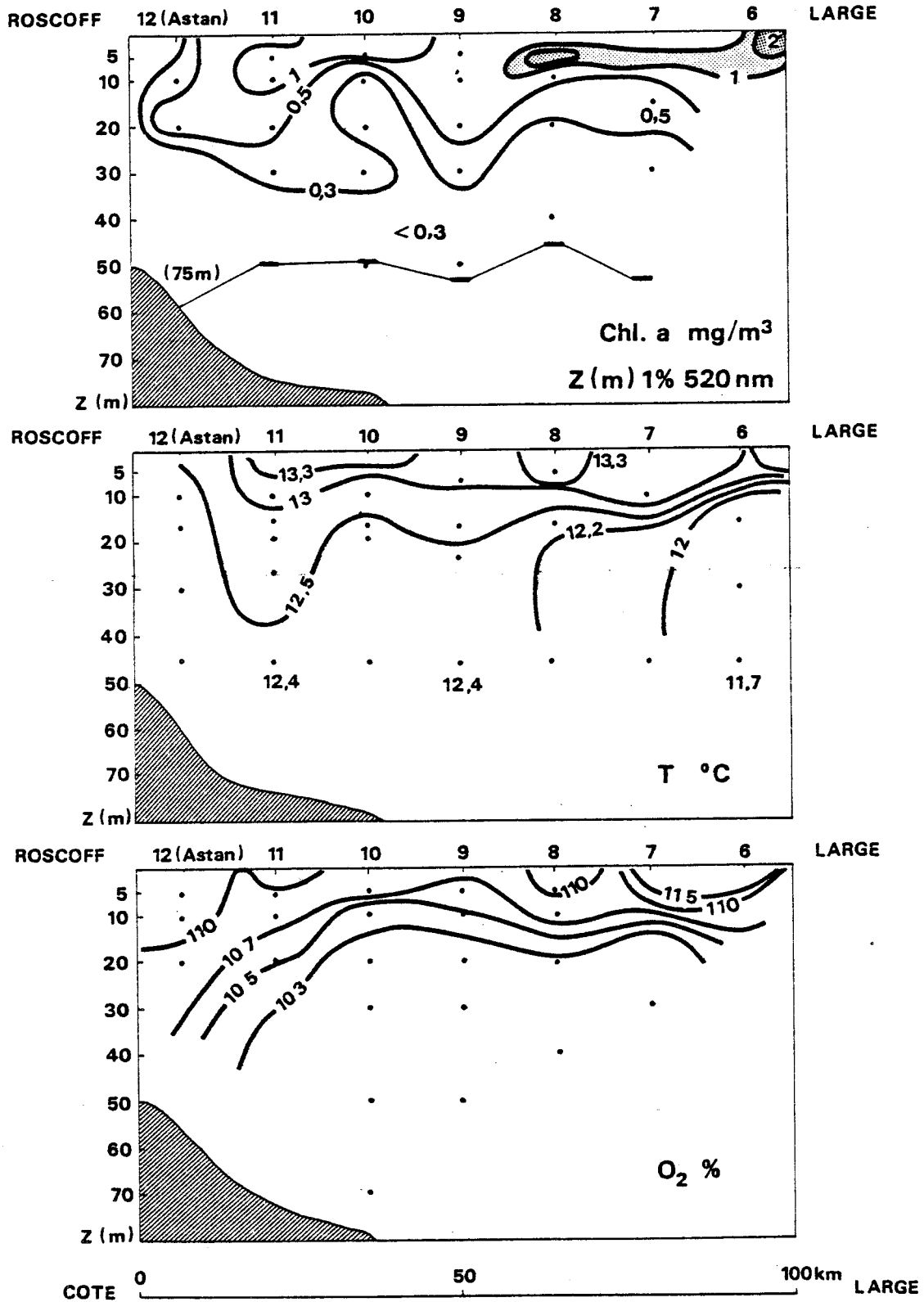


Figure 14 - Coupes verticales comparées de la chlorophylle a, (chl a), de la température (T °C), et de la sur-saturation en oxygène (O<sub>2</sub> %.); profondeur du 1% de la radiation verte (Z m 1% 520 nm) entre Roscoff et les eaux centrales de la Manche les 15 et 16 juin 1981 (Pluteus).



d'eau chaude en surface (13,4°C au maximum). Le ressèment des isothermes entre 10 et 20 m à la station 6 révèle un début de stratification s'intensifiant vers le large. La rencontre d'eaux plus chaudes (suivi continu) au large de cette station, ainsi que l'enfoncement de l'isotherme 12°C laissent supposer que la station 6 marque l'emplacement d'un front thermique au centre de la Manche.

Les données thermiques de juin 81 diffèrent donc de celles de 80 par l'absence d'une structure marquée.

Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence d'intensité:

- un échauffement tardif des eaux dû à un faible ensoleillement (ch.VI)

- l'orientation de la radiale Pluteus: en direction nord ouest, et située à faible distance de la côte, elle coupe principalement la zone brassée.

- une différence de coefficients de marée (67 en 81 et 90 en 80).

- les stations côtières ont été effectuées le 15 juin entre 13h et 20h (TU+2), ce qui a pu provoquer un écart artificiel de température par rapport aux stations du large, réalisées de 6h à 11h (TU+2) le 16.

#### b - Chlorophylle a et sels nutritifs

Les variations spatiales du phytoplancton et des sels nutritifs concrétisent les différences observées pour la structure thermique, fig7.

Sur ce tracé du 11 juin 80, la biomasse superficielle est répartie de façon très contrastée; en effet, la zone froide est enrichie en chlorophylle a (biomasse superficielle maximale  $3 \text{ mg.m}^{-3}$ ) et en sels nutritifs ( $3 \text{ } \mu\text{atg/l}$  nitrates). La zone chaude au contraire est appauvrie avec des biomasses inférieures au  $\text{mg.m}^{-3}$ , et épuisée en sels nutritifs (teneurs nulles en nitrates). Ces observations correspondent au schéma établi pour la zone stratifiée en période estivale en Manche, décrit au chapitre I.

Le phytoplancton présent en grandes concentrations en zone bras-

15.16 JUIN 1981

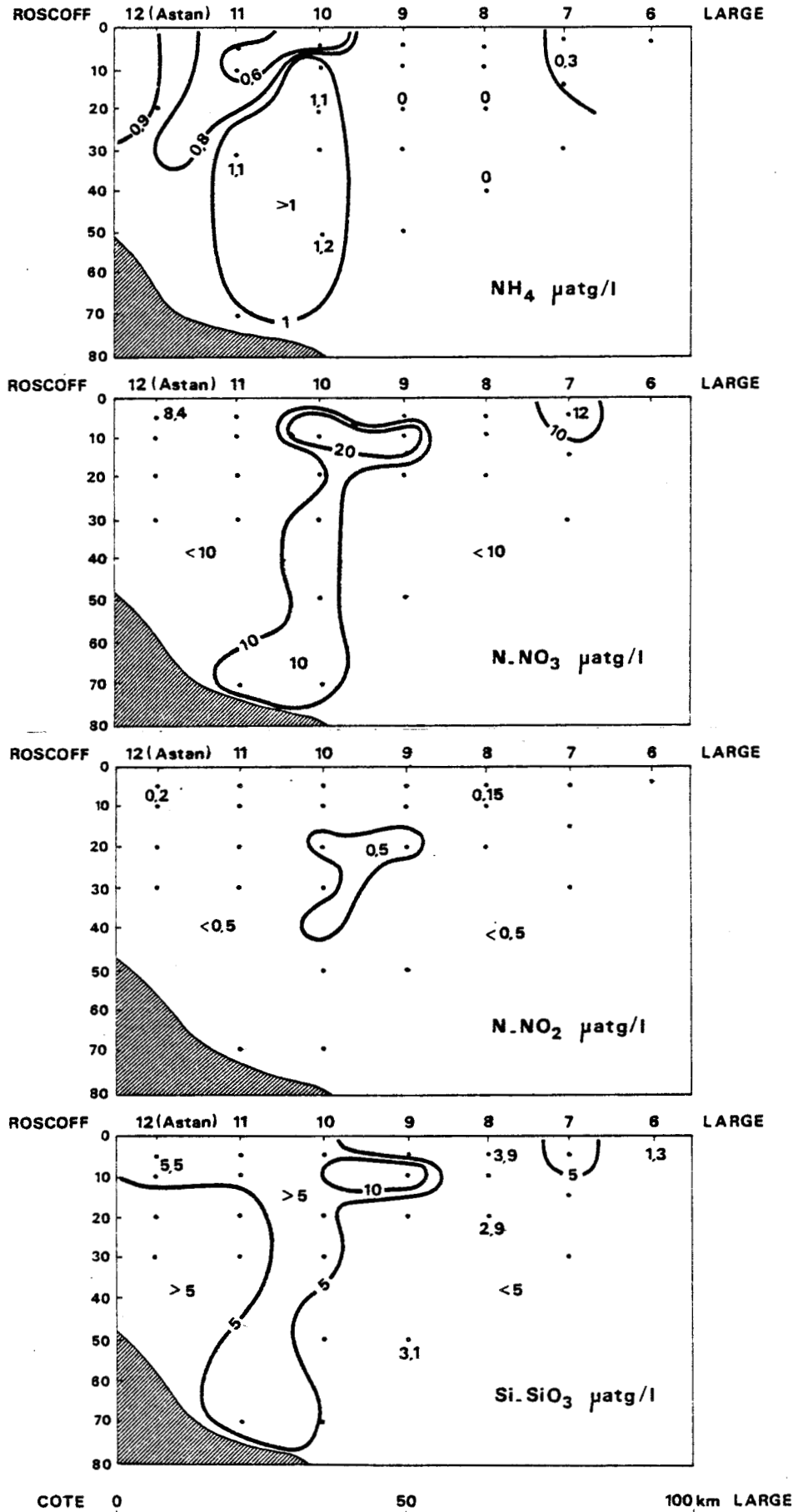


Figure 15 - Coupes verticales des teneurs en sels azotés (ammoniaque, nitrates, nitrites) et silicates entre Roscoff et les eaux centrales de la Manche les 15 et 16 juin 1981 (Pluteus)

sée (500000 c/l à la station 1, figure 20 ) est composé de Diatomées (60 % du total des cellules ; l'espèce *Cerataulina pelagica* étant dominante à 30 km de Roscoff (tableau 10).

En zone frontale, la biomasse est également élevée, mais est causée par de petits péridiniens non déterminés (figure 21). En zone stratifiée, les péridiniens et le nanoplancton représentent 90 % des cellules (figure 22).

En 81, à la figure 14, l'examen des concentrations en chlorophylle a, montre que les valeurs sont partout inférieures à  $1 \text{ mg.m}^{-3}$ , excepté à la station du large  $P_6$  où une floraison est visible, attestée par une concentration en chlorophylle de  $1.8 \text{ mg.m}^{-3}$  et par une sursaturation en oxygène de 115 % (même figure). Celle-ci provient d'une multiplication de l'espèce *Nitzschia delicatissima* atteignant 1,3 million c/l (figure 21 à droite) . Aux autres stations, les péridiniens sont dominants, associés au nanoplancton (figure 23).

Le profil de fluorescence dont on montre la partie située à l'extrémité océanique de la radiale montre que le maximum de chlorophylle se situe à quelques kilomètres au large de la station 6 (concentration de  $2 \text{ mg.m}^{-3}$ , figure 16).

#### c - Sels nutritifs - juin 1981

La distribution des sels nutritifs et de l'ammoniaque à la même date est représentée à la figure 15. On trouve un noyau riche en nitrates, silicates, nitrites et ammoniaque, à 30 km de Roscoff, présent entre 10 m et le fond.

On remarque également, une accumulation de sels, localisée à mi-radiale (stations  $P_9$ ,  $P_{10}$ ) à faible profondeur (10 m). Les teneurs sont extrêmement élevées, supérieures à  $10 \text{ } \mu\text{atg/l}$  en nitrates.

La distribution des teneurs en sels et ammoniaque est corrélée à celle de la température (figures 14 et 15). Le maximum en nitrates, nitrites et silicates se situe au point de formation de la relative thermocline à  $P_9$  et  $P_{10}$ . Le noyau riche en sels et ammoniaque qui semble relié à ce maximum est limité par les eaux froides en surface de la sta-

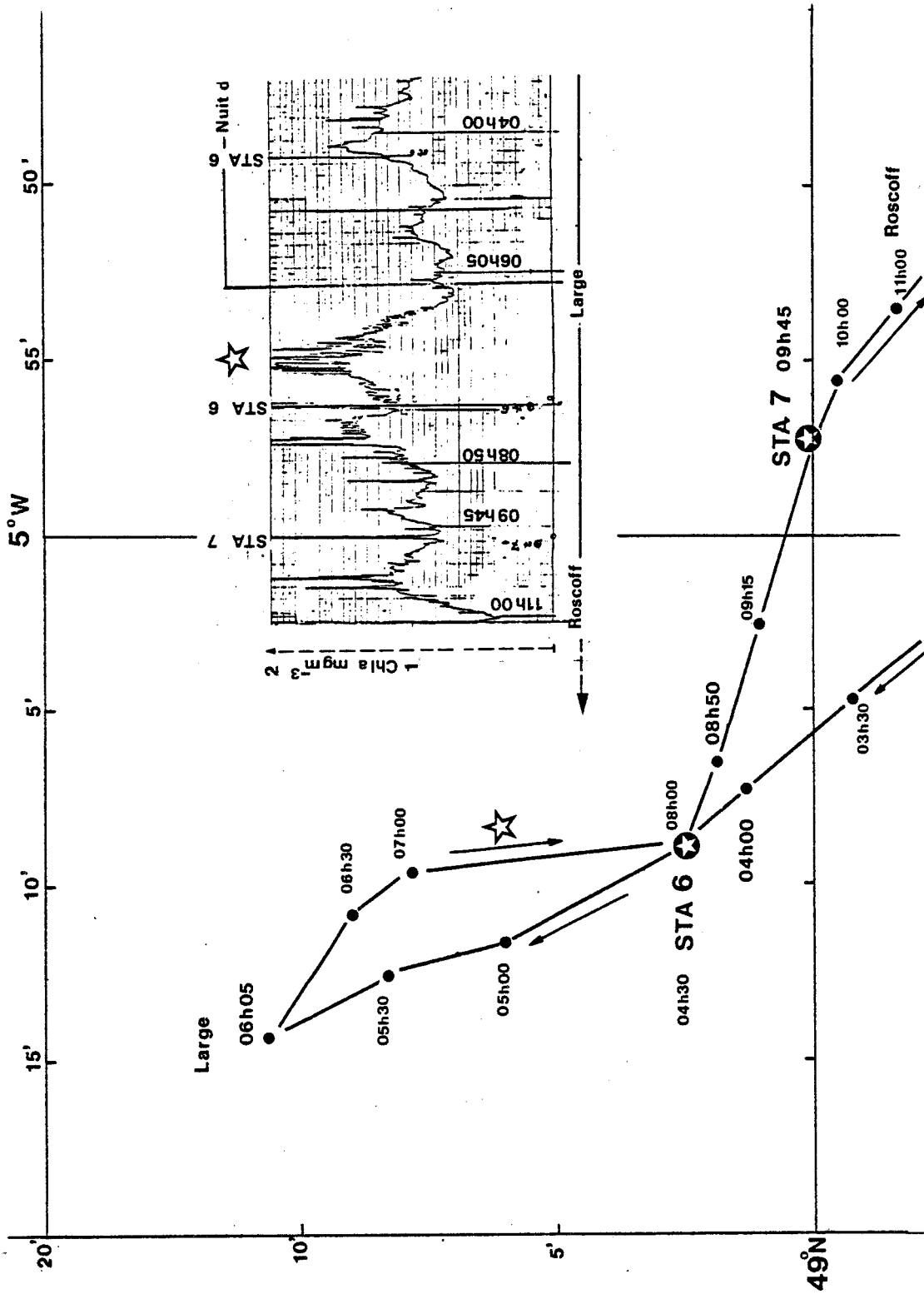


Figure 16 - Détail de la fluorescence de surface lors du trajet du Pluteus pour la partie située au large de 49° N le 16 juin 81. Les positions des pics sont repérés grâce aux indications horaires.

Le maximum de fluorescence est trouvé, au retour, entre le point 06 h 05 et la station 6.

tion  $P_{11}$  (isotherme  $12,5^{\circ}$  C coïncidant avec l'isoplethe  $1 \mu\text{atg}/\text{NH}_4$ ).

On ne trouve pas de relation entre les distributions des sels nutritifs et de la chlorophylle, excepté la teneur minimale des nitrates ( $0,4 \mu\text{atg}/\ell$ ) à la station riche  $P_6$ .

#### d - Profondeurs de la zone euphotique

En admettant que la profondeur de la zone euphotique puisse être estimée par la profondeur du 1 % de pénétration de la radiation verte, celle-ci varie de 45 à 55 m, pour les stations 11 à 7 (figure 14). D'après ces valeurs, l'éclairement disponible pour la photosynthèse (P.A.R.) ne serait pas limité en zone brassée.

#### e - Conclusion

Nous avons trouvé un front thermique au centre de la Manche approximativement situé à 85 km de Roscoff. Le gradient de température est relativement faible :  $1^{\circ}$  C en 1980,  $0,5^{\circ}$  C en 1981. L'opposition entre les deux zones brassée et stratifiée est très nette en 80 et peu marquée en 1981 à cause de lentilles d'eau chaude en surface.

La région frontale est riche en phytoplancton aux mois de juin des deux années. Les floraisons sont soit causées par des Péridiniens en 80 ou de l'association Diatomées - Péridiniens en 81. Par contre, la zone brassée en 81 est remarquablement pauvre au moment de notre observation, ce que nous relierions à la structure thermique peu marquée.

Les distributions des sels nutritifs sont comparables (en valeurs relatives) de part l'épuisement de la zone chaude du large. La section de 81 fait découvrir un noyau profond enrichi en sels à 40 km au large de Roscoff.

#### III-3-3-2 - Milieu de la période estivale

Le milieu de la période estivale est difficile à caractériser. Nous avons en effet observé, en 1980, une alternance de floraisons de

Diatomées et de Dinoflagellés, tandis qu'en 1981, ce dernier groupe constitue l'essentiel du phytoplancton estival de la Manche.

Au cours des deux années, nous remarquons la présence de l'espèce *G. aureolum*, mais la date d'apparition de la floraison est considérablement décalée, ce que nous verrons en décrivant de manière parallèle les deux périodes.

#### A - 1980

##### a - Dominance des Diatomées : juillet 80

Au début de juillet 1980 (schéma 11), le front thermique discernable à 80 km au large de Roscoff, est bordé par un bloom étroit de Diatomées, dont *N. delicatissima* (figure 21 p.71). La biomasse s'élève à  $1.8 \text{ mg.m}^{-3}$  de chlorophylle a, l'ensemble de la radiale restant par ailleurs appauvri. A la mi-juillet, des floraisons des principaux genres de Diatomées : *Leptocylindrus sp.*, *Chaetoceros sp.* et *N. delicatissima* se répartissent en taches espacées dans les zones brassées et frontales, causant des maxima de  $3.6 \text{ mg.m}^{-3}$  (même figure). Les concentrations atteignent 480000 cellules par litre sur le pic frontal (figure 21 p.71). Elles sont sans doute provoquées par une stabilisation du secteur brassé, visible au net réchauffement des eaux de surface de la radiale ( $1^\circ \text{ C}$  depuis le 3 juillet). Le secteur stratifié est moins riche en chlorophylle et est épuisé en nitrites ( $.05 \text{ } \mu\text{atg/l}$ ).

Le mois de juillet 1980 est donc caractérisé par des croissances importantes de Diatomées, aussi bien en secteur brassé que frontal.

##### b - Apparition des Dinoflagellés : août 1980

Au mois d'août, la température, la chlorophylle et les sels nutritifs de surface sont répartis de façon très contrastés et partagent la radiale Roscoff-Plymouth en deux parties distinctes (figure 8) :

- une zone plus froide au large de Roscoff, très pauvre en chlorophylle, plus riche en nitrites (secteur brassé),
- une zone plus chaude au large de Plymouth présentant une biomasse 8 fois supérieure, et épuisée en nitrites (secteur stratifié).

Le front est très marqué à 60 km de Roscoff, pour les 3 paramètres étudiés.

Ce profil est caractéristique du Dinoflagellé *G. aureolum* Hulburt responsable des blooms estivaux en Manche (PINGREE et al 1975, 1976a, 1976b, HOLLIGAN 1977a, 1977b, 1980, 1981). LE FEVRE et al 1970, GRALL et al 1971, GRALL, 1977). Cette espèce est en effet statistiquement reliée aux eaux de turbulence moyenne et de température élevée (HOLLIGAN, 1980).

L'accroissement de la proportion de *G. aureolum* dans les échantillons de Roscoff à Plymouth est bien illustré par la figure 17. En effet, on trouve *G. aureolum* à 40 km au large de Plymouth, à raison de 350000 cellules par litre, soit 80 % du total des cellules (figure 22). Sur le front thermique par contre, cette espèce ne représente plus que 20 % du total, le reste étant occupé par le nanoplancton. Au large de Roscoff, la proportion de ce dinoflagellé est négligeable (1 %). On signale également dans le bloom la présence de *Noctiluca scintillans*, espèce fréquemment associée à *G. aureolum* (PINGREE et al 1976, LE FEVRE et GRALL, 1970, GRALL et al, 1971, GRALL, 1977).

Le mois d'août 80 est donc caractérisé par la présence de *G. aureolum* Hulburt au sein de toute la zone chaude et stratifiée.

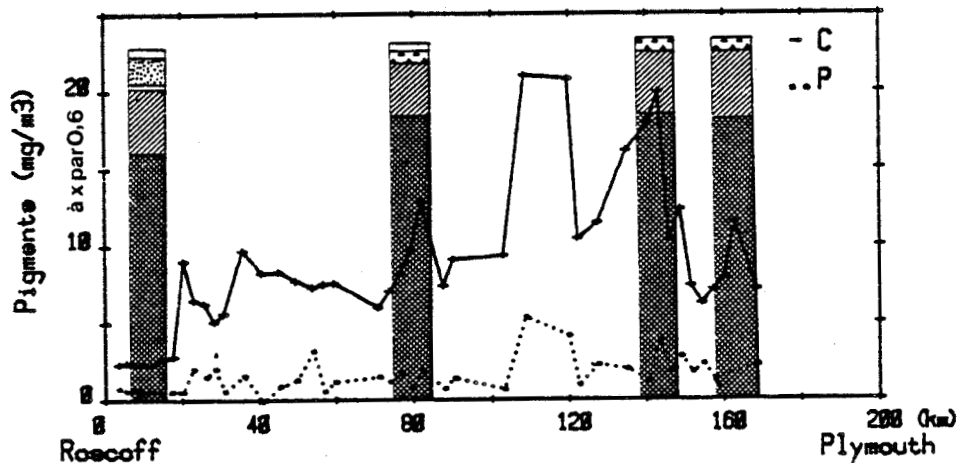
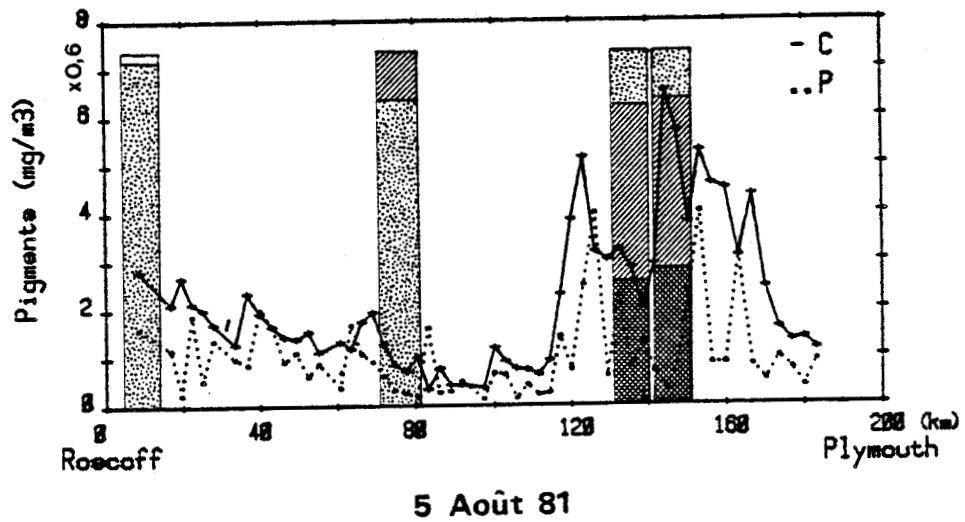
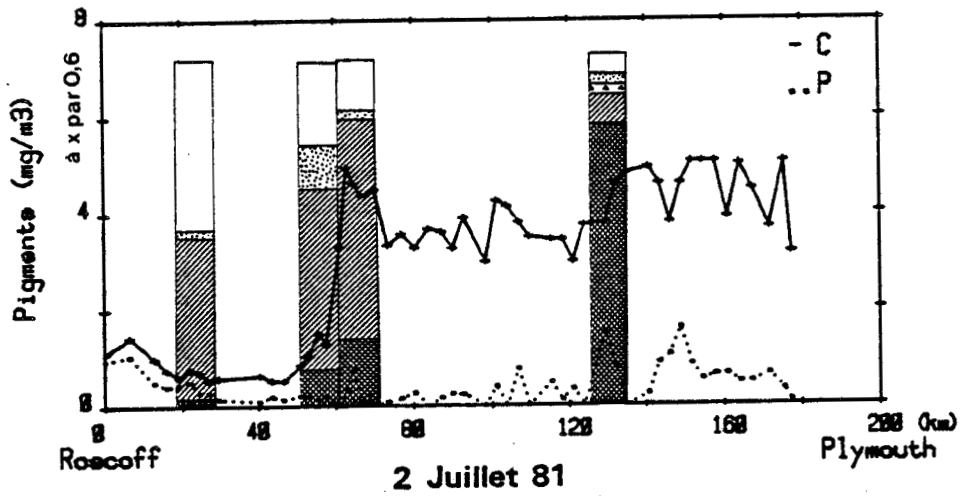
#### B - 1981

Au cours de la deuxième année, les développements de Diatomées observés sont restreints par rapport à l'année 80 et ne sont trouvés qu'au début de juillet (radiale du 2 juillet 81, schéma 12 et figure 17).

#### a - Observation du 2 juillet 81

La variation spatiale des proportions des différents groupes du phytoplancton sur le trajet Roscoff-Plymouth est remarquablement liée à celle de la chlorophylle (figure 17). Les diatomées dominent le phytoplancton en zone côtière (10 km) et sont présentes sur la zone frontale (80 km,  $\Delta T = 1^\circ C$ ), là où la chlorophylle a est faible. Il s'agit principalement de l'espèce *N. delicatissima* et du genre *Chaetoceros* sp. (figure 23).

6 Août 80



Diatomées
  *G. aureolum*
 Autres Dinoflagellés

Noctiluques
  Autres Flagellés

Figure 17 - Composition du phytoplancton ( par groupes ) pour quelques échantillons des eaux de surface sur la radiale Roscoff -Plymouth, en relation avec la variation spatiale de la chlorophylle a .



Par contre, les masses importantes de chlorophylle ( $3 \text{ mg.m}^{-3}$ ) sont situées au large de Plymouth, sans rapport apparent avec le front thermique (figure 17 ). Ces poussées de phytoplancton des eaux chaudes sont dues à l'association de *G. aureolum*, *C. lineatum* et de péridiniales (figure 24, page 75).

Au début de juillet 81, *G. aureolum*, associé à *C. lineatum*, est donc déjà présent en zone stratifiée, ce qui est particulier par rapport à l'année 1980. La localisation de cette première floraison (au large de Plymouth) est également remarquable.

Passé cette date, le milieu de la période estivale est caractérisé par l'extension des floraisons initiales de Dinoflagellés observées en juillet 81. Nous pouvons décrire quelques unes de leurs caractéristiques grâce à la campagne John Murray et au suivi de surface entre Roscoff et Plymouth.

#### b - Formation de la floraison massive

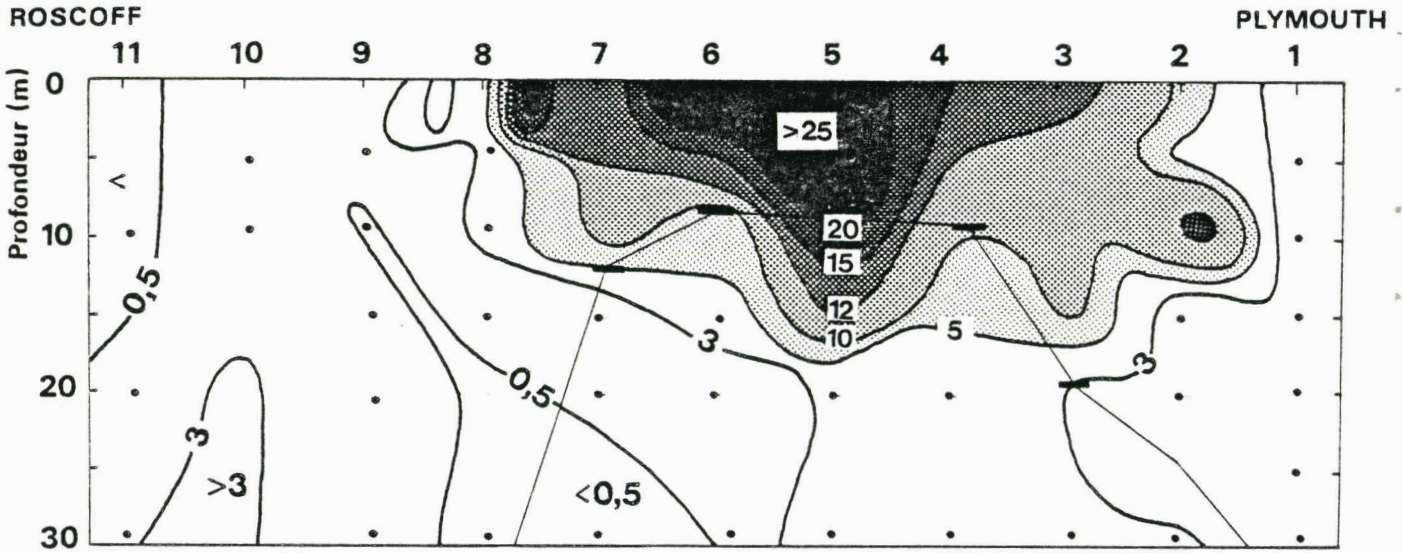
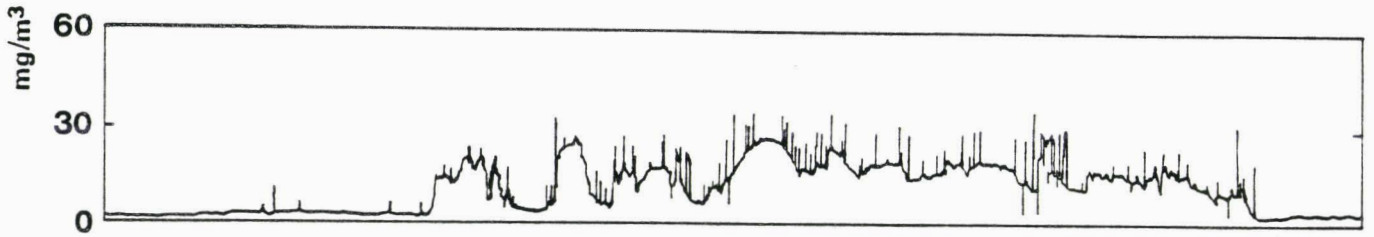
Au cours de la campagne John Murray de juillet 81, nous avons pu analyser les coupes verticales de la température, de la chlorophylle, et définir les profondeurs approchées de la zone euphotique grâce aux mesures optiques. Nous les représentons figure 18 sur une coupe schématique limitée aux 30 premiers mètres de la colonne d'eau pour la zone comprise entre Roscoff et Plymouth.

On a également reporté figure 18 le tracé de la fluorescence en continu de surface.

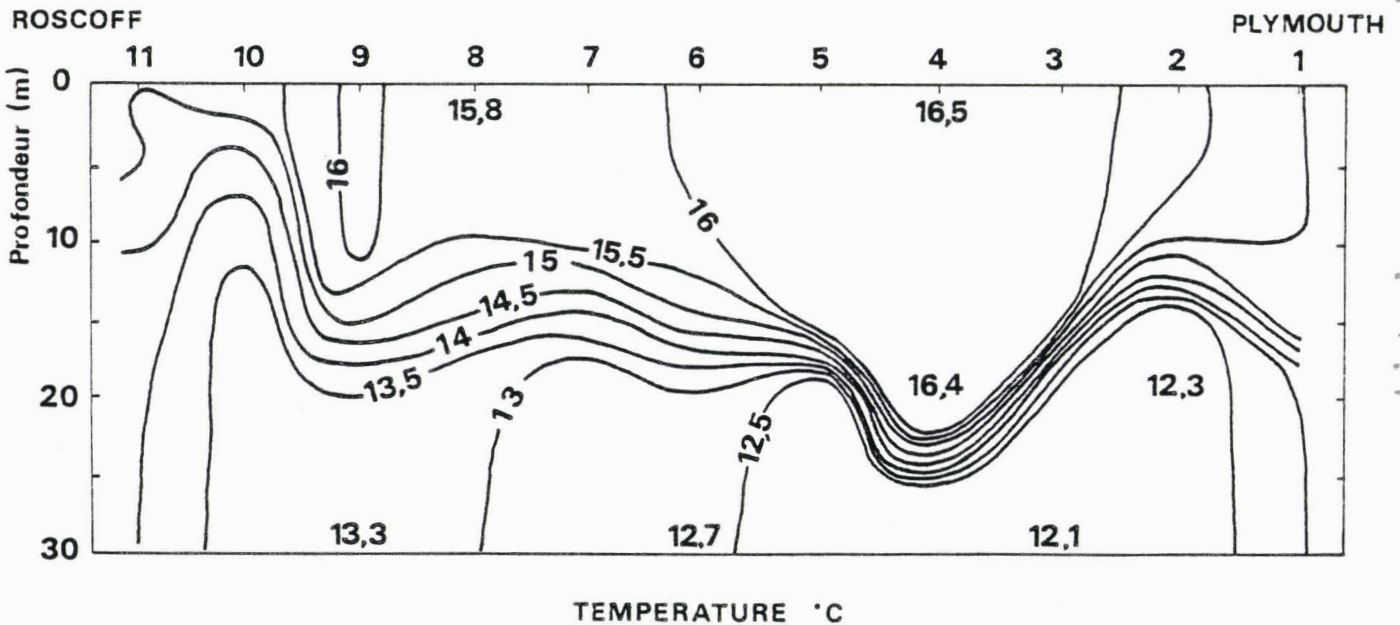
#### Température

La coupe de la température (figure 18) met en évidence vers 20 m de profondeur dans la partie centrale de la Manche une thermocline bien marquée (station 7 à 2). Dans la partie la plus côtière, sous l'effet des courants de marée, la thermocline remonte vers la surface (à la station  $J_{10}$  à 50 km de Roscoff) pour disparaître presque complètement. Le gradient maximal à travers la thermocline est de  $4,2^\circ \text{ C}$  à la station  $J_5$ .

## FLUORESCENCE DE SURFACE

CONCENTRATION EN CHLOROPHYLLE a mg/m<sup>3</sup>

PROFONDEUR DU 1% DE LA LONGUEUR D'ONDE 520 nm en m (—)



TEMPERATURE °C

Figure 18 - Fluorescence de surface (en haut), coupes verticales de la concentration en chlorophylle a (au centre) et de la température (en bas) des 30 premiers mètres, et profondeur du niveau 1% de la radiation verte (520 nm) entre Roscoff et Plymouth les 15 et 16 juillet 1981. (John Murray, IMER)

### Concentration en chlorophylle

La poussée de Dinoflagellés (présents le 2 juillet) s'est développée en zone stratifiée au-dessus de la thermocline et étendue à une largeur de 100 km, sur une épaisseur moyenne de 10 m.

Les biomasses sont considérablement élevées puisque l'on trouve au minimum  $27 \text{ mg.m}^{-3}$  de chlorophylle a à 5 m à la station J<sub>6</sub>. Elles ont augmenté d'un facteur 8 depuis le début de la floraison (2 juillet).

Les Dinoflagellés dominent le phytoplancton, dans la zone stratifiée, avec la présence de *G. aureolum*, des genres *Dinophysis spp.* et *Ceratium spp.* (observations d'un filtre, photos et communication personnelle du Dr. G. ROBINSON). Les Noctiluques sont abondants et identifiables dès la filtration par leur luminescence. Ils sont présents dans tout le bloom (stations 2 à 8), de 0 à 15 m, et de façon surprenante, également à la station J<sub>9</sub> (observations lors des filtrations).

La fluorescence de surface (fluorimétrie en continu) révèle l'existence d'une forte hétérogénéité spatiale de la chlorophylle de surface, formée de taches de 5 à 10 km de diamètre. Le signal chute brutalement aux stations J<sub>9</sub> et J<sub>2</sub>, délimitant nettement la floraison.

La station J<sub>9</sub> marque effectivement le début de la zone froide et brassée. Les valeurs de chlorophylle y sont relativement faibles en surface ( $1 \text{ mg.m}^{-3}$  chlorophylle a) mais augmentent vers le fond (au maximum  $3 \text{ mg.m}^{-3}$  chlorophylle a à - 30 m à J<sub>10</sub>). Des comptages cellulaires à la station J<sub>11</sub> la semaine précédente indiquent une prédominance des Diatomées, notamment des genres *Chaetoceros spp.* (420000 c/l, figure 23).

### Observation sur l'éclairement (figure 18)

On estime la profondeur de la zone euphotique\* grâce à l'approximation faite par BOUGIS (1974) et JACQUES (1979). Celle-ci est réduite à 8 m au centre de la floraison de Dinoflagellés, tandis qu'elle atteint 30 m dans le secteur brassé (figure 18). On en déduit que la photosyn-

---

\* On choisit la radiation la plus pénétrante : verte en zone brassée, jaune dans le bloom.

thèse doit être limitée au sein de la masse de phytoplancton à une très mince couche de surface. Les Dinoflagellés se situant à plus de 10 m, on peut présumer que leur croissance est peu dépendante de l'éclairement disponible à la photosynthèse (P.A.R.).

En conclusion, au milieu du mois de juillet, on note donc la persistance et la multiplication intense des floraisons de Dinoflagellés. Leur étendue à toute la zone stratifiée est comparable à celle du 6 août 80, mais avec un ordre de grandeur des biomasses très supérieur.

#### c - Extension des développements de Dinoflagellés

Cette floraison de la zone stratifiée se poursuit au début du mois d'août 81. Sur le schéma synthétique de l'année 1981, (schéma 12), on s'aperçoit que la chlorophylle s'étend à toute la largeur de la Manche, réduisant la zone claire à une bande étroite de 20 km.

Contrairement à l'année 1980 (figure 17), l'espèce *G. aureolum* est présente, des premiers kilomètres de Roscoff jusqu'à Plymouth avec une proportion identique de 90 % des cellules (figures 23 et 24). La biomasse atteint  $12 \text{ mg.m}^{-3}$  et la densité 1,5 million de cellules par litre au large de Plymouth. Ce fait peut s'expliquer en examinant le tracé de la température qui montre que la structure thermique traversée par la radiale est en voie de dégradation : le front thermique se situe à 100 km de Roscoff, tandis que les eaux côtières de Roscoff sont plus chaudes que les eaux centrales.

La répartition des sels nutritifs le long de la radiale est également hétérogène\* et ne permet pas d'identifier de zones distinctes.

Le développement des Dinoflagellés est néanmoins encore important à cette date.

\* Voir annexe III pour l'analyse des sels nutritifs.

#### d - Conclusion de cette période

Un parallèle peut être fait entre les développements phytoplanc-  
toniques du milieu de la période estivale pour les années 1980 et 1981.  
En effet, les floraisons de *G. aureolum* ont dominé la zone stratifiée  
pendant les deux années étudiées.

Néanmoins, les différences résident dans les niveaux de biomasse  
observés (8 fois supérieure en 1981) et sur le fait que nous n'avons pas  
observé de forte dominance des Diatomées en zones brassée et frontale  
en 1981. Néanmoins, on peut supposer que l'on décrit en 1980 un mécanisme  
général de remplacement Diatomées - Dinoflagellés qu'un suivi en continu  
dans le temps permettrait de retrouver plus systématiquement.

#### III-3-3-3 - Fin de la période estivale : destruction des blooms de *G. aureolum*

##### a - Observations des 26 août et 9 septembre 80

En 1980, la radiale du 26 août (figure 9 ) indique que le front  
thermique persiste (à 40 km) au large de Roscoff et que les sels nutri-  
tifs se sont renouvelés en zone brassée. On y relève des valeurs très  
élevées (14  $\mu\text{atg}/\text{l}$  nitrates).

Sur le front s'individualise une étroite floraison de Diatomées,  
l'espèce *R. delicatula* formant 70 % du total des cellules. La biomasse  
atteint  $3,6 \text{ mg.m}^{-3}$  (330000 c/l, figure 21).

Une deuxième floraison frontale est observée également le 9 sep-  
tembre 1980 (schéma 11) à un degré inférieur (biomasse  $1,2 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Les  
Dinoflagellés ont presque totalement disparu des eaux de surface à cette  
époque en 1980.

##### b - Observation du 20 août 81

En 1981, la radiale du 20 août 81 (schéma 12) montre un affaibliss-  
ement des concentrations en chlorophylle au centre de la Manche.

Le front thermique persiste également fin août 81 mais est moins marqué (faible gradient à 40 km de Roscoff). Sur le gradient thermique au large de Roscoff on trouve les concentrations maximales de *G. aureolum* et on remarque que la proportion de cette espèce est la même qu'au large des côtes anglaises (figures 23 et 24). Les eaux centrales sont très pauvres en chlorophylle (biomasse inférieure à  $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$ ). Le phytoplancton se compose de Péridiniens et les Diatomées ont retrouvé une proportion relativement importante depuis le début de la période estivale (50 %, figure 23). Les sels nutritifs se sont renouvelés en surface ( $16 \text{ } \mu\text{atg/l}$ ).

### c - Conclusion

Les deux radiales de fin août 80 et 81 sont comparables en deux points :

- En ce qui concerne le phytoplancton les Dinoflagellés disparaissent : ou par remplacement par les Diatomées très net sur le front thermique en 80, ou par diminution de leurs densités en 81 (au centre de la Manche).
- Au point de vue des réserves nutritives, de fortes valeurs au large de Roscoff ( $> 10 \text{ } \mu\text{atg/l}$  nitrates) sont remarquées sur les 2 radiales. Elles témoignent d'une régénération des sels nutritifs dans la couche profonde, leur remontée en surface pouvant s'effectuer au cours du brassage par les courants de marée (LE CORRE et TREGUER, 1975).

En 1981 on peut suggérer que le remplacement des Dinoflagellés par une nouvelle population de Diatomées rendu possible par un nouvel apport de sels nutritifs, n'a pas encore eu lieu.

## III-4 - Résumé et conclusions

### a - Résumé

Les méthodes d'investigation, centrées sur l'étude d'une seule radiale coupant la zone de gradient thermique sont donc bien adaptées à l'étude de la croissance phytoplanctonique dont les variabilités dans le temps (en 1980) et dans l'espace (1980-1981) sont extrêmement importantes. On a pu décrire :

- une période hivernale caractérisée par des biomasses faibles et un milieu homogène en novembre,

- une période printanière de mars à mai où se produisent des floraisons superficielles, localisées à la zone de faibles courants de marée, en voie de stabilisation,

- une période estivale, dissemblable en 1980 et 1981 avec des floraisons importantes de Diatomées et l'apparition des Dinoflagellés (dont *G. aureolum*) en 1980, ce dernier groupe tendant à dominer le phytoplancton tout au long de la saison, et sur toute la zone stratifiée en juillet et août 1981,

- une fin de période estivale où de nouveaux développements de Diatomées peuvent être observés en relation avec une régénération des réserves nutritives (en août et septembre 80).

#### b - Caractéristiques par secteur

Il est intéressant également d'individualiser les différents secteurs étudiés le long de la radiale Roscoff-Plymouth et de considérer les caractéristiques de l'évolution saisonnière du phytoplancton dans chaque cas. C'est pourquoi, nous commentons ici les figures 20, 21, 22, 23 et 24 auxquelles nous nous sommes auparavant référés au cours du texte.

Quelques remarques peuvent être faites concernant chaque secteur étudié :

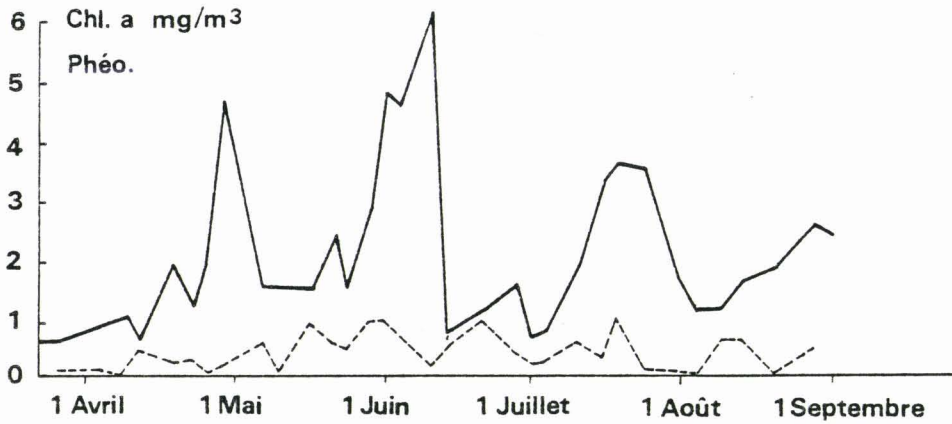
En secteur brassé, au large de Roscoff en 1980 (figure 20) les trois maxima de biomasse des mois de juin, juillet et fin août correspondent à des multiplications de Diatomées (tableau 10).

On peut noter le parallélisme entre les développements de phytoplancton de la zone brassée, et ceux des eaux littorales de Roscoff (figure 19, d'après JEZEQUEL, 1981).

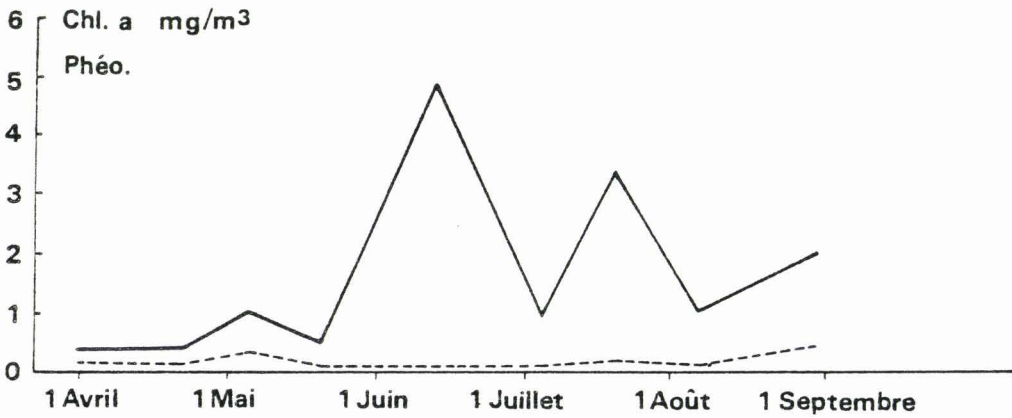
En secteur frontal (figure 21), les densités cellulaires sont relativement plus importantes que dans les autres secteurs. Les diatomées sont le groupe dominant en 1980, bien que le pic frontal de juin soit composé de Périidiniens nanoplanctoniques.

Dans le secteur stratifié (figure 22), les périidiniens sont majoritaires en 1980. Il s'agit principalement de périidiniens de taille inférieure à 10  $\mu\text{m}$ , indéterminés, classés sous le terme de nanoplancton, excepté en période printanière et le 6 août 80 où l'on trouve l'espèce

## ROSCOFF 1980 ( Jézéquel, 1981 )



## ZONE BRASSEE 1980



## ZONE STRATIFIEE 1980

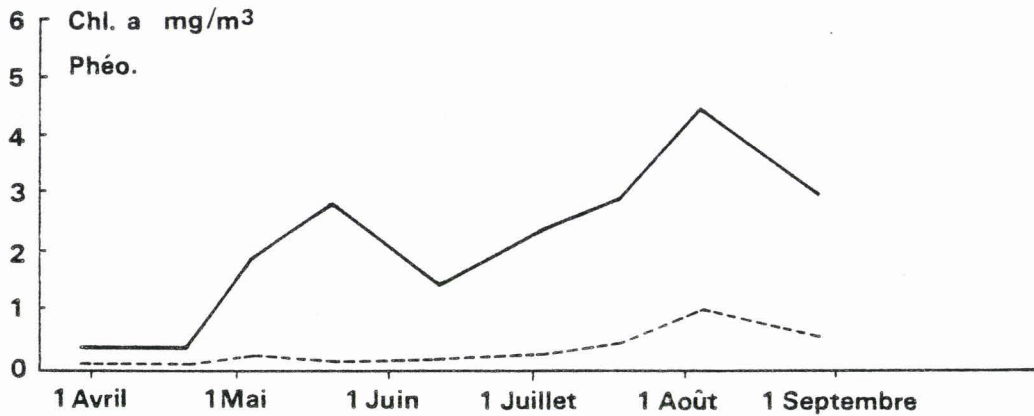


Figure 19 - Evolutions saisonnières comparées de la chlorophylle a et des phéopigments de surface dans les eaux littorales de la Manche, à Roscoff (Jézéquel, 1981), dans la zone brassée et dans la zone stratifiée ( cette étude ).





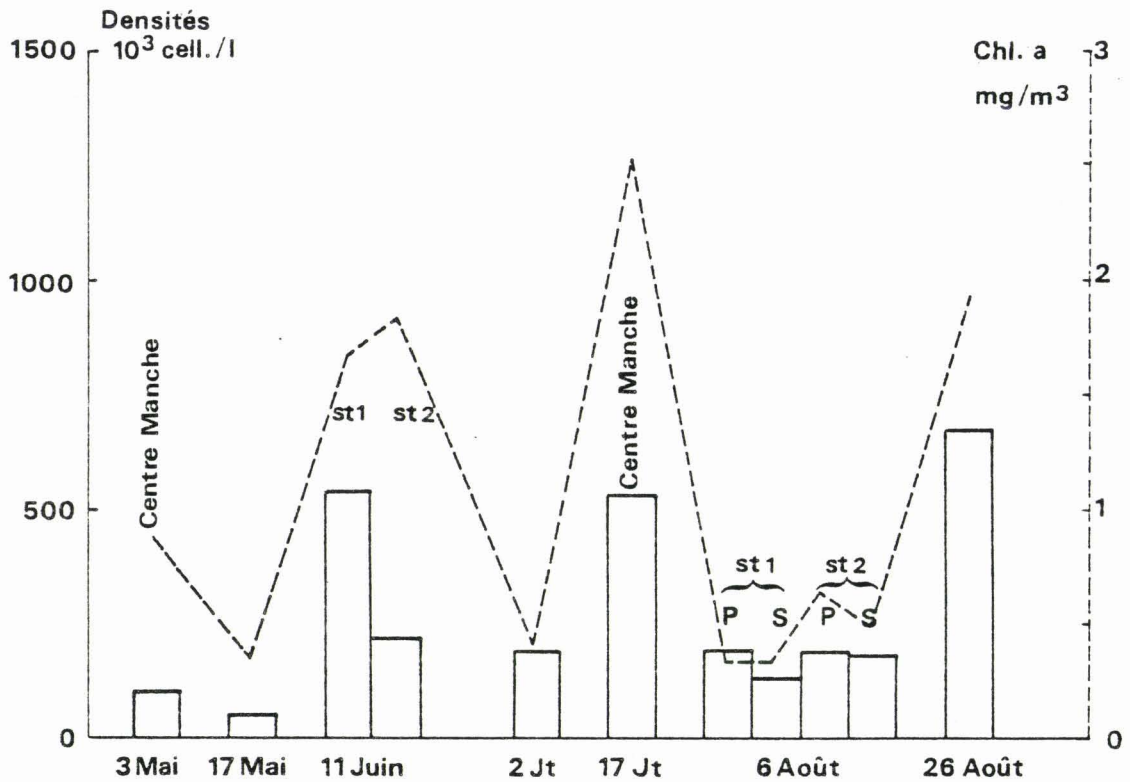
## SECTEUR BRASSE 80

Espèces	Date et distance de Roscoff		3 mai	17 mai	11 juin	11 juin	2 juil	17 juil	6 août	6 août	6 août	6 août	26 août	
			85 km	30 km	30 km	40 km	30 km	70 km	25 km	55 km	50 km	35 km		
PERIDIINIENS														
Gymnodinides			26		43	4	40	25	1	1	26	2	11	31
<i>Gyrodinium aureolum</i>						1		36	5	8	22	16	2	4
<i>Prorocentrum micans</i>														
Autres péridiniales			1	5	3		13	43	2				0,3	
<i>Peridinium</i> sp.					0,7			0,7						
<i>Gonyaulax</i> sp.										0,3				
<i>Ceratium fusus</i>														
<i>Ceratium lineatum</i>														
<i>Ceratium</i> sp.										0,3	1			
<i>Dinophysis</i> sp.							0,5							
<i>Noctiluca</i> sp.														
Péridiniens <10 µ			31	24	183	95	120	110	85	74	77	104		135
DIATOMEES														
<i>Cerataulina pelagica</i>					176	40		4						1
<i>Chaetoceros decipiens</i>				4										
<i>Chaetoceros</i> sp.					36	8	2	41	2		0,7	1		34
<i>Coscinodiscus</i> sp.													0,3	
<i>Ditylum brightwellii</i>														
<i>Lauderia borealis</i>					3	0,3		0,7				1		
<i>Leptocylindrus danicus</i>								73						
<i>Paralia sulcata</i>					6	3	2							3
<i>Rhizosolenia delicatula</i>					22	22	1	33		5	15	12	3	284
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>						3		23						6
<i>Rhizosolenia alata</i>														
<i>Rhizosolenia semispina</i>					3	1		16				1		2
<i>Rhizosolenia styliiformis</i>					0,7			0,3						
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>											0,7	1		0,7
<i>Rhizosolenia</i> sp.										0,3				
<i>Skeletonema costatum</i>				6										
<i>Thalassiosira condensata</i>						4	2	1	1					
Autres centriques			1		1		2		0,3		2			5
<i>Asterionella japonica</i>						0,5								
<i>Navicula</i> sp.			1	2	1		0,3	0,3	0,3		1	0,3		0,3
<i>Nitzschia delicatissima</i>					34	23		68	0,3	0,3				42
<i>Nitzschia seriata</i>			0,7		7	10	1	29	3		0,7	1	1	4
<i>Nitzschia closterium</i>			6	4	0,7		0,1	0,7			0,7			2
<i>Nitzschia</i> sp1				0,1					0,3		1			1
<i>Pennale</i> sp1				0,4	2		0,3							28
<i>Pleurosigma</i> sp.				0,1							0,7			
<i>Thalassionema nitzschioides</i>			0,7	0,3	3	0,9	0,1				2			24
CHLOROPHYCEES														
CRYPTOPHYCEES														
HAPTOPHYCEES														
MICROZOOPLANCTON														
Tintinnides + nauplii			6	3	11	9	5	12	3	3		4		
Ciliés			3	0,1	4						2		0,5	0,7
TOTAL PERIDIINIENS			58	29	230	100	174	216	93	83	125	123	13	170
TOTAL DIATOMEES			9	17	297	116	11	290	4	8	24	17	4	497
TOTAL PHOTOSYNTHETIQUES			90	53	539	221	190	534	191	127	200	182	18	672

Tableau 10- Evolution quantitative des principales espèces du phytoplancton en secteur brassé au cours de l'année 1980.

Valeurs exprimées en nombre de cellules par ml.

## SECTEUR BRASSE 80



## SECTEUR BRASSE 80

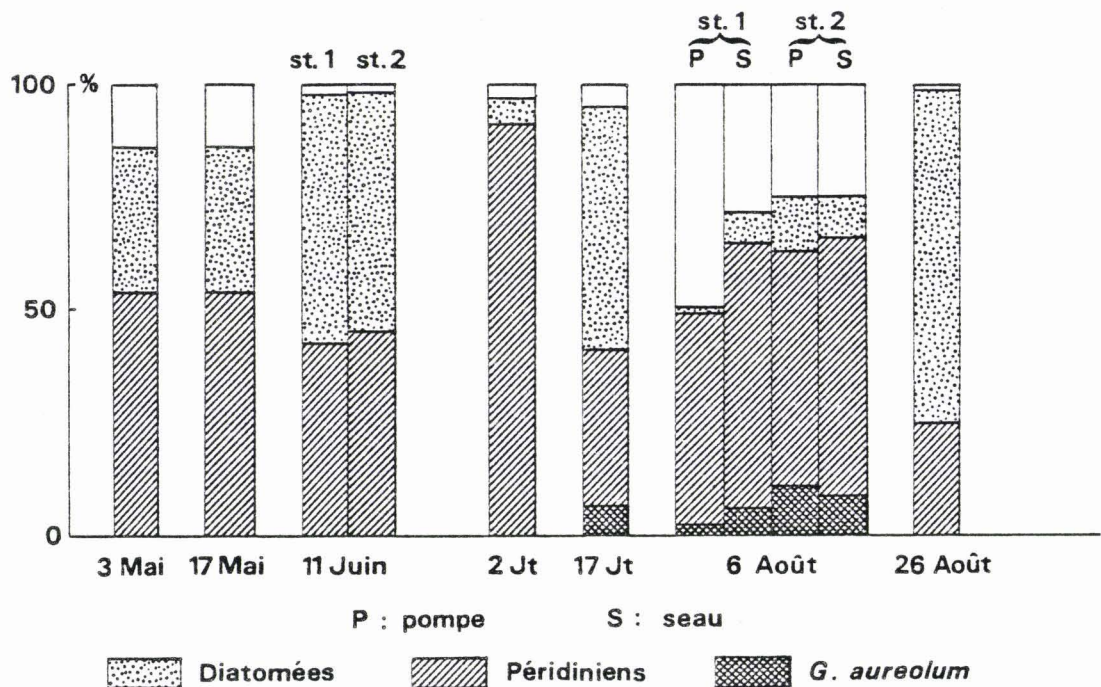
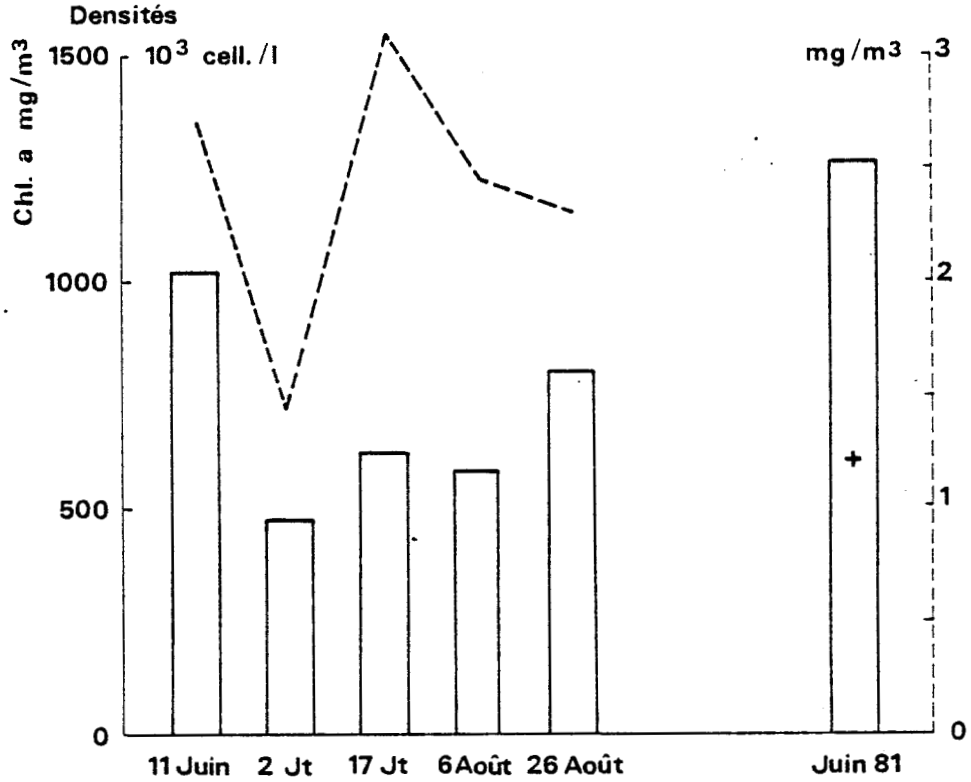


Figure 20 - Caractéristiques du phytoplancton dans les eaux du secteur brassé en 1980. En haut: concentration en chlorophylle a et densités cellulaires. En bas: proportions des différents groupes. En 80, on a représenté la part des autres Flagellés photosynthétiques en blanc.

## SECTEUR FRONTAL 80-81



## SECTEUR FRONTAL 80.81

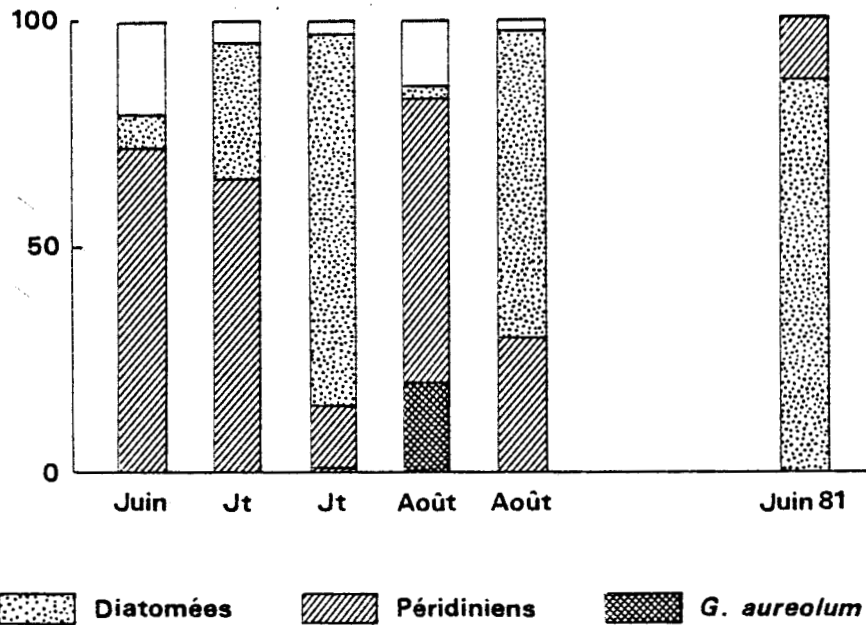
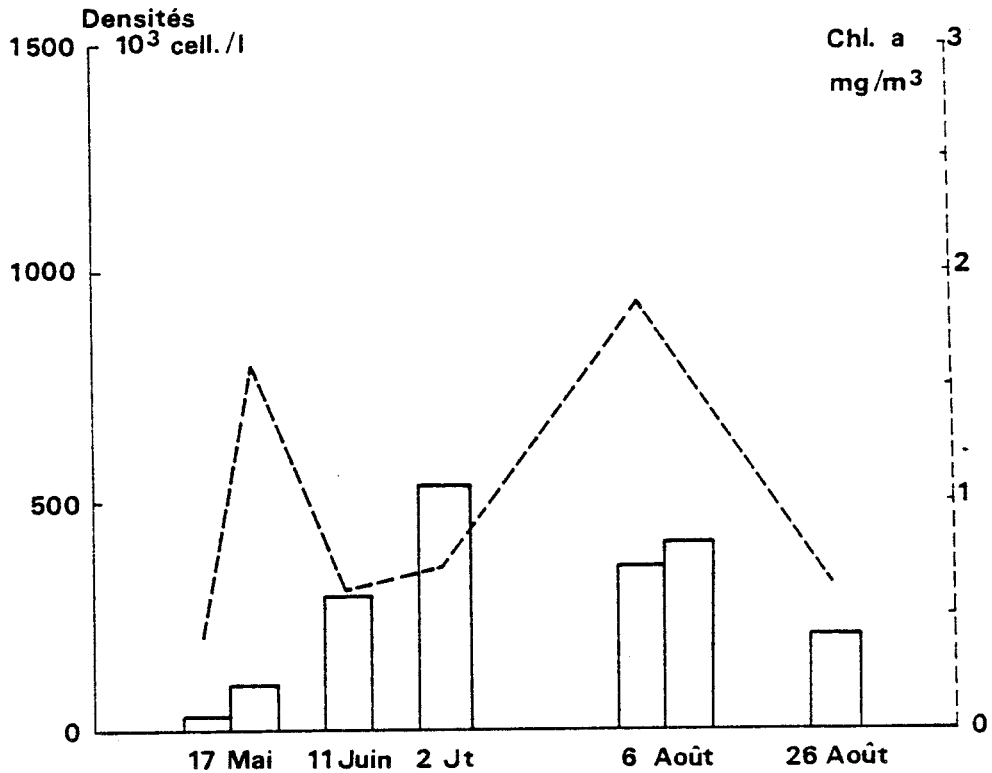
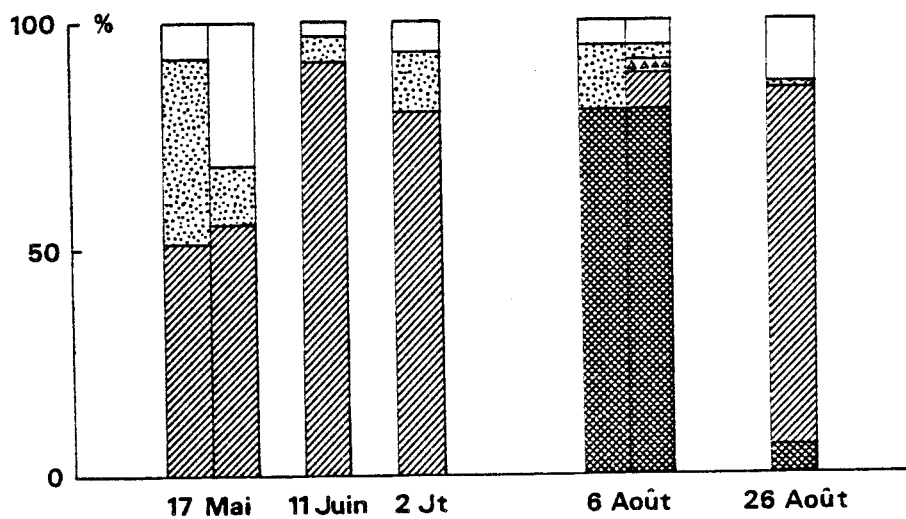


Figure 21 - Caractéristiques du phytoplancton dans les eaux du secteur frontal en 1980 et 1981. En haut: concentration en chlorophylle a et densités cellulaires. En bas: proportions des différents groupes. En 80, on a représenté la part des autres photosynthétiques en blanc.

## SECTEUR STRATIFIÉ 80



## SECTEUR STRATIFIÉ 80



Diatomées
  Périidiniens
  *G. aureolum*
 Noctiluques

Figure 22 - Caractéristiques du phytoplancton dans les eaux du secteur stratifié en 1980. En haut: concentration en chlorophylle a et densités cellulaires. En bas: proportions des différents groupes. En 80, on a représenté la part des autres Flagellés photosynthétiques en blanc.

*G. aureolum* à raison de 285000 c/l.

En 1981, le secteur brassé (figure 23) est représenté en juin par les stations 8, 11 et 10 de la campagne Pluteus où le phytoplancton est constitué exclusivement de péridiniens (dont la proportion du nanoplankton sur les péridiniales est d'environ 4/1).

En juillet 81, les Diatomées se multiplient au large de Roscoff, tandis qu'en août, les eaux du secteur brassé et de la Manche entière jusqu'au large de Plymouth (figures 23 et 24) sont marquées par la prolifération de *G. aureolum*.

La figure 24 montre que le secteur stratifié est caractérisé par des eaux extrêmement riches en *G. aureolum* et en péridiniens qui lui sont généralement associés (GRALL, 1976, HOLLIGAN, 1981), à raison de 1,3 million de cellules au litre (5 août 81).

En 1981, le secteur frontal (figure 21) est marqué par la floraison de Diatomées (accompagnées de Péridiniales).

### c - Conclusion

Nous avons décrit les variations spatiales et saisonnières du phytoplancton sur une zone de la Manche Ouest. Nos résultats décrivent des évolutions semblables quoique décalées dans le temps en 1980 et 1981 mais différant totalement selon le secteur considéré.

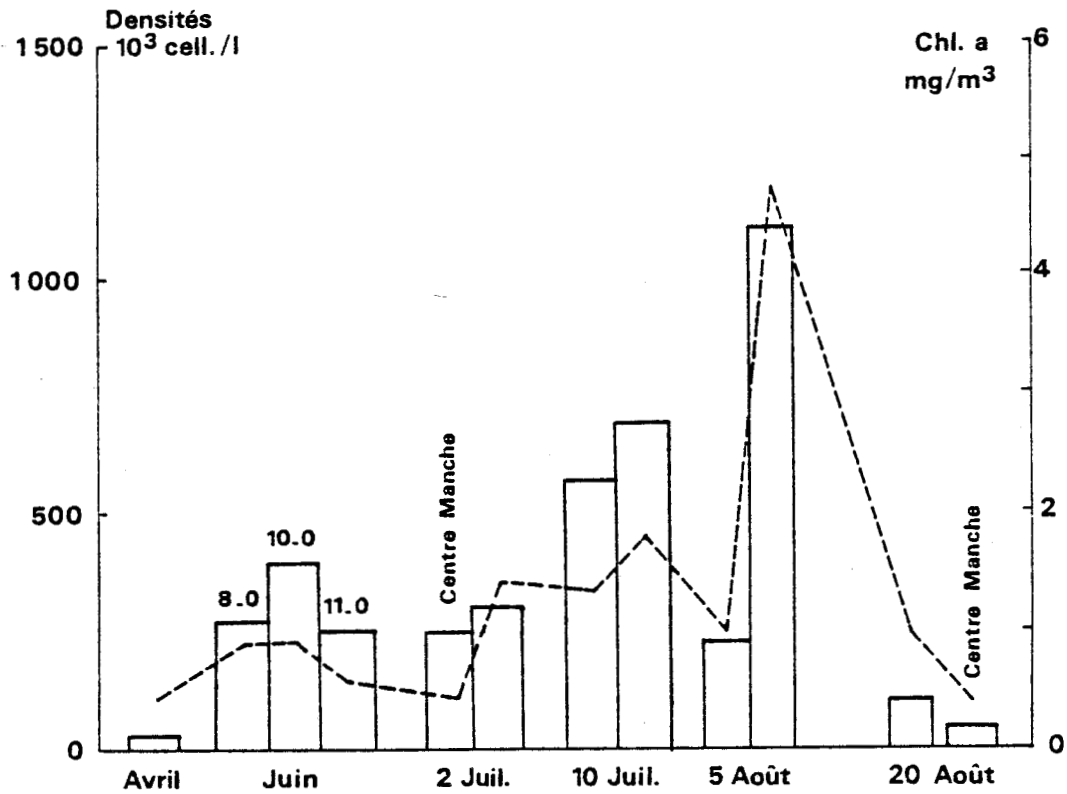
Malgré l'apparente variabilité dont nous avons rendu compte au cours de ce chapitre, nous pouvons toutefois dégager deux types de développements bien distincts.

Le premier est la floraison de Diatomées, que l'on rencontre aussi bien en zone brassée, frontale ou stratifiée selon la période. Il semble que ce type de développement requière un ensemble de conditions physicochimiques déterminées, qui ne sont réunies qu'à certaines périodes :

- apport de sels nutritifs
- éclaircissement suffisant
- stabilité de la masse d'eau.



## SECTEUR BRASSE 81



## SECTEUR BRASSE 81

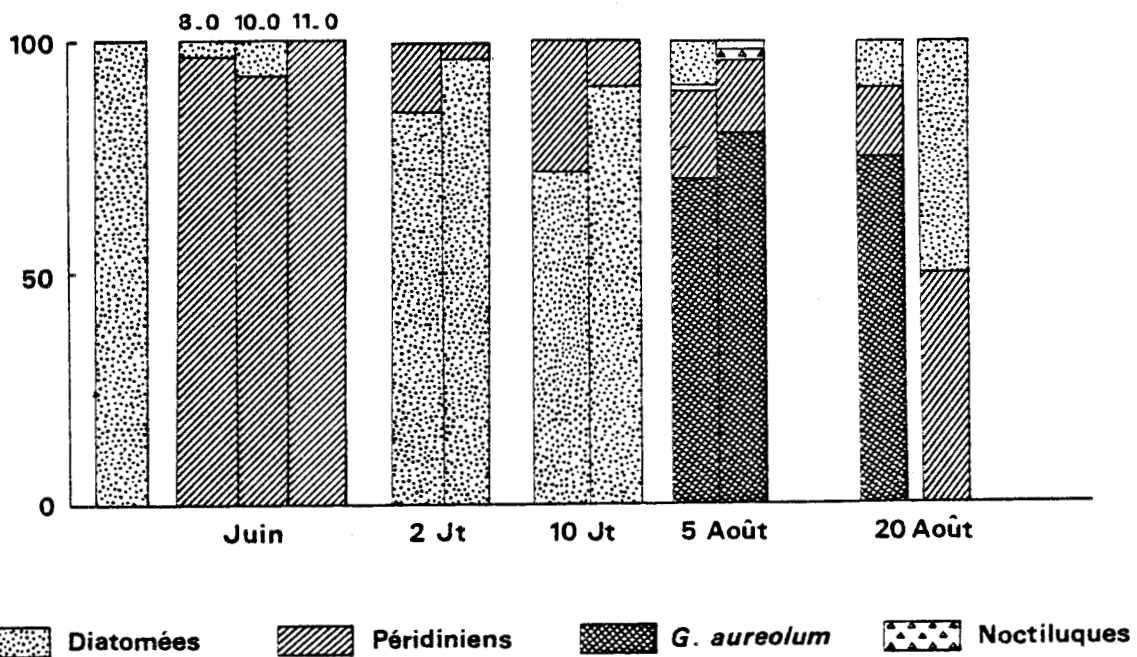
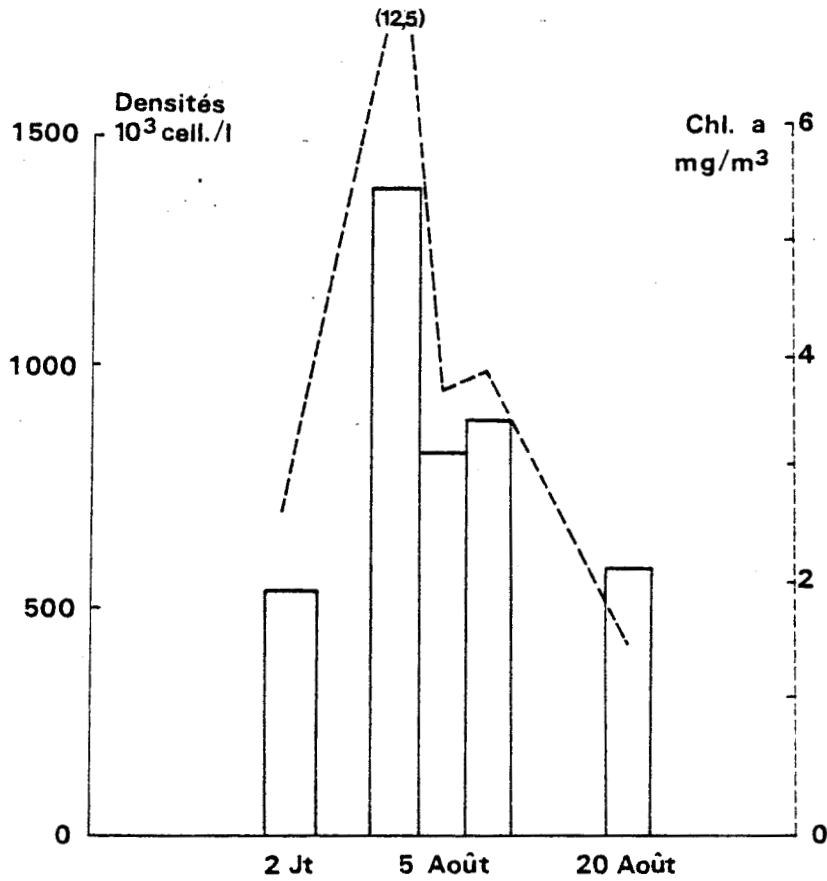
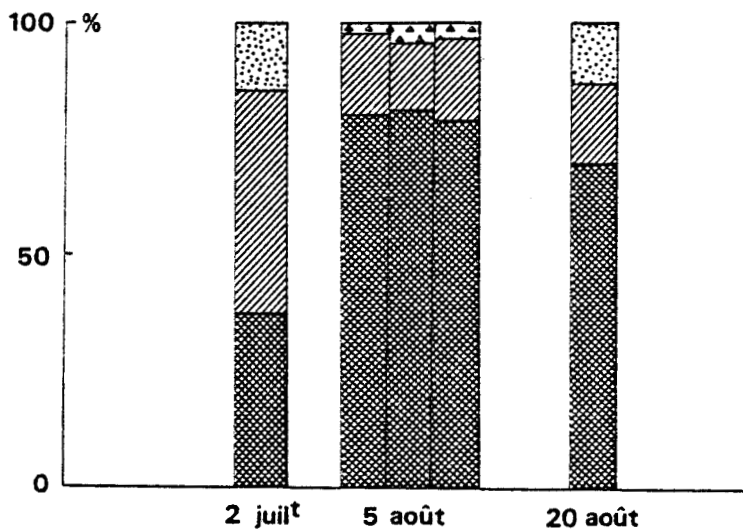


Figure 23 - Caractéristiques du phytoplancton dans les eaux du secteur brassé en 1981. En haut: concentration en chlorophylle a et densités cellulaires. En bas: proportions des différents groupes. En 81, on n'a pas représenté la part des autres Flagellés photosynthétiques.

## SECTEUR STRATIFIÉ 81



## SECTEUR STRATIFIÉ 81



Diatomées
  Peridiniens
  *G. aureolum*
 Noctiluques

Figure 24- Caractéristiques du phytoplancton dans les eaux du secteur stratifié en 1981. En haut: concentration en chlorophylle a et densités cellulaires. En bas: proportions des différents groupes. En 81, on n'a pas représenté la part des autres Flagellés photosynthétiques.



Ces conditions sont sans doute réunies aux moments où nous mesurons ces floraisons : en zone stabilisée au printemps (mars à mai), en zone brassée en été (juin, juillet 80), frontale en été (81) et à l'automne (fin août 80).

Le deuxième type de développement est l'explosion de Dinoflagellés, et notamment de l'espèce *G. aureolum* qui ne se produit qu'au milieu de la période estivale, après les floraisons de Diatomées. Nous avons observé ce type de floraison en zone stratifiée exclusivement (août 80 et 81).

Ces différents types de floraisons phytoplanctoniques, se rencontrent de la Mer Celtique au front d'Ouessant (PINGREE, 1978). On peut conclure, au terme de cette étude, que la zone de la Manche Ouest étudiée ici (entre Roscoff et Plymouth) s'intègre dans ce système décrit auparavant, en ce qui concerne la croissance du phytoplancton.



## CHAPITRE IV- OPTIQUE MARINE.

Dans ce chapitre, nous étudierons les mesures optiques réalisées aux cours des campagnes de 1981. Nous rechercherons une corrélation entre les propriétés optiques des eaux de mer et la concentration en phytoplancton. Celle-ci sera présentée dans la première partie.

Dans la deuxième partie, nous définirons un algorithme construit à partir de nos mesures en mer permettant de retrouver la concentration en chlorophylle avec une précision appréciable.

### IV-1 - Caractéristiques optiques

Nous analyserons en deux parties distinctes les caractéristiques de l'atténuation diffuse de la lumière et les réflectances de la mer mesurées en Manche en 1981.

La liste complète des valeurs des " $K^\lambda$ " et " $R^\lambda$ " sera trouvée en annexe V.

#### IV-1-1 - Atténuation diffuse

Quelques exemples de détermination graphique des coefficients d'atténuation diffuse  $K^\lambda$  sont présentés aux figures 3,4 de l'annexe V ainsi que les profils de température obtenus simultanément.

##### IV-1-1-1 - Variation de l'atténuation pour 5 longueurs d'onde du spectre visible

Les variations du coefficient d'atténuation\* en fonction des 5 longueurs d'onde du radiomètre multispectral sont illustrées au tableau 11 et à la figure 25, pour huit stations caractéristiques des trois campagnes de l'hiver et de l'été 1981.

La gamme de variation des coefficients est très étendue puisque, à 440 nm, elle s'étend de  $0,085 \text{ m}^{-1}$  en mars (eaux du large,  $M_6$ ) à  $0,95 \text{ m}^{-1}$  en juillet (à la station de floraison maximale,  $J_6$ ).

---

\* de la première couche en cas de milieu stratifié.

Station	$K_{400m^{-1}}$	$K_{440m^{-1}}$	$K_{520m^{-1}}$	$K_{550m^{-1}}$	$K_{670m^{-1}}$	C + P (10 <sub>-3</sub> ) mg.m
J <sub>6</sub>	. 96	. 95	. 58	. 40	. 710	32
J <sub>5</sub>	. 66	. 7	. 43	. 314	. 544	24
J <sub>3</sub>	. 362	. 334	. 234	. 177	. 530	12,6
J <sub>11</sub>	. 143	. 110	. 09	. 09	. 500	0,64
P <sub>7</sub>	. 21	. 164	. 0745	. 081	-	0,74
P <sub>12</sub>	. 148	. 109	. 060	. 057	-	0,52
M <sub>2</sub>	. 181	. 151	. 122	. 132	. 46	2,04
M <sub>6</sub>	. 113	. 085	. 066	. 076	. 44	0,94
Eau pure *	. 002	. 017	. 049	. 065	. 430	0

Tableau 11 - Coefficients d'atténuation diffuse aux 5 longueurs d'onde du radiomètre multispectral, et concentrations en pigments (chlorophylle + phéopigments) pondérées sur 10 m. Notation : J, campagne John Murray en juillet, P, Pluteus, M, John Murray en mars.

Les valeurs de juillet (stations J du tableau 11) sont exceptionnelles puisque, d'après des données antérieures comparables, le coefficient d'extinction maximal à  $E_1$  est  $0,23 m^{-1}$  à la thermocline (POOLE et ATKINS, 1929).

\* Valeurs de SMITH et EAKER, (1981).

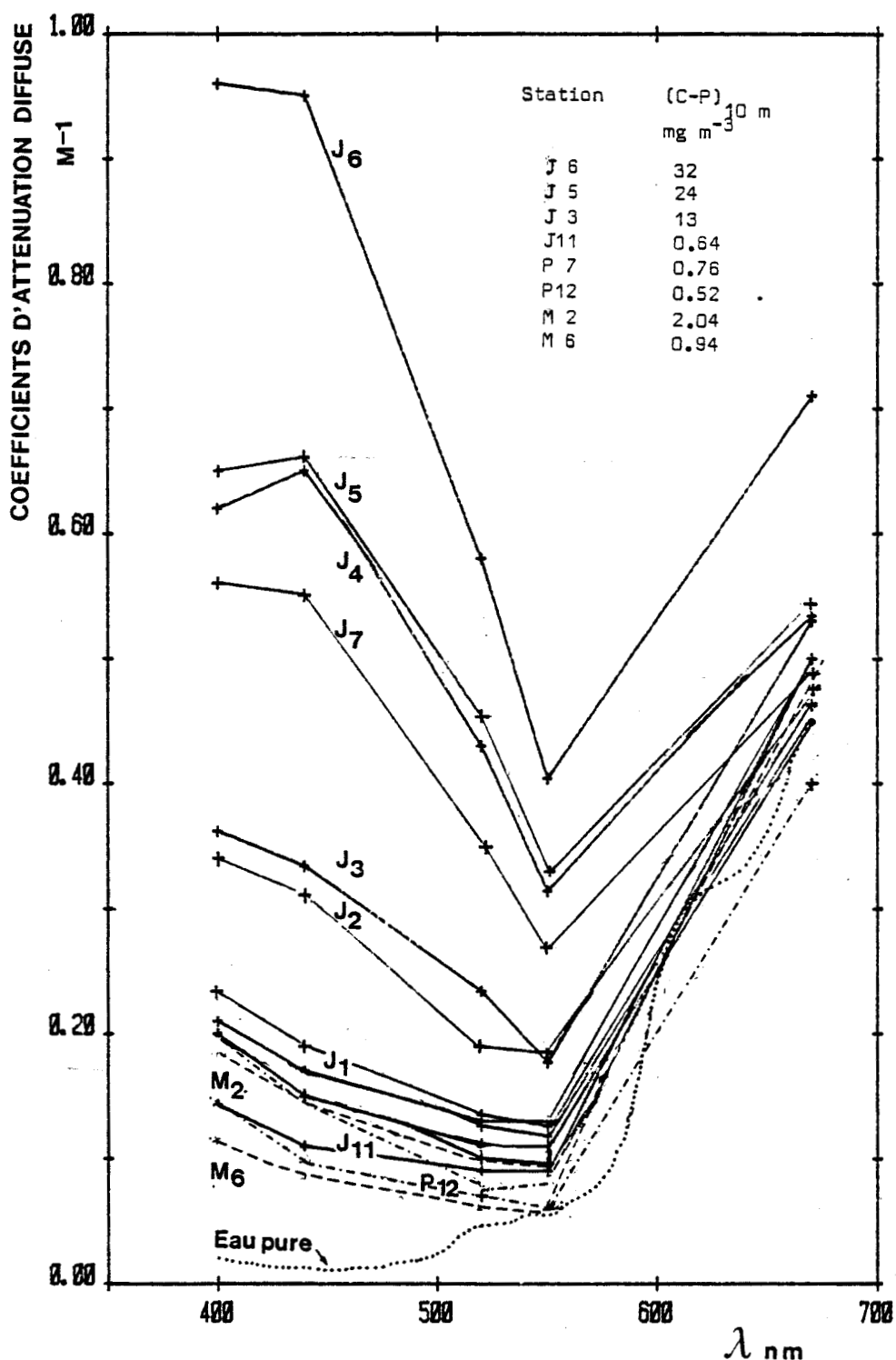


Figure 25 - Variation spectrale des coefficients d'atténuation diffuse aux 5 longueurs d'onde du radiomètre (pente du profil d'atténuation du log de l'éclairement descendant) des eaux de la Manche.

Les courbes correspondant aux différentes campagnes sont représentées comme suit : juillet (J —), mars (M----), juin (Pluteus-.-.-). Les noms des stations caractéristiques sont indiqués. Les concentrations en pigments correspondantes sont reportées en haut et à droite du graphe.

Les spectres des stations riches de la floraison de juillet se situent tous entre J<sub>1</sub> et J<sub>6</sub>, les spectres des stations claires étant identiques à ceux de mars ou juin (M<sub>2</sub>, P<sub>12</sub>). La ligne en pointillé représente, par comparaison, le spectre d'atténuation de l'eau pure d'après SMITH et BAKER, (1981).

Le spectre d'atténuation de  $J_6$  a une forme "en V", bien visible à la figure 25, caractéristique d'une eau influencée principalement par la chlorophylle (MOREL, 1980 ; PRIEUR et SATHYENDRANATH, 1981). Les spectres sont plus plats en mars et juin (pour  $M_2$ ,  $M_6$ ,  $P_7$  et  $P_{12}$ ).

Nos résultats concernant les eaux de la zone brassée sont comparables à ceux de BOUTLER et al (1974) établis au large de Roscoff. En effet, les eaux les plus claires, au mois d'août, ont un coefficient d'extinction de  $0,08 \text{ m}^{-1}$  dans le vert, valeur équivalente à celle de l'atténuation de cette même radiation à  $J_{11}$ , en juillet ( $0,09 \text{ m}^{-1}$ , tableau 11 ).

#### IV-1-1-2 - Influence de la répartition verticale des pigments

Quand un milieu est stratifié, les profils d'atténuation peuvent présenter une rupture de pente dont la profondeur est reliée, soit à la base d'une couche riche en phytoplancton située à la thermocline (ou à une "nutricline", d'après SPITZER et WERNAND, 1981 pour les eaux tropicales de l'Atlantique Nord), soit à la base d'une floraison située dans la couche de surface.

Ce dernier cas est représenté par les profils d'atténuation des stations riches en pigments de la zone stratifiée (campagne John Murray de juillet, tableau 12 ). Les coefficients à 550 nm des stations  $J_2$  à  $J_7$  (figure 26 ) présentent une rupture de pente entre 10 et 20 m, profondeur mesurée de la base de la floraison de Dinoflagellés (figure 18, chapitre III). Au contraire, les stations pauvres en chlorophylle situées dans la zone brassée ont un coefficient à pente unique (cas de  $J_{10}$  et  $J_{11}$ ).

Densité spectrale de l'éclairement  $E_d$   
en valeur relative

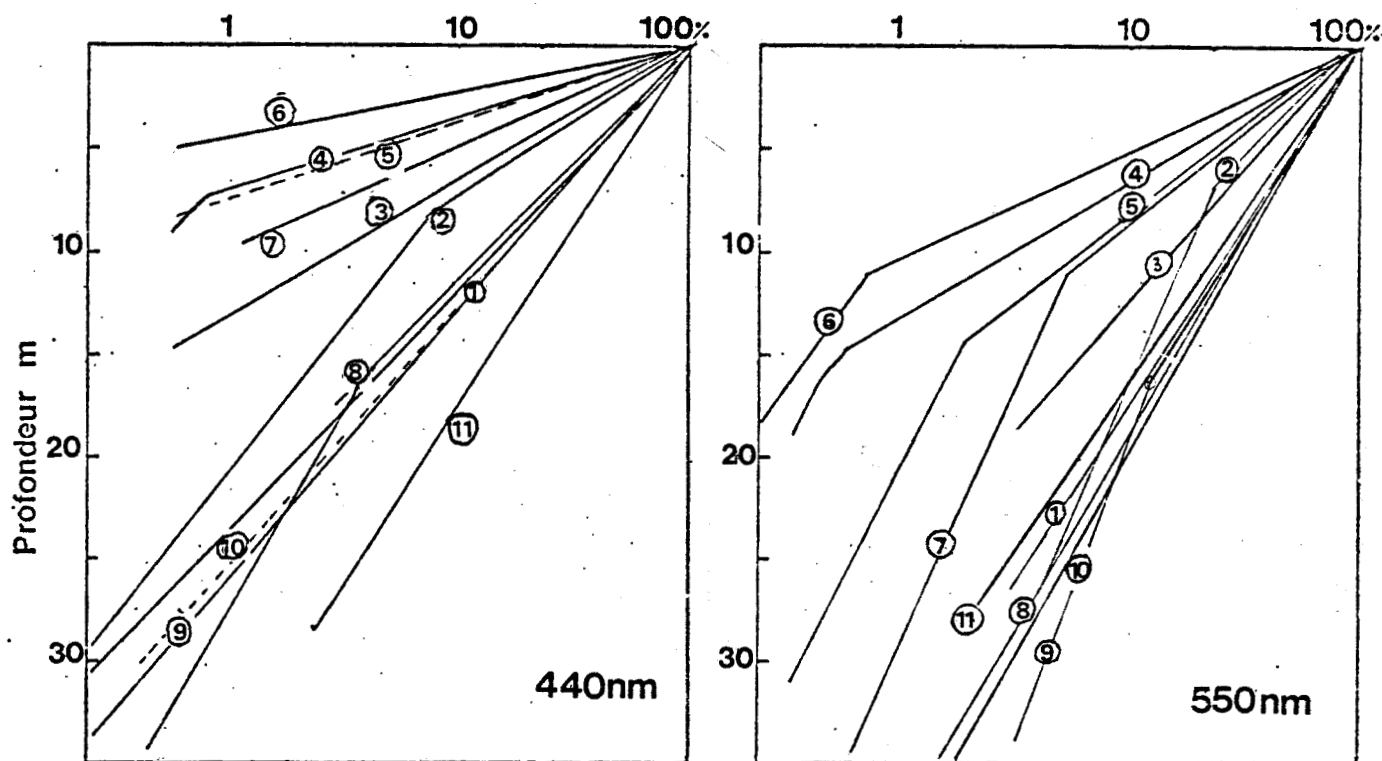


Figure 26 - Profils d'atténuation à 440 et 550 nm (ramenés en pourcentage pour l'ensemble des stations réalisées en juillet 81 (campagne John Murray 2)).

Les stations faisant partie de la floraison (2) (3) (4) (5) (6) (7) se distinguent nettement du groupe des stations situées dans les eaux claires : (8) (9) (10) (11) (1).

- La radiation bleue (440) est fortement atténuée par les fortes concentrations en chlorophylle a de la floraison de Dinoflagellés, le 1 % de la valeur en surface se mesurant entre 4 et 10 m. Elle pénètre par contre jusqu'à 35 m dans la zone brassée, pauvre en chlorophylle.

- La radiation verte (550 m) est comparativement peu atténuée aux stations riches, puisqu'elle correspond au minimum d'absorption de la chlorophylle. On mesure le 1 % de sa valeur en surface entre 10 et 20 m. C'est la composante la plus pénétrante du spectre visible, elle peut donc être comparée à l'atténuation totale des quanta.

	Z base (m) floraison	Z rupture (m) de pente K <sub>d</sub>
J <sub>2</sub>	13	10 (K <sub>550</sub> )
J <sub>3</sub>	17	18
J <sub>4</sub>	16	15
J <sub>5</sub>	18	14
J <sub>6</sub>	13	12
J <sub>7</sub>	12	11
P <sub>7</sub>	/	10 (K <sub>440</sub> )
P <sub>8</sub>	/	10

Tableau 12 - Comparaison des profondeurs de la rupture de pente du coefficient K<sub>d</sub> et de la base de la floraison (John Murray, juillet).

On remarque que les stations P<sub>7</sub> et P<sub>8</sub> de la campagne Pluteus de juin présentent également des profils d'atténuation à 2 pentes, signes d'un milieu à 2 couches, mais que l'on ne peut interpréter par des mesures de terrain.

#### IV-1-1-3 - Influence du contenu de l'eau de mer sur l'atténuation

La méthode la plus simple pour déterminer cette influence consiste à rechercher une relation linéaire entre le coefficient d'atténuation diffuse K<sub>d</sub>(λ) et la concentration en pigments (C+P).

De telles relations ont été effectivement trouvées aux quatre longueurs d'onde du radiomètre : 400, 440, 520 et 550 nm (figures 27 et 28). Le canal à 670 nm a été écarté de l'étude à cause des incertitudes de mesure sur K<sub>d</sub>.

Il est intéressant de comparer ces résultats aux travaux d'autres auteurs, notamment ceux de SMITH et BAKER (1978).



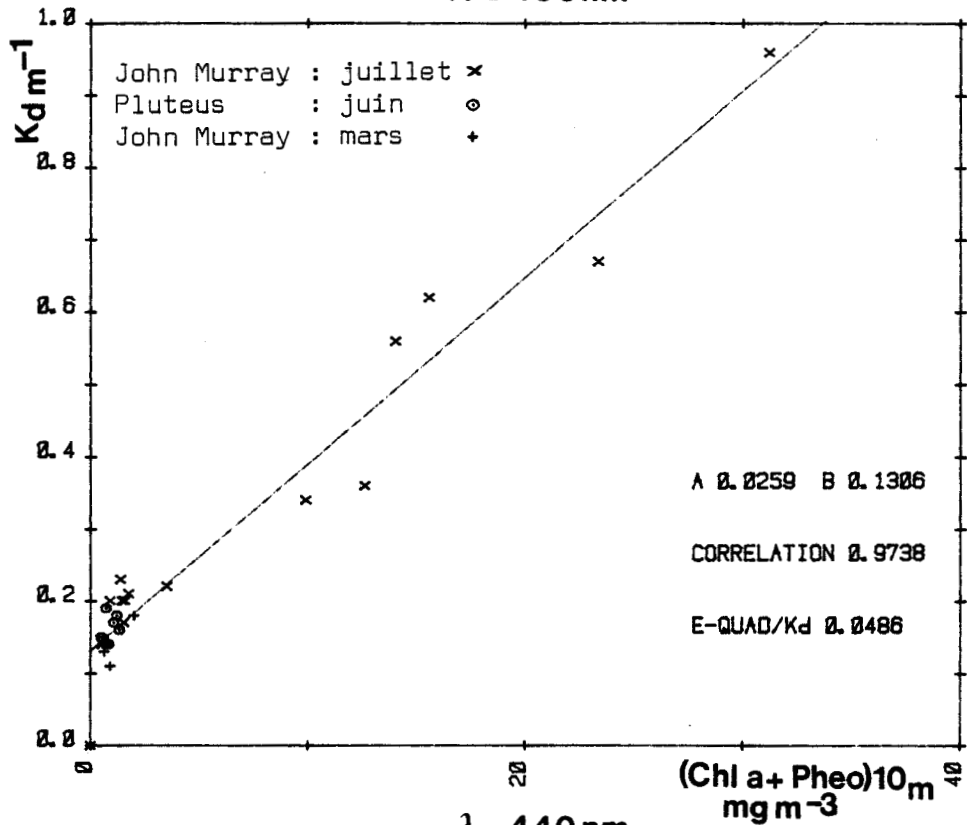
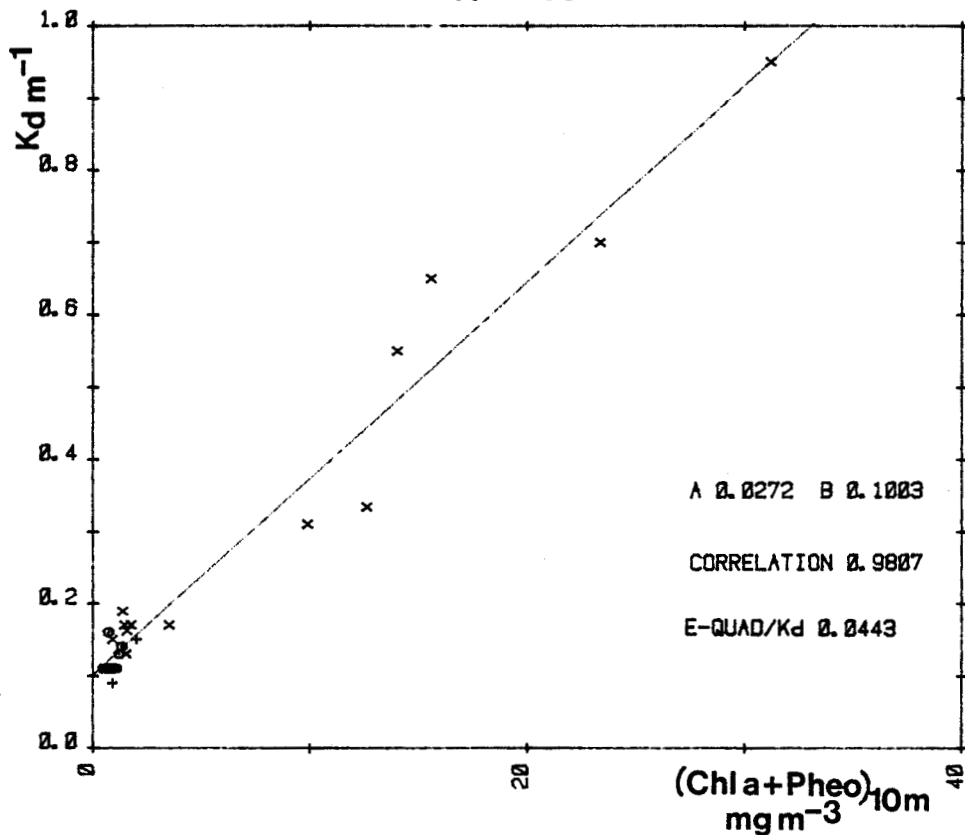
$\lambda = 400 \text{ nm}$  $\lambda = 440 \text{ nm}$ 

Figure 27 - Atténuation diffuse à 400 nm et 440 nm en fonction de la concentration en pigments pondérée sur 10 m  $(\text{C}+\text{P})_{10\text{m}}$  pour l'ensemble des campagnes de 1981. L'ajustement linéaire est basé principalement sur les valeurs de  $(\text{C}+\text{P})$  comprises entre 10 et 32  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (voir texte). Les caractéristiques de la régression linéaire sont : A, coefficient d'atténuation spécifique et B, coordonnée à l'origine.

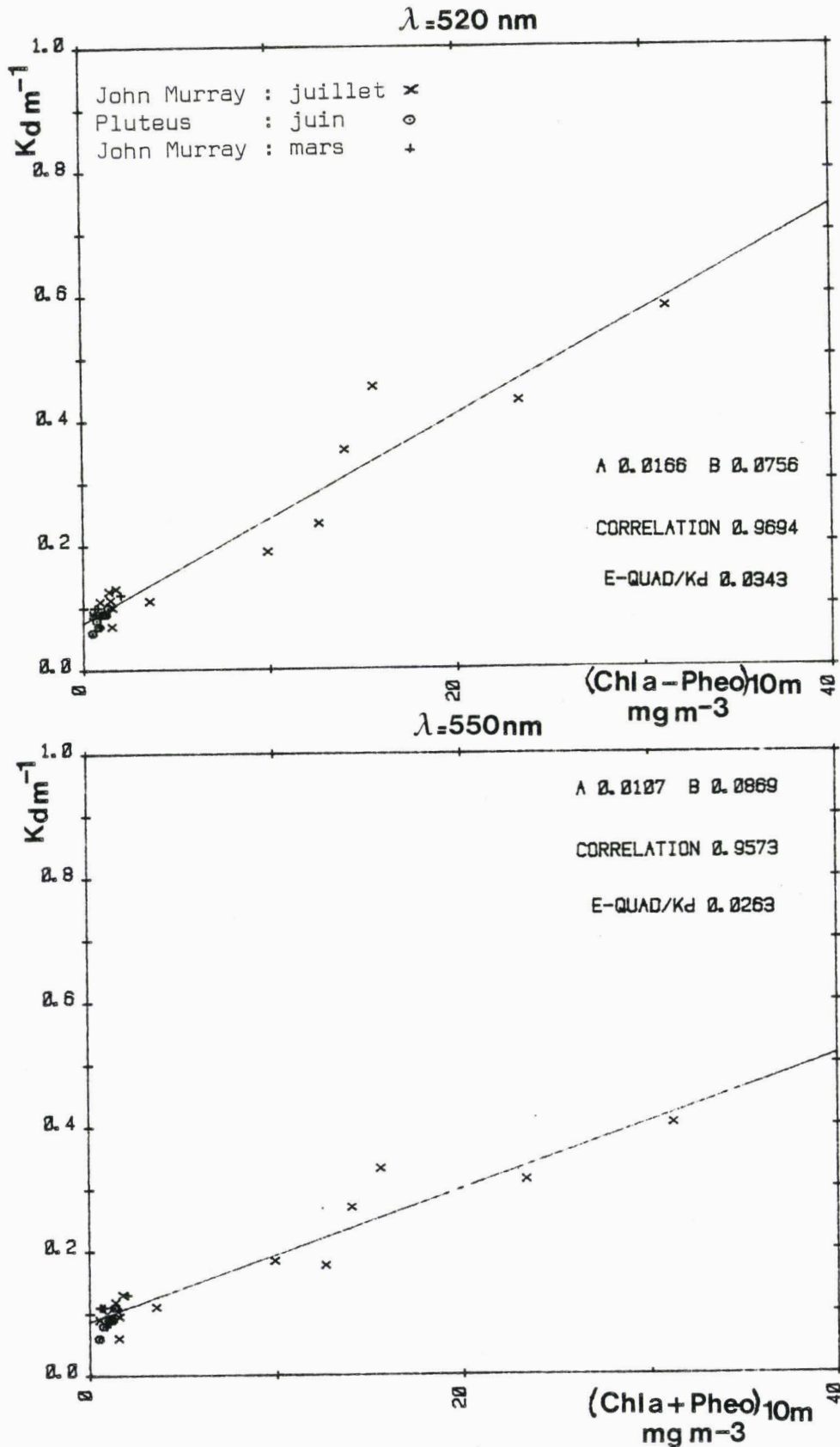


Figure 28 - Atténuation diffuse à 520 nm et 550 nm en fonction de la concentration en pigments pondérée sur 10 m  $(C+P)_{10m}$  pour l'ensemble des campagnes de 1981. L'ajustement linéaire est basé principalement sur les valeurs de  $(C+P)_{10m}$  comprises entre 10 et 32  $mg \cdot m^{-3}$  (voir texte). Les caractéristiques de la régression linéaire sont : A, coefficient d'atténuation spécifique et B, coordonnée à l'origine.



Ces auteurs, recherchant une relation entre  $K_d(\lambda)$  et (C+P), sont amenés à séparer leurs données en deux groupes, correspondant à des valeurs de pigments C+P inférieures ou supérieures à  $0,8 \text{ mg.m}^{-3}$  (SMITH et BAKER, 1978). Un ajustement linéaire est trouvé dans chacun des cas, mais les pentes, appelées respectivement  $k_1$  et  $k_2$  ( $\text{m}^{-1}/\text{mg.m}^{-3}$ ) sont très différentes (tableau 13). Les deux premières colonnes du tableau donne les valeurs de ces coefficients aux longueurs d'onde qui nous intéressent. La troisième colonne donne les coefficients de la présente étude (voir figures 27 à 28), notés  $k_3$ . Il faut souligner qu'il s'agit réellement d'un nouveau groupe de coefficients puisque l'ajustement linéaire est établi principalement sur des valeurs de (C+P) comprises entre 1 et  $32 \text{ mg.m}^{-3}$  dont ne disposaient pas SMITH et BAKER.

$\text{m}^{-1}/\text{mg.m}^{-3}$	(SMITH et BAKER, 1978)		Cette étude
	$k_1$	$k_2$	
$\lambda$ (nm)			$k_3$
400	0,216	0,049	0,026
440	0,163	0,038	0,027
520	0,088	0,019	0,018
550	0,070	0,012	0,011

Tableau 13 - Coefficients d'atténuation spécifique à 4 longueurs d'onde

$k_1$	C+P	$0,8 \text{ mg.m}^{-3}$	SMITH et BAKER 1978
$k_2$	$0,8$	C+P	$8 \text{ mg.m}^{-3}$ SMITH et BAKER 1978
$k_3$	3	C+P	$32 \text{ mg.m}^{-3}$ Cette étude

On remarque que les coefficients spécifiques  $k_2$  et  $k_3$  sont identiques à 520 et 550 nm, et que  $k_3$  est légèrement inférieur à  $k_2$  à 400 et 440 nm, observation qui semble en accord avec la théorie de "l'aplatissement" du coefficient spectral d'absorption pour les cellules fortement absorbantes (MOREL et BRICAUD, 1981).

En dehors de ces observations, on peut conclure d'après les figures 27 à 28, que les eaux de la Manche peuvent être classées dans

le cas I (notation de MOREL), au moins pour la période de floraison de juillet 81. En effet, les valeurs des corrélations sont importantes, notamment à 440 nm, maximum d'absorption de la chlorophylle, où l'on peut écrire l'équation (1).

$$K_{440(m^{-1})} = 0,027 (C+P)_{10m} + 0,100 \quad (1)$$

avec  $r = 0,980$

Ces résultats montrent qu'il existe une relation privilégiée entre l'atténuation (et à priori les autres propriétés optiques) et l'état biologique des eaux.

Ceci est bien illustré par des photographies des fonds de cuve à sédimentation prises à partir du microscope inversé (figure 29 , planche II).

Les échantillons, sans être statistiquement représentatifs, correspondent à des types d'eau différents mis en évidence lors de nos comptages cellulaires.

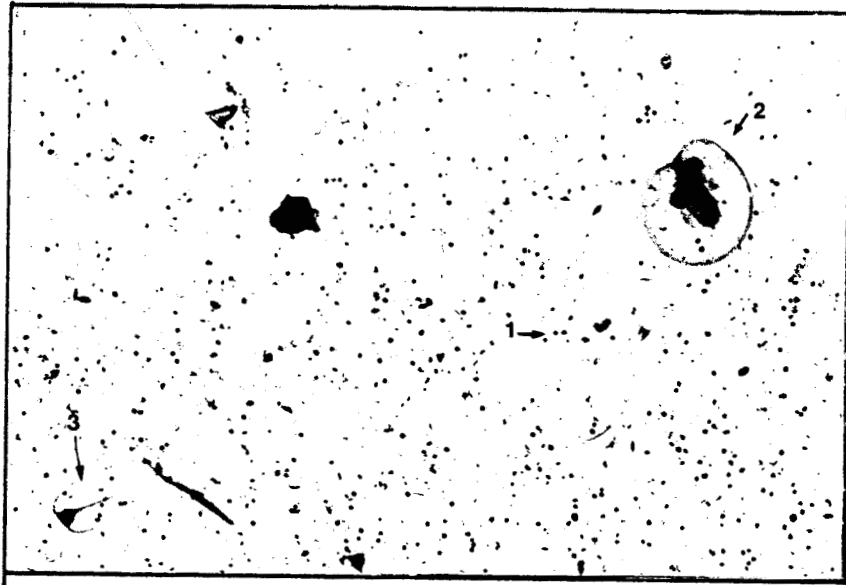
Les deux premiers proviennent des eaux de surface prélevées lors du 5 août 81 (figure 17 , chapitre III), le troisième, de la campagne Pluteus (figure 14, chapitre III).

Le volume sédimenté est le même pour les trois échantillons (50 ml). Les photos ont été prises au même grossissement (x 40). Les cellules apparaissent sombres car elles ont été fixées au lugol acide (voir annexe IV).

La légende des photographies de la planche II est la suivante :

- photo 1 : échantillon provenant de la zone de floraison du 5 août 81 (150 km de Roscoff)
- photo 2 : échantillon provenant de la zone brassée et pauvre, le 5 août 81 (15 km de Roscoff)
- photo 3 : échantillon provenant de la station frontale, enrichie en chlorophylle le 15 juin 81 (80 km de Roscoff, radiale Pluteus).

1



Dinoflagellés

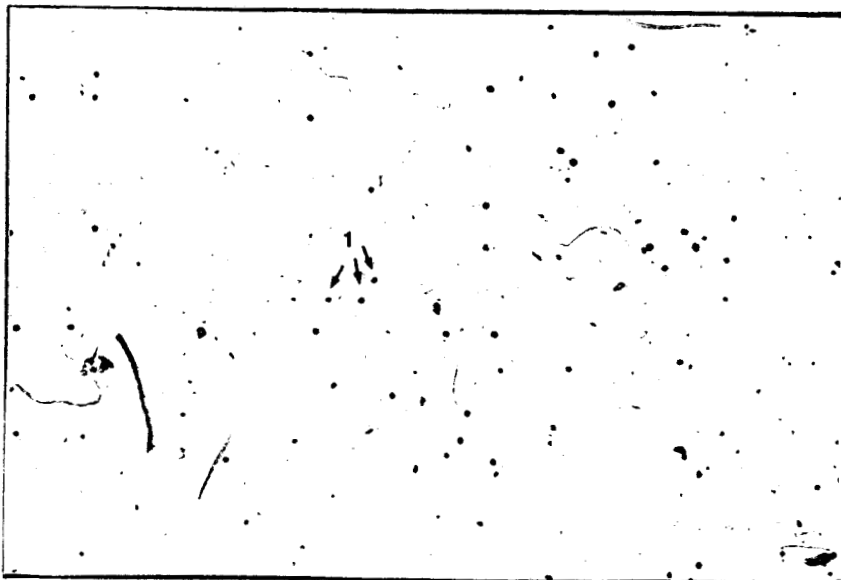
1 G aureolum →  
(annexe 4)

2 Noctiluca sp. ↙

3 Ceratium sp. ↘

FLORAISON 5 AOUT 81 30km Plymouth

2

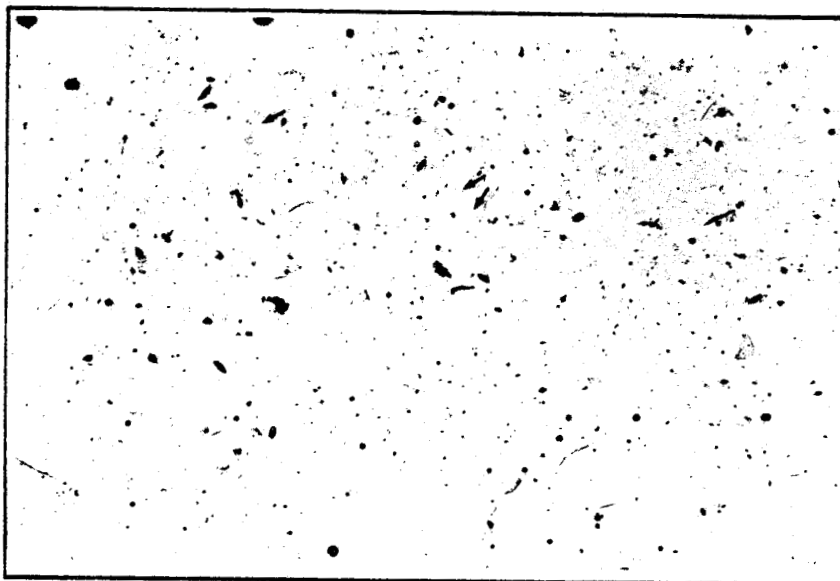


Dinoflagellés

1 G aureolum

Z.BRASSEE 5 AOUT 81 15 km Roscoff

3



Diatomées

Nitzschia sp. ↙  
(annexe 4)

Dinoflagellés

FLORAISON FRONTALE 16 JUIN 81 80 km Roscoff st.6



On remarque qu'à la photo 1, les Dinoflagellés sont très abondants et on peut conclure que les propriétés optiques sont dépendantes du seul phytoplancton. L'absorption est importante, l'espèce *G. aureolum* étant dépourvue de thèque cellulosique, et possédant de larges chromatophores décrits par TANGEN et BJORNLAND(1981), BALLANTINE et SMITH, (1973). Une photo à plus fort grossissement sera trouvée en annexe IV.

Au contraire, à la photo 2, les débris végétaux sont importants (diffusants) et sont plus nombreux que les algues vivantes, ce qui ne représente toutefois pas les eaux de mars où la turbidité minérale peut être importante.

En juin, les Diatomées sont extrêmement abondantes (photo 3), mais malgré leur grande densité, elles ne représentent qu'une fraction du phytoplancton au profit de débris, pouvant augmenter le processus de diffusion. D'autre part, l'effet de diffusion peut être dû à la structure de ces diatomées : cytoplasme réduit, présence d'une paroi cellulaire, petits chromatophores, forme allongée (photo 5 annexe IV).

Ces trois photographies illustrent donc différents types d'eau influencés différemment par le phytoplancton.

#### IV-1-2 - Réflectances

Les bases de la détermination expérimentale des réflectances sont présentées en annexe V.

##### IV-1-2-1 - Variations de la réflectance pour 5 longueurs d'onde

Les variations spectrales de la réflectance des eaux naturelles dans le spectre visible définissent la couleur de l'océan, dont la modélisation est possible (SATHYENDRANATH, 1981).

Les résultats des réflectances mesurées en fonction des cinq longueurs d'onde du radiomètre multispectral (400,440,520,550 et 670 nm) sont présentés figure 30 pour les stations caractéristiques des trois campagnes 1981. Les valeurs sont regroupées au tableau 14.

Station	R <sub>400</sub>	R <sub>440</sub>	R <sub>520</sub>	R <sub>550</sub>	R <sub>670</sub>	C+P (10 m <sup>-3</sup> ) mg.m <sup>-3</sup>
M <sub>2</sub>	2,3	2,6	3,3	3,4	0,9	0,64
M <sub>5</sub>	3,0	4,0	4,9	4,2	0,9	0,59
P <sub>8</sub>	1,0	1,4	1,6	1,7	0,27	1,36
P <sub>10</sub>	1,7	2,1	2,8	2,5	0,7	1,10
J <sub>1</sub>	0,9	1,1	1,5	1,7	0,36	1,42
J <sub>6</sub>	0,5	0,25	0,4	1,06	0,6	32
J <sub>11</sub>	1,2	1,6	2,1	1,8	0,4	0,96
J <sub>9-2</sub>	1,8	2,4	3,8	4,6	0,5	1,60
Eau pure *	10,6	8,6	1,2	0,7	0,4	0

Tableau 14 - Valeurs spectrales des réflectances à 5 longueurs d'onde du radiomètre pour 8 stations caractéristiques des eaux de la Manche en 1981 (en %). Notation : M, John Murray en mars, J, John Murray en juillet, P, Pluteus).

\* réflectances de l'eau pure, d'après SMITH et BAKER (1981).

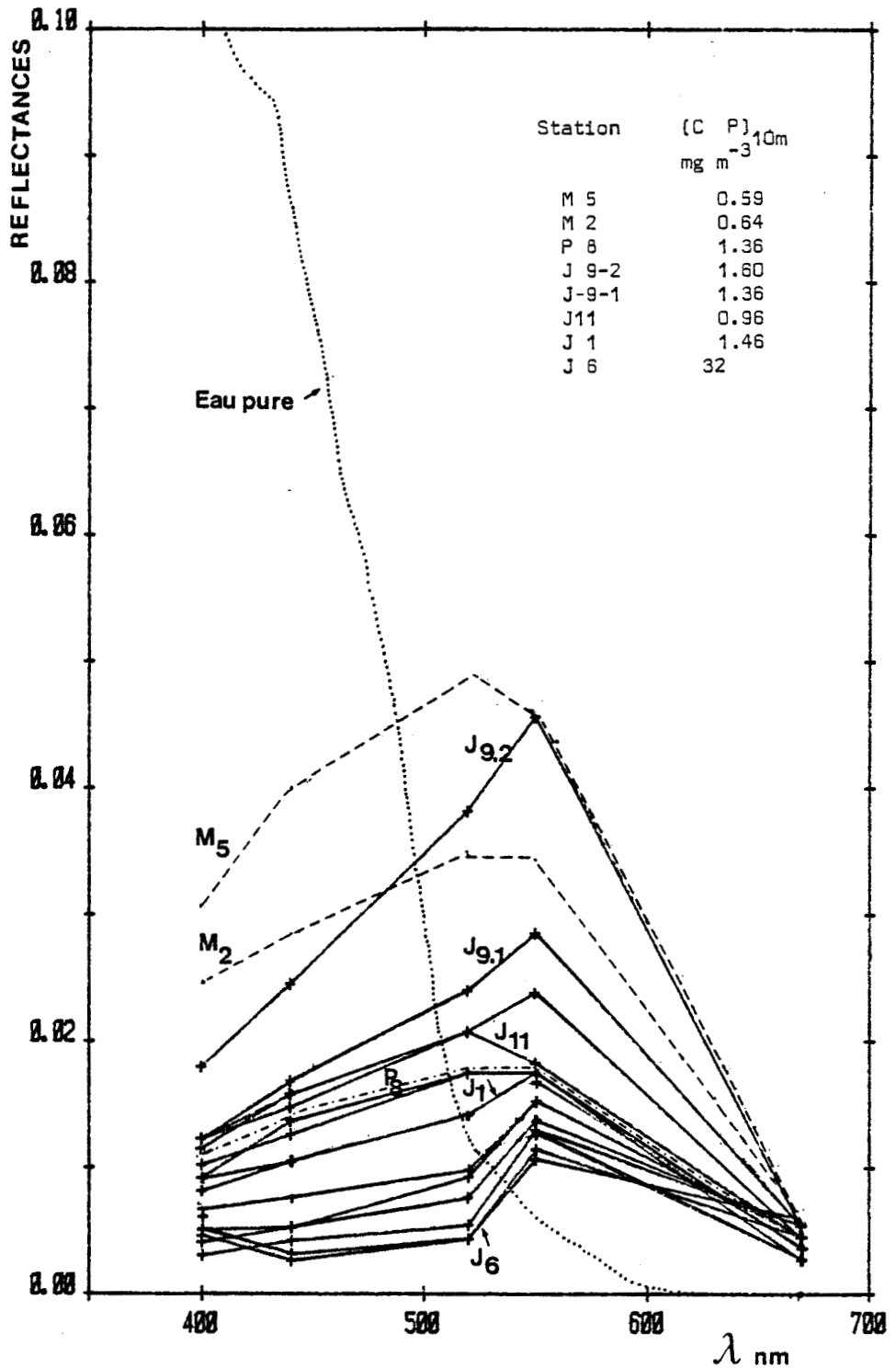


Figure 30 - Variation spectrale des réflectances à 5 longueurs d'onde du radiomètre (rapport des éclaircissements remontant sur descendant) des eaux de la Manche. Les courbes correspondant aux différentes campagnes sont représentées comme suit : juillet (J —), mars (J ----), juin (Pluteus-.-.-). Les noms des stations caractéristiques sont indiqués. Les concentrations en chlorophylle correspondantes sont reportées en haut et à droite du graphe. Les spectres des stations riches de la floraison de juillet se situent tous entre J<sub>1</sub> et J<sub>6</sub>, ceux des stations claires sont représentés par J<sub>9-1</sub>, J<sub>9-2</sub>, J<sub>11</sub>. Les spectres de mars sont caractéristiques d'eaux plus diffusantes. La ligne en pointillé représente, par comparaison, le spectre de réflectance de l'eau pure d'après SMITH et BAKER, 1981.

Les réflectances les plus faibles de la série sont celles des eaux à floraison de Dinoflagellés en juillet 1981 où l'on mesure la valeur minimale de  $R_{440} = 0,25\%$  à  $J_6$ , avec  $32 \text{ mg.m}^{-3}$  de pigments totaux, pondérés sur les 10 premiers mètres. On retrouve de  $J_1$  à  $J_6$ , la forme de spectres fortement influencés par la chlorophylle (MOREL, 1977) évidents par leur minimum à 440 nm (d'absorption par les chlorophylles) et le déplacement de leur maximum dans le vert jaune. Cette forme est observée pour toutes les stations de la floraison et caractérise également les eaux à *G. nelsonii* (CLARK et KIEFER, 1979).

On remarque que les stations  $J_{9-1}$  et  $J_{9-2}$ , quoique pauvres en chlorophylle possèdent un spectre identique à celui des stations riches, avec un maximum à 550 nm, mais avec des réflectances aussi élevées que celles des eaux de mars ( $4,8\%$  à 550 nm à  $J_{9-2}$ ). Or, nous avons constaté lors de la campagne une abondance particulière de Noctiluques à cette stations, qui, à cause de leur consistance gélatineuse pourraient rendre les eaux très diffusantes. Leur proportion par rapport aux espèces absorbantes telles *G. aureolum* est plus élevée en  $J_9$  que dans la floraison ( $1\%$  au lieu de  $0,3\%$ ).

Les spectres des eaux de mars et juin montrent des valeurs plus élevées et des formes plus plates ( $M_2$ ,  $M_5$ ,  $P_{10}$ ,  $P_8$ , figure 30).

#### IV-1-2-2 - Influence du contenu de l'eau de mer

Les spectres établis aux différentes périodes se distinguent nettement les uns des autres.

Au mois de mars, les concentrations en chlorophylle a sont faibles, et la diffusion au contraire importante, du fait d'une remise en suspension des particules au cours des tempêtes ou du brassage.

En juillet, par contre, les réflectances faibles sont causées par des concentrations très fortes de chlorophylle, qui augmentent le phénomène d'absorption (minimum à 440 nm maximum à 550 nm) (photo 1). En ce qui concerne la couleur des eaux à *G. aureolum*, aucune modification importante de la couleur de l'eau n'apparaît à l'observation visuelle,

ce qui démontre l'intérêt des mesures radiométriques.

Remarque : La différence de composition ou de concentration du phytoplancton entre stations riches de la zone stratifiée à Dinoflagellés et les eaux brassées à Diatomées est par contre visible sur la couleur des extraits acétoniques : les premiers étaient jaune vif au lieu de vert.

L'analyse quantitative de l'influence du contenu de l'eau de mer (pigments essentiellement) sur les réflectances consiste à rechercher des corrélations entre les rapports ou les différences de réflectances à deux longueurs d'onde et les concentrations en pigments.

Cet aspect introduit directement les algorithmes pour la télédétection, aussi sera t'il traité dans la seconde partie de ce chapitre consacrée à l'application des résultats d'optique marine à la télédétection de la couleur de l'océan.

#### IV-1-3 - Conclusion

Les propriétés apparentes mesurées au cours des campagnes montrent une grande dépendance envers la concentration en pigments.

Nous avons trouvé de bonnes corrélations entre les coefficients d'atténuation diffuse aux différentes longueurs d'onde, notamment 440 nm (maximum d'absorption de la chlorophylle), et la concentration en pigments (équation 1,  $r = 0,980$ ). Les eaux étudiées sont du cas I (MOREL, 1977) du moins, en juin et juillet. L'influence de la répartition des pigments avec la profondeur est évoquée.

Trois types d'eau peuvent être distingués, illustrés par des photographies d'échantillons sédimentés, pris à très faible grossissement ( $\times 40$ ) :

- en mars, eaux à forte proportion de débris avec des coefficients d'atténuation faibles et des réflectances fortes ( $M_2$  et  $M_5$ ),
- en juin, eaux à proportion importante de phytoplancton, mais présence de débris avec des atténuations et réflectances moyennes



dans le vert ( $P_8$ ,  $P_{12}$ , exemple photo 3),

- en juillet, eaux à dominance du phytoplancton avec des atténuations extrêmement élevées ( $.95 \text{ m}^{-1}$ ) et des réflectances très faibles (exemple photo 1). La maximum de réflectance est déplacé vers le vert-jaune.

#### IV-2 - Algorithme d'extraction de la chlorophylle en Manche

Un des buts des mesures optiques est de définir un algorithme (chapitre II) permettant, par combinaison des réflectances dans différents canaux, de retrouver les constituants principaux de l'eau de mer: concentration en pigments et turbidité, correspondant à une certaine épaisseur d'eau. Si l'on désire retrouver, grâce à cet algorithme, les concentrations effectivement mesurées par le satellite par l'intermédiaire de la rétrodiffusion, on doit tenir compte de la limitation suivante : 90 % du signal marin rétrodiffusé par la mer provient d'une profondeur optique définie :  $z_{90}$ , qui est équivalente à l'inverse du coefficient d'atténuation  $K_\lambda$  (GORDON et Mac CLUNEY, (1975). SATHYENDRANATH, (1981) a étudié l'influence du choix de la longueur d'onde d'atténuation sur la détermination de cette profondeur et sur la mesure de la chlorophylle par satellite. D'après cet auteur, la concentration effective ou équivalente  $C_{sat}$  varie peu dans l'intervalle 400-600 nm.

Dans le cas d'un océan stratifié, où l'atténuation varie avec la profondeur (exemple  $J_2$ ,  $J_6$ .... eaux à Dinoflagellés), la chlorophylle équivalente mesurée par satellite  $C_{sat}$ , est égale à la chlorophylle *in situ* pondérée par un coefficient dépendant de la profondeur, suivant l'équation 2 (GORDON et CLARK, 1980)

$$C_{sat} = \frac{\int_0^{z_{90}} C(z) g(z) dz}{\int_0^{z_{90}} g(z) dz} \quad \text{où } g(z) = e^{-2 \int_0^z K(z') dz'} \quad (2)$$

On recherche donc à partir de nos mesures en mer :

1 - jusqu'à quelle profondeur le satellite peut-il mesurer la concentration en pigments en Manche,

2 - quel algorithme permettrait de retrouver cette chlorophylle à partir de nos réflectances.

#### IV-2-1 - Chlorophylles équivalentes $C_{sat}$

La profondeur  $z_{90}$  ( $\frac{1}{K_{520}}$ ) et les concentrations en chlorophylle vues par satellite jusqu'à cette profondeur  $C_{sat}$  sont calculées selon l'équation (2) (GORDON et CLARK, 1980) avec la simplification  $g(z) = e^{-2Kz}$ , et présentées au tableau 15 .

La longueur d'onde 520 nm a été choisie car elle est la composante la plus pénétrante en mars, juin et juillet (pour les eaux claires).

La profondeur  $z_{90}$  maximale, correspondant à la station la plus claire de la série ( $P_{12}$ ) n'est que de 16 m. A la station la plus riche en chlorophylle,  $J_8$ , le satellite ne "voit" qu'à 2 m.

La détection des maxima de chlorophylle observés à plus de 15 m est donc généralement impossible, ce qui constitue une limitation importante de la télédétection en Manche, où des accumulations de chlorophylle a sont souvent observées à la thermocline (cas  $E_1$ , août 77). Dans le cas de cette station, la concentration équivalente de chlorophylle est grandement sous-estimée. Pour notre série de mesures, au contraire les chlorophylles équivalentes  $C_{sat}$  sont très proches des concentrations des premiers mètres.

#### IV-2-2 - Détermination de la concentration en pigments à partir des mesures optiques

##### a) Résultats de notre étude

Des rapports de réflectances à différentes longueurs d'onde ont été testés. La meilleure corrélation est obtenue pour le rapport 520/550 à la figure 31. On peut retrouver la concentration en chlorophylle\*

---

\* Pigments totaux.

Stations	$K_{520} m^{-1}$	$Z_{90}$ m	C+P $mgm^{-3}$ $D_m$	$mg.m^{-3}$ 5 m	$mg.m^{-3}$ 10 m	(C+P) $mgm^{-3}$ pondérée sur 10 m	(C+P) $mg m^{-3}$ <i>sat</i>
John Murray 1 (mars)							
M <sub>1</sub>	0,37	2,70	/	0,85	0,89	0,67	0,85
M <sub>2</sub>	0,12	8,33	/	2,18	1,90	2,04	2,10
M <sub>3</sub>	0,101	9,90	/	0,74	0,63	0,64	0,66
M <sub>4</sub>	0,088	11,36	/	0,74	0,63	0,66	0,66
M <sub>5</sub>	0,089	11,24	/	0,63	0,55	0,59	0,60
M <sub>6</sub>	0,066	15,15	/	1,20	0,70	0,94	1,08
M <sub>7</sub>	0,100	10,00	/	0,91	0,70	0,82	0,84
Pluteus (juin)							
P <sub>12</sub>	0,059	16,67	0,38	0,50	0,70	0,52	0,49
P <sub>11</sub>	0,090	11,11	0,68	1,24	1,61	1,24	1,04
P <sub>10</sub>	0,087	11,50	1,18	1,44	0,46	1,10	1,18
P <sub>9</sub>	0,074	13,50	0,97	0,81	0,82	0,85	0,90
P <sub>8</sub>	0,099	10,10	1,28	1,76	0,65	1,36	1,34
P <sub>7</sub>	0,075	13,33	2,03	/	/	0,74	2,00
John Murray 2 (juillet)							
J <sub>1</sub>	0,126	7,94	0,74	0,97	2,97	1,42	0,92
J <sub>2</sub>	0,189	5,29	9,18	6,14	18,16	9,91	8,66
J <sub>3</sub>	0,234	4,27	13,68	12,64	/	12,63	13,59
J <sub>4</sub>	0,454	2,20	17,21	13,84	/	15,57	17,17
J <sub>5</sub>	0,43	2,33	23,16	25,17	/	23,40	23,20
J <sub>6</sub>	0,58	1,72	34,26	40,74	/	36,00	34,29
J <sub>7</sub>	0,35	2,86	14,18	13,88	/	14,04	14,16
J <sub>8</sub>	0,11	9,09	3,91	3,34	3,68	3,57	3,17
J <sub>9</sub>	0,11	9,09	1,12	0,94	0,72	0,94	1,04
J <sub>10</sub>	0,112	8,93	1,21	1,15	2,48	1,50	1,29
J <sub>11</sub>	0,09	11,10	0,70	0,60	0,35	0,56	0,64
J <sub>9-1</sub>	0,13	7,7	1,77	1,61	2,18	1,80	1,76
J <sub>9-2</sub>	0,07	14,30	1,61	1,79	1,13	1,58	1,60
J <sub>9-3</sub>	0,10	10,00	1,42	1,33	2,39	1,62	1,48
E <sub>1</sub> Holligan 1977 (août)	0,34	3	3,4	27	25	15	3,5

\* Valeurs douteuses à cause de leur proportion en phéopigments.

**Tableau 15** - Comparaison des concentrations équivalentes des pigments (C+P) et des concentrations mesurées *in situ*, pondérées sur les dix premiers mètres (C+P)<sub>10 m</sub><sup>sat</sup>.  
 1ère colonne : coefficient d'atténuation à 520 nm ( $m^{-1}$ ).  
 2ème colonne : profondeur jusqu'à laquelle "le satellite voit la chlorophylle".  
 3ème, 4ème, 5ème colonnes : pigments mesurés *in situ* à 0,5, 10 m.  
 6ème colonne : concentration en pigments pondérée sur les 10 premiers mètres.  
 7ème colonne : (C+P)<sub>10 m</sub><sup>sat</sup> concentrations équivalentes mesurées par le satellite, calculées d'après l'équation (2) (GORDON et CLARK, 1980).

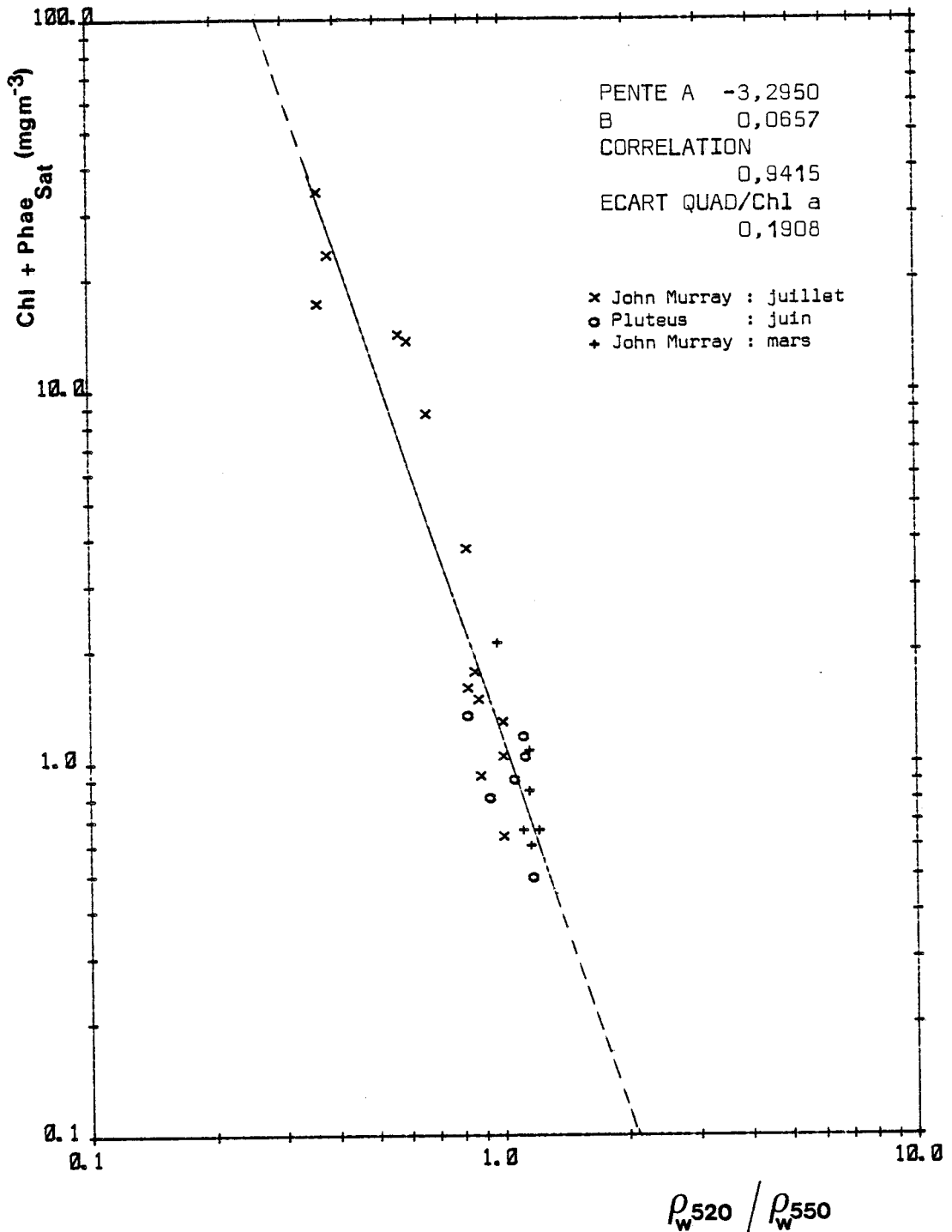


Figure 31- Concentrations équivalentes en pigments  $(C+P)_{sat}$  du tableau 15, calculées selon l'équation ② en fonction du rapport des réflectances mesurées *in situ* à 520 et 550 nm, en coordonnées logarithmiques. Remarque: cette corrélation constitue l'algorithme "Manche" utilisé lors de l'interprétation quantitative des images CZCS.

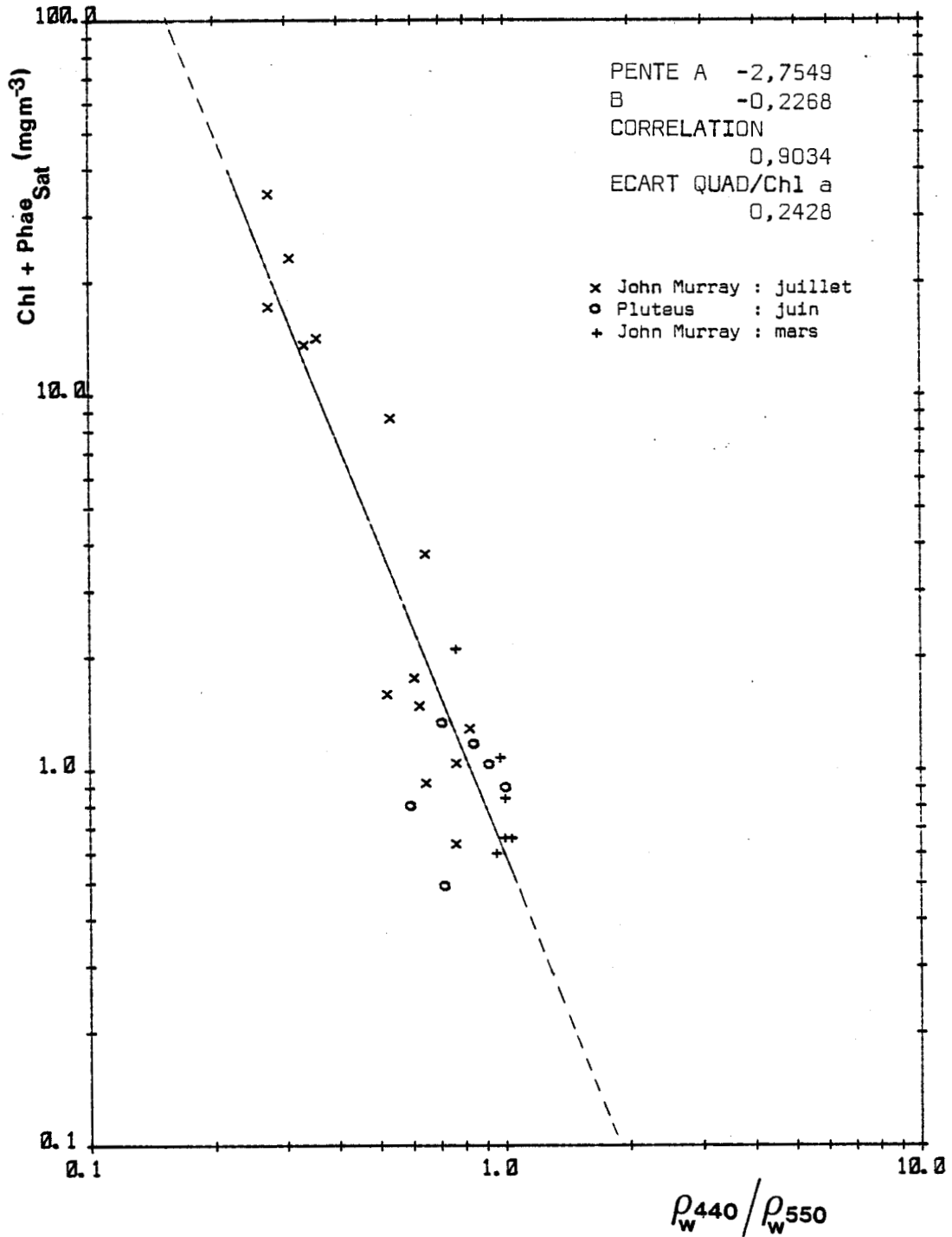


Figure 32- Concentrations équivalentes en pigments  $(C+P)_{sat}$  du tableau 15, calculées selon l'équation (2) en fonction du rapport des réflectances mesurées *in situ* à 440 et 550 nm, en coordonnées logarithmiques.

équivalente  $C_{sat}$  avec une précision de  $0,19 \log C$   
suivant l'équation (3)

$$\log_{10} C = - 3,29 \log \frac{\rho_w 520}{\rho_w 550} + 0,065$$

$$\text{avec } r = 0,941 \quad \text{et } S_{chl} = 0,190$$

L'équation (4) est également utilisable (figure 32)

$$\log_{10} C = - 2,75 \log \frac{\rho_w 440}{\rho_w 550} - 0,226$$

$$\text{avec } r = 0,903 \quad \text{et } S_{chl} = 0,242$$

#### b) Discussion. Comparaison des algorithmes

Sur la figure 33, on a tracé les pentes des trois algorithmes : Manche 1981), GORDON et al. (1980), SMITH et WILSON (1980). Les équations des algorithmes sont comparées au tableau 16. La pente de notre corrélation se rapproche de celle de GORDON et al. (1980).

Différentes sources d'écart entre les résultats peuvent intervenir :

1 - Provenant de la mesure des réflectances : incertitude sur la calibration du radiomètre.

Ce type d'erreur ne joue pas sur la pente de la droite, mais seulement sur l'ordonnée à l'origine.

2 - Provenant de la mesure des concentrations en chlorophylle : dans ce cas l'erreur de mesure influence la valeur de la pente. L'incertitude est ici  $0,19$  en intervalle  $\log C$ . Des écarts importants entre appareils de mesure : fluorimètre, spectrophotomètre existent entre les différentes équipes, et peuvent être la cause de variations entre les algorithmes.

3 - En éliminant toutes les causes de variations dues aux incertitudes de mesure, il reste l'effet des différences entre les types d'eau. En effet, sont comparées ici des données provenant du Golfe de Floride (SMITH et WILSON), et de régions océanographiques variées (GORDON et al.), avec les eaux de la Manche (cette étude).

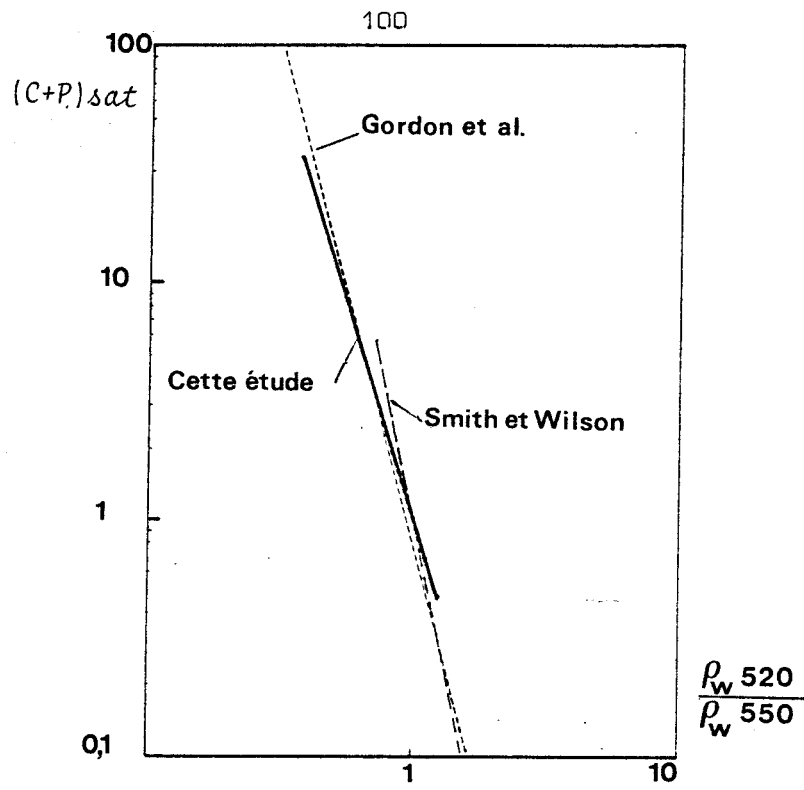


Figure 33 - Comparaison de l'algorithme "Manche" provenant de notre étude en 1981 (—) à ceux de Gordon et al. 1980 (-----) et de Smith 1980 (-.-.-). Les données de chlorophylle proviennent de régions océanographiques variées: Manche Ouest, tous les types d'eau, et Golfe de Floride. Seul, l'algorithme de Gordon et al. rend compte d'une variation importante de concentrations (0 à 100 mg/m<sup>3</sup>) mais les fortes valeurs ont été obtenues dans des milieux particuliers: Baie de Cheseapeake ...<sup>3</sup> La présente étude prend en compte des valeurs de 0 à 35 mg/m<sup>3</sup>, provenant exclusivement d'eaux du cas I de MOREL, celle de SMITH et<sup>3</sup> WILSON utilise une gamme plus restreinte : de 0,8 à 8 mg/m<sup>3</sup>.

Coefficients	log a origine	b pente	S <sub>chl</sub> (log chl)	r
Auteur				
GORDON $\frac{L 520}{L 550}$ 1980 (Science)	- 0,074	- 3,975	0,234	0,941
SMITH $\frac{L520}{L550}$ 1980	0,303	- 5,93	0,130	0,949
MANCHE $\frac{R 520}{R 550}$ 1981	0,065	- 3,29	0,190	0,941

Tableau 16 - Comparaison des différents algorithmes utilisés lors du traitement des données de couleur de l'océan : rapports R 520 / R 550. Les rapports de GORDON et al. ou de SMITH font intervenir les radiances L mais peuvent néanmoins être comparés à l'algorithme de la présente étude (MANCHE)



L'incertitude de mesure sur la concentration en chlorophylle (pigments totaux) si on utilise notre algorithme est très faible.

Néanmoins, elle est de l'ordre de grandeur de l'incertitude calculée par SMITH et BAKER (1982). Notre corrélation nous permet, par des mesures optiques réalisées au niveau de la mer, de calculer la concentration avec une très bonne précision.

#### IV-2-3 - Conclusion

La détermination par l'expérience CZCS de la chlorophylle dans la couche marine de surface éclairée est dépendante de la charge en seston des eaux. Pour les eaux les plus claires de la Manche, celle-ci n'est possible que sur les 15 premiers mètres.

Un algorithme, construit à partir de nos propres mesures optiques en Manche (campagnes John Murray 1 et 2, Pluteus) et utilisant les canaux "vert" et "jaune" est alors défini par l'équation (3)

$$\log C = - 3,29 \log \frac{P_{520}}{P_{550}} + 0,065 \quad r = 0,941$$

la chlorophylle C étant estimée avec une incertitude de 0,19 dans un intervalle log, soit avec une bonne précision.

Cet algorithme est comparé à ceux d'autres auteurs (SMITH et WILSON (1980), CLARK (1980)). Les différences apparentes peuvent provenir soit de l'incertitude des mesures soit du type d'eau étudié.

Notre corrélation se rapproche de celle de GORDON et al. (1980), et qui est la plus représentative.

#### IV-3 - Conclusion générale

Les mesures des propriétés apparentes aux cinq longueurs d'onde du radiomètre du satellite CZCS, sont les premières de ce type à être réalisées en Manche.

Elles ont été effectuées à des moments caractéristiques du cycle saisonnier du phytoplancton : mars, en eau brassée, juin au début des développements superficiels et juillet, à l'époque des multiplications intenses des Dinoflagellées en zone stratifiée.

Deux types de corrélations ont pu être obtenues, entre les propriétés apparentes et la concentration en pigments de la couche de surface éclairée:

\_ la première est celle qui relie le coefficient d'atténuation diffuse à chaque longueur d'onde du radiomètre (sauf 670nm) avec la concentration en pigments pondérée des dix premiers mètres; elle nous permet de définir des coefficients d'atténuation spécifique que nous comparons à ceux de SMITH et BAKER(1978).

\_ la deuxième permet de retrouver, à partir d'un rapport de réflectances à deux longueurs d'onde (vert/jaune), la concentration équivalente mesurée par le satellite dans les cas expérimentaux rencontrés lors des campagnes de mesures en Manche : cas d'une accumulation de phytoplancton dans les dix premiers mètres ou cas d'eaux relativement claires. (dans tous les cas, le signal marin capté provient au maximum des 15 premiers mètres).

Une étude multispectrale plus fine devrait nous permettre de mieux définir l'influence de la composition en pigments sur la couleur de l'océan.

Néanmoins, les cinq longueurs d'onde principales du radiomètre multispectral employé permettent dans une première étape, de décrire les caractéristiques essentielles de l'état bio-optique de l'eau et d'interpréter les images de CZCS. Ces premiers résultats constituent également une base pour l'étude future des relations entre production primaire et caractéristiques de l'éclairement au sein de la zone euphotique, dans les différentes zones de la Manche Ouest, approfondissant ainsi les premiers travaux de GRALL (1972b).

## CHAPITRE V- UTILISATION DES IMAGES CZCS EN MANCHE.

Il a été difficile d'obtenir de nombreux documents de l'expérience CZCS, d'une part, à cause de la forte couverture nuageuse limitant sérieusement les prises de vue au-dessus de la Manche, d'autre part, parce que les organismes officiels N.A.S.A. ou E.S.A. accusent de larges retards dans la fourniture des bandes magnétiques.

C'est pourquoi, nous avons focalisé notre étude sur trois images particulièrement dégagées de nuages, qui reflètent les caractéristiques de l'évolution saisonnière du phytoplancton au cours de l'été 1981.

Les documents bruts proviennent de l'Université de Dundee (Ecosse). Une série de clichés des années 80 et 81 doivent encore nous parvenir et pourront être traités ultérieurement.

Nous n'utiliserons ici que les images qui correspondent à nos mesures en mer. Grâce à l'algorithme présenté au chapitre IV et à nos données sur la concentration en pigments (chapitre III) nous interprèterons les documents traités et les utiliserons de manière à estimer la biomasse de l'aire globale étudiée.

V-1 - Images des pigments et de la température en Manche

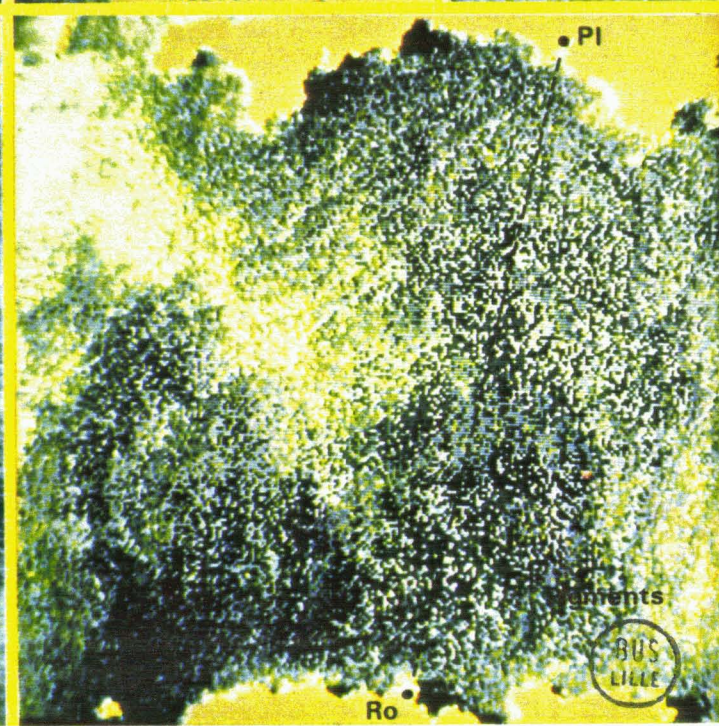
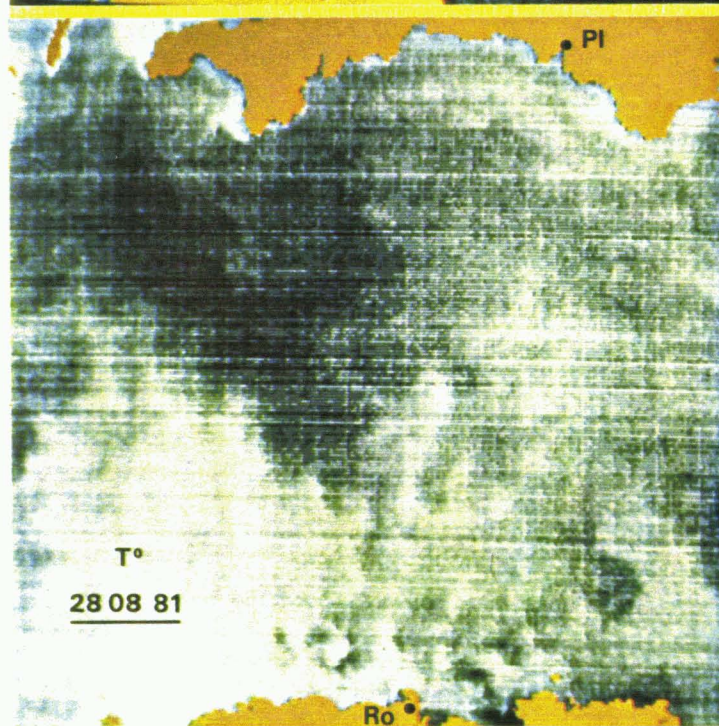
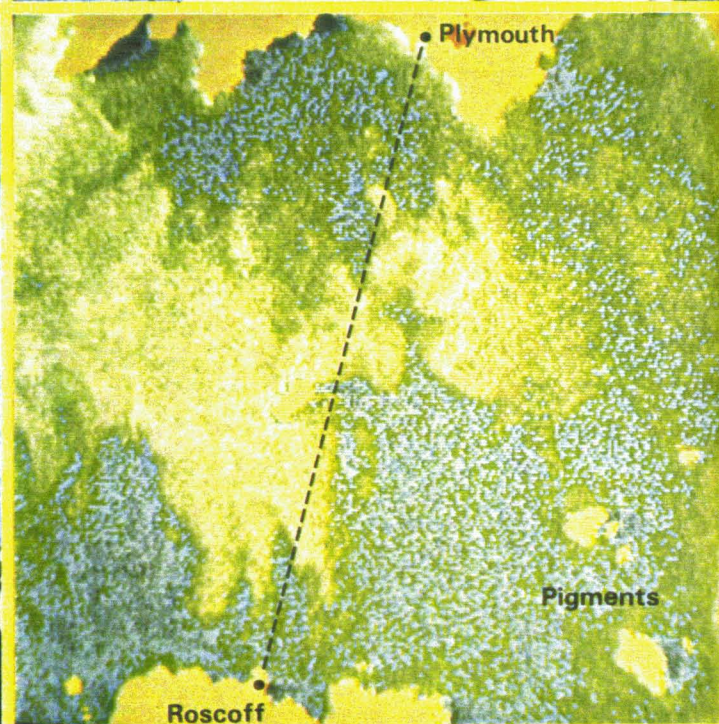
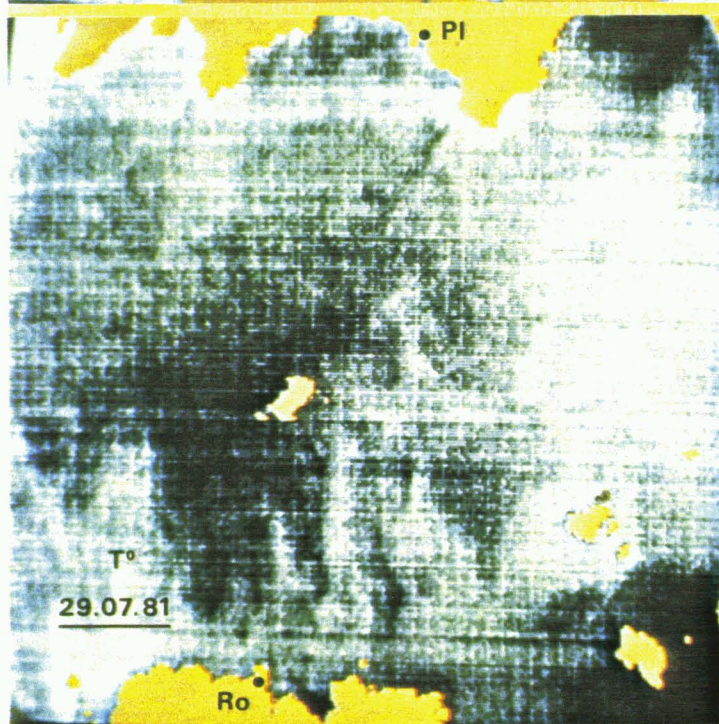
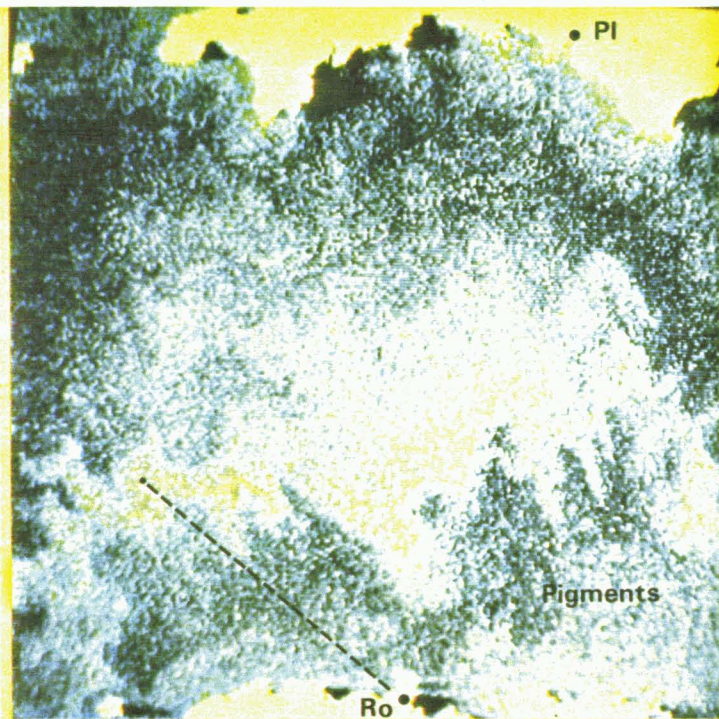
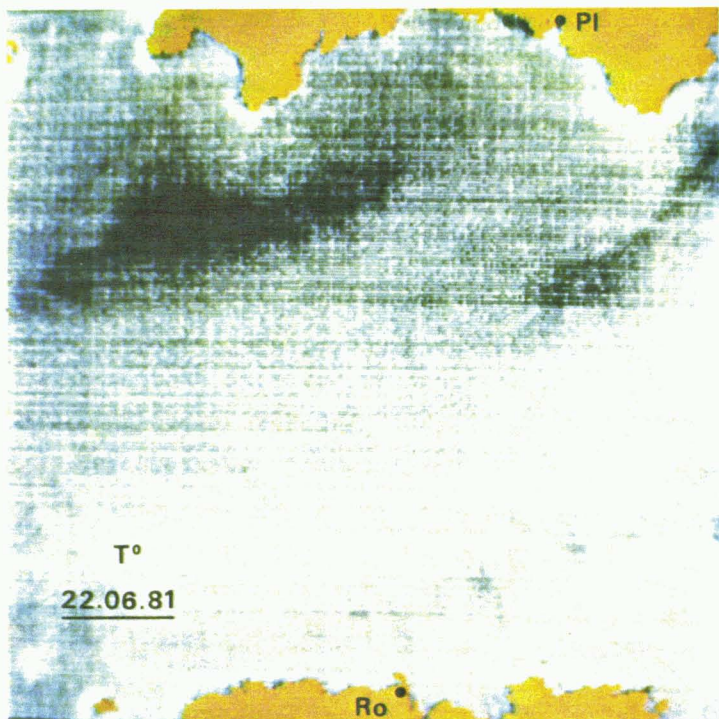
a) Légende

La figure 34 (planche III p. suiv.) montre deux séries de photographies provenant de l'expérience CZCS pour les dates du 22 juin, 29 juillet et 28 août 1981 dont les caractéristiques ont été décrites au chapitre II.

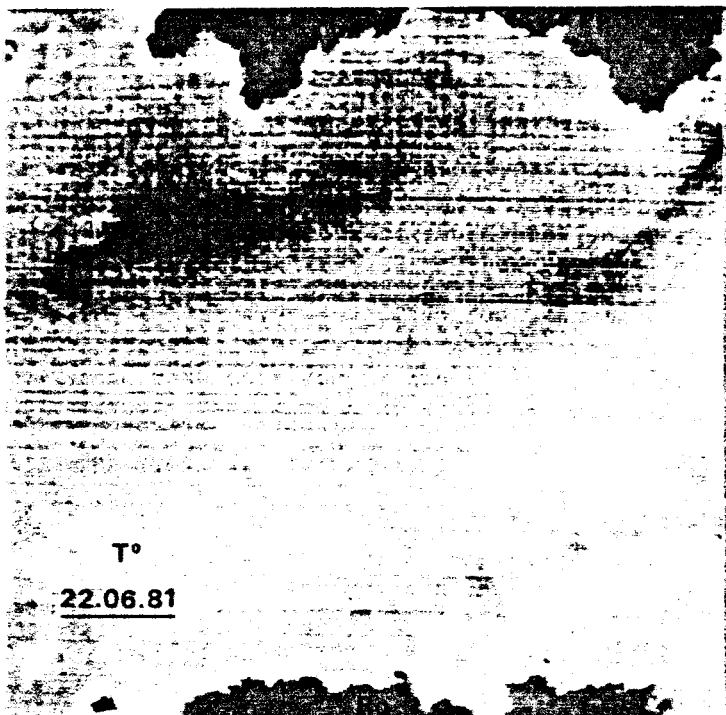
La légende des photographies est la suivante :

- série de gauche : température de surface (eaux chaudes en noir)
- série de droite : pigments de surface (la concentration augmentant du noir vers le jaune, la teinte verte étant intermédiaire).



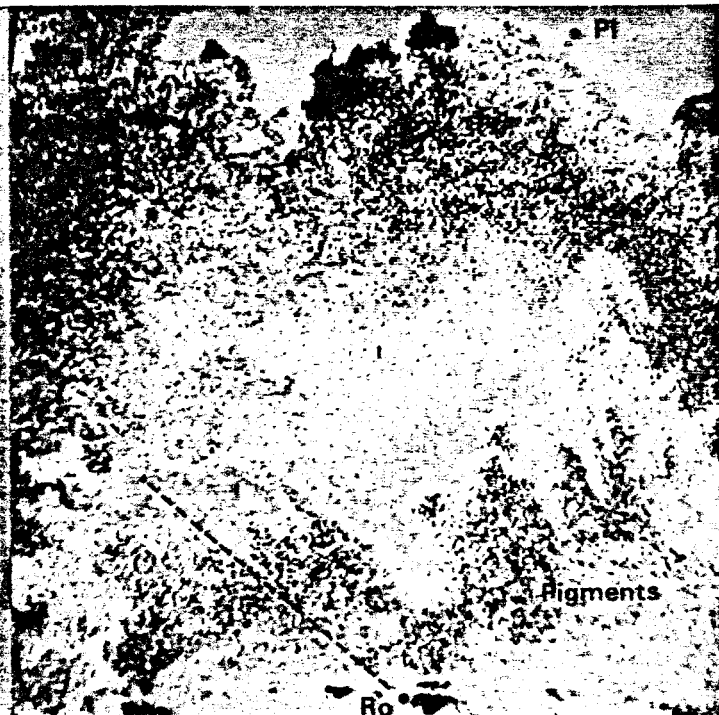






T°

22.06.81



PI

Pigments

Ro°



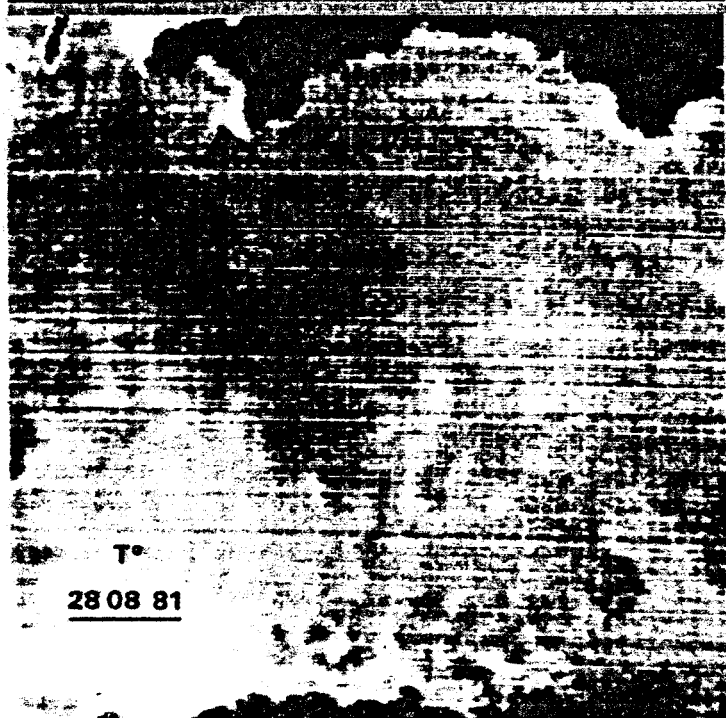
PI

T°

29.07.81



Ro° mouth



T°

28.08.81



Elles représentent la Manche Ouest, de la Bretagne au Sud, à la Cornouailles au Nord (figure 1), sur une largeur d'environ 400 km, la taille de chaque pixel étant de  $.64 \text{ km}^2$  (800 x 800 m).

Les images thermiques correspondent aux données brutes, non calibrées dans le canal infrarouge (11,5  $\mu\text{m}$ )

Les images de la couleur de l'océan sont les produits des données dans le visible, traitées au L.O.A. selon les étapes décrites en II-3-1-2-c et illustrées par la planche I.

Elles résultent du rapport des réflectances dans les deux canaux 520/550 (table 5 p.33 ). En effet, comme on l'a montré au chapitre IV, ce rapport est le mieux adapté à la détermination des concentrations en pigments de surface dans les eaux de la Manche.

L'échelle des couleurs correspond à une échelle logarithmique des rapports de réflectances. La couleur jaune représentant les plus faibles rapports, et donc les plus fortes concentrations en pigments\*.

Nous avons recherché à partir de la console et au moyen de fausses couleurs à rendre compte d'une échelle absolue des concentrations en pigments de surface. Ainsi, il apparaît que les concentrations de juillet sont beaucoup plus élevées que celles de juin et d'août.

Chaque image représente un phénomène océanographique spécifique : en juin, un enrichissement en pigments se superposant à la zone frontale ; en juillet, un développement massif s'étirant en doigts de gants au sud, enfin en août, une tache déformée par de nombreux tourbillons.

#### b)-Cohérence entre la structure thermique et la répartition du phytoplancton

La cohérence entre les formes des taches de chlorophylle et la structure thermique est bien mise en évidence sur les photo-interprétations.

---

\* D'après la corrélation (équation (3) chapitre IV) où  $\log C = - \log \frac{\rho_1}{\rho_2}$ .

des trois images de juin (figure 35 ), juillet (figure 36 ) et d'août (figure 37 ).

En juin, la figure 35 montre que l'enrichissement en pigments se superpose au front thermique. Il s'étend dans la partie stratifiée au Nord-Est, tandis qu'à l'Ouest de la ligne 5 °W, entre 48° 30 N et 49 °N, il est au contraire localisé à la zone brassée (plus froide).

En juillet, sur la figure 36 , on constate que la limite des taches de fortes concentrations en pigments coïncide avec celles des eaux les plus chaudes et stratifiées, au centre de la Manche. La coïncidence entre les formes en doigts de gants est surtout remarquable : étirés en direction Nord-Sud, ils apparaissent de manière aussi nette sur les deux images. Sur la zone située autour de 50° 15N et 4 °N, le détachement d'une masse plus petite semble être causé par l'intrusion d'un tourbillon d'eau froide.

En août (figure 37 ) la tache de pigments subsistant dans la partie Ouest de la Manche correspond exactement à la zone d'eau stratifiée et chaude limitée par le front thermique au Sud et atteignant la pointe de Land's End. Les tourbillons qui bordent la tache miment ceux de la température.

## V-2 - Interprétation

### V-2-1 - Comparaison aux résultats de terrain

Les images de CZCS (1981) confirment certaines hypothèses amenées par l'étude biologique le long de la radiale Roscoff-Plymouth et au large des côtes bretonnes en 1981.

#### a) Situation de juin 81

Au mois de juin 1981, grâce à la campagne Pluteus (figures 14 et 15 ), nous avons décrit une structure thermique peu marquée, caractérisée par un début de stratification au large.

Les données biologiques définissaient une zone brassée aux eaux



22 Juin 81

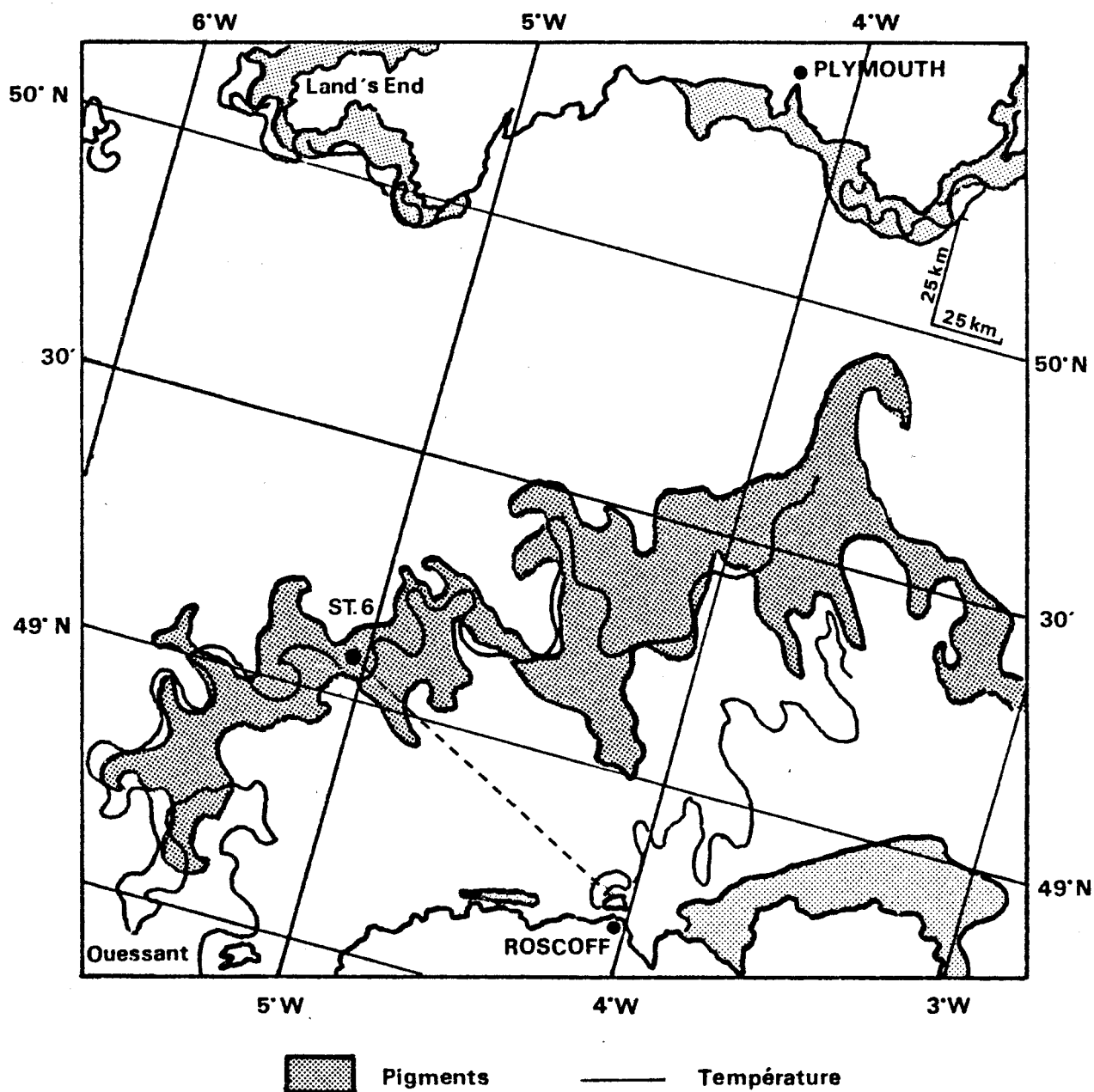


Figure 35 - Photointerprétation 1 du 22 juin 81, obtenue par superposition des images CZCS de la couleur de l'océan (rapport des canaux 520/550) et de la température (canal infra-rouge).

Le trajet du Pluteus est indiqué (15 et 16 juin 81), de même que la position de la station 6. Une floraison se superpose au front thermique.

BUS  
LILLE

29 Juillet 81

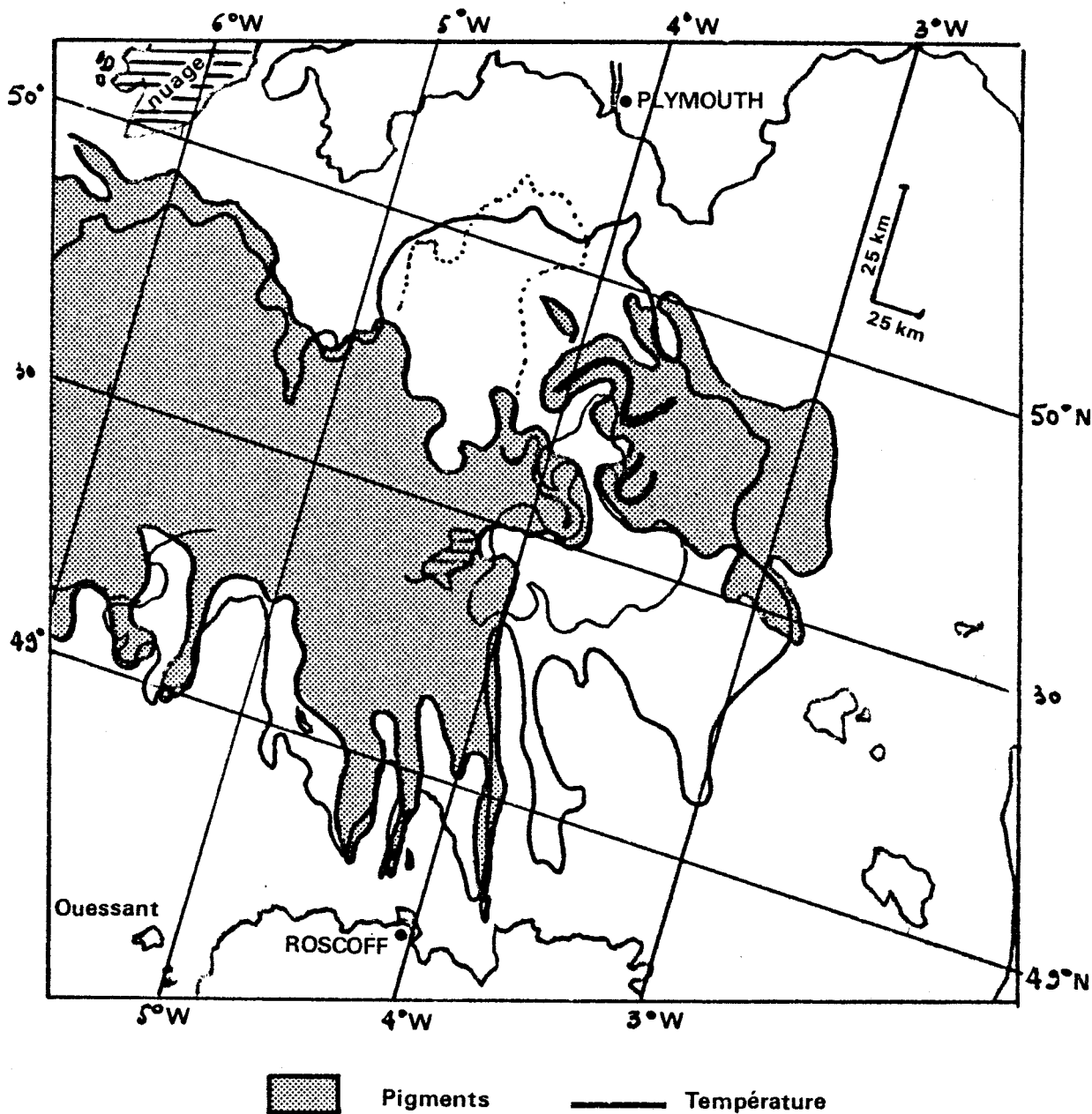


Figure 36 - Photointerprétation 2 du 29 juillet 81, obtenue par superposition des deux images CZCS de la couleur de l'océan (rapport des canaux 520/550) et de la température (canal infra-rouge).  
La floraison s'étend à toute la zone stratifiée.

28 Août 81

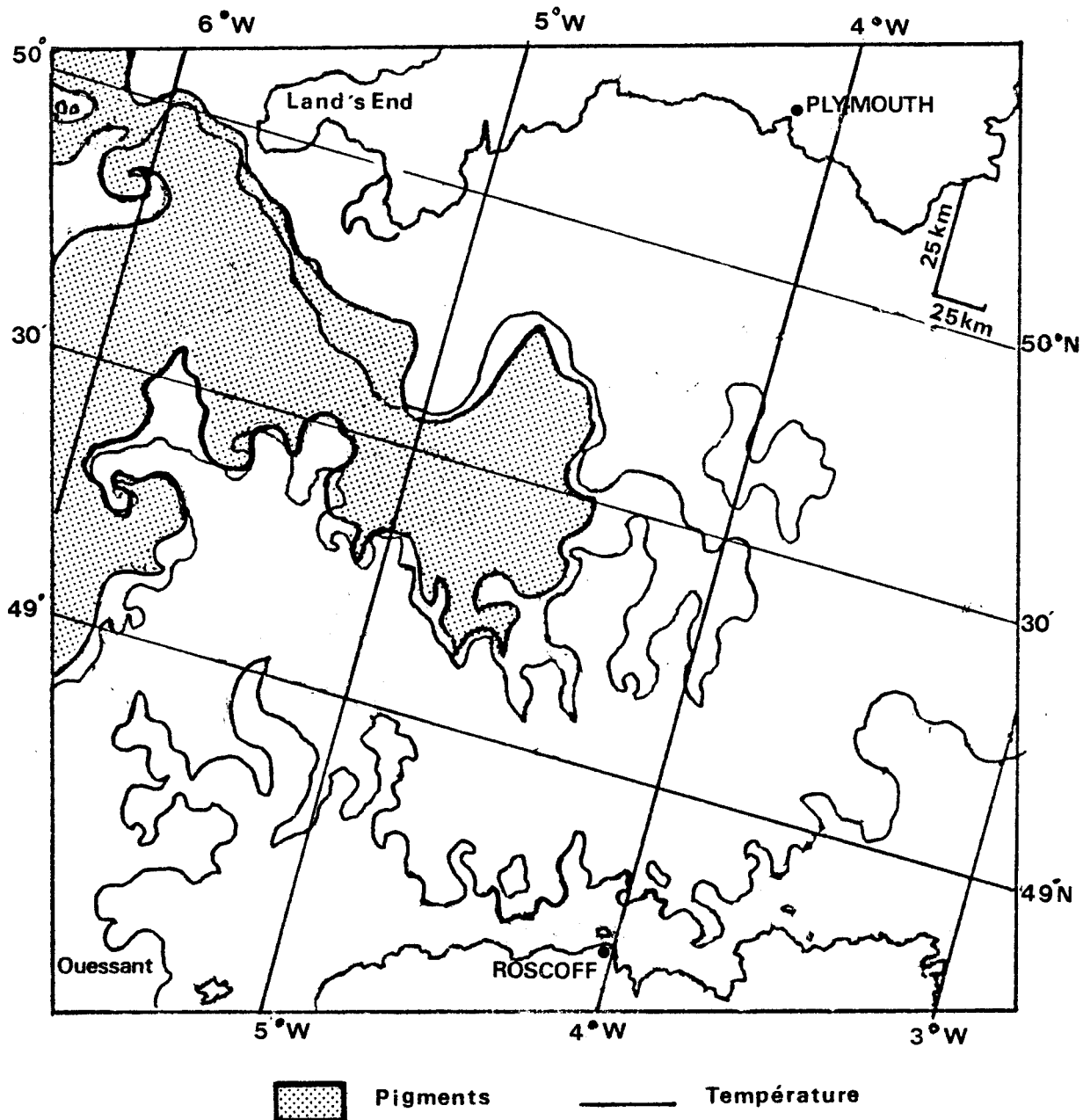


Figure 37 - Photointerprétation 3 du 28 août 81, obtenue par superposition des images CZCS de la couleur de l'océan (rapport des canaux 520/550) et de la température (canal infra-rouge).  
La floraison se rétracte vers l'ouest.



relativement claires ( $C = 1 \text{ mg.m}^{-3}$ ), et surtout un enrichissement en pigments net au large de la station 6 ( $49^\circ 02\text{N } 5^\circ 08\text{W}$ ) causé par des Diatomées.

Les coefficients d'atténuation mesurés aux stations du large confirmaient les données biologiques (tableau 11 chap. IV), par des valeurs supérieures à la moyenne, et une rupture de pente à - 10 m ( $P_8 : 48^\circ 57\text{N}, 4^\circ 45\text{W}$  et  $P_7 : 49^\circ 02\text{N}, 4^\circ 56,5 \text{W}$ ).

Une semaine plus tard, l'image CZCS nous confirme qu'un développement de phytoplancton s'est bien produit sur la zone de front thermique, encore diffus, correspondant à la station du large de la radiale Pluteus.

#### b) Situation de juillet 81

Nous avons décrit, au cours de l'été 1981, c'est à dire du 2 juillet au 5 août, une multiplication massive de Dinoflagellés, dont les concentrations maximales atteignaient 1,5 millions de cellules par litre le 5 août (figure 23 et 24) et  $30 \text{ mg.m}^{-3}$  de chlorophylle a le 17 juillet (John Murray 2 figure 18).

La persistance de ces floraisons pendant toute la période estivale, en zone stratifiée, nous permet d'interpréter les taches de l'image du 29 juillet (planche III) comme formées par l'accumulation de Dinoflagellés dans la couche superficielle.

Selon l'hypothèse que la masse de phytoplancton ainsi formée n'a pas été grandement modifiée au cours des deux semaines d'intervalle entre nos mesures et le passage du satellite Nimbus 7, nous avons tenté de comparer deux radiales (figure 38)

- la première étant le tracé de la chlorophylle de surface (en valeurs logarithmes) obtenu au cours du trajet Roscoff-Plymouth du 5 août 81,

- la deuxième obtenue à partir de l'écran de visualisation, correspondant à la variation spatiale de la concentration en pigments (également en valeurs logarithmiques).



Figure 38 - Comparaison des variations spatiales des concentrations en pigments obtenues entre Roscoff et Plymouth  
 - à partir de l'image CZCS (fig 34) de la couleur de l'océan (—) du 29 juillet 81; C sat  
 - à partir de notre échantillonnage de l'eau de surface: radiale du 5 août 81 (+—+—+).

Les concentrations en pigments sont exprimées en coordonnées logarithmiques (valeurs précédant l'intercalibration).

Certaines concordances entre les tracés sont remarquables, si l'on tient compte des déplacements possibles de la masse de phytoplancton soit au cours des cycles de marée, soit à cause de la dérive générale des eaux vers l'Est.

On obtient notamment une bande étroite (20 km) d'eau brassée et claire (a), puis le passage à de fortes concentrations où l'on retrouve la présence d'une double tache (120 km, b), et le retour à une zone d'eau claire au large de Plymouth (160 km, c).

Les variations spatiales des pigments de surface sont donc parfaitement détectées par CZCS.

#### c) Situation du 28 août 81

Nous observons au 20 août 81 (figure 37) une situation nouvelle, c'est à dire la dégradation de la structure frontale thermique, et la disparition de la chlorophylle localisée au centre de la radiale. Nous avons proposé l'hypothèse d'une destruction locale du bloom des Dinoflagellés, ceux-ci persistant néanmoins symétriquement au large des côtes avec des biomasses moyennes (schéma 12, chapitre III).

Le document traité de CZCS (figure 34) ne fait pas apparaître d'enrichissement notable au large des côtes et en cela se compare peu à nos résultats de terrain.

Pour expliquer cette faible concordance, à une semaine d'intervalle, on fera remarquer que cette période est celle de la destruction des structures thermiques et que les masses phytoplanctoniques sont donc moins stables qu'en juillet.

Néanmoins, nos données concordent quant à la disparition du phytoplancton au centre de la Manche.

#### V-2-2 - Informations nouvelles apportées par le satellite

Les images permettent de connaître de façon immédiate la répartition des développements phytoplanctoniques et d'analyser leur structure.

### V-2-2-1 - Répartition des biomasses

Les documents satellitaires permettent de replacer les résultats des radiations effectuées en mer dans le contexte beaucoup plus vaste de la Manche et de ses abords.

#### a) Juin 81

On remarque que l'enrichissement frontal du mois de juin s'étend à toute la longueur du front de marée sur 200 km, d'Ouessant à une limite orientale que l'on ne peut déterminer ici. La surface totale de l'enrichissement atteint 6 000 km<sup>2</sup> ( p. suiv. ).

Les biomasses les plus fortes soulignent la trace du front thermique, tandis que les eaux centrales et les bordures côtières sont faiblement enrichies en chlorophylle (niveaux de gris, planche III).

On discerne, même dans la zone des faibles concentrations, des formes cycloniques (exemple à 50°N, 4°W, figure 35).

La zone chaude est préférentiellement enrichie dans sa partie Nord, ce qui suggère un étalement du bloom frontal dans la région stratifiée. Ce processus est observé en période estivale par HOLLIGAN (1981) et PINGREE (1977), bien qu'il s'agisse alors de Dinoflagellés et non de Diatomées.

#### b) Juillet 81

L'image révèle que le bloom se prolonge vers l'Ouest sur l'ensemble de la zone stratifiée recouvrant de cette manière une étendue de 28 000 km<sup>2</sup> (tableau 18). Les biomasses maximales sont centrées sur les eaux les plus chaudes (49°30', 5°W). Une tache de phytoplancton isolée se détache de la masse principale, suggérant un mode de destruction ultérieur du bloom par fragmentation. Une dérive vers le Nord-Est, sens général de la circulation en Manche, peut être envisagée.

c) Août 81

L'étendue d'eau claire a considérablement augmenté depuis juillet, notamment entre Roscoff et Plymouth. Néanmoins, des biomasses élevées persistent à l'Ouest. Elles semblent reliées à une masse plus importante vers l'Atlantique. Cette image permet de suggérer une explication de la destruction de la floraison : celle-ci serait dispersée en même temps que la thermocline, hypothèse renforcée par la présence de tourbillons (indicateurs d'une déstabilisation) visibles au centre de l'image thermique (autour de 49°30, 4°W, figure 35).

V-2-2-2 - Hétérogénéité spatiale

On observe sur les trois images (planche III) des types de déformation différents de la masse phytoplanctonique. En juin, il y a étalement dans le sens Nord-Ouest - Sud-Est. En juillet, les formes en doigts de gants ont été remarquées auparavant sur des thermographies à Ouessant par PINGREE (1978) : elles correspondraient à un mécanisme de déstabilisation du front. En août, des tourbillons cycloniques sont bien visibles en couleur de l'océan et sur thermographies. Leur diamètre est de 25 km, ce qui correspond aux données de PINGREE (1978).

Une étude de la variabilité spatiale au moyen d'analyses spectrales est envisageable. Celles-ci ont tout d'abord été employées sur les mesures in situ de chlorophylle et de température: PLATT et DENMAN (1970) (1975), PLATT (1972, 1978), DENMAN et PLATT (1976), HORWOOD (1978), SAVIDGE (1981), MACKAS et BOYD (1979). Ces méthodes ont été appliquées par la suite aux données satellitaires de la température de surface (DESCHAMPS et al. 1981) et sur les données Landsat (GOWER et al. 1981). Malheureusement, la résolution spatiale de CZCS (800mx800m) est trop faible, comparée à celle de Landsat (75mx75m) et ne permet ce type d'analyse qu'à partir d'une échelle de quelques kilomètres, éliminant ainsi les variations aux petites longueurs d'onde.

Le lien entre l'observation visuelle des phénomènes de multiplication phytoplanctonique et les images satellites est peu évident. Nous n'avons observé en juillet (John Murray) aucun changement notable de la couleur de l'eau. D'autre part, les observations de taches plus ou moins



allongées (quelques mètres) n'ont aucun rapport avec les formes mises en évidence ici sur des milliers de km<sup>2</sup>.

### V-3 - Analyse quantitative

On analysera ici la validité de l'algorithme employé lors du traitement des images puis on tentera d'estimer la biomasse globale de la zone considérée.

#### V-3-1 - Validité de l'algorithme "Manche"

L'algorithme employé au cours du traitement est donné par l'équation (3) chapitre IV. Il permet de retrouver par satellite une concentration en chlorophylle à un facteur 2 près.

En l'absence d'observation rigoureusement coïncidente entre mesures en mer et données satellites, la comparaison est faite sur les valeurs extrêmes observées pour les trois situations.

Les points choisis (A,C,E,F) et (B,D,G) sont respectivement situés à l'extérieur et à l'intérieur de la zone de floraison (figure 39). Le tableau 17 permet de comparer les valeurs de chlorophylle estimées à partir des mesures de terrain (mer) et des mesures satellitaires, pour trois coefficients atmosphériques  $n$  différents (exposant d'ANGSTROM, voir chapitre II, traitement d'image).

La valeur retrouvée à partir du satellite dépend du choix de  $n$  (coefficient d'ANGSTROM des aérosols). La valeur  $n = 0,75$  semble bien adaptée pour nos trois situations (écart moyen entre valeurs extrêmes de 47 %) et a été choisi lors du traitement. On observe le même rapport entre points de zone pauvre ou riche, qu'il s'agisse des mesures en mer ou des estimations par satellite.

#### V-3-2 - Estimation des biomasses

En se basant sur nos résultats de biomasses in situ, et en utilisant les images pour déterminer les surfaces des zones de production

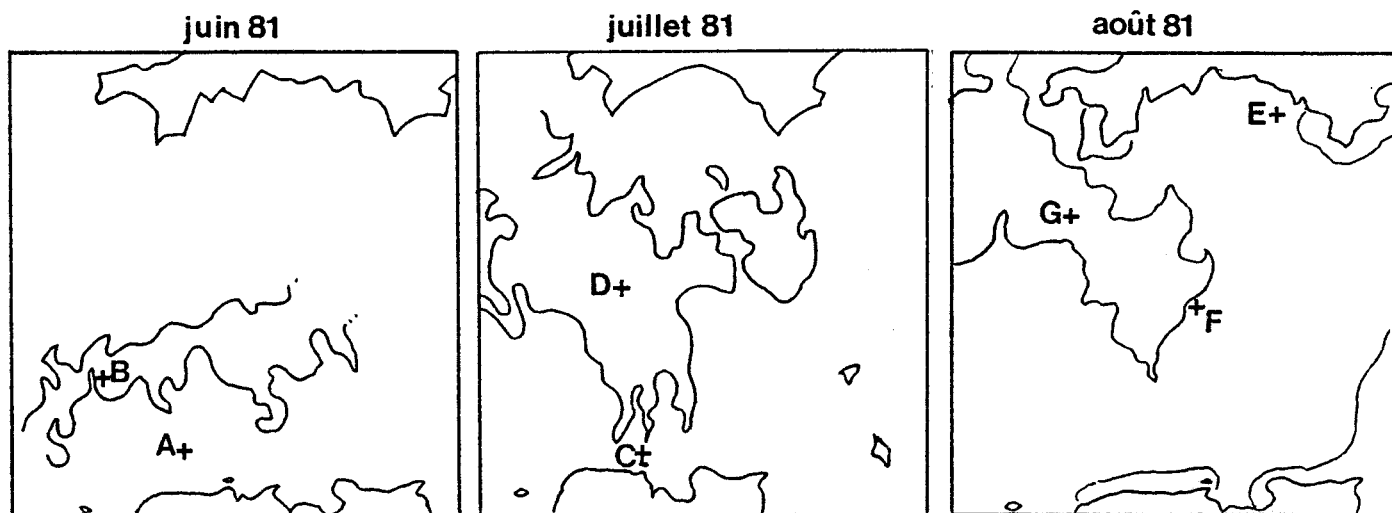


Figure 39 - Localisation des points de comparaison sur l'image CZCS :

A,C,E,F en zone claire, B,D,G, en zone de floraison.

Floraison de juin

" de juillet

" d'août

Image	Point	Pigments $\text{mg/m}^3$			
		Mer	Satellite		
			n = .3	n = .75	n = 1.2
22 juin 81	A	0,6	0,74	0,81	0,96
	B	1,5	1,13	1,38	2,05
29 juillet 81	C	0,6	0,68	0,76	1,03
	D	32	6,11	39	$\infty$
28 août 81	E	0,6	0,67	0,78	1,06
	F	0,6	0,9	1,05	1,32
	G	2,5	0,88	1,84	4,94
Ecart moyen en %			86 %	47 %	86 %

Tableau 17 - Valeurs de chlorophylle mesurées en mer et par satellite pour 3 coefficients d'ANGSTROM différents (paramètre des aérosols). Points situés à la figure 39.

BUS  
LILLE

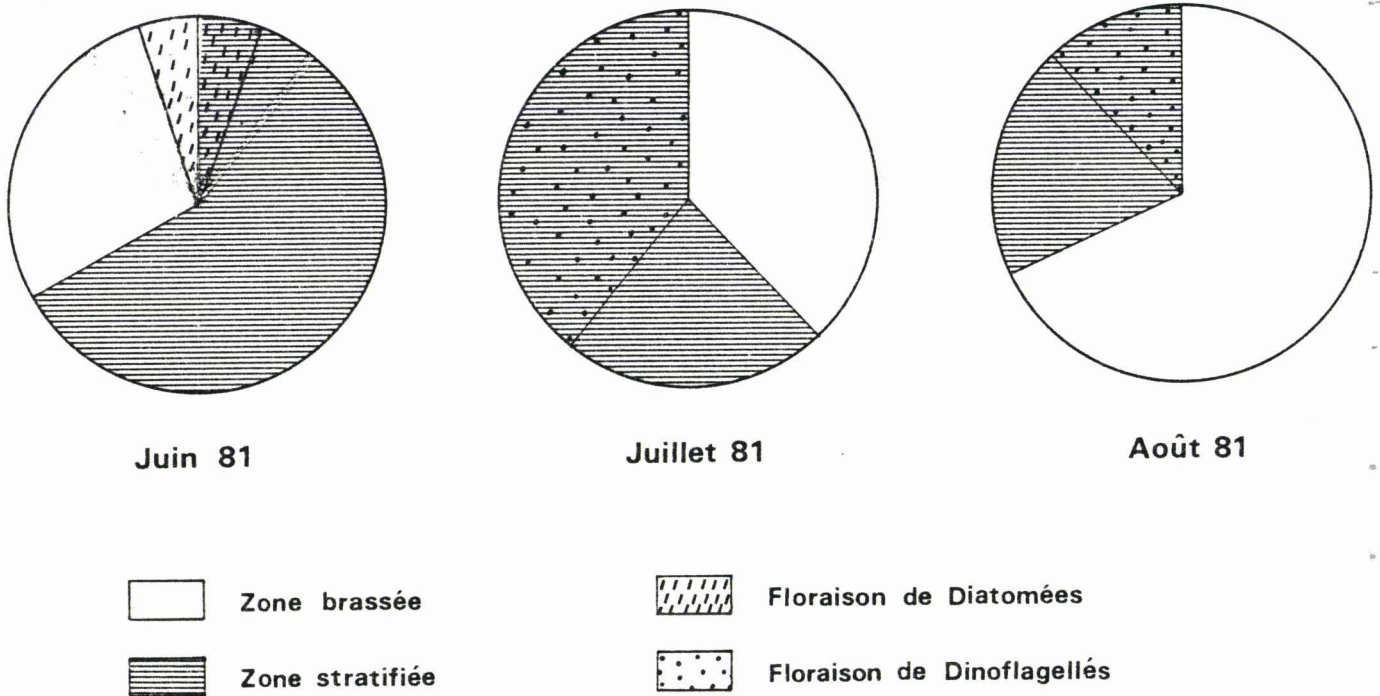


Figure 40 - Taille comparative des aires de floraison exprimée en fractions de l'aire totale considérée.

	Aire mixée	Aire stratifiée	Aire totale	Aire de floraison
22 juin 81	29,3 % $1710^3 \text{ km}^2$	70,7 % $4110^3 \text{ km}^2$	100 % $5910^3 \text{ km}^2$	10 % $610^3 \text{ km}^2$
29 juillet 81	40 % $2510^3 \text{ km}^2$	60 % $3710^3 \text{ km}^2$	100 % $6210^3 \text{ km}^2$	45 % $28 \cdot 10^3 \text{ km}^2$
28 août 81	72,7 % $4110^3 \text{ km}^2$	27,2 % $1510^3 \text{ km}^2$	100 % $5610^3 \text{ km}^2$	9 % $510^3 \text{ km}^2$

Tableau 18 - Surfaces comparées de l'aire totale et des zones brassée, stratifiée et des aires de floraison déterminées par satellite (en  $\text{km}^2$  et en pourcentage de l'aire totale).

végétale,, nous pouvons estimer la biomasse totale des différentes régions de la Manche (figure 40 et tableau 18 : page précédente).

On délimite une zone, située entre 3°W et 6°30W en longitude, et 48°30N et 50°30N en latitude.

Le tableau 18 présente les surfaces de l'aire totale partagée en zone brassée, stratifiée, et les aires de floraison.

On constate que la surface de floraison de juillet est 4,5 fois plus grande qu'au mois de juin et 5 fois plus qu'en août, et atteint la surface considérable de 28 000 km<sup>2</sup> (jusqu'à 45 % de l'aire totale, et 76 % de l'aire stratifiée).

Les biomasses globales pour les différentes zones peuvent être estimées par calcul en équivalent carbone, selon l'hypothèse de BOUGIS (1974) où 1 C = 60 chlorophylle a

Le tableau 19 résume les estimations faites pour les 3 situations.

	Biomasse moyenne mg.m	Biomasse maximale mg.m	Epaisseur de la floraison m	Biomasse maximale colonne en zone de floraison mg.m <sup>2</sup> chl a	Biomasse globale moyenne en zone de floraison t/km <sup>2</sup> en eq C	Biomasse totale de l'aire de floraison tonnesx10 <sup>3</sup> en eq C
22 juin 81	1-2	1,8	5	9	0,45	2,7
29 juil 81	6	27	10	270	3,6	100
28 août 81	3	3-6	10	30-60	1,8	9

Tableau 19 - Biomasses comparées pour les 3 situations sur l'épaisseur de la floraison.

Si nous comparons ces chiffres à ceux de zones productives connues, par exemple l'upwelling du Pérou on s'aperçoit que les valeurs maximales de biomasse du mois de juillet sont comparables :

Biomasse maximale =  $600 \text{ mg/m}^2$  (d'après Ryther, 1971) de l'upwelling sur 50 mètres.

De même, la surface globale de l'upwelling du Pérou est du même ordre de grandeur que la surface de floraison de juillet :

$$S_{\text{upwel. Pérou}} = 6010^3 \text{ km}^2 \text{ (d'après RYTHER, 1969)}$$

Les biomasses globales de juillet 81 sont donc du même ordre de grandeur que celles de l'upwelling le plus riche. Elles sont d'autre part largement supérieures à celles que l'on mesure en région côtière :

à Roscoff : maxima de  $12 \text{ mg/m}^3$  (JEZEQUEL, 1981)  
 $6 \text{ mg/m}^3$

à la station E<sub>1</sub> : maximum de  $30 \text{ mg/m}^3$  (HOLLIGAN, 1981)

Elles sont comparables à celles que mesurent PINGREE et al (1977,  $100 \text{ mg.m}^{-3}$  chlorophylle a) et HOLLIGAN, 1981 ( $450 \text{ mg.m}^{-2}$  sur l'épaisseur de la couche stratifiée en fin juillet).

La biomasse totale de floraison en juillet représente  $100 \times 10^3$  tonnes de carbone sur l'épaisseur des 10 premiers mètres de la couche euphotique, et doit provoquer un impact considérable sur l'écosystème pélagique.

#### V-4 - Conclusion

Les trois images de l'expérience "couleur de l'océan" CZCS nous permettent de découvrir l'ampleur des développements phytoplanctoniques en Manche et leur coïncidence avec la structure thermique.

La comparaison des résultats mer et des données satellites montre bien ici l'intérêt de cet outil une fois le traitement des images accompli :

- il confirme certaines hypothèses (enrichissement frontal de juin, étendue du bloom de juillet à plus de 28000 km<sup>2</sup>, coïncidence des structures spatiales à cette date (fig. 38.)

- il apporte des informations nouvelles sur l'hétérogénéité spatiale.

L'analyse quantitative des données satellitaires montre une bonne relation entre les concentrations extrêmes rencontrées (tableau 17), et ce pour une valeur du paramètre d'ANGSTROM moyenne ( $n = 0,75$ ).

L'expérience CZCS permet l'estimation de la biomasse globale d'une zone de floraison à partir de mesures de terrain, localisées dans l'espace (exemple :29 juillet 77).

Bien qu'il soit encore nécessaire d'effectuer des mesures de terrain, de manière à valider les algorithmes employés, la télédétection en couleur de l'océan est dès à présent, des points de vue qualitatif et quantitatif, un outil puissant en océanographie.

TROISIEME PARTIE

DISCUSSION ET CONCLUSION

## CHAPITRE VI - CONTRIBUTION DE L'ETUDE A LA CONNAISSANCE DES DEVELOPPEMENTS PHYTOPLANCTONIQUES EN MANCHE OUEST

Les résultats exposés dans la troisième partie nous permettent de définir plusieurs aspects de l'évolution saisonnière phytoplanctonique en Manche Ouest, dans trois domaines complémentaires : la biologie, l'optique marine et la télédétection à grande échelle.

Nous nous proposons au cours de cette discussion de replacer nos résultats dans le contexte des connaissances établies et d'en dégager les caractères nouveaux, la plus large part étant laissée au domaine de la biologie.

Nous avons mis en évidence des cycles de croissance phytoplanctonique assez semblables en 80 et 81, quoique décalés dans le temps.

Les données concernant la période de brassage (mars) et de stabilisation printanière (début mai) concordent avec les résultats d'autres auteurs. En effet, d'après l'étude de GRALL (1972a,b) les eaux brassées du littoral de Roscoff présentent à cette période un phytoplancton pauvre, composé de rares diatomées et de nanoplancton, avec par contre, une importante charge en particules, les biomasses demeurant inférieures à  $1 \text{ mg.m}^{-3}$ . En période printanière, HOLLIGAN et HARBOUR (1977) décrivent des floraisons de Diatomées précoces à la station E<sub>1</sub>, répondant à deux facteurs : stabilisation débutante des eaux et augmentation de l'éclairement. Ces caractéristiques sont retrouvées lors de notre étude en 1980 sur les radiales Roscoff-Plymouth du mois de mai. Les évolutions aux périodes hivernales et printanières observées en Manche en 1980 et 1981 répondent aux schémas établis.

La description du phytoplancton au début de la période estivale en 1980 et 1981 paraît plus discutable. Nous avons montré une certaine contradiction dans les résultats que nous avons obtenus au mois de juin des deux années.

La stratification thermique des eaux et l'apparition du front semblent plus tardifs en 81 qu'en 80. De même, le développement phytoplanct-



tonique de la zone brassée, nettement observé sur la radiale Roscoff-Plymouth en juin 80 n'apparaît pas en 81. La campagne Pluteus et l'image CZCS de juin 81 indiquent par contre une floraison frontale s'étendant d'Ouest en Est sur près de 200 km en Manche.

L'ensemble des résultats récents concernant cette période montre de même une grande variabilité :

Le secteur brassé de la Manche Ouest peut être soit caractérisé par des zones de floraison intenses, mais localisées comme en juin 79 (campagnes Ecomanche, LE COZ, 1980, MOAL, 1980), soit demeurer une région pauvre en phytoplancton (HOLLIGAN, 1981). Il est rarement fait mention par ces auteurs de floraison frontale de Diatomées en début de période estivale.

La variabilité ne concerne cependant pas le secteur stratifié qui constitue une zone pauvre en chlorophylle de surface, mais peut montrer des accumulations à la profondeur de la thermocline au début de l'été (HOLLIGAN et HARBOUR 1977, HOLLIGAN, 1981).

Enfin, dans les eaux littorales de Roscoff, juin est l'époque du bloom régulier de la Diatomée *R. delicatula* (GRALL, 1972a, JEZEQUEL, 1981).

En ce qui concerne le début de la période estivale, notre étude apporte des résultats originaux par rapport aux données antérieures, des floraisons importantes de Diatomées pouvant s'observer soit en secteur brassé, soit en secteur frontal. La variabilité est ici trop importante pour nous permettre de définir un schéma général de croissance à cette période.

On peut d'ores et déjà affirmer que l'effet négatif de la turbulence (due aux forts courants de marée en secteur brassé), bien que déterminé sur des cultures par WHITE (1976) reste à prouver dans le milieu naturel.

La période du milieu de la période estivale a été particulièrement bien suivie, grâce à la régularité des radiales "car ferry" 1980 et 1981, et à l'appui de la campagne John Murray 1981.

Elle est caractérisée par les multiplications intenses des Dinoflagellés. Modérées en août 1980, celles-ci ont atteint des proportions spectaculaires la deuxième année.

Ces résultats sont tout à fait comparables sur certains plans à ceux des auteurs anglais PINGREE et al (1975, 1976), HOLLIGAN (1977, 1978, 1979, 1981), ainsi qu'à ceux des auteurs français LE FEVRE et al (1970), GRALL et al (1971, 1980), GRALL (1976), bien que leurs zones d'études soient situées plus à l'Ouest, sur le front d'Ouessant et à l'entrée de la Manche (chapitre I).

En effet, les algues responsables des floraisons alors observées, les Dinoflagellés, avec pour espèce dominante *G. aureolum* accompagnée des Dinophysiales, Péridiniales (*Noctiluca sp.*), Prorocentrales sont identiques. Les concentrations en pigments de  $100 \text{ mg.m}^{-3}$  et les densités cellulaires de 1,5 à 3 millions de cellules par litre sont du même ordre de grandeur que nos valeurs ( $30 \text{ mg.m}^{-3}$  et 1,5 millions c/l au maximum).

On peut toutefois souligner quelques aspects remarquables apportés par cette étude.

Nous avons pu, en effet, caractériser les eaux à fortes densités de *G. aureolum* (photo 1 planche II) d'un point de vue optique. L'atténuation de la radiation verte atteint  $.95 \text{ m}^{-1}$ , les réflectances de l'eau sont très faibles (moins de 1 %), et la profondeur approximée de la zone euphotique est inférieure à 10 m, au centre de la floraison.

D'autre part, la combinaison des mesures en mer et de l'image CZCS fait découvrir certaines spécificités des floraisons en Manche Ouest par rapport à celles d'Ouessant :

- l'initiation des floraisons en Manche Ouest semble se faire dans les eaux les plus chaudes de la zone stratifiée, au large de Plymouth (radiale du 2 juillet 81), et non pas à partir du front comme c'est le cas à Ouessant (PINGREE, 1978, HOLLIGAN, 1981),

- l'étalement de la masse phytoplanctonique de juillet-août se produit aussi bien en zone stratifiée qu'en zone brassée (radiales des 16 juillet (J.M.2.) et 5 août (C.F.) entre Roscoff et Plymouth. La zone frontale étant extrêmement diffuse à cette période, les floraisons s'étendent aux derniers kilomètres de la zone littorale de Roscoff (CZCS, planche II). Cette distribution très étalée, sur plus de 100 km du Nord au Sud, et 150 km d'Est en Ouest, pourrait être due à la faible profondeur et à une topographie peu marquée des fonds (CABIOCH, 1968),

- la masse de phytoplancton centrale observée au cours de nos radiales n'est que le prolongement au centre de la Manche d'un enrichissement situé plus à l'Ouest, autour de Land's End et des Iles Scilly (planche II), dont le déterminisme reste à expliquer;

- la distribution des sels nutritifs n'est pas toujours en accord avec la structure thermique, selon le schéma classique (vérifié aux autres périodes) d'une zone brassée enrichie et d'une zone stratifiée épuisée (HOLLIGAN, 1981). En période estivale en effet, la distribution des teneurs observée est quelque peu aléatoire (2 juillet, 5 août 1981), ce qui peut être causé par les poussées de Dinoflagellés, dont l'influence sur le milieu n'est pas parfaitement connue;

- enfin, la date d'apparition de ces fleurs d'eau montrent que celles-ci sont plus précoces qu'au large d'Ouessant.

Enfin, on peut décrire quelques implications importantes de cette étude en montrant les conséquences les plus importantes des floraisons décrites en Manche Ouest lors des étés 1980 et 1981.

Avec des surfaces de  $30000 \text{ km}^2$  et des concentrations aussi élevées de phytoplancton (chapitre V), les floraisons estivales de Dinoflagellés sont comparables à celles des plus riches upwellings : du Pérou (RYTHER et al, 1971), de la Mauritanie (GRALL et al, 1974), où l'on a mesuré au maximum  $600 \text{ mg.m}^{-2}$  et  $200 \text{ mg.m}^{-2}$ . Elles constituent donc un apport important de carbone pour l'écosystème pélagique, dont les répercussions doivent être étudiées.

On peut tenter d'estimer la production primaire maximale d'une telle floraison. La production est limitée aux 10 premiers mètres, profondeur approchée de la zone de compensation. Selon l'estimation de STEEMANN NIELSEN (1962), effectuée pour les eaux Atlantiques, la production maximale possible atteindrait  $4,6 \text{ gC/m}^2/\text{jour}$ . Au centre de la floraison juillet, la même estimation donnerait  $4,2 \text{ gC/m}^2/\text{jour}$ , ce qui situe la production entre la valeur côtière à Roscoff :  $1,6 \text{ gC/m}^2/\text{jour}$ , selon WAFAR, (1981), et la valeur maximale pour l'upwelling du Pérou :  $11,7 \text{ gC/m}^2/\text{jour}$ , selon RYTHER et al, (1971).

Une question reste pourtant posée quant à la valeur trophique de *G. aureolum*. Dans la région d'upwelling du Pérou, le groupe dominant du phytoplancton est représenté par les Diatomées. De plus, la production primaire est directement assimilée par les phytoplanctonophages (Pérou), alors qu'il n'en est pas de même dans les autres régions marines. D'autre part, les Dinoflagellés sont connus pour leur potentialité toxique. Bien que celle de *G. aureolum* ne soit pas prouvée, (BOALCH, 1979, HOLLIGAN, 1981, TANGEN, 1977), on ne connaît toutefois pas encore l'effet de ses fleurs d'eau sur la chaîne alimentaire.

On doit également inclure dans ce bilan annuel de la production potentielle, les floraisons de fin de période estivale (fin août et septembre 1980) causées par des Diatomées en zone frontale. Régulièrement décrites à la station E<sub>1</sub> par HOLLIGAN et HARBOUR (1977) et HOLLIGAN (1981), elles répondraient aux deux facteurs principaux : éclaircissement suffisant et renouvellement des réserves nutritives. Si l'on suppose que, comme en juin, ces floraisons s'étendent à l'ensemble de la zone frontale en Manche, elles constituent également des zones productives très importantes.

Si l'on tient compte des surfaces globales des floraisons observées en Manche Ouest, au cours de cette étude, ou à l'entrée de la Manche et au large d'Ouessant, d'après les importants travaux de PINGREE et HOLLIGAN (références au chapitre I), la Manche est une mer épicontinentale aussi riche que les zones les plus productives connues.

Nous soulignons, dans un dernier point, l'effet important de masses superficielles de phytoplancton d'une telle envergure comme capteurs d'énergie et de chaleur, susceptibles de renforcer la stratification thermique des eaux en Manche. Une double thermocline a été effectivement observée (HOLLIGAN, communication personnelle) en juillet 81.

Nous avons constaté, d'après notre étude, une grande variation interannuelle des évolutions phytoplanctoniques de la Manche en 1980 et en 1981 (voir tableau page suivante).



Observations	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
Date de la floraison observée		27-07	27-08	2-07	27-07	?	5-08	2-07 au 20-08
Max Chl <u>a</u> mg.m <sup>-3</sup>	34 (100)	500 <sup>+</sup> ?	>10	200 <sup>+</sup>		?	4 (6)	>27 (45) >45
Zone	Ouessant	Ouessant	Ouessant Manche Ouest	Ouessant	Ouessant	Ouessant	Manche Ouest	Manche Ouest
Références	3	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2,5	1,2,5
Roscoff mg.m <sup>-3</sup> max chl <u>a</u>		2	2	2	2	7(12) (juin)	3,6(6) (juin)	/
Références	3	3	3	3	3	6,7	6,7	

Tableau 20 - Revue des valeurs de chlorophylle mesurées en Manche. Ces données doivent être prises comme des ordres de grandeur, à cause des problèmes d'intercalibration.

<sup>+</sup> Les plus fortes valeurs sont ponctuelles.

- 1 - PINGREE et al (références chapitre I)
- 2 - HOLLIGAN et al (références chapitre I)
- 3 - GRALL (et al) (références chapitre I)
- 4 - LE FEVRE (et al) (références chapitre I)
- 5 - Cette étude
- 6 - JEZEQUEL (références chapitre I)
- 7 - WAFAR (références chapitre I).

L'année 1980 se caractérise par des biomasses moyennes et une dominance des Diatomées, dont l'évolution se compare à celle du phytoplancton des eaux littorales de Roscoff.

Par contre, l'année 1981, se compare tout à fait aux années 1975, 1976, 1978 (voir tableau 20 et références 1,2 au chapitre I), où des floraisons spectaculaires ont été décrites.

Nous avons recherché quel facteur simple déterminerait l'importance des floraisons en Manche Ouest.

L'éclairement est un facteur important de la croissance. On compare figure (41) les évolutions saisonnières de la durée d'insolation mensuelle de 1975 à 1981. La faible insolation du printemps 1981 a pu être la cause du développement tardif de la stratification et des floraisons phytoplanctoniques de juin. Les années 1975 et 1976 ont été exceptionnellement ensoleillées au début de l'été. Par contre l'année 1978 où ont été effectivement observées des floraisons ( HOLLIGAN, 1979 ) et l'année 1977 où un développement phytoplanctonique a été décrit grâce à une image LANDSAT au large d'Ouessant (LE FEVRE et al, à paraître) ont des insolutions estivales faibles ou moyennes.

L'alternance des marées de vive eau et de morte eau, dont l'influence a été mise en évidence lors de l'été 1975 par PINGREE et al (1977) ne semblent pas caractériser les années de floraison spectaculaires.

L'explication doit donc être recherchée vers une combinaison de facteurs physicochimiques qui restent à déterminer.

Si les évolutions saisonnières en périodes hivernale, printanière et estivale semblent explicables et en accord avec les données recueillies antérieurement, celle de la période estivale avec ses poussées extraordinaires de Dinoflagellés demeure encore un sujet d'interrogation, dont il est difficile d'après les données actuelles de formuler des explications cohérentes.

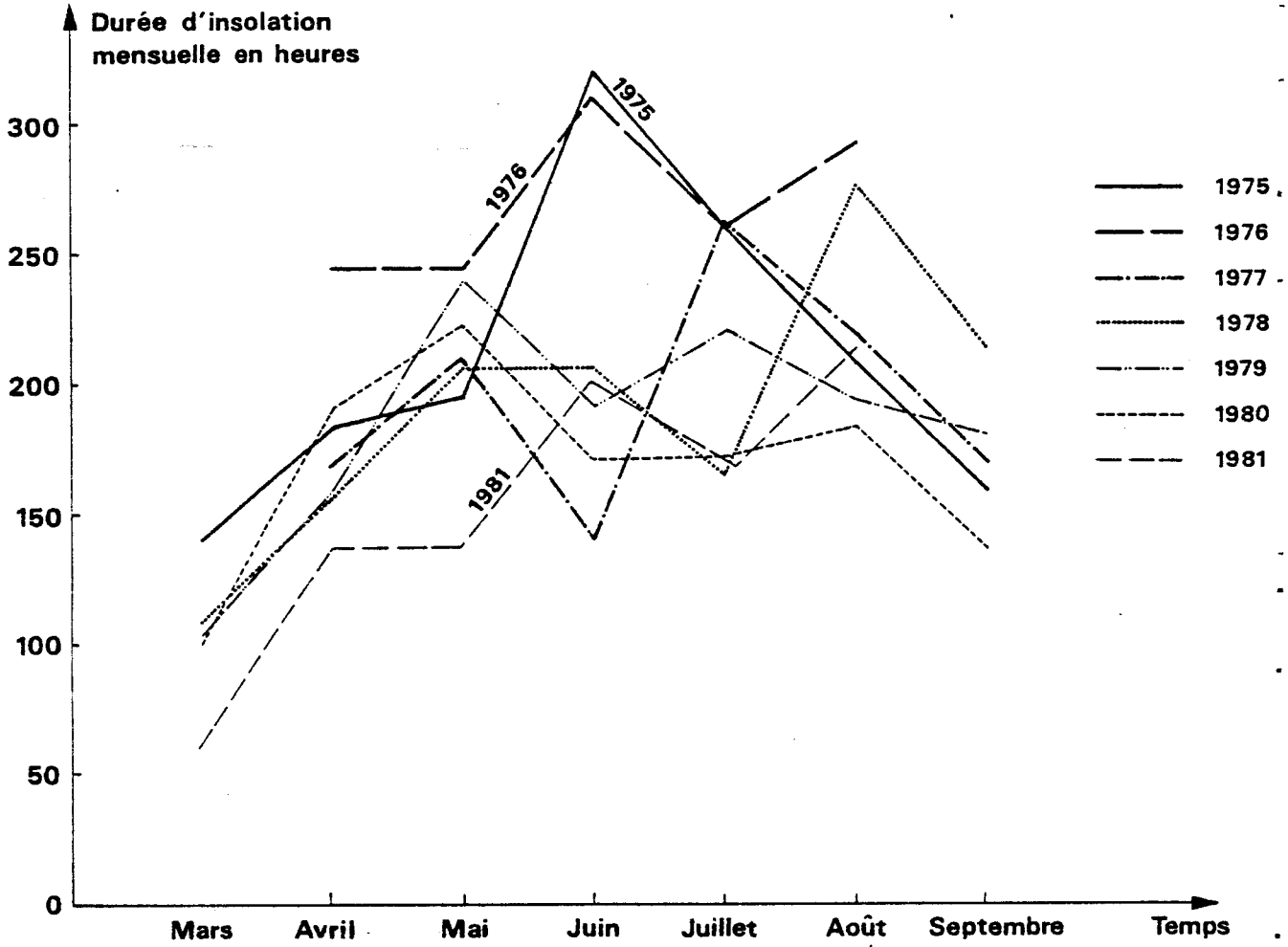


Figure 41 - Evolution saisonnière de l'insolation mensuelle pour les mois de mars à septembre des années 1975 à 1981.

BIBLIOGRAPHIE

- AIKEN J. 1980 - A marine environmental recorder. - Mar. Biol. 57, 237-240.
- AIKEN J. 1981a - The Undulating Oceanographic Recorder mark 2 - J. of Plankton Research, 3, 551-560.
- AIKEN J. 1981b - A chlorophyll sensor for automatic, remote, operation in the marine environment. - Mar. Ecol. Prog. Ser., 4, 235-239.
- ARMSTRONG F.A.J. BUTLER E.I. 1962 - Hydrographic surveys off Plymouth in 1959 to 1960. - J. Mar. Biol. Ass. U.K., 42, 445-463.
- ARMSTRONG F.A.J. BUTLER E.I., 1968 - Chemical changes in sea water off Plymouth during the years 1962 to 1965. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 48, 153-160.
- ARMSTRONG F.A.J., BUTLER E.I., BOALCH G.T. 1970 - Hydrographic and nutrient chemistry surveys in the English Channel during 1961 and 1962. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 50, 883-905.
- ARMSTRONG F.A.J., BUTLER E.I., BOALCH G.T. 1972 - Hydrographic and nutrient chemistry surveys in the Western English Channel during 1963 and 1964. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 52, 915-930.
- ARMSTRONG F.A.J., BUTLER E.I., BOALCH G.T. 1974 - Hydrographic and nutrient chemistry surveys in the Western English Channel during 1965 and 1966. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 54, 895-914.
- AUSTIN R.W., PETZOLD T.J. 1980 - The determination of the diffuse attenuation coefficient of sea water using the Coastal Zone Color Scanner. - In Oceanography from Space 1980. Proceedings of the COSPAR/SCOR/IUCRM Symposium, Venise Italy.
- BALLANTINE D., SMITH F.M. 1973 - Observations on blooms of the dinoflagellate *Gyrodinium aureolum* Hulbert in the river Conwy and its occurrence along the north Wales coast. - Br. Phycol. J. 8, 233-238.
- BOALCH G.T., HARBOUR D.S., BUTLER E.I. 1978 - Seasonal phytoplankton production in the Western English Channel 1964-1974. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 58, 943-953.
- BOALCH G.T. 1979 - The Dinoflagellate bloom on the coast of South West England, August-September 1978. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 59, 515-528.
- BOUGIS P. 1974 - I - Le phytoplancton. - Ed. Masson et Cie, 196 p.



- BOUTLER J., CABIOCH L., GRALL J.R. 1974 - Quelques observations sur la pénétration de la lumière dans les eaux marines au voisinage de Roscoff et ses conséquences écologiques. - Soc. Phycol. de France, Bull. n° 19, 129-140.
- BRICAUD A. 1979 - Absorption, diffusion (et rétrodiffusion) de la lumière par les substances influant sur la couleur des eaux de mer. Thèse de 3e cycle, Université Pierre et Marie Curie, 134 p.
- BRUCE R.H., AIKEN J. 1975 - The Undulating Oceanographic Recorder—a new instrument system for sampling plankton and recording physical variables in the euphotic zone from a ship underway. - Mar. Biol. 32, 85-97.
- BUKATA R.P., JEROME J.H., BRUTON J.E., JAIN S.C., ZWICK H.H. 1981 - Optical water quality model of Lake Ontario. 1 : Determination of the optical cross sections of organic and inorganic particulates in Lake Ontario. - Appl. Opt. 20, 1696-1703.
- BUKATA R.P., JEROME J.H., BRUTON J.E., JAIN S.C., ZWICK H.H. 1981 - Optical water quality model of Lake Ontario. 2 : Determination of chlorophyll a and suspended mineral concentrations of natural waters from submersible and low altitude optical sensors. - Appl. Opt. 20, 1704-1714.
- CABIOCH L. 1968 - Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche Occidentale. - Thèse de Doct. Sci. Nat. - Cah. Biol. Mar. IX, 493-720.
- CARPENTER D.J., CARPENTER S.M. 1979 - A comparison of optical and biochemical classifications of ocean waters. - Deep-Sea Res. 26A, 763-773.
- CLARK D.K., KIEFER D.A. 1979 - Spectral reflectance of a bloom of *Gyrodinium nelsoni* in Chesapeake Bay - in Toxic Dinoflagellate Blooms. - Elsevier : North Holland, Taylor Seliger Editors, vol 1,
- CLARK D.K. 1980 - Phytoplankton pigment algorithms for the Nimbus-7 CZCS. - in Oceanography from Space. 1980. - Proceedings of the COSPAR/SCOR/IUCRM Symposium, Venice Italy.
- CLARKE G.L., EWING G.C., LORENSEN C.J. 1970 - Spectra of backscattered light from the sea obtained from aircraft as a measure of chlorophyll concentration. - Science 167, 1119-1121.

- COLEBROOK J.M., ROBINSON G.A. 1961 - The seasonal cycle of the plankton in the North Sea and the north-eastern Atlantic. - Journ. Cons. int. Explor. Mer. 26, 156-165.
- COLEBROOK J.M., ROBINSON G.A. 1965 - Continuous plankton records : seasonal cycles of phytoplankton and copepods in the north-eastern Atlantic and the North Sea. - Bull. Mar. Ecol. 6, 123-140.
- DENMAN K.L., PLATT T. 1976 - The variance spectrum of phytoplankton in a turbulent ocean. - J. Mar. Res. 34, 593-601.
- DESCHAMPS P.Y., LECOMTE P., VIOLLIER M. 1977 - Remote sensing of ocean color and detection of chlorophyll content. - Proceedings of the 11 th International Symposium on Remote Sensing of Environment 25-29 April.
- DESCHAMPS P.Y., VIOLLIER M., LECOMTE P. 1977 - Observation à partir de l'espace de l'environnement côtier. - Colloque du G.D.T.A. Saint Mandé 21-22-23 septembre.
- DESCHAMPS P.Y., FROUIN R., WALD L. 1981 - Satellite determination of the mesoscale variability of the sea surface temperature. - J. Phys. Oceanogr. 11, 864-870.
- DESCHAMPS P.Y., TANRE D., VIOLLIER M. 1980 - Evaluation critique des exigences radiométriques pour un équipement mesurant à bord d'un satellite la couleur des océans. - Rapport de contrat ESA 3986/79/F/CG.
- DIETRICH G. 1951 - Influence of tidal streams on oceanographic and climatic conditions as exemplified by the English Channel. - Nature 168, 8-11.
- DUPONT J., BENTLEY D., RICHARD A. 1981 - Suivi hydrobiologique du détroit du Pas de Calais. - J. Rech. Océanogr. VI, 16.
- DUPOUY C. 1981 - Photointerprétation d'une image LANDSAT. - J. Rech. Océanogr., VI, 17-18
- FEARNHEAD P.G. 1975 - On the formation of fronts by tidal mixing around the British Isles. - Deep Sea Res. 22, 311-321.
- FROUIN R. 1981 - Contribution à l'étude de la température de surface de la mer par télédétection au moyen de l'expérience spatiale HCMM. - Thèse de 3e cycle, Faculté des Sciences de Lille I, 145 p.

- GARZOLI S.L. 1979 - Contribution à l'étude de la formation et de l'évolution du front thermique sur le plateau continental breton. - Ann. Hydro. 6ème série, vol 7, fasc. 2.
- GORDON H.R., Mc CLUNEY W.R. 1975 - Estimation of the depth of sunlight penetration in the sea for remote sensing. - Appl. Optics 4, 413-416.
- GORDON H.R. 1978 - Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the oceans. - Appl. Opt. 17, 1631-1636.
- GORDON H.R., CLARK D.K. 1980 - Remote sensing optical properties of a stratified ocean : an improved interpretation. - Appl. Optics 19, 3428-3430.
- GORDON H.R., CLARK D.K., MUELLER J.L., HOVIS W.A. 1980 - Phytoplankton pigments from the NIMBUS 7 Coastal Zone Color Scanner : comparisons with surface measurements. - Science 210, 63-66.
- GOWER J.F.R., DENMAN K.L., HOLYER R.J. 1980 - Phytoplankton patchiness indicates the fluctuation spectrum of mesoscale oceanic structure. - Nature 288, 157-159.
- GRALL J.R., JACQUES G. 1964 - Etude dynamique et variations saisonnières du plancton de la région de Roscoff. - Cah. de Biol. Mar. V, 423-455.
- GRALL J.R. 1966 - Détermination de la production de matière organique en Manche occidentale à l'aide du  $^{14}\text{C}$ . - C.R. Acad. Sci. Paris 262, 2514-2517.
- GRALL J.R., LE FEVRE-LEHOERFF G., LE FEVRE J. 1971 - Observations sur la distribution du plancton à proximité d'Ouessant en juin 1969 et ses relations avec le milieu physique. - Cah. Oceanogr. XXIII, 2, 145-170.
- GRALL J.R. 1972a - Développement printanier de la diatomée *Rhizosolenia delicatula* près de Roscoff. - Mar. Biol. 16, 41-48.
- GRALL J.R. 1972b - Recherches quantitatives sur la production primaire du phytoplancton dans les parages de Roscoff. - Thèse de Doc. Sci. Nat. Univ. de Paris, 247 p.
- GRALL J.R., LABORDE P., LE CORRE P., NEVEUX J., TREGUER P. THIRIOT A. 1974 - Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région Sud de l'Atlantique Marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I et III. - Téthys. 6 (162), 11-28.

- GRALL J.R. 1977 - Sur une "eau colorée" à *G. aureolum* Hulburt observée en Manche. - Trav. Stat. Biol. Roscoff 23, 19-22.
- GRALL J.R., LE CORRE P., LE FEVRE J., MARTY Y., TOURNIER B. 1980 - Caractéristiques estivales de la couche d'eau superficielle dans la zone de fronts thermiques Ouest-Bretagne. - Oceanis 6, 235-249.
- HARDY A.C., 1935 - The Continuous Plankton Recorder. A new method of survey. - Rapp. P-v. Reun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 95, 35-47.
- HAURY L.R., MCGOWAN J.A., WIEBE P.H. 1978 - Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. - Spatial pattern in plankton communities. NATO Conference Series 4, 277-327, Ed. J.H. Steele, 470 p.
- HOJERSLEV N.K. 1980 - Water color and its relation to primary production. - Boundary-layer Meteorology 18, 203-220.
- HOLLIGAN P.M., HARBOUR D.S. 1977 - The vertical distribution and succession of phytoplankton in the western English Channel in 1975 and 1976. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 57, 1075-1093.
- HOLLIGAN P.M. 1978 - Patchiness in subsurface phytoplankton populations on the Northwest European continental shelf. - Spatial pattern in plankton communities. NATO Conference Series 4, 221-237, Ed. J.H. Steele, 470 p.
- HOLLIGAN P.M. 1979 - Dinoflagellates blooms associated with tidal fronts around the British Isles. - Toxic Dinoflagellates Blooms. Developments in marine biology 1, 249-256, Ed. D.L. Taylor / H.H. Seliger.
- HOLLIGAN P.M., MADDOCK L. DODGE S.D. 1980 - The distribution of Dinoflagellates around the British Isles in July 1977 : a multivariate analysis. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 60, 851-867.
- HOLLIGAN P.M. 1981 - Biological implications of fronts on the northwest European continental shelf. - Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 302, 547-562.
- HORTSMANN U., ULBRICHT K.A. SCHMIDT D. 1978 - Detection of eutrophication processes from air and space. - Proceeding of the 12th Intern. Symp. on Remote Sensing of Environment. 2, 20-26, 1379-1389.
- HORTSMANN U. HARDTKE P.G. 1980 - Transport processes of suspended matter, including phytoplankton, studied from LANDSAT images of the Southwestern Baltic Sea. - In Oceanography from space 1981. Plenum Press, New York. Proceedings of the COSPAR/SCOR/IUCRM Symposium Venice Italy.

- HORWOOD J.W. 1978 - Observations on spatial heterogeneity of surface chlorophyll in one and two dimensions. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 58, 487-502.
- HOVIS W.A., CLARK D.K., ANDERSON F., AUSTIN R.W., WILSON W.H., BAKER E.T., BALL H.R., GORDON H.R., MUELLER J.L., EL-SAYED S.Z., STURM B., WRIGLEY R.C., YENTSCH C.S. 1980 - Nimbus 7 Coastal Zone Color Scanner : system description and initial imagery. - Science 210, 60-63.
- JACQUES G. 1963 - Variations saisonnières des populations phytoplanctoniques de la région de Roscoff (1962-1963). - Thèse de 3e cycle, Fac. Sci. de Paris, 88 p.
- JACQUES G. 1975 - Production photosynthétique du milieu pélagique. Perspectives d'amélioration. - Séminaires de l'Institut Océanographique, fasc. 5, 53-67.
- JACQUES G. 1979 - Production primaire (phytoplancton). 2 - Lumière, sels nutritifs et phytoplancton. - Manuel d'enseignement n° 2, Laboratoire Arago, Banyuls-Sur-Mer.
- JERLOV N.G. 1976 - Marine Optics. - Elsevier 231 p.
- JEZEQUEL V. 1981 - Successions des populations phytoplanctoniques en relation avec les conditions nutritionnelles dans les eaux littorales de la Manche. - Thèse de 3e cycle, Univ. de Bretagne Occidentale 145 p.
- KIEFER D.A., OLSON R.J., WILSON W.H. 1979 - The reflectance spectroscopy of marine phytoplankton. Part I - Optical properties as related to age and growth rate. - Limnol. Oceanogr. 24 (4) 664-672.
- LAKKIS S. 1967 - Distributions et fluctuations quantitatives des Copépodes et du Phytoplancton dans la Manche et le Golfe de Gascogne de 1958 à 1965. - Thèse de 3e cycle, Paris 154 p.
- LEBOUR M. 1930, The planktonic Diatoms of northern Seas. - Ed. Ray Society, Londres, Dulau, 244 p.
- LE CORRE P., TREGUER P. 1976 - Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. - Thèse de Doctorat ès-sciences, Univ. de Bretagne Occidentale, Brest 490 p.

- LE COZ J.R. 1980 - Caractéristiques hydrologiques, campagnes ECOMANCHE I-11. - Publ. CNEXO, résultats des campagnes à la mer n° 21. Etat de référence écologique de la Manche, fasc. 1 : Pélagique, 19-41, J. Boucher Ed.
- LE FEVRE J. GRALL J.R. 1970 - On the relationship of Noctiluca swarming off the Western coast of Brittany with hydrological features and plankton characteristics of the environment. - J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 4, 287-306.
- LE FEVRE J. 1979 - On the hypothesis of a relationship between Dinoflagellate blooms and the "Amoco-Cadiz" oil spill. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 59, 525-527.
- LE FEVRE J. VIOLLIER M. LE CORRE P. DUPOUY C. et J.R. GRALL (à paraître) - Remote sensing of biological material by Landsat along a tidal thermal front and their relevancy to the available field data. Soumis à Estuarine, Coastal and Shelf Science, 82.
- LE FLOCH J. 1976 - Nouvelles recherches sur quelques aspects de la structure thermique marine sur le plateau continental breton. - Rapport Scientifique n° 9.
- LEMOALLE J. 1979 - Application des données LANDSAT à l'estimation de la production du phytoplancton dans le lac Tchad. - Cah. O.R.S. T.O.M., sér. Hydrobiol. 1-2, 35-46.
- LORENZEN C.J. 1966 - A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. - Deep Sea Res. 13, 223-227.
- LORENZEN C.J. 1967 - Determination of chlorophyll and pheophytin : spectrophotometric equation. - Limnol. Oceanogr. 12, 343-346.
- MACKAS D.L., BOYD C.M. 1979 - Spectral analysis of zooplankton spatial heterogeneity. - Science 204, 62-64.
- MOAL J. 1980 - Caractéristiques de la matière en suspension. Campagne ECOMANCHE I-II. - Publ. CNEXO, Résultats des campagnes à la mer, n° 21. Etat de référence écologique de la Manche, fasc. 1 : Pélagique, 41-70, J. Boucher Ed.
- MOREL A., PRIEUR L. 1977 - Analysis of variations in ocean colour. - Limnol. Oceanogr. 22 (4).
- MOREL A. 1980 - In water and remote measurements of ocean color. - Boundary Layer Meteorology 18, 177-201.
- MOREL A. BRICAUD A. 1980 - Some theoretical results concerning optics of phytoplankton with a special reference to remote sensing. - In Oceanography from Space. 1980. Proceedings of the COSPAR/SCOR/IUCRM Symposium. Venice Italy.

- MOREL A., BRICAUD A. 1981 - Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium and application to specific absorption of phytoplankton. - *Deep-Sea Research* 28A, 11, 1375-1393.
- PARSONS T.R. ANDERSON G.C. 1970 - Large scale studies of primary production in the North Pacific Ocean. - *Deep Sea Res.* 17, 765-776.
- PINGREE R.D. 1975a - The advance and retreat of the thermocline on the continental shelf. - *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 55, 965-974.
- PINGREE R.D. PUGH P.M., HOLLIGAN P.R. FORSTER G.R. 1975b - Summer phytoplankton blooms and red tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. - *Nature London* 258, 672-677.
- PINGREE R.D. HOLLIGAN P.M. MARDELL G.T. HEAT R. 1976 - The influence of physical stability on spring summer and autumn phytoplankton blooms in the Celtic sea. - *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 56, 845-873.
- PINGREE R.D. HOLLIGAN P.M. HEAD R.N. 1977a - Survival of dinoflagellate blooms in the Western English Channel. - *Nature* 265, 266-268.
- PINGREE R.D. 1977b - Mixing and stabilization of phytoplankton distributions on the Northwest European continental shelf. - Spatial pattern in plankton communities. NATO Conference Serie 4, 182-220. Ed. J.H. Steele, 470 p.
- PINGREE R.D., MADDOCK L. BUTLER E.I. 1977c - The influence of biological activity and physical stability in determining the chemical distributions of inorganic phosphate, silicate and nitrate. - *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 57, 1065-1073.
- PINGREE R.D. GRIFFITHS D.K. 1978a - Tidal fronts on the shelf seas around the British Isles. - *J. Geophys. Res.* 83, 4615-4622.
- PINGREE R.D. HOLLIGAN P.R. MARDELL G.T. 1978b - The effects of vertical stability on phytoplankton distributions in the summer on the north-west European shelf. - *Deep Sea Res.* 25, 1011-1028.
- PINGREE R.D. 1979a - Baroclinic eddies bordering the Celtic Sea in late summer. - *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 59, 689-698.
- PINGREE R.D. HOLLIGAN P.M. MARDELL G.T. 1979b - Phytoplankton growth and cyclonic eddies. - *Nature London* 278, 245-247.
- PLATT T. DICKIE L.M. TRITES R.W. 1970 - Spatial heterogeneity of the phytoplankton in a near-shore environment. - *J. Fish. Res. Bd. Can.* 27 (8), 1453-1473.

- PLATT T. 1972 - Local phytoplankton abundance and turbulence. - Deep-sea Res. 19, 183-187.
- PLATT T., DENMAN K.L. 1975 - Spectral analysis in ecology. - Ann. Rev. Ecol. Syst. 6, 189-210.
- PLATT T. 1978 - Spectral analysis of spatial structure in phytoplankton populations. - In Spatial pattern of plankton communities 1978. Plenum Press New York. Proceedings of the NATO Conferences on Marine Biology.
- POOLE H.H. ATKINS W.R.G. 1929 - Photo-electric measurements of submarine illumination throughout the year. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 16, 297-423.
- PREISENDORFER R.W. 1976 - Hydrologic Optics. - U.S. Dept. of Commerce, NASA, Environmental Res. Laboratories, Honolulu, Hawaii.
- PRIEUR L. SATHYENDRANATH S. 1981 - An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter and other particulate materials. - Limnol. Oceanogr. 26, 671-689.
- PYBUS C. 1980 - Observations on a *Gyrodinium aureolum* (Dinophyta) bloom off the South coast of Ireland. - J. Mar. Biol. Ass. U.K. 60, 661-674.
- RAILLARD J. 1975 - Les zones frontales dans le Nord du Golfe de Gascogne et en mer Celtique. - Laboratoire d'Océanographie Physique, Rapport Scientifique n° 7, convention D.R.M.E., Université de Bretagne Occidentale.
- RIAUX C. 1977- Contribution à l'étude des facteurs déterminant l'évolution de la biomasse phytoplanctonique dans l'estuaire de la Penzé (Nord Finistère). Evolution comparée des phénomènes dans l'eau et les sédiments sous-jacents.- Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Pierre et Marie Curie (Paris VI), 163p.
- ROBINSON G.A. 1961 - Contributions towards a plankton atlas of the northeastern and the North Sea. Part 1 : Phytoplankton. - Bull. Mar. Ecol. 5, 81-89.
- ROBINSON G.A. 1970 - Continuous plankton recorder : variation in the seasonal cycle of phytoplankton in the North Atlantic. - Bull. Mar. Ecol. 6, 333-345.
- RUSSEL F.S., SOUTHWARD A.J., BOALCH G.T. BULTER E.I. 1971 - Changes in biological conditions in the English Channel off Plymouth during the last half century. - Nature, London, 234, 468-470.
- RYTHER J.H. 1969 - Photosynthesis and fish production in the sea. - Science 166, 72-76.



- RYTHER J.H., MENZEL D.W., HULBURT E.M., LORENZEN C.J., CORWIN C.J. 1971 - The production and utilization of organic matter in the Peru coastal current. - *Investig. Pesqu.* 35, 43-60.
- SATHYENDRANATH S. 1981 - Influence des substances en solution et en suspension dans les eaux de mer sur l'absorption et la réflectance. Modélisation et applications à la télédétection. - Thèse de 3e cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, 123 p.
- SCHLITTENHARDT P. 1980 - Report on comparison of chlorophyll *a* analysis in some laboratories. - Commission of the European Communities. Joint Research Center. ISPra.
- SIMPSON J.H. HUNTER J.R. 1974 - Fronts in the Irish Sea. - *Nature*, London, 1250, 404-406.
- SMITH R.C. BAKER K. 1978a - The bio-optical state of ocean waters and remote sensing. - *Limnol. Oceanogr.* 23, 2, 247-259.
- SMITH R.C. BAKER K.S. 1978b - Optical classification of natural waters. - *Limnol. Oceanogr.* 23, 260-267.
- SMITH R.C. BAKER K.S. -1981 - Optical properties of the clearest natural waters (200-800 nm). - *App. Optics* 20, 177-184.
- SMITH R.C. WILSON W.H. 1980 - Ship and satellite bio-optical research in the California bight. - In *Oceanography from space, 1980. Proceedings of the COSPAR/SCOR/IUCRM Symposium, Venice Italy.*
- SMITH R.C. BAKER K.S. 1982a - Oceanic chlorophyll concentrations as determined by satellite (Nimbus-7 Coastal Zone Color Scanner). - *Mar. Biol.* 66, 269-279.
- SMITH R.C. EPPLEY R.W. BAKER K.S. 1982b - Correlation of primary production as measured aboard ship in Southern California coastal waters and as estimated from satellite chlorophyll images. - *Mar. Biol.* 66, 281-288.
- SOUTHWARD A.J. 1962 - The distribution of some plankton animals in the English Channel and approaches. Surveys with the gulf III high speed sampler, 1958-60. - *Jl. Mar. Biol. Ass. U.K.* 42, 275-375.
- SPITZER D. WERNAND M.R. 1981 - Optical measurements in the tropical North Atlantic. - *Oceanol. Acta* 4, 69-75.
- STEELE J.H. 1976 - Patchiness. - In *Ecology of the Sea*, D.H. Cushing and J.J. Walsh (eds), 98-115.

- STEELE J.H. 1978 - Spatial pattern in plankton communities. - Steele J.H. (ed.) Plenum Press, New York.
- STEELE J.H. HENDERSON E.W. 1979 - Spatial patterns in North Sea plankton.- Deep Sea Res. 26, 955-963.
- STEEMANN NIELSEN E.E. 1962 - On the maximum quantity of plankton chlorophyll per surface unit of a lake or the sea. - Int. Revue Ges. Hydrobiol. 47, 333-338.
- STRICKLAND H.D.H. PARSONS T.R. 1972 - A practical Handbook of Seawater Analysis. - Fish. Res. Bd. Canada, Ottawa Bull. 167, 310 p.
- SZEKIELDA K.H. DUVALL J.T. 1976 - Pattern recognition of suspended material. - Cons. Int. Explor. Mer 36, 205-216.
- TANGEN K. 1977 - Blooms of *Gyrodinium aureolum* (Dinophyceae) in North European waters, accompanied by mortality in marine organisms. Sarsia, 63, 123-133.
- TANGEN K. BJORNLAND T. 1981 - Observations on pigments and morphology of *Gyrodinium aureolum* Hulburt, a marine dinoflagellate containing 19' hexanoyloxyfucoxanthin as the main carotenoid. - J. of Plankton Res. 3, 389-401.
- VIOLLIER M. 1976 - Contribution à l'étude du rayonnement rétrodiffusé par l'océan. Application à la télédétection de la chlorophylle.- Thèse de 3e cycle, n° 610, Université de Lille I.
- VIOLLIER M. DESCHAMPS P.Y. LECOMTE P. 1978a - Airborne remote sensing of chlorophyll content under cloudy sky as applied to the tropical waters in the Gulf of Guinea. - Remot. Sensing Environ. 7, 235-248.
- VIOLLIER M. BAUSSART N. LECOMTE P. 1978b - Interprétation de la signature spectrale des eaux marines. - Proceeding of an International Conference on Earth Observation from Space and Management of Planetary Resources. Toulouse, ESA SP-134.
- VIOLLIER M. LECOMTE P. BOUGARD M. RICHARD A. 1978c - Expérience aéroportée de télédétection (température et couleur de l'océan) dans le Détroit du Pas de Calais. - Océanolog. Acta 1, 3, 265-269.
- VIOLLIER M. BAUSSART N. 1979 - Enhancement of Landsat imagery for the monitoring of Coastal waters. Application to the Southern part of the North Sea. - Proceedings of the 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment 23-27 April.

- VIOLLIER M. TANRE D. DESCHAMPS P.Y. 1980a - An algorithm for remote sensing of water color from space. - *Boundary-Layer Meteorology* 18, 247-267.
- VIOLLIER M. BAUSSART N. DESCHAMPS P.Y. 1980b - Preliminary results of CZCS/nimbus 7 experiment for ocean color remote sensing : observation of the Ligurian Sea. - Presented at COSPAR/SCOR/IUCRM Symposium "Oceanography from Space", May 1980, Venice, Italy. 1981. Plenum Press. New York.
- VIOLLIER M. 1980c - Télédétection des concentrations de seston et pigments chlorophylliens contenus dans l'océan. - Thèse d'Etat, n° 503, Université de Lille I.
- VIOLLIER M. BENTLEY D. RICHARD A. 1981 - Etude par télédétection des eaux du littoral Nord/pas de Calais. - Contrat CNEXO n° 80/6259. Rapport final.
- VIOLLIER M. 1981 - Time correction of the radiometric calibration of the CZCS. - Communication to the 18th CZCS NIMBUS Experiment Team (NET) Meeting.
- VIOLLIER M. 1982 - Radiometric calibration of the Coastal Zone Color Scanner on Nimbus 7 : a proposed adjustment. - *Appl. Optics* 21, 1142-1145.
- WAFAR M. 1981 - Sels nutritifs, production primaire, matière organique dissoute et particulaire dans des eaux côtières tempérées brassées (Baie de Morlaix-Manche Occidentale). - Thèse de 3e cycle, Univ. Pierre et Marie Curie (ParisVI), 238 p (en anglais).
- WHITE A.W. 1976 - Growth inhibition caused by turbulence in the toxic marine dinoflagellate *Gonyaulax excavata*. - *J. Fish. Res. Board Can.* 33, 2598-2602.
- WILSON W.H. KIEFER D.A. 1979 - Reflectance spectroscopy of marine phytoplankton. Part 2 A simple model of ocean color. - *Limnol. Oceanogr.* 24 (4), 673-682.
- YENTSCH C.S. MENZEL D.W. 1963 - A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. - *Deep Sea Res.* 10, 221-231.
- YENTSCH C.S. 1973 - Remote sensing for productivity in pelagic fisheries. - *Nature* 244, 307-308.
- YENTSCH C.S. 1979 - Biochemical factors associated with remote sensing of color change and fluorescence. - Copyright 1979 by Elsevier North Holland, Inc.. Taylor : Seliger, eds. *Toxic Dinoflagellates Blooms* 505 p. pp. 297-302.

ANNEXES

ANNEXE ILOCALISATION DES STATIONSCAMPAGNE JOHN MURRAY I : 25-26-27 mars 1981

Stations	Positions		Date	Heure TU	Remarques Etat de la mer
	Nord	Ouest			
Plymouth Sound			25 mars	11h20 → 18h	/
M <sub>1</sub>	50°15'	4°09'	26 mars	8h33	Forte houle
M <sub>2</sub>	50°06'5	4°08'	26 mars	10h14	" "
M <sub>3</sub>	49°57'5	4°07'	26 mars	13h55	" "
M <sub>4</sub>	49°48'5	4°05'5	26 mars	14h33	" "
M <sub>5</sub>	49°40'	4°04'5	26 mars	15h11	" "
M <sub>6</sub>	49°31'5	4°03'	26 mars	16h27	" "
M <sub>7</sub>	49°14'	4°01'	26 mars	18h03	" "
M <sub>1</sub>	/	/	27 mars	7h20	" "

CAMPAGNE PLUTEUS 1 : 28 avril 1981

Stations	Positions		Date	Heure TU	Remarques Etat de la mer
	Nord	Ouest			
P <sub>11</sub>	48°49'	3°57'5	28 avril	11h05	Agitée
P <sub>10</sub>	48°56'5	3°58'5	28 avril	13h20	"
P <sub>7</sub>	49°22,5	4°02'	28 avril	17h20	Très agitée



CAMPAGNES PLUTEUS 2 : 15-16 juin 1981

Stations	Positions		Date	Heure TU	Remarques	
	Nord	Ouest			Vent	Etat de la mer
P <sub>12</sub> Astan			15 juin	13h50	NW	3
P <sub>11</sub>	48°48'5	4°10'	15 juin	16h00	"	"
P <sub>10</sub>	48°51'2	4°22'	15 juin	18h13	"	"
P <sub>10</sub>	/	/	16 juin	13h40	"	"
P <sub>9</sub>	48°54'	4°33'	16 juin	11h55	NNW	Agitée 4
P <sub>8</sub>	48°57'2	4°45'	16 juin	10h00	"	"
P <sub>7</sub>	49°00	4°56'5	16 juin	08h00	"	"
P <sub>6</sub>	49°02'5	5°08'5	16 juin	06h00	N	Agitée

CAMPAGNE PLUTEUS 3 : 10 juillet 1981

Stations	Positions	Date	Heure TU	Remarques
P <sub>12</sub>	/	10 juillet	8h	/

CAMPAGNE JOHN MURRAY 2:15-16-17 juillet 1981

Stations	Positions		Date	Heure TU	Remarques	
	Nord	Ouest			Vent	Etat de la mer
J <sub>1</sub>	50°15	4°09'	15 juin	10h36 13h05 14h35	Faible	Calme
J <sub>2</sub>	50°06'5	4°08'	16 juin	7h25	"	"
J <sub>3</sub>	49°57'5	4°07'	16 juin	9h02	"	"
J <sub>4</sub>	49°48'5	4°05'5	16 juin	10h15	"	"
J <sub>5</sub>	49°40'	4°04'5	16 juin	11h45	"	"
J <sub>6</sub>	49°31'5	4°03'	16 juin	12h56	"	"
J <sub>7</sub>	49°22'5	4°02'	16 juin	14h26	"	"
J <sub>8</sub>	49°14'	4°01'	16 juin	15h44'	"	"
J <sub>9</sub>	49°05'	3°59'5	16 juin	17h20	"	"
J <sub>10</sub>	48°56'5	3°58'5	16 juin	18h38	"	"
J <sub>11</sub>	48°49'	3°57'5	16 juin	20h02	"	"
J <sub>9-1</sub>	/	/	17 juin	7h21	/	Houle
J <sub>9-2</sub>	/	/	17 juin	10h04	"	"
J <sub>9-3</sub>	/	/	17 juin	12h51	"	"
J <sub>10</sub>	/	/	17 juin	14h21	"	"
J <sub>11</sub>	/	/	17 juin	16h45	"	"

ANNEXE IIETUDE COMPAREE DE L'ECHANTILLONNAGE DU PHYTOPLANCTON DIRECTEMENT AU SEAU ET A LA POMPE A INCENDIE

Dans le but de vérifier que le prélèvement de l'eau à la pompe du Ferry, utilisée à partir du 6 août 80, ne modifiait pas de façon importante l'échantillonnage du phytoplancton, nous avons comparé les densités cellulaires de l'eau de mer prise au seau et à la pompe, ceci pour 2 échantillons A et B. Les résultats sont présentés au tableau II-1.

	Echantillon A		Echantillon B	
	Pompe	Seau	Pompe	Seau
Nombre total de cellules/ml	191	127	200	182
PERIDINIENS %	48.6	65	63	67
DIATOMEES %	.5	6.7	12	9
<i>G. aureolum</i> %	2	6	11	8.7

Tableau II-1 - Variation du phytoplancton pour 2 échantillons A et B, pris à la pompe et au seau, le 6 août 80.

L'échantillonnage à la pompe à incendie ne change pas la composition des deux échantillons de façon importante.

Les biomasses de 30 échantillons prélevés simultanément à la pompe et au seau sont également comparées deux à deux au tableau II-2 pour la radiale du 6 août 80 .

Distance de Roscoff (km)	Echantillon	Chl <u>a</u> (Ech. S) Mg.m <sup>-3</sup>	Chl <u>a</u> (Ech. P) mg.m <sup>-3</sup>
20	1	0,36	0,45
25	2	0,36	0,30
35	3	0,30	0,36
45	4	0,36	0,30
60	5	0,54	0,78
65	6	3,8	3,00
70	7	2,6	2,70
85	8	2,16	2,22
100	9	1,6	1,80
105	10	2,64	2,52
115	11	2,30	2,10
130	12	2,52	3,0
145	13	3,60	3,0
150	14	2,70	3,0
165	15	2,94	3,0

Equation droite  
de régression  
chl a (S)=0,87  
chl a P+0,32  
r = 0,974

Tableau II-2 - Comparaison des concentrations en chlorophylle des échantillons prélevés au seau et à la pompe.

On obtient une corrélation significative entre les deux types de valeurs ( $r = 0,974$  significatif à 99,9 %). Le mode de prélèvement d'eau à l'aide de la pompe à incendie n'induit donc pas de modification de l'échantillonnage.





ANNEXE IIIMETHODES DE TRAITEMENTS ET D'ANALYSES EMPLOYES - PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Pour chaque paramètre étudié, les modes de traitement de conservation des échantillons et les méthodes d'analyse ultérieure en laboratoire sont détaillés.

1 - Température

Elle a été mesurée au cours du trajet car-ferry dès la prise d'eau au seau, (pour les premières radiales), où juste à l'arrivée d'eau de la pompe. On a utilisé selon les cas :

- un thermomètre de précision  $\pm 0,1^\circ \text{C}$
- une sonde thermique KENT EIL (précision  $\pm 0,1^\circ \text{C}$ ).

Lors des campagnes, on a utilisé soit la sonde thermique KENTEIL (Pluteus), soit un système C.T.D. appartenant à l'I.M.E.R. de Plymouth (John Murray), ou encore la sonde thermique du radiomètre multispectral. Les écarts de température pouvant provenir de l'utilisation de divers instruments ont été corrigés.

Dans le cas d'un milieu thermiquement homogène (Station  $M_6$ ), on n'observe aucun problème de mesure. Par contre, dans le cas d'un milieu stratifié, l'inertie du capteur peut provoquer une différence des profils à la descente où à la remontée (station  $J_9$ , figure I, annexe V).

2 - Salinité

Les échantillons d'eau de mer recueillis ont été conservés dans des canettes de verre hermétiquement bouchées. Les mesures ont été effectuées sur un salinomètre à induction, type Guildline AUTOSAL modèle 8400.

### 3 - Charge particulaire (d'après RIAUX, 1977)

Pour l'analyse de la charge particulaire, on a filtré 1 à 2 litres d'eau de mer sur des membranes Millipore, de 4,7 cm de diamètre, et de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosité, préalablement pesées comme suit :

- passage à l'étuve à 60° C pendant 12 heures
- pesée de séries de 6 filtres dans un ordre constant de manière à éviter toute augmentation artificielle de poids par absorption d'humidité, incluant des blancs. Après manipulation, on repèse les filtres repassés à l'étuve (12 h) dans le même ordre qu'avant utilisation. La correction de blanc est effectuée (STRICKLAND et PARSONS, 1972).

### 4 - Turbidité néphélométrique

L'eau de mer est recueillie dans des bouteilles en plastique de 125 ml, rincées plusieurs fois à l'eau distillée. La néphélométrie a été mesurée au laboratoire du C.O.B.\* (Laboratoire Mr A. Aminot) sur un instrument HACH, les échantillons ayant été stockés au frais pendant 12 heures au maximum.

### 5 - Oxygène dissous

L'eau de mer est transvasée (élimination de bulles) dans des flacons de verre de volume 100 ml. L'ajout des réactifs est immédiat (sulfate de manganèse, puis solution de iodure alcaline). L'oxygène dissous est mesuré par titration après acidification avec l'acide sulfurique concentré, par une solution de thiosulfate.

Les sursaturations sont ensuite calculées, à l'aide des données de température et de salinité.

### 6 - Ammoniaque

L'eau est recueillie dans des flacons de verre sombre de volume 100 ml. La concentration en ammoniaque est mesurée par la méthode de l'Indophénol. L'absorption se mesure au spectrophotomètre BECKMAN.

---

\* Centre Océanologique de Bretagne.

7 - Dosage des sels nutritifs

Les échantillons ont été recueillis dans des flacons en polyéthylène de 100 ml et congelés à bord à - 20° C dès la fin du prélèvement pour une analyse ultérieure au laboratoire. Les mesures sont effectuées sur deux chaînes d'analyse automatique Technicon indépendantes, nitrates et silicates d'une part, nitrites et phosphates d'autre part. Deux flacons ont été recueillis à chaque profondeur.

Les analyses ont été faites par le Laboratoire de Chimie Marine de l'U.B.O.\* de Monsieur P. LE CORRE.

Il existe probablement quelques problèmes de conservation des échantillons (quelques mois), de prélèvement ou d'analyse (pollution accidentelle).

Les teneurs en nitrates semblent surestimées de façon générale. En conséquence, les résultats de la campagne Pluteus et des radiales 1981 seront surtout considérés comme valeurs relatives.

---

\* Université de Bretagne Occidentale

ANNEXE IVPARAMETRES BIOLOGIQUES : PIGMENTS ET COMPTAGES PHYTOPLANCTONIQUES1 - Chlorophylle a et phéopigments

Le dosage des pigments a été effectué selon la méthode fluorimétrique de YENTSCH et MENZEL, 1963, décrite par STRICKLAND et PARSONS, (1972). Nous avons procédé comme suit :

- filtration d'un volume d'eau de mer variant de 250 ml à 1 litre, suivant la période (100ml lors de la floraison intense),
- utilisation de filtres Whatmann GF/C en fibre de verre de 4,7 cm de diamètre, et 0,45  $\mu$ m de maille de feutrage.
- congélation immédiate du filtre à - 20° C.

On a procédé à des séries de double échantillonnage.

Au laboratoire, au cours de la même semaine, les filtres sont traités de la façon suivante :

- broyage fin dans 5 cc d'acétone à 90 %
- mise à l'obscurité et au froid pendant 1 h.

Puis, on mesure la fluorescence des extraits au fluorimètre TURNER 111. Immédiatement après, on acidifie l'extrait par quelques gouttes d'Hcl 1 N et on fait une deuxième lecture après le déplacement du disque gradué.

On calcule alors les concentrations de chlorophylle a et des phéopigments à l'aide des équations de LORENZEN (1966), en tenant compte des coefficients de calibration du fluorimètre.

Incertitude de mesure

Pour les valeurs inférieures à 10 mg/m<sup>3</sup>, j'ai calculé en procédant à un double échantillonnage sur 100 points une incertitude relative de mesure de 20 %(valeur maximale).

### Problèmes d'intercalibration

Dans la mesure où l'on désire comparer des résultats de chlorophylle a provenant de laboratoires différents, on se doit de comparer les résultats des calibrations. Un tel programme d'intercalibration a d'ailleurs été initié pour le projet Eurasep (SCHLITTENHARDT, 1980), Joint Research Centre -ISPRA). Un facteur 7 existe à l'heure actuelle entre les données de différents laboratoires européens.

Une comparaison entre les mesures du Laboratoire de l'I.M.E.R. et celles effectuées à la Station Biologique de Roscoff a montré qu'il existait un facteur 0,6 entre les deux séries de valeurs. De manière à rendre possible une comparaison entre les résultats des différents laboratoires I.M.E.R., M.B.A., Roscoff, nous avons corrigé nos valeurs par ce facteur.

### 2 - Fluorimétrie en continu

Plusieurs enregistrements de fluorescence en continu des eaux de surface ont été réalisés. Pour ce faire, nous avons mis en relation un fluorimètre TURNER avec l'arrivée d'eau continu (car-ferry, John-Murray, Pluteus) du système de pompage.

Des échantillons ont été d'autre part prélevés à intervalles de temps régulier, de manière à calibrer le signal obtenu.

### 3 - Comptages et déterminations du phytoplancton

Les échantillons d'eau de mer non filtrés sont recueillis dans des piluliers de verre, de volume 125 ml, contenant 2,5 ml de lugol acide destiné à la fixation des cellules.

L'échantillon peut être conservé quelques mois. Au moment du comptage, il est agité délicatement de nombreuses fois, et transvasé dans la cuve à sédimentation (50 ml). La sédimentation dure 20 heures, puis on procède aux déterminations et au comptage, à l'aide d'un microscope inversé de type DIAVERT.

En général, la densité de nos échantillons nous permet de ne compter que deux diamètres perpendiculaires du fond de cuve, excepté en période de rareté du phytoplancton. où des demi-fonds de cuve étaient alors observés.

Les déterminations ont été faites grâce à Monsieur J.R. GRALL et à l'équipe Hydrobiologie de la S.B.R.\*. Quelques conseils m'ont été donnés par les Dr.P.C. REID et G.ROBINSON de l'I.M.E.R.▲ de Plymouth et Dr. BOALCH (M.B.A.△).

J'ai utilisé également les documents suivants : pour les déterminations : LEBOUR (1930).

Les résultats des comptages cellulaires sont présentés sous forme de tableaux aux pages suivantes. On a regroupé l'évolution saisonnière de chaque secteur, stratifié en 81, frontal en 80 et 81, puis brassé et stratifié en 1981.

Pour les photographies des fonds de cuve, on a procédé de la façon suivante pour chaque échantillon :

- volume de sédimentation identique : 50 cc
- grossissement constant : x 40.

Quelques photographies sont présentées aux pages suivantes, à de plus forts grossissements, et aux mêmes agrandissements.

---

\* Station Biologique de Roscoff.

▲ Institute for Marine Environmental Research, Plymouth

△ Marine Biological Association, Plymouth



Echantillon d'eau de surface (5m) prélevé lors de la radiale du 5 août 81. Grossissement : x 160. On observe notamment l'espèce *G. aureolum* (1) et le genre *Ceratium* sp. (2).



Echantillon d'eau de surface (1m) prélevé lors de la campagne Pluteus des 15 et 16 juin 81, à la station 6.

Grossissement : x 80. On peut distinguer un grand nombre d'individus de l'espèce *N. delicatissima* (1), d'une Cryptophycée (2), et d'une Diatomée indéterminée (3).

Planche IV-1- Remarque: les différences de forme, de volume cellulaire entre les Dinoflagellés, responsables des floraisons d'août 80 et 81 (à raison de 1100c/ml), et les Diatomées, espèces dominantes des poussées de juin 81 (1060c/ml) apparaissent nettement sur ces photographies (voir paragraphe IV-1-1-3)

IV-5  
SECTEUR STRATIFIÉ 80

Espèces	Date et distance de Roscoff		17 mai	17 mai	11 juin	2 juil	6 août	6 août	26 août
	120 km	150 km	120 km	150 km	120 km	120 km	130 km	130 km	135 km
PERIDINIENS									
Gymnodinides		2	22	64	2	35	49		
<i>Gyrodinium aureolum</i>			0,2	3	285	352	12		
<i>Prorocentrum micans</i>				2					
Autres péridiniales		2	24	11		3	4		
<i>Peridinium</i> sp.		0,7					0,7		
<i>Gonyaulax</i> sp.									
<i>Ceratium fusus</i>							0,3		
<i>Ceratium lineatum</i>						1	0,3		
<i>Ceratium</i> sp.						2	2	0,7	
<i>Dinophysis</i> sp.									
<i>Noctiluca</i> sp.									
Péridiniens <10µ	15	52	214	343	28	16	112		
DIATOMEES									
<i>Cerataulina pelagica</i>									
<i>Chaetoceros decipiens</i>							2		
<i>Chaetoceros</i> sp.	2	2	5						
<i>Coscinodiscus</i> sp.	2					0,3			
<i>Ditylum brightwellii</i>		0,2							
<i>Lauderia borealis</i>					0,5				
<i>Leptocylindrus danicus</i>					4				
<i>Paralia sulcata</i>		1							
<i>Rhizosolenia delicatula</i>					0,5	5	9	0,7	
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>									
<i>Rhizosolenia alata</i>			1	1	6				
<i>Rhizosolenia semispina</i>	1			8	2			0,4	
<i>Rhizosolenia styliiformis</i>									
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>									
<i>Rhizosolenia</i> sp.									
<i>Skeletonema costatum</i>									
<i>Thalassiosira condensata</i>		0,2							
Autres centriques	0,2	0,7							
<i>Asterionella japonica</i>									
<i>Navicula</i> sp.	0,7	3							
<i>Nitzschia delicatissima</i>			3	9			2		
<i>Nitzschia seriata</i>		0,2					0,3		
<i>Nitzschia closterium</i>	2	5		15	2				
<i>Nitzschia</i> sp1									
<i>Pennale</i> sp1									
<i>Pleurosigma</i> sp.		0,2							
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	5	1	0,5						
CHLOROPHYCEES									
CRYPTOPHYCEES									
HAPTOPHYCEES									
MICROZOOPLANCTON									
Tintinnides + nauplii	28	9	4	3	1				
Ciliés				1			12	2	
TOTAL PERIDINIENS	15	56	260	423	318	409	179		
TOTAL DIATOMEES	12	14	19	32	14	14	2		
TOTAL PHOTOSYNTHETIQUES	30	103	282	513	355	423	211		

Tableau IV-1: Evolution quantitative des principales espèces du phytoplancton en secteur stratifié au cours de l'année 1980;

Valeurs exprimées en nombre de cellules par ml.



## SECTEUR STRATIFIÉ 81

Espèces	Date et distance de Roscoff	2 juil 140 km	5 août 140 km	5 août 150 km	5 août 160 km	20 août 160 km
PERIDINIENS						
Gymnodinides		6	432	154	167	83
<i>Gyrodinium aureolum</i>		205	1100	675	713	409
<i>Prorocentrum micans</i>		6	1	1,4	0,7	2,1
Autres péridiniales		31			6	
<i>Peridinium</i> sp.			1	0,7		1
<i>Gonyaulax</i> sp.						
<i>Ceratium fusus</i>		5	0,3			
<i>Ceratium lineatum</i>		79	2			
<i>Ceratium</i> sp.		0,8		0,7		
<i>Dinophysis</i> sp.		2	2			1,8
<i>Noctiluca</i> sp.			1,2	3,8	2,2	
Péridiniens <10 µ		138				
DIATOMEES						
<i>Cerataulina pelagica</i>						
<i>Chaetoceros decipiens</i>						
<i>Chaetoceros</i> sp.		54				1,4
<i>Coscinodiscus</i> sp.						
<i>Ditylum brightwellii</i>						
<i>Lauderia borealis</i>						
<i>Leptocylindrus danicus</i>						40,4
<i>Paralia sulcata</i>						
<i>Rhizosolenia delicatula</i>		1	30			
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>						
<i>Rhizosolenia alata</i>		2,1				
<i>Rhizosolenia semispina</i>						
<i>Rhizosolenia styliiformis</i>						
<i>Rhizosolenia staltergothii</i>						
<i>Rhizosolenia</i> sp.						
<i>Skeletonema costatum</i>						
<i>Thalassiosira condensata</i>						
Autres centriques					1,4	
<i>Asterionella japonica</i>						
<i>Navicula</i> sp.						
<i>Nitzschia delicatissima</i>		2,5				19,2
<i>Nitzschia seriata</i>		0,7	0,3		1,4	4
<i>Nitzschia closterium</i>		3			0,7	8
<i>Nitzschia</i> sp1						
Pennale sp1						
<i>Pleurosigma</i> sp.						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		0,8				
CHLOROPHYCEES						
CRYPTOPHYCEES						
HAPTOPHYCEES						
MICROZOOPLANCTON						
Tintinnides + nauplii						
Ciliés		0,4				
TOTAL PERIDINIENS		471	1540	835	891	498
TOTAL DIATOMEES		71	30		3	73
TOTAL PHOTOSYNTHETIQUES		542	1570	835	894	571

Tableau IV-4: Evolution quantitative des principales espèces du phytoplancton en secteur stratifié au cours de l'année 1981.

Valeurs en nombre de cellules par ml.

IV-7  
SECTEUR BRASSE 81

Espèces	Date et distance de Roscoff	28 avril	22 juin	22 juin	22 juin	2 juil	2 juil	10 jt	10 jt	5 août	5 août	20 août	20 août
		16 km st 11-1	60 km st 8-0	32 km st 10-0	16 km st 11-0	10 km	Centre	3 km st 12-5	16 km st 11-0	10 km	80 km	40 km	90 km
PERIDIINIENS													
Gymnodinides			12	28	2,8		0,4		7,2	0,3		15	18
<i>Gyrodinium aureolum</i>			2,1	2		2	1,4	0,7		195	1133	91	6
<i>Prorocentrum micans</i>			0,4			1	0,4		0,7		3		
Autres péridiniales	2		56	89	51	2,5	10	3	13				
<i>Peridinium</i> sp.													
<i>Gonyaulax</i> sp.													
<i>Ceratium fusus</i>										0,3	0,3		
<i>Ceratium lineatum</i>							1,8			1	3		
<i>Ceratium</i> sp.													
<i>Dinophysis</i> sp.			1,8	2,8									
<i>Noctiluca</i> sp.													
Péridiniens <10 µ			202	232	197	2,1	26	70	71,7				
DIATOMEES													
<i>Cerataulina pelagica</i>	0,3						2		3	1			
<i>Chaetoceros decipiens</i>													
<i>Chaetoceros</i> sp.	3			0,7		74	43	455	420	4		5	6
<i>Coscinodiscus</i> sp.	4									0,3			
<i>Ditylum brightwellii</i>	0,3							1					
<i>Lauderia borealis</i>	5					4	2						
<i>Leptocylindrus danicus</i>							0,7	8					8
<i>Paralia sulcata</i>						2				1			
<i>Rhizosolenia delicatula</i>		0,3				1	18	17	7,2	6		1	
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>							32	3					
<i>Rhizosolenia alata</i>								0,7	2	3		1	
<i>Rhizosolenia semispina</i>													
<i>Rhizosolenia styliiformis</i>													
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	2							2		1			
<i>Rhizosolenia</i> sp.													
<i>Skeletonema costatum</i>								7	4				
<i>Thalassiosira condensata</i>													
Autres centriques	3						1					1	
<i>Asterionella japonica</i>		1											
<i>Navicula</i> sp.	0,3	0,7	0,7			2	1,4	1	1			0,3	
<i>Nitzschia delicatissima</i>			0,7			184	99	11	3				
<i>Nitzschia seriata</i>			0,7			7,6	0,5	123	8	1		1	3
<i>Nitzschia closterium</i>			0,7						2,1			+	1
<i>Nitzschia</i> sp1	1	1											
Pennale sp1							0,4			0,3		0,3	
<i>Pleurosigma</i> sp.													
<i>Thalassionema nitzschioides</i>			1,4	0,7		3		10	35	2		3	25
CHLOROPHYCEES													
CRYPTOPHYCEES													
HAPTOPHYCEES													
MICROZOOPLANCTON													
Tintinnides + nauplii							0,4						
Ciliés	2,5			25	28		0,4		2	16			
TOTAL PERIDIINIENS	2	275	353	250	9	37	75	94	198	1140	108	24	
TOTAL DIATOMEES	18	6	5	279	208	640	482	20	12	21			
TOTAL PHOTOSYNTHETIQUES	20	281	358	250	288	245	715	576	218	1140	120	45	

Tableau IV-3: Evolution quantitative des principales espèces du phytoplancton en secteur brassé au cours de l'année 1981.  
Valeurs en nombre de cellules par ml.

## SECTEUR STRATIFIE 81

Espèces	Date et distance de Roscoff	2juilt	5août	5août	5août	2août
		140km	140km	150km	160km	160km
PERIDIINIENS						
Gymnodinides		6	432	154	167	83
<i>Gyrodinium aureolum</i>		205	1100	675	713	409
<i>Prorocentrum micans</i>		6	1	1,4	0,7	2,1
Autres péridiniales		31			6	
<i>Peridinium</i> sp.			1	0,7		1
<i>Gonyaulax</i> sp.						
<i>Ceratium fusus</i>		5	0,3			
<i>Ceratium lineatum</i>		79	2			
<i>Ceratium</i> sp.		0,8		0,7		
<i>Dinophysis</i> sp.		2	2			1,8
<i>Noctiluca</i> sp.			1,2	3,8	2,2	
Péridiniens <10 µ		138				
DIATOMEES						
<i>Cerataulina pelagica</i>						
<i>Chaetoceros decipiens</i>						
<i>Chaetoceros</i> sp.		54				1,4
<i>Coscinodiscus</i> sp.						
<i>Ditylum brightwellii</i>						
<i>Lauderia borealis</i>						
<i>Leptocylindrus danicus</i>						40,4
<i>Paralia sulcata</i>						
<i>Rhizosolenia delicatula</i>		1	30			
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>						
<i>Rhizosolenia alata</i>		2,1				
<i>Rhizosolenia semispina</i>						
<i>Rhizosolenia styliiformis</i>						
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>						
<i>Rhizosolenia</i> sp.						
<i>Skeletonema costatum</i>						
<i>Thalassiosira condensata</i>						
Autres centriques					1,4	
<i>Asterionella japonica</i>						
<i>Navicula</i> sp.						
<i>Nitzschia delicatissima</i>		2,5				19,2
<i>Nitzschia seriata</i>		0,7	0,3		1,4	4
<i>Nitzschia closterium</i>		3			0,7	8
<i>Nitzschia</i> sp1						
<i>Pennale</i> sp1						
<i>Pleurosigma</i> sp.						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		0,8				
CHLOROPHYCEES						
CRYPTOPHYCEES						
HAPTOPHYCEES						
MICROZOOPLANCTON						
Tintinnides + nauplii						
Ciliés		0,4				
TOTAL PERIDIINIENS		471	1540	835	891	498
TOTAL DIATOMEES		71	30		3	73
TOTAL PHOTOSYNTHETIQUES		542	1570	835	894	571

Tableau IV-4: Evolution quantitative des principales espèces du phytoplancton en secteur stratifié au cours de l'année 1981.

Valeurs en nombre de cellules par ml.

## RESULTATS

Les résultats des analyses physico-chimiques et biologiques se trouvent regroupés sous forme de tableaux aux pages suivantes:

**1- pour les différentes campagnes**

on exprimera les données avec les unités suivantes: pigments ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), turbidité ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), sels nutritifs et ammoniacale ( $\mu\text{atg}/\text{l}$ ), oxygène dissous ( $\text{ml}/\text{l}$ ).

**2- pour les différents trajets " car-ferry " aller ( et retour si celui-ci a été effectué)**

On trouvera depuis l'heure de départ de Roscoff ( pour l'aller) ou depuis l'heure de départ de Plymouth (pour le retour) la liste complète des prélèvements et des données: température ( $^{\circ}\text{C}$ ), chlorophylle et phéopigments ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), turbidité notée soit " turb 1", c'est à dire mesure néphélométrique ( unité N.T.U.) soit " turb 2 " c'est à dire poids sec de particules ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

Un deuxième tableau présente les valeurs des teneurs en sels nutritifs ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{SiO}_4$ ,  $\text{PO}_4$  et  $\text{NO}_2$ ) en  $\mu\text{atg}/\text{l}$ .

Un dernier tableau donne les coordonnées relevées par le Bord, qui ont servi à retrouver la position des points de prélèvement sur la radiale.

On trouvera les graphiques des radiales aller à la suite des tableaux, sous cette forme:

- en haut: température de surface ( $^{\circ}\text{C}$ )
- au centre: chlorophylle et phéopigments de surface ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- en bas: teneurs en sels nutritifs ( $\mu\text{atg}/\text{l}$ )

A la suite d'intercalibrations avec les Laboratoires de l'I.M.E.R. et du M.B.A. de Plymouth réalisés par la Station Biologique de Roscoff, nous avons été amenés à corriger nos valeurs de concentrations en chlorophylle d'un facteur 0.6 . Cette correction est incluse dans les tableaux de données et sur les coupes résultant des campagnes Pluteus et John Murray, mais par sur les graphiques "car-ferry".

STATION	PROF	CHLORO	PHEO	TURB	C/P	C+P
M 1	5	0.60	0.41		1.46	1.01
	10	0.65	0.40		1.62	1.05
	20	0.70	0.37		1.88	1.07
M 2	5	1.90	0.47		4.03	2.37
	10	1.69	0.35		4.82	2.04
	20	1.48	0.47		3.14	1.95
	30	1.48	0.35		4.22	1.83
	40	1.48	0.59		2.50	2.07
M 3	5	0.54	0.23		2.35	0.77
	10	0.49	0.23		2.14	0.72
	20	0.42	0.23		1.83	0.65
	30	0.48	0.23		2.09	0.71
	40	0.42	0.23		1.83	0.65
M 4	5	0.56	0.23		2.45	0.79
	10	0.49	0.23		2.14	0.72
	20	0.42	0.23		1.83	0.65
	30	0.42	0.23		1.83	0.65
	40	0.49	0.23		2.14	0.72
M 5	5	0.49	0.23		2.14	0.72
	10	0.42	0.23		1.83	0.65
	20	0.35	0.12		2.95	0.47
	30	0.35	0.12		2.95	0.47
	40	0.28	0.23		1.23	0.51
M 6	5	1.13	0.12		9.40	1.25
	10	0.56	0.23		2.45	0.79
	20	0.35	0.23		1.54	0.58
	30	0.28	0.23		1.23	0.51
	40	0.35	0.23		1.54	0.58
H 7	5	0.77	0.23		3.37	1.00
	10	0.56	0.23		2.45	0.79
	20	0.56	0.23		2.45	0.79
	30	0.56	0.23		2.45	0.79
	40	0.42	0.23		1.83	0.65

JOHN MURRAY 25-26 MARS 1981



STATION	PROF	CHLORO	PHED	TURB	C/P	C+P
P12	0	0.22	0.27		0.82	0.49
	5	0.33	0.29	1.45	1.14	0.62
	10	0.40	0.49		0.82	0.89
	20	0.68	0.25		2.71	0.93
P11	0	0.77	0.19		4.04	0.96
	5	1.12	0.20	1.80	5.58	1.32
	10	1.08	0.88		1.23	1.96
	20	0.80	0.44		1.81	1.24
	30	0.39	0.27		1.44	0.66
	70	0.20	0.18		1.13	0.38
P 10	0	1.09	0.15		7.28	1.24
	5	1.07	0.55	0.97	1.94	1.62
	10	0.29	0.28		1.03	0.57
	20	0.27	0.21		1.29	0.48
	30	0.40	0.01			0.41
	50	0.26	0.22		1.17	0.48
	70	0.29	0.25		1.18	0.54
P 9	0	0.85	0.20		4.23	1.05
	5	0.67	0.23	1.03	2.92	0.90
	10	0.77	0.07	1.53	11.06	0.84
	20	0.76	0.29	1.48	2.61	1.05
	30	0.32	0.14		2.27	0.46
	50			1.58	0.60	
100			5.03	0.60		
P 8	0	1.05	0.38	2.92	2.76	1.43
	5	1.56	0.17	2.43	9.78	1.83
	10	0.56	0.16	5.57	3.49	0.72
	20	0.31	0.26	1.32	1.18	0.57
	30			1.17	0.60	
	40					
P 7	0	1.99	0.05	2.02	39.80	2.04
	15	0.49	0.26		1.89	0.75
	30	0.28	0.23	1.92	1.20	0.51
P 6	0	1.20	0.50		2.40	1.70

PLUTEUS 15-16 JUIN 1981



## CAMPAGNE PLUTEUS 15-16 JUIN 1981

## DONNEES PHYSICOCHIMIQUES

STATIONS	NITRATES	NITRITES	SILICATES	PHOSPHATES	AMMONIAQUE	OXYGENE
P12 0m	5.8	.21	5.08	.09	.9	6.78
5m	8.4	.16	5.53	.17	.9	6.82
10m	13.5	.03	5.44	.02	.9	6.86
20m	7.4	.23	4.46	.16	.9	6.52
30m	3.5	-	2.47	-	.8	6.47
P11 0m	7.7	.19	5.17	.27	.7	6.48
5m	9.2	.15	5.35	.16	.6	6.48
10m	8.9	.34	5.35	.29	.6	6.48
20m	6.6	.36	4.50	.32	.8	6.31
30m	4.6	.41	3.16	.45	1.1	6.24
70m	10.6	.26	5.80	.12	1.3	6.18
P10 0m	8.9	.19	5.08	.17	.6	6.49
5m	12.2	.20	6.25	.29	.6	6.55
10m	22.2	.55	10.80	.26	1.2	6.15
20m	6.4	.24	5.08	.27	1.1	6.17
30m	14.1	.50	7.14	.27	1.1	6.13
50m	10.6	.41	4.64	.26	1.2	6.16
70m	13.1	.24	4.91	.19	1.1	6.17
P 9 0m	1.3	.26	3.80	.16	0	6.38
5m	1.8	.18	1.60	.22	0	6.36
10m	28.5	.77	10.62	1.28	0	6.39
20m	5.4	.13	2.94	.19	0	7.47
50m	2.8	.23	3.12	.29	0	6.15
P 8 0m	3.2	.15	2.05	.39	0	6.54
5m	1.0	.14	3.92	.29	0	6.57
10m	8.3	.10	4.28	.27	-	6.52
20m	2.2	.23	2.85	.37	-	6.23
40m	1.3	-	1.16	-	0	-
70m	-	-	-	-	-	6.19
P 7 0m	11.6	-	6.81	-	.3	6.90
15m	7.4	-	3.84	-	.2	6.23
30m	8.8	-	4.82	-	-	6.15
P 6 0m	.4	-	1.28	-	0	6.90
10m	-	-	-	-	0	-
30m	-	-	-	-	.1	-



STATION	PROF	CHLORO	PHEO	TURB	C/P	C+P
J1 1	0	0.72	0.04	1.95	18.00	0.76
	5	0.74	0.38	1.30	1.96	1.12
	10	2.10	1.45	0.95	1.45	3.55
	15	0.96	0.58	0.95	1.66	1.54
	20	0.90	0.68	0.90	1.32	1.58
	30	0.90	1.08	0.84	0.83	1.98
J 2	0	7.80	2.30	8.25	3.39	10.10
	5	5.40	1.23	5.68	4.39	6.63
	10	16.20	3.32	5.68	4.88	19.52
	15	2.10	0.66	3.25	3.18	2.76
	20	1.98	0.65	1.63	3.05	2.63
	30	3.06	0.75		4.08	3.81
J 3	0	12.30	2.30		5.35	14.60
	5	11.40	2.05		5.56	13.45
	10	10.20	2.30		4.43	12.50
	15	9.60	2.35		4.09	11.95
	20	3.00	0.90		3.33	3.90
	30	3.60	0.95		3.79	4.55
J 4	0	15.00	3.68	2.50	4.08	18.68
	5	12.00	3.07	5.15	3.91	15.07
	10	9.60	2.77	5.20	3.47	12.37
	15	6.60	2.70	3.35	2.44	9.30
	20	4.62	1.16		3.98	5.78
J 5	0	21.00	3.62		5.80	24.62
	5	24.00	1.95		12.31	25.95
	10	18.00	2.55		7.06	20.55
	15	12.60	2.83		4.45	15.43
	20	3.60	0.78		4.62	4.38
	30	5.40	1.85		2.92	7.25
J 6	0	27.00	12.10	7.30	2.23	39.10
	5	16.20	40.90	4.10	0.40	57.10
	10	7.56	5.55	5.90	1.36	13.11
	15	5.40	0.90	5.90	6.00	6.30
	20	1.56	2.64	2.53	0.59	4.20
	30	0.60	0.60		1.00	1.20
J 7	0	13.80	0.60		23.00	14.40
	5	12.60	2.14		5.89	14.74
	10	10.20	1.97		5.18	12.17
	15	16.20	0.32		50.63	16.52
	20	0.60	0.27		2.22	0.87
J 8	0	3.60	0.52	2.86	6.92	4.12
	5	3.00	0.57	2.00	5.26	3.57
	10	3.42	0.43	3.73	7.95	3.85
	15	2.28	0.07	5.00	32.57	2.35
	20	0.78	0.13	2.26	6.00	0.91
	30	0.54	0.14		3.86	0.68

JOHN MURRAY 15-16 JUILLET 1981





J 9	0	0.96	0.26		3.69	1.22
	5	0.84	0.17		4.94	1.01
	10	0.60	0.20		3.00	0.80
	15	1.38	1.98		0.70	3.36
	20	2.82	0.36		7.83	3.18
	30	1.62	2.23		0.73	3.85
J 10	0	0.75	0.76	5.00	0.99	1.51
	5	0.72	0.72	1.61	1.00	1.44
	10	1.74	1.24	2.11	1.40	2.98
	15	2.70	1.41	1.73	1.91	4.11
	20	3.12	2.00	2.20	1.56	5.12
	30	3.18	2.78		1.14	5.96
J 11	0	0.48	0.36		1.33	0.84
	5	0.42	0.30		1.40	0.72
	10	0.18	0.28		0.64	0.46
	15	0.36	0.28		1.29	0.64
	15	0.36	0.14		2.57	0.50
	20	1.98	1.27		1.56	3.25
30	2.70	1.14		2.37	3.84	
J9 1	0	1.36	0.68	2.22	2.00	2.04
	5	1.21	0.66	1.57	1.84	1.87
	10	1.77	0.69	4.55	2.57	2.46
	15	2.07	1.55	2.95	1.34	3.62
	20	1.87	0.98	1.52	1.90	2.85
	30	2.04	0.54		3.78	2.58
J9 -2	0	1.39	0.36	1.81	3.87	1.75
	5	1.49	0.49	1.81	3.05	1.98
	10	0.96	0.29	1.81	3.31	1.25
	15	1.20	0.60	2.20	2.00	1.80
	20	1.95	0.64		3.05	2.59
	30	2.55	1.25		2.04	3.90
J9 -3	0	1.05	0.61	2.22	1.72	1.66
	5	1.03	0.50	1.87	2.06	1.53
	10	1.68	1.18	1.87	1.42	2.86
	15	1.20	1.27	4.02	0.94	2.47
	20	2.40	1.18	4.42	2.03	3.58
	30	2.55	1.10		2.32	3.65

JOHN MURRAY 15-16 JUILLET 1981 (suite)  
St. J 9-1,-2,-3 17 Juillet 81



LE: 29 MARS 80 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
ROSCOFF			
8.30	11.00		
9.25	10.20		
9.32	11.00	0.61	0.00
9.35	10.30		
9.50	10.30		
10.00	10.30	0.32	0.57
10.05	10.20		
10.08	10.10		
10.15	10.20	0.18	0.76
10.25	10.20	0.34	0.40
10.36	10.10	0.37	0.39
10.50	10.20		
11.12	10.00	0.61	0.22
11.20	9.95	0.37	0.37
11.30			
11.40	10.30	0.53	0.27
11.48	9.90	0.10	0.98
12.00	9.60	0.40	0.53
13.45	9.10	0.48	0.67
13.48	9.10	0.51	0.57
13.54	9.20		
14.04	9.20	0.72	0.73
14.10	8.90	0.91	0.62
14.15	8.96		
14.24	8.90	0.91	1.05

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
8.30	-3.59	48.43
9.00	-3.58	48.52
9.30	-3.59	49.00
10.00	-4.00	49.09
10.30	-4.02	49.18
11.00	-4.04	49.27
11.30	-4.05	49.36
12.00	-4.06	49.46
12.30	-4.07	49.54
13.00	-4.08	50.02
13.30	-4.11	50.10
14.00	-4.10	50.18
14.25	-4.11	50.22



LE: 29 MARS 80 (RETOUR)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
PLYMOUTH			
16.15			
17.18	9.20	0.59	0.31
17.25	9.50		
17.30	9.50	0.61	0.34
17.38	9.70	0.00	1.33
17.43	9.80		
17.53	9.90		
18.05	9.80	0.37	0.80
18.20	9.70	0.00	1.14
18.24	9.70	0.51	0.22
18.39	9.70	0.16	0.32
18.50	9.60	0.59	0.27
19.00	9.80	0.40	0.38
19.12	9.70	0.00	1.00
19.20	9.70	0.37	0.37
19.30	9.50		
19.40	9.80		
19.45	9.70	0.34	0.32
19.57	9.60		
20.03	9.60	0.16	0.66
ROSCOFF			

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
16.15	-4.11	50.22
17.00	-4.08	50.09
17.33	-4.06	50.01
18.00	-4.06	49.52
19.00	-4.05	49.34
20.00	-4.01	49.17
22.00	-3.59	48.43



LE: 19 AVRIL 80

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
ROSCOFF			
7.14	10.80		
7.30	10.60	1.14	0.94
7.45	10.30		
8.07	10.30	0.54	0.68
8.26	10.30	0.26	0.69
8.47	10.50		
9.06	10.30	0.37	0.39
9.25	10.40	0.38	0.50
9.46	10.30	0.40	0.34
10.05	10.20	0.39	0.35
10.23	10.20	0.48	0.26
10.39	10.20	0.48	0.37
10.54	10.20	0.43	0.45
11.10	10.20	0.41	0.23
11.26	10.30	0.39	0.21
11.40	10.20	0.37	0.30
11.54	10.20	0.55	0.15
12.09	9.80	0.72	0.44

PLYMOUTH  
STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.00	-3.59	48.43
8.00	-3.57	48.58
9.00	-4.00	49.16
9.30	-4.01	49.25
10.00	-4.01	49.34
10.30	-4.02	49.43
11.00	-4.04	49.51
11.30	-4.07	50.00
12.00	-4.09	50.08
12.30	-4.11	50.22



LE: 03 MAI 80 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
ROSCOFF			
7.03	11.15	1.19	0.56
7.18	11.00	0.68	0.10
7.32	10.90	0.43	0.44
7.47	10.85	0.56	0.34
8.00	10.70	0.51	0.36
8.16	10.60	0.57	0.28
8.30	10.50	0.62	0.36
8.45	10.55	0.65	0.09
9.00	10.30	0.97	0.20
9.03	10.40	1.03	0.18
9.18	10.30	0.92	0.13
9.29	10.30	1.03	0.16
9.44	10.40	0.95	0.40
10.00	10.30	1.03	0.12
10.14	10.20	0.68	0.36
10.30	10.30	0.82	0.04
10.44	10.30	0.70	0.23
11.01	10.30	0.61	0.25
11.11	10.00	0.80	0.39
11.16			
11.26	10.20	0.84	0.16
11.40	9.90	1.14	
11.57	9.80	1.34	
12.07	9.80	1.12	0.04

PLYMOUTH  
STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.03	-3.59	48.43
8.00	-3.57	49.00
8.30	-3.59	49.09
9.00	-4.01	49.13
9.30	-4.02	49.28
10.00	-4.03	49.37
10.30	-4.02	49.45
11.00	-4.05	49.54
11.30	-4.08	50.03
12.00	-4.11	50.12
12.20	-4.11	50.22

LE: 17 MAI 80

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
ROSCOFF			
7.08	11.80	0.83	0.52
7.20	11.60	0.62	0.44
7.25	11.55	0.47	0.34
7.35	11.42	0.47	0.30
7.43	11.40	0.44	0.28
7.57	11.38	0.20	0.42
8.07	11.30	0.43	0.08
8.22	11.30	0.32	0.20
8.37	11.03	0.38	0.13
8.44	11.20	0.49	0.18
8.52	11.10	0.43	0.16
9.07	11.07	0.46	0.31
9.22	11.00	0.41	0.24
9.37		0.39	0.21
9.45	11.02	0.52	0.22
9.52	11.10		
10.07	10.92	0.33	0.42
10.22	10.98	0.59	0.17
10.22	10.98	0.53	0.23
10.37	10.93	0.52	0.21
10.44	10.95	0.67	0.15
10.52	10.94	0.76	0.09
11.07	11.20	0.72	
11.22	11.50	2.06	
11.32	11.70	0.74	0.22
11.38	11.80	0.91	0.16
11.42	11.70	0.74	0.11
11.42	11.70	0.68	0.16
11.52	11.10	0.77	0.25
12.02	11.95	0.55	0.14
12.12	12.00	0.48	0.08
12.14	12.30	0.93	0.31
12.22	12.10	0.76	2.66
12.32	11.90	1.64	0.40
12.32	11.90	1.93	

PLYMOUTH  
STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.08	-3.59	48.43
8.00	-3.57	48.54
8.30	-3.59	49.08
9.00	-4.01	49.18
9.30	-4.01	49.27
10.00	-4.05	49.36
10.30	-4.07	49.45
11.00	-4.09	49.54
11.30	-4.12	50.02
12.00	-4.11	50.10
12.35	-4.11	50.22



LE: 11 JUIN 80 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLDROPHYILLE	PHAED
ROSCOFF			
7.57			
8.04	13.50	2.48	0.41
8.04	13.50	2.06	0.90
8.10	13.10	1.66	1.08
8.15	12.80	1.56	0.72
8.19	12.85	1.11	0.38
8.30	12.90	1.51	0.13
8.42	12.60	1.43	
8.55	12.70	2.48	
8.55	12.70	1.37	2.66
9.07	12.60	2.00	0.18
9.07	12.60	2.34	
9.19	12.70	1.84	
9.35	12.60	3.23	0.07
9.46	12.70	2.20	0.17
10.00	12.80	2.54	
10.00	12.80	2.14	0.10
10.16	12.70	2.17	0.17
10.40	13.50	2.54	0.32
10.40	13.50	2.41	
10.56	13.60	2.12	0.10
11.06	13.50	1.33	0.38
11.12	13.50	2.29	
11.18	13.50	1.61	0.49
11.29	13.60	0.74	0.02
11.40	13.60	0.58	0.13
11.51	14.00	0.92	0.24
12.06	13.90	0.71	0.21
12.27	13.90	0.32	0.00
12.27	13.90	0.69	0.19
12.41	13.90	0.50	2.83
12.51	13.60	0.18	0.00
13.04	14.10	0.54	0.19
13.14	12.90	1.08	0.28
13.24	13.00	1.56	0.16

HEURE	NO3	SIO4	PO4
7.57			
8.15	1.55	1.01	0.10
8.42	2.05	0.77	0.15
9.46	2.86	2.35	0.10
11.14	0.23	0.00	0.11
11.51	0.23	0.00	0.00
12.41	0.16	0.00	0.00
13.14	0.16	0.23	0.01
13.24			

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.57	-3.59	48.43
8.30	-3.58	48.52
9.00	-3.59	49.00
9.30	-4.00	49.09
10.00	-4.02	49.18
10.30	-4.05	49.27
11.00	-4.06	49.36
11.30	-4.06	49.46
12.00	-4.08	49.54
12.30	-4.08	50.03
13.00	-4.10	50.13
13.30	-4.11	50.22

LE: 11 JUIN 80 (RETOUR)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
PLYMOUTH			
15.20			
16.20	13.90	0.20	0.07
16.20	13.90	0.19	0.08
17.20	14.00	0.77	0.15
17.20	14.00	0.65	0.19
17.50	13.80	0.77	0.19
18.00	13.90	1.97	0.12
18.10	13.90	2.62	0.00
18.20	14.20	2.48	0.00
18.25	13.90		
18.30	13.70	4.27	0.11
18.40	13.50	2.09	0.25
18.50	13.70	2.96	0.43
19.00	13.60		
19.17	13.70		
19.30	13.40	1.39	0.15
19.50	12.95	1.36	0.38
20.00	12.90	1.56	0.42
21.00			
ROSCOFF			
STATIONS			
HEURE	LONGITUDE	LATITUDE	
15.20	-4.11	50.22	
16.00	-4.08	50.13	
16.30	-4.06	50.03	
17.00	-4.04	49.54	
17.30	-4.04	49.44	
18.00	-4.03	49.35	
18.30	-4.02	49.26	
19.00	-4.00	49.17	
19.30	-4.00	49.07	
20.00	-4.00	48.59	
20.40	-3.59	48.43	





LE: 2 JUILLET 80 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
ROSCOFF			
7.10	14.20	0.77	0.33
7.10	14.20	0.51	0.42
7.30	13.60	0.52	0.32
7.30	13.60	0.43	0.39
7.37	13.60	0.52	0.23
7.37	13.60	0.65	
7.45	13.60	0.54	0.14
7.45	13.60	0.34	0.26
7.55	13.40	0.49	0.40
7.55	13.40	0.56	
8.07	13.40	0.56	0.34
8.07	13.40	0.52	0.28
8.20	13.30	0.70	0.09
8.20	13.00	0.59	0.13
8.30	13.70	0.59	0.22
8.30	13.70	0.65	
8.45	13.30	0.54	0.23
9.00	13.10	0.59	0.25
9.20	12.90	0.80	0.26
9.20	12.90	0.85	0.18
9.35	13.00	1.14	0.03
9.50	13.40	1.76	
10.20	13.40	1.01	0.25
10.40	14.10	0.80	0.23
10.40	14.10	0.66	0.33
10.47	14.10	0.83	0.14
10.50	14.00	0.80	0.24
11.10	14.10	0.71	0.20
11.10	14.10	0.74	0.15
11.25	14.25	0.57	0.09
11.25	14.25	0.57	0.13
11.40	14.10	1.61	0.18
11.50	13.70	1.16	0.52
12.10	13.50	2.13	0.05
12.20	13.40	2.48	
12.30	13.30	2.62	0.39

PLYMOUTH  
STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.06	-3.59	48.43
7.30	-3.57	48.48
8.00	-3.57	48.59
8.30	-3.57	49.07
9.00	-3.57	49.16
9.30	-4.01	49.26
10.00	-4.01	49.34
10.30	-4.02	49.42
11.00	-4.03	49.52
11.30	-4.05	50.02
12.00	-4.06	50.09
12.30	-4.09	50.16
12.45	-4.11	50.22



LE: 2 JUILLET 80 (RETOUR)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
PLYMOUTH			
14.30			
15.05	13.40	2.70	0.17
15.20	13.30	2.20	0.25
15.40	13.90	1.16	0.30
16.00	14.40	0.60	0.08
16.13	14.20	0.70	0.20
16.20	14.30	0.71	0.30
16.25	14.25		
16.29	14.20		
16.31	14.20	1.06	0.07
16.33	14.20	0.82	0.21
16.35	14.25	1.01	
16.37	14.30	0.86	0.31
16.38	14.30		
16.41	14.30		
16.42	14.30		
16.44	14.30		
16.45	14.30		
16.47	14.30		
16.49	14.20		
16.51	14.20		
16.52	14.20		
16.54	14.20		
16.56	14.20		
16.57	14.20		
16.58	14.10		
16.59	14.20		
17.00	14.05		
17.05	14.20		
17.10	14.20		
17.15	14.20		
17.20	14.10		
17.25	14.20	1.86	0.29
17.35	14.00		
17.38	13.90		
17.40	13.80		
17.41	13.60	1.56	0.04
17.44	13.60		
17.46	2.10	0.32	0.54
17.48	13.40		
18.25	13.70		
18.30	13.70		
18.50	13.80	1.28	0.11
19.20	13.80		
ROSCOFF			

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
14.35	-4.11	50.22
15.00	-4.10	50.17
15.30	-4.08	50.07
16.00	-4.07	49.59
16.30	-4.08	49.50
17.00	-4.06	49.41
17.30	-4.04	49.31
18.00	-4.02	49.22
18.30	-4.00	49.13
19.00	-3.58	49.04
19.30	-3.56	48.56
21.00	-3.59	48.43



LE: 17 JUILLET 80 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
<b>ROSCOFF</b>			
8.00			
8.15	14.20	0.80	0.37
8.22	14.20	1.26	0.16
8.35	14.70	2.20	0.45
8.45	14.60	2.00	0.07
8.45	14.60	2.06	0.06
8.55	14.50	1.56	0.11
9.05	13.90	0.73	0.25
9.15	14.10	0.86	0.08
9.25	14.10	0.88	0.15
9.35	13.90	1.99	
9.45	14.10	2.34	0.13
9.55	14.00	3.03	0.32
10.03	14.00	2.34	0.23
10.14	14.40	2.34	0.63
10.25	14.60	1.93	0.69
10.33	14.10	1.76	0.01
10.45	14.10	3.72	0.20
10.55	14.30	3.17	0.29
10.55	14.30	2.82	0.45
11.05	14.70	1.91	0.21
11.15	14.70	1.61	0.33
11.25	14.90	0.91	0.15
11.35	14.90	0.91	0.68
11.45	14.90	1.26	0.24
11.55	14.90	1.56	0.26
11.55	14.90	1.61	0.41
12.05	15.10	0.96	0.06
12.15	14.90	1.06	
12.25	14.80	1.58	0.36
12.33	14.60	1.51	0.20
12.45	14.40	1.66	0.10
12.55	14.30	1.21	0.17
12.55	14.30	1.44	0.17
13.05	14.20	1.96	0.05
13.15	14.20	1.86	0.14
13.22	13.90	1.86	0.70
13.35	14.00	1.69	0.17
<b>PLYMOUTH</b>		0.00	

HEURE	NO3	SI04	PO4
8.00			
8.14	0.19		
8.44	0.04		
9.24	0.15		
10.14	0.04		
10.54	0.05		
11.34	0.02		
12.24	0.04		
13.04	0.03		
13.14	0.06		
13.35			

**STATIONS**

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
8.00	-3.59	48.43
8.40	-3.57	48.53
9.20	-4.00	49.05
10.00	-4.01	49.17
10.40	-4.03	49.29
11.20	-4.04	49.41
12.00	-4.05	49.52
12.40	-4.07	50.04
13.20	-4.09	50.18
13.40	-4.11	50.21



LE: 17 JUIL. 80 (RETOUR)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
PLYMOUTH			
15.00		0.00	
15.45	13.70	1.64	0.33
16.10	13.90	2.48	0.40
16.30	13.90	3.31	0.27
16.50	14.60	2.54	
17.15	14.80	1.21	0.25
17.30	14.80	2.02	
17.55	15.00	1.21	0.25
18.10	14.50	1.49	0.35
18.30	14.00	3.17	0.29
18.55	14.00	2.76	
19.10	14.10	2.89	0.13
19.55	13.90	2.34	0.22
20.15	13.90	0.96	0.22
21.00	14.10	1.23	0.13
ROSCOFF			

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
15.30	-4.11	50.22
16.00	-4.09	50.16
16.30	-4.08	50.08
17.00	-4.07	49.59
17.30	-4.07	49.51
18.00	-4.05	49.42
18.30	-4.04	49.34
19.00	-4.03	49.26
19.30	-4.01	49.17
20.00	-4.00	49.09
20.30	-3.59	49.01
21.00	-3.57	48.52
21.30	-3.58	48.45



LE: 6 AOUT 80

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
ROSCOFF			
8.25	15.80	0.67	0.95
8.35	16.00	0.86	1.05
8.45	15.40	0.59	0.50
8.50	15.20	0.44	0.40
8.55	15.20	0.36	0.45
9.00	15.20	0.46	0.51
9.05	15.20	0.41	0.28
9.10	15.10	0.31	0.28
9.15	15.10	0.35	0.15
9.35	14.90	0.38	0.10
9.40	14.90	0.31	0.20
9.45	14.90	0.31	0.14
9.52	14.90	0.51	0.22
9.55	14.90	0.62	0.20
10.00	14.90	0.90	0.13
10.05	14.90	0.77	0.21
10.15	15.05	1.98	
10.20	15.40	2.96	0.33
10.25	15.50	2.76	0.78
10.30	15.50	2.62	0.08
10.35	15.40	2.69	
10.40	15.50	2.00	0.08
10.45	16.00	2.14	0.16
10.50	16.10	1.97	0.27
10.55	16.30	2.20	
11.00	16.40	2.16	0.17
11.05	16.40	1.96	0.25
11.10	16.20	2.34	0.23
11.20	16.10	1.79	0.00
11.25	16.60	2.55	0.40
11.30	15.60	2.48	
11.35	16.50	2.28	0.76
11.40	16.40	2.09	
11.50	16.40	2.06	0.48
11.55	16.10	2.07	0.11
12.00	16.10	1.79	0.34
12.05	16.40	2.25	
12.15	16.70	2.28	1.50
12.20	16.70	2.76	0.78
12.25	16.60	2.89	
12.35	16.70	2.96	0.23
12.40	16.70	2.76	0.88
12.45	16.70	2.28	1.05
12.50	16.60	2.76	1.60
12.55	16.20	3.03	0.84
13.00	16.10	3.03	0.53
13.05	16.20	3.03	0.63
13.10	16.10	2.34	0.64
13.15	16.10	3.00	0.47
13.20	16.00	2.69	0.48
13.27	16.10	2.21	0.64
13.35	16.00	3.03	0.32
13.40	16.00	1.90	0.08
PLYMOUTH			



6 AOUT 80 suite

HEURE	NO3
ROSCOFF	
8.25	0.06
8.45	0.14
9.00	0.15
9.15	0.12
9.40	0.08
9.45	0.20
10.30	0.02
10.45	0.01
11.00	0.02
11.10	0.02
11.30	0.02
11.40	0.02
12.00	0.03
12.15	0.03
12.35	0.03
12.40	0.03
12.55	0.03
13.15	0.03
13.27	0.02
13.40	0.02
PLYMOUTH	

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
8.25	-3.59	48.43
9.00	-3.59	48.55
9.30	-4.03	49.02
10.00	-4.03	49.12
10.30	-4.03	49.18
11.00	-4.04	49.29
11.30	-4.03	49.38
12.00	-4.05	49.47
12.30	-4.06	49.56
13.00	-4.07	50.05
13.30	-4.09	50.15
13.56	-4.11	50.20



LE: 26 AOUT 80 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
ROSCOFF			
10.30	17.00	1.56	0.70
10.35	16.00	1.44	0.81
10.35	16.00	1.12	0.58
10.40	15.60	0.98	0.41
10.50	15.50	0.89	0.63
11.00	15.40	0.79	0.32
11.00	15.40	0.85	0.57
11.05	15.40	0.89	0.31
11.05	15.40	0.85	0.19
11.10	15.30	1.79	0.35
11.10	15.30	0.88	0.37
11.15	15.40	1.14	0.32
11.15	15.40	1.13	0.33
11.20	15.80	2.05	0.08
11.20	15.80	2.32	
11.25	15.90	2.99	0.23
11.25	15.90	2.48	0.53
11.30	15.90	2.52	0.71
11.35	16.20	2.35	0.11
11.40	16.30	2.87	0.27
11.40	16.30	2.39	0.60
11.45	16.10	3.10	0.47
11.45	16.10	2.98	0.57
11.50	16.10	3.32	
11.50	16.10	2.37	0.73
11.55	16.20	2.32	0.26
11.55	16.20	2.33	0.23
12.00	16.40	2.78	0.76
12.05	16.50	1.14	0.37
12.05	16.50	1.42	0.16
12.10	16.50	0.70	0.19
12.20	16.70	0.70	0.15
12.30	16.40	0.62	0.16
12.40	16.40	0.52	0.24
12.50	16.50	0.84	0.34
12.50	16.50	0.85	0.30
13.00	16.60	1.24	0.41
13.05	16.90	0.95	0.25
13.10	16.80	0.55	0.29
13.20	16.80	0.98	0.29
13.20	16.80	0.91	0.15
13.40	16.90	1.11	0.23
13.40	16.90	0.98	0.29
13.50	16.90	1.36	0.54
14.00	16.50	1.13	0.40
14.10	16.40	1.42	0.87
14.20	16.40	1.56	0.34
14.30	16.90	0.79	0.29
14.40	16.80	1.03	0.32
15.00	16.80	1.05	0.45
15.10	17.30	1.27	0.37
15.20	17.40	1.64	0.10
15.30	17.10	2.52	0.90
15.40	17.00	3.00	
15.50	17.10	2.42	0.80
15.55	17.10	4.50	
16.00	16.80	1.50	0.08
16.05	16.90	5.40	1.70
16.10	16.55	6.76	0.10
PLYMOUTH			



26 AOUT 80 suite

HEURE	NO3	SI04	PO4	NO2
ROSCOFF				
10.35	9.50	1.74		0.15
10.55	14.60	2.85		0.22
11.05	4.60	2.27		0.13
11.20	10.50	0.95		0.07
11.35	2.30	0.28		0.03
11.50	0.34	1.22		0.04
12.05	2.60	0.36		0.03
12.20		1.00		0.03
12.35	2.22	1.45		0.04
12.50	0.64	1.63		0.05
13.05	5.85	1.09		0.05
13.20	2.13	0.86		0.04
13.40	0.64	1.77		0.06
13.50	1.32	1.22		0.05
14.05	1.60	1.77		0.06
14.20	1.02	0.95		0.02
14.35	0.76	2.63		0.06
15.05	1.80	0.72		0.06
15.20	0.90	1.09		0.06
15.35	1.20	1.09		0.04
15.50	0.17	1.00		0.02
16.05	0.17	1.45		0.03

PLYMOUTH  
STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
10.30	-3.59	48.43
10.45	-3.57	48.50
11.15	-3.59	48.58
11.45	-4.00	49.06
12.15	-4.01	49.15
13.15	-4.03	49.30
13.45	-4.06	49.39
14.15	-4.07	49.47
14.45	-4.07	49.55
15.15	-4.08	50.04
15.45	-4.09	50.13
16.15	-4.11	50.22





LE: 26 AOUT 80 (RETOUR)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
PLYMOUTH			
18.00			
18.05	16.30	7.32	0.43
18.05	16.30	5.98	3.08
18.10	16.90		
18.15	16.60	3.25	0.93
18.15	16.60	3.72	0.23
18.20	17.00	6.44	0.01
18.20	17.00	5.35	0.60
18.25	17.10		
18.30	17.30		
19.00	17.40	0.90	0.50
19.00	17.40	0.94	0.37
19.00	17.40	0.98	0.38
19.00	17.40	1.41	0.40
19.00	17.40	1.58	0.71
19.05	17.50	1.06	0.57
19.05	17.50	1.01	0.45
19.05	17.50	1.39	0.70
19.05	17.50	1.33	0.90
19.10	17.50	0.96	0.44
19.10	17.50	0.94	0.37
19.15	17.50	0.89	0.36
19.15	17.50	0.94	0.37
19.20	17.40		
19.25	17.10	0.63	0.23
19.25	17.10	0.61	0.25
19.35	17.10	0.71	0.34
19.35	17.10	0.94	0.43
19.40	17.10	0.60	0.29
19.40	17.10	0.64	0.34
19.45	16.90	0.76	0.31
19.45	16.90	1.16	0.40
19.50	16.90		
20.00	17.00	0.84	0.15
20.00	17.00	1.47	0.19
20.05	17.00	0.77	0.33
20.15	17.00	0.97	0.45
20.15	17.00	1.14	0.45
20.20	17.00	0.77	0.33
20.20	17.00	0.77	0.30
20.22	17.10	0.95	0.39
20.22	17.10	0.95	0.27
20.25	17.10	0.68	0.27
20.25	17.10	0.64	0.29
20.30	17.10	0.93	0.15
20.40	17.00	0.88	0.22
20.40	17.00	0.59	0.15
20.45	16.90	0.64	0.19
20.50	17.00	0.59	0.12
20.50	17.00	0.25	0.12
21.15	17.10	0.70	0.09
21.15	17.10	0.46	0.15
21.35	16.90	0.67	0.16
21.35	16.90	0.44	0.11
21.50	16.80	0.56	0.12
21.50	16.80	0.43	0.13
22.15	16.70	0.96	0.06
22.15	16.70	0.62	0.14
22.45	15.60	0.97	0.25
22.45	15.60	0.79	0.31
23.15	14.90	0.74	0.39
23.15	14.90	0.57	0.39
23.30			
ROSCOFF			

26 AOUT 80suite RET

HEURE	N03	SI04	PO4
PLYMOUTH			
18.00			
18.55	0.06		
19.20	0.03		
20.00	0.04		
21.20	0.05		
22.10	0.29		
23.30			
ROSCOFF			
STATIONS			
-----			
HEURE	LONGITUDE	LATITUDE	
18.00	-4.11	50.22	
18.27	-4.10	50.16	
18.55	-4.08	50.07	
19.20	-4.07	49.59	
19.50	-4.07	49.51	
20.15	-4.05	49.42	
20.32	-4.04	49.34	
21.00	-4.03	49.26	
21.30	-4.01	49.17	
22.00	-4.00	49.09	
22.27	-3.59	49.01	
23.04	-3.57	48.52	
23.30	-3.59	48.43	



LE: 9 SEPTEMBRE 80

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO
PLYMOUTH			
11.00	16.50	2.88	0.43
11.25	16.50	2.52	0.38
11.30	16.50	2.87	0.35
11.30	16.50	2.42	0.61
11.35	16.50	3.33	0.58
11.35	16.50	2.89	0.91
11.40	16.50	2.90	0.71
11.40	16.50	3.14	
11.45	16.60	2.32	0.58
11.45	16.60	2.67	
12.00	16.60	2.98	
12.00	16.60	2.95	0.47
12.15	16.40	2.20	0.22
12.15	16.40	2.05	0.52
12.30	16.50	1.36	0.28
12.30	16.50	1.14	0.36
12.45	16.40	1.48	0.54
12.45	16.40	1.37	0.24
13.00	16.70	1.08	0.42
13.00	16.70	0.96	0.53
13.15	16.80	1.27	0.35
13.30	16.90	1.19	0.58
13.30	16.90	0.89	0.14
13.45	16.80	1.06	0.29
13.45	16.80	1.24	0.39
14.00	16.80	0.71	0.20
14.00	16.80	0.71	0.23
14.15	16.60	0.58	0.23
14.15	16.60	0.58	0.28
14.30	16.40	0.56	0.21
14.30	16.40	0.54	0.24
14.45	16.40	0.59	0.29
14.45	16.40	0.49	0.26
15.00	16.30	0.52	0.29
15.00	16.30	0.49	0.26
15.15	16.00	2.12	0.26
15.15	16.00	1.86	0.82
15.30	16.20	0.44	0.94
15.30	16.20	0.44	0.32
15.45	16.20	0.52	0.36
15.45	16.20	0.27	0.27
16.00	16.10	0.50	0.25
16.00	16.10	0.50	0.24
16.00	16.10	0.50	0.21
16.15	16.30	0.55	0.21
16.15	16.30	0.49	0.26
16.30	16.30	0.87	0.22
16.30	16.30	1.04	0.35
16.45	16.30	0.85	0.47
16.45	16.30	0.62	0.31
17.00	15.60	1.01	0.61
17.00	15.60	1.34	0.61
17.15	15.20	0.72	0.41
17.15	15.20	0.83	0.48
17.22	15.10	0.43	0.60
17.30	15.20	0.43	0.39
17.30	15.20	0.42	0.42
17.45	15.30	0.42	0.44
17.45	15.30	0.54	0.46
18.00		0.51	0.43
18.00		0.43	0.29
18.45	15.20	0.44	0.44
18.45	15.20	0.41	0.52
19.00		0.46	0.51
19.00		0.41	0.64
19.30		0.43	0.50

ROSCOFF



9 SEPT 80 suite

HEURE	NO3	SI04	PO4	NO2
PLYMOUTH				
11.25	0.87	3.00	1.49	0.13
11.45	5.20	3.45	0.42	0.04
12.05	17.40	4.27	0.67	0.08
12.30	6.30	3.90	0.32	0.05
13.00	2.80	2.18	0.47	0.04
13.30	2.70	1.91	0.08	0.02
14.00	0.00	1.32	0.75	0.01
14.30	13.20	3.27	0.13	0.08
15.00	0.65	2.18	0.14	0.04
15.30	3.80	1.82		0.02
16.00	6.14	1.18	0.50	0.01
16.30	0.40	0.36	0.36	0.02
17.00	1.92	2.60		0.22
17.30	2.20	1.90	0.38	0.43
18.00	1.66	1.27	0.74	0.36
18.30	2.71	1.54	0.41	0.35
19.07	1.84	1.72	0.52	0.41

ROSCOFF  
STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
11.00	-4.11	50.22
11.25	-4.10	50.20
12.00	-4.10	50.16
12.40	-4.08	50.08
13.20	-4.07	49.59
14.00	-4.07	49.51
14.40	-4.05	49.42
15.20	-4.04	49.34
16.00	-4.03	49.26
16.40	-4.01	49.17
17.20	-4.00	49.09
18.00	-3.59	49.01
18.40	-3.57	48.52
19.20	-3.58	48.45
19.30	-3.59	48.43



LE: 01 NOVEMBRE 80

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO	SAL.	TURB. 1
ROSCOFF					
7.50					
8.12	13.60				
8.15	13.70	0.63	0.65		
8.30	14.00	0.32	0.41		
8.40	14.30	0.32	0.23		
8.50	14.30	0.26	0.25		
9.00	14.20	0.26	0.21		
9.05	14.10				
9.10	14.20	0.23	0.25		
9.20	14.30	0.17	0.27		
9.25	14.30	0.18	0.33		
9.30	14.30	0.22	0.29		
9.40	14.40	0.28	0.32		
10.20	14.50	0.24	0.36		
10.30	14.40	0.32	0.32		
10.40	14.50	0.25	0.33		
11.00	14.40	0.33	0.34		
11.10	14.40	0.31	0.28		
11.20	14.50	0.32	0.33		
11.30	14.45	0.32	0.33		
11.40	14.45	0.26	0.30		
11.50	14.40	0.26	0.32		
12.00	14.40	0.26	0.35		
12.10	14.50	0.28	0.35		
12.20	14.50	0.25	0.29		
12.30	14.50	0.26	0.26		
12.40	14.50	0.26	0.26		
12.50	14.50	0.29	0.24		
13.00	14.50	0.17	0.17		

## PLYMOUTH

HEURE	NO3	SI04	PO4	NO2
8.15	5.20	6.91	1.08	0.94
8.40	5.50	4.73	0.37	0.47
9.00	7.54	2.05	0.72	0.30
9.20	5.20	3.66	0.61	0.58
9.40	7.90	1.54	0.50	0.20
10.20	4.43	3.03	0.50	0.49
10.40	5.30	3.21	0.96	0.42
11.00	5.64	3.48	0.49	0.56
11.20	7.45	3.83	0.38	0.50
11.40	5.90	3.66	0.38	0.59
12.00	3.44	2.14	0.20	0.51
12.20	4.40	3.21	0.28	0.69
12.40	4.75	3.70	0.29	0.66
13.00	2.84	1.78	0.23	0.96

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.50	-3.59	48.43
8.30	-3.57	48.53
9.10	-4.00	49.05
9.50	-4.01	49.17
10.30	-4.03	49.29
11.10	-4.04	49.41
11.50	-4.05	49.52
12.30	-4.07	50.04
13.10	-4.09	50.17
12.40	-4.11	50.22



LE: 2 JUILLET 81(ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO	SAL.	TURB. 1	TURB. 2
ROSCOFF						
7.30				35.10		
7.35				35.00		
7.40				34.94		
7.45		1.69	1.62	35.21		
7.50	15.40			35.02		1.40
7.55	15.20			35.02		
8.00	15.00	1.27	1.17	34.97		
8.05	14.90	1.60	0.24	35.05		
8.10	14.80	1.28	1.88	35.05		
8.15	14.80	1.20	0.52	35.07		
8.20	14.70	1.02	1.37	35.04		
8.25	14.60			35.01		
8.30	14.60	0.77	0.98	35.01		
8.35	14.50	1.41	0.86	35.01		
8.40	14.40	1.16	2.00	34.97		1.35
8.45	14.40	1.00	1.66	34.98		
8.50	14.30	0.86	0.92	35.01		
8.55	14.30	0.83	1.11	35.02		
9.00	14.30	0.93	0.61	34.99		
9.05	14.30	0.67	0.88	34.96		
9.10	14.30			34.94		
9.15	14.30	0.80	0.37	34.94		
9.20	14.20	0.71	1.68	34.94		
9.25	14.20	1.05	1.07	34.94		
9.30	14.30	1.17	0.91	34.96		
9.35	14.60	0.77	0.61	34.98		
9.40	14.80	0.50	0.32	34.97		
9.45	15.00	0.43	0.25	34.94		
9.50	15.00	0.61	0.18	34.95		
9.55	15.00	0.20	1.62	34.94		
10.00	15.10	0.47	0.27	34.99		
10.05	15.30	0.26	0.30	34.94		
10.10	15.40	0.25	0.51	34.87		1.35
10.15	15.60			34.85		
10.20	15.70	0.22	0.14	34.80		
10.25	15.80	0.73	0.67	34.86		
10.30	15.80	0.55	0.64	34.90		
10.35	15.80	0.46	0.15	34.88		
10.40	15.80	0.44	0.43	34.85		
10.45	15.80	0.38	0.22	34.90		
10.50	15.80	0.56	0.26	34.98		
10.55	15.80	1.39	1.43	35.05		1.05
11.00	15.90	2.32	0.74	35.06		
11.05	16.00	3.09	2.50	35.06		
11.10	16.00	1.91	3.99	35.05		
11.15	16.10	1.81	0.60	35.01		
11.20	16.40	1.95	2.26	34.97		
11.25	16.20	1.72	0.79	35.00		
11.30	16.20	1.24	1.32	35.12		
11.35	16.40	1.76	0.68	35.00		1.75
11.40	16.50	3.92	0.33	35.00		
11.45	16.40	3.43	0.86	35.05		
11.50	16.40	2.28	2.36	35.05		
11.55	16.20	3.17	4.02	35.08		
12.00	16.30	2.76	0.86	35.10		
12.05	16.20	2.70	0.86	35.05		
12.10	16.40	1.85	3.15	35.01		
12.15	16.30	2.62	0.82	35.01		
12.20	16.10	1.46	0.51	35.00		
12.25	15.90	0.96	0.99	35.01		
12.30	15.80	0.80	0.74	34.99		
12.35	15.90	0.83	0.37	34.96		
12.40	15.80	0.69	0.91	34.95		
12.50						
PLYM.						



1.65

2 JUILLET 81

HEURE	NO3	SI04	PO4	NO2
ROS.				
7.50	1.20	1.07	0.18	0.06
8.10	1.60	1.11	0.22	0.07
8.30	1.80	1.16	0.21	0.09
8.50	1.75	0.80	0.20	0.09
9.15	2.50	1.25	0.20	0.14
9.35	1.00	1.00	0.19	0.08
9.55	0.50	0.50	0.19	0.06
10.15	0.00	0.00	0.17	0.04
10.35	0.00	0.00	0.06	0.05
11.00	0.25	0.25	0.10	0.06
11.20	1.30	2.41		
11.40	2.50	1.37		
12.00	0.70	1.10		
12.20	6.20	1.85		

PLYMOUTH  
STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.30	-3.59	48.43
8.00	-3.58	48.52
8.30	-3.57	49.01
9.00	-3.59	49.11
9.30	-3.59	49.20
10.00	-4.01	49.29
10.30	-4.02	49.38
11.00	-4.04	49.47
11.30	-4.06	49.57
12.00	-4.09	50.06
12.30	-4.10	50.17
12.45	-4.11	50.22

LE: 2 JUILLET 81 (RETOUR)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO	SAL.	TURB. 1	TURB. 2
PLYMOUTH						
14.50	16.40					
15.00						
15.10	16.00	3.86	4.32	34.16		
15.15	15.90	2.76	1.52	34.41		
15.30	15.60			34.37		
15.45	15.80	0.98	1.36	34.91		
16.00	15.80	1.75	1.78	34.99		
16.15	16.20	1.32	1.27	34.93		6.35
16.30	16.60	2.32	2.94	35.10		
16.45	16.60	1.27	3.26	35.00		
17.00	16.50	1.24	0.76	35.05		
17.10	16.60			35.05		3.18
17.15	16.60	1.11	0.88	35.05		
17.22	16.60			35.05		
17.30	16.50	0.94	1.63	35.02		
17.36	16.60			34.98		
17.45	16.40	0.46	1.40	34.94		
17.56	16.40			34.96		
18.15	16.40	0.98	0.20	34.94		
18.20	16.05			34.96		4.46
18.22	15.80	0.65	0.45	34.98		
18.30	15.80			34.98		
18.35	15.70	0.50	1.22	35.00		
18.45	15.45	0.77	0.65	35.00		
19.00	15.00	0.64	1.07	35.05		
19.07	14.85			35.02		
19.15	14.80	0.66	0.75	35.00		
19.30	14.80	0.18	0.28	35.00		
19.45	14.70	0.78	1.68	35.04		1.42
20.00	14.60			35.05		
20.06	14.60	1.62	2.07	35.05		
20.15	14.80	1.19	1.69	35.06		2.27
20.30	14.85	2.12	1.46	35.05		
20.33	14.90	2.02	2.23	35.05		
20.40	15.00			35.05		
20.50						
ROSCOFF						

## STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
14.50	-4.11	50.22
15.00	-4.10	50.12
15.30	-4.09	50.11
16.00	-4.08	50.03
16.30	-4.07	49.54
17.00	-4.07	49.46
17.30	-4.05	49.37
18.00	-4.04	49.29
18.30	-4.03	49.21
19.00	-4.01	49.13
19.30	-4.00	49.05
20.00	-3.59	48.56
20.30	-3.59	48.50
20.45	-3.59	48.46
21.00	-3.59	48.43





LE: 5 AOUT 81 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO	SAL.	TURB. 1
ROSCOFF					
7.00	16.00				
7.15	15.70	1.39	0.74		0.67
7.20	15.50	1.45	0.59		
7.25	15.20	1.36	0.65		
7.30	15.20	1.39	0.55		0.55
7.35	15.20	1.36	0.56		
7.40	15.20	1.59	0.46		
7.45	15.20	1.68	0.56		0.42
7.50	15.50	5.38	0.55		
7.55	15.50	3.86	2.04		
8.00	15.50	3.73	1.65		0.46
8.05	15.50	3.04	2.18		
8.10	15.50	3.36	0.71		
8.15	15.40				0.37
8.20	15.20	5.80	1.72		
8.25	15.00				
8.30	15.00	4.91			0.35
8.35	15.00				
8.40	15.00	4.97	1.03		
8.45	14.80				0.35
8.50	14.75	4.61	1.42		
8.55	14.60				
9.00	14.50	4.36	3.28		0.30
9.05	14.50	4.49	0.65		
9.10	14.50	4.52	1.27		
9.15	14.50				0.40
9.20	14.50				
9.25	14.50				
9.30	14.50	3.58	1.59		0.37
9.35	14.50	4.22	1.24		
9.40	14.50	4.88	1.79		
9.45	14.60	5.79	0.89		0.47
9.50	14.60	7.67	1.90		
9.55	14.50				
10.00	14.40	4.42	0.79		0.35
10.05	14.30	5.46	1.45		
10.10	14.30				
10.15	14.50				0.60
10.20	14.50				
10.25	14.50				
10.30	14.60	5.61	0.69		0.45
10.35					
10.40	15.00	12.60	5.39		
10.45	15.00				0.45
10.50	14.80				
10.55	14.90				
11.00	15.00	12.46	4.16		0.53
11.05	15.40	6.26	0.96		
11.10	15.80				
11.15	15.90	6.88	2.27		0.65
11.20	15.80				
11.25	16.00				
11.30	16.00	9.67	1.97		0.60
11.35	16.10				
11.40	16.20	10.72	1.14		
11.45	16.30	11.95	3.86		0.56
11.50	16.40	6.21	1.86		
11.55	16.50	7.40	2.78		
12.00	16.50	4.42	1.75		0.66
12.05	16.50	3.73	2.28		
12.10	16.30	4.28	1.35		
12.15	16.80	4.72			0.68
12.20	17.00	6.90			
12.25	16.70				
12.30	17.00	4.28	2.18		0.60
12.45					
PLYMOUTH					

5 ADUT 81suite

HEURE	NO3	SIO4	PO4	NO2
ROSCOFF				
7.15	0.40	2.18	0.23	0.07
7.30	0.96	2.63	0.27	0.11
7.45	6.60	4.20	0.53	0.12
8.00	4.00	3.43	0.38	0.06
8.15	0.56	2.18	0.23	0.05
8.30	0.72	2.14	0.28	0.06
8.45	0.88	2.32	0.19	0.05
9.00	0.50	2.41	0.18	0.01
9.15	3.40	3.61	0.18	0.02
9.30	0.60	2.23	0.12	0.04
9.45	1.00	2.81	0.61	0.03
10.00	0.64	9.82	0.21	0.04
10.15	0.30	2.05	0.29	0.03
10.30	0.30	1.51	0.36	0.02
10.45	0.30	1.87	0.20	0.02
11.00	0.36	2.67	0.18	0.02
11.15	0.44	1.96	0.26	0.02
11.30	13.20	6.20	0.53	0.05
11.45	1.30	1.65	0.33	0.06
12.00	0.60	1.56	0.47	0.16
12.15			0.27	0.09
12.30	3.90	2.54	0.32	0.11
PLYMOUTH				
STATIONS				

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
7.06	-3.59	48.43
7.30	-3.59	48.48
8.00	-3.59	48.57
8.30	-3.59	49.05
9.00	-4.00	49.12
9.30	-4.02	49.21
10.00	-4.02	49.30
10.30	-4.04	49.38
11.00	-4.05	49.47
11.30	-4.07	49.55
12.00	-4.08	50.04
12.30	-4.09	50.13
12.45	-4.09	50.22



LE: 5 AOUT 81 (RETOUR)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO	SAL.	TURB. 1
PLYMOUTH					
14.55					
15.15	16.80	6.77	1.53		0.85
15.45	17.30	4.71	1.66		0.70
16.00	17.20	5.98	2.26		0.70
16.15	17.20	2.96	1.05		0.56
16.30	17.20	2.83	1.40		0.73
16.45	16.60	6.70	1.87		0.53
17.00	16.50				0.47
17.15	16.50	4.32	1.28		0.37
17.30	16.70	7.06	2.08		0.45
17.45	15.10	5.79	1.20		0.48
18.00	15.20	9.24	2.80		0.40
18.15	15.20	7.78	1.70		0.42
18.30	15.00	6.59	2.21		0.42
19.00	14.50	5.14	0.78		0.33
19.15	14.60	6.16	1.69		0.33
19.30	14.60	3.33	0.89		0.34
19.50	15.00	3.52	1.07		0.32
20.20	15.50	4.69	0.93		0.37
20.35	14.80	4.49	1.11		0.43
20.37	14.80	6.18	1.70		
20.50	15.10	3.04	1.46		0.46

21.00  
 ROSCOFF  
 STATIONS

HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
15.00	-4.11	50.22
15.30	-4.09	50.16
16.00	-4.08	50.06
16.30	-4.09	49.58
17.00	-4.07	49.50
17.30	-4.04	49.41
18.00	-4.02	49.33
18.30	-4.01	49.24
19.00	-4.01	49.16
19.30	-3.59	49.07
20.00	-3.59	48.58
20.30	-3.59	48.50
21.00	-3.59	48.43



LE: 20 AOUT 81 (ALLER)

HEURE	TEMPERATURE	CHLOROPHYLLE	PHAEO	SAL.	TURB. 1
ROSCOFF					
15.55					
16.00	17.15	2.70	1.30	34.75	0.85
16.10	16.80	2.76	1.40	34.85	0.47
16.30	16.80			34.80	0.44
16.40	16.58	2.16	0.50	34.90	0.42
16.50	16.25	2.76	1.90	34.90	0.37
17.00	16.05	1.20	0.70	34.93	0.37
17.10	16.05	1.68	0.90	34.93	0.37
17.20	16.05	1.44	0.80	34.93	0.40
17.30	16.05	3.12	1.10	34.91	0.30
17.40	16.65	1.80	0.40	34.91	0.35
17.50	16.40	1.38	0.80	34.90	0.42
18.00	16.65	1.26	0.80	34.85	0.36
18.10	16.90	0.30	0.30	34.80	0.30
18.20	16.80	0.24	0.20	34.75	0.30
18.30	16.60	0.30	0.30	34.80	0.37
18.40	16.60	0.36	0.30	34.85	0.37
18.50	16.68	0.36	0.15	34.85	0.34
19.00	17.05	0.48	0.10	34.80	0.33
19.10	16.90	0.30	0.50	34.98	0.27
19.20	16.70				0.27
19.30	16.80	0.24	0.15		
19.40	16.80	0.84	0.30	34.82	0.33
19.50	16.85	0.48	0.25	34.82	0.35
20.00	16.90	0.39	0.20	34.80	0.34
20.10	17.25	1.14	0.30	34.80	0.37
20.20	17.40	0.99	0.15	34.78	0.33
20.30	17.48	1.03	0.02	34.70	0.38
20.40	17.63	1.20	0.55	34.70	0.35
20.50	16.80	1.68	0.55	34.70	0.45
21.00	17.00	1.77	0.60	34.65	0.49
21.10	16.90	1.77	0.70	34.65	0.47
21.20	16.65	1.62	0.70	34.65	0.43
21.30	16.40	1.68	0.30	34.65	0.41
21.40	16.20	3.24	0.15	34.65	0.53
21.50	16.30	3.06	0.70	34.75	0.50

## PLYMOUTH

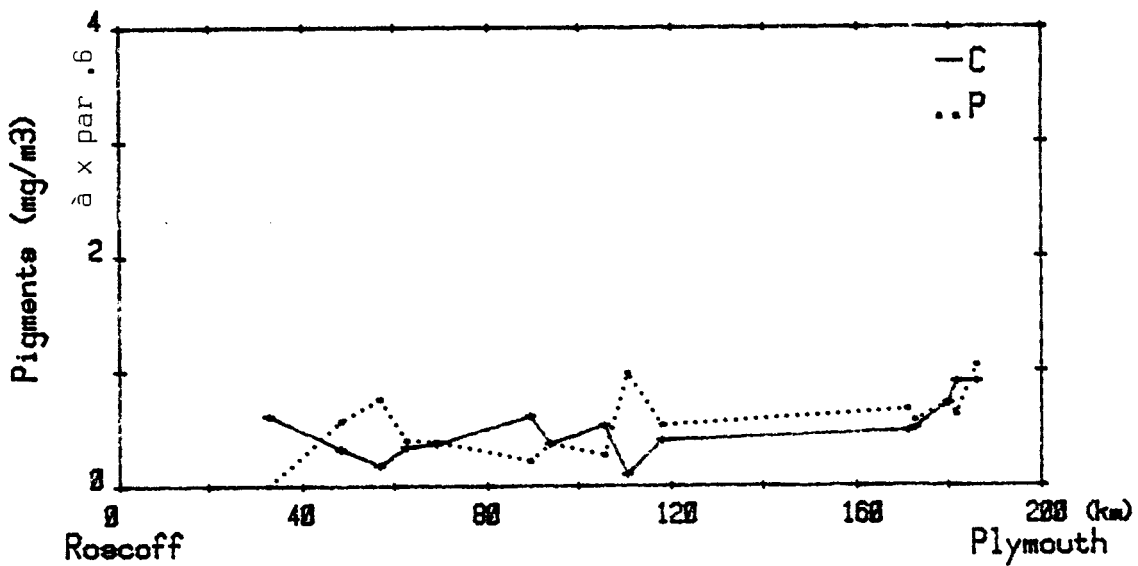
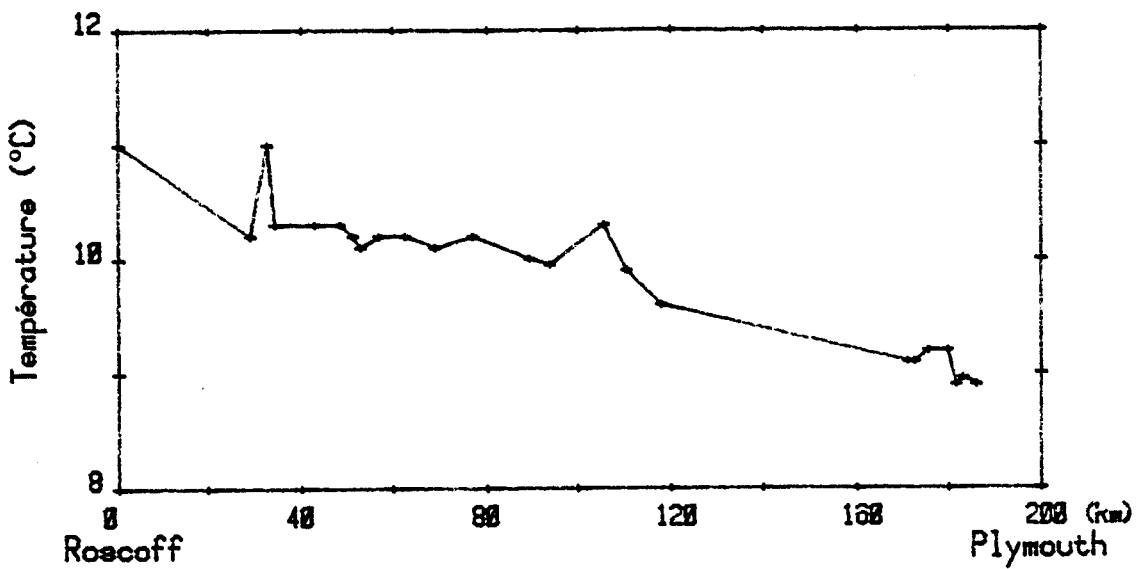
HEURE	NO3	SIO4	PO4	NO2
16.00	10.00	3.90	0.41	0.08
16.30	15.50	7.30	0.27	0.06
17.10	7.10	4.20	0.29	0.19
17.30	3.20	2.20	0.19	0.13
18.00	1.60	2.15		0.10
18.30	5.00	3.97	0.47	0.15
19.00				
19.40		3.50	0.22	0.01
20.00	3.20	3.66	0.22	0.15
20.30	6.90	5.31	0.45	0.17
21.00	6.10	3.97	0.20	0.01
21.30	11.20	5.40	0.13	0.01

## STATIONS

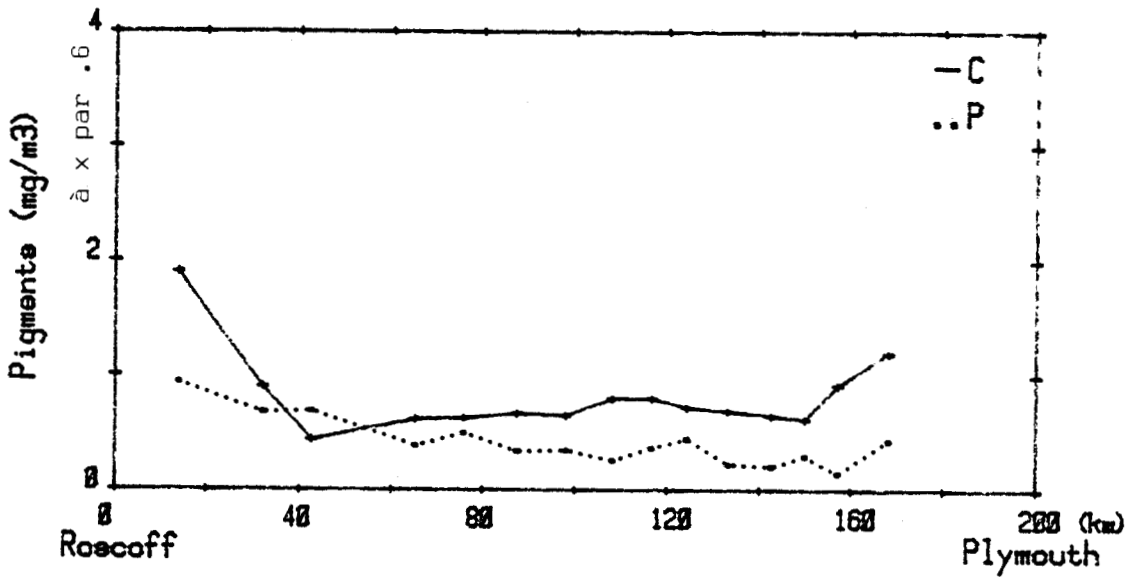
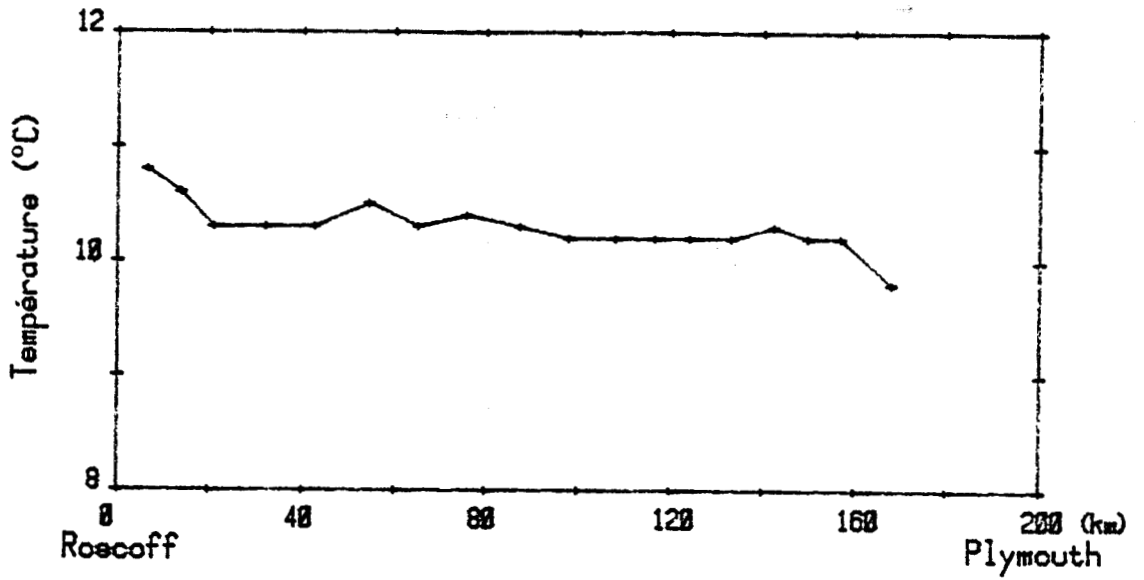
HEURE	LONGITUDE	LATITUDE
16.00	3.57	48.46
16.30	3.59	48.53
17.00	4.00	49.01
17.30	4.01	49.09
18.00	4.01	49.17
18.30	4.02	49.25
19.00	4.02	49.33
19.30	4.04	49.41
20.00	4.06	49.49
20.30	4.07	49.58
21.00	4.08	50.06
21.30	4.09	50.15
21.52	4.11	50.21



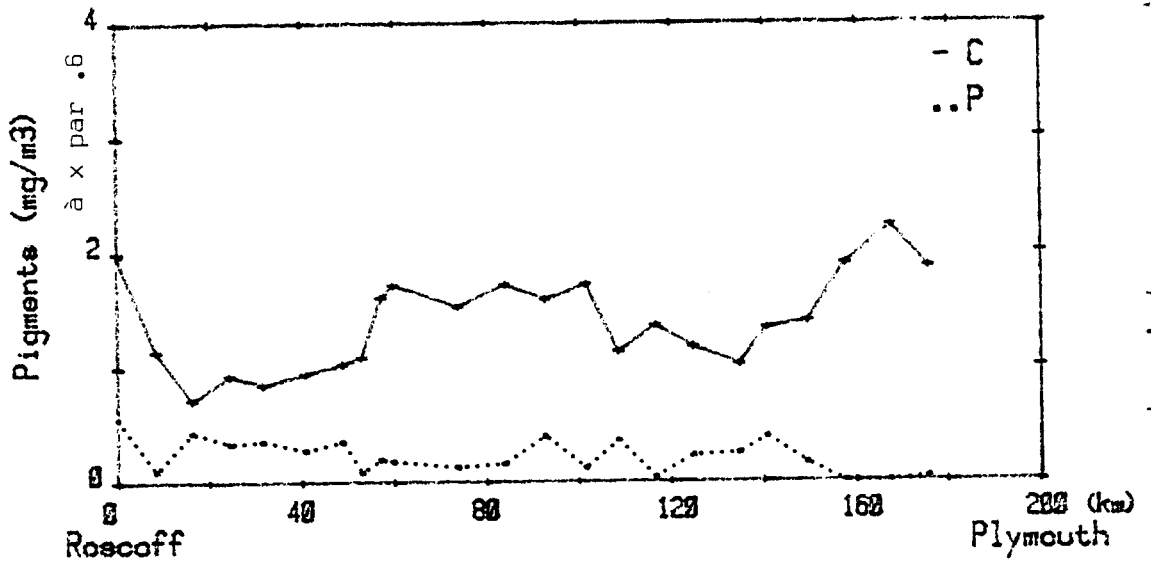
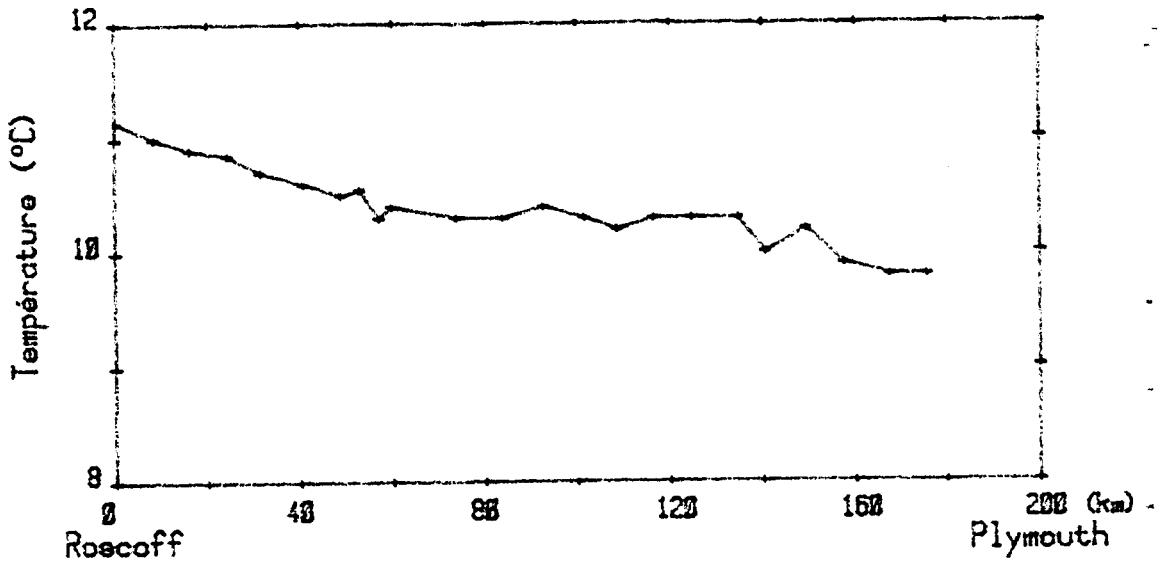
29 MARS 80



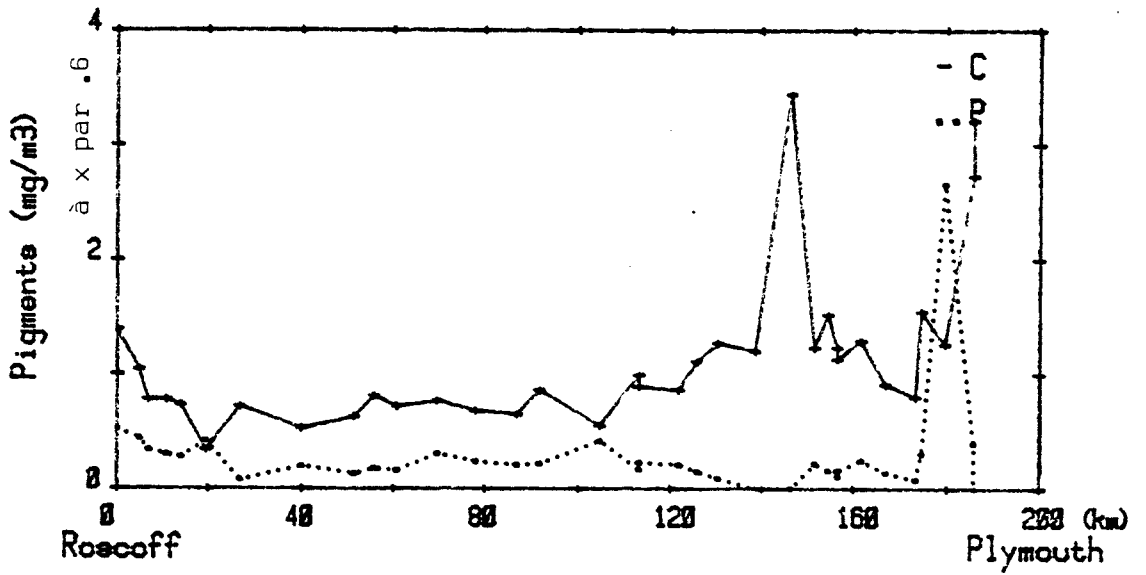
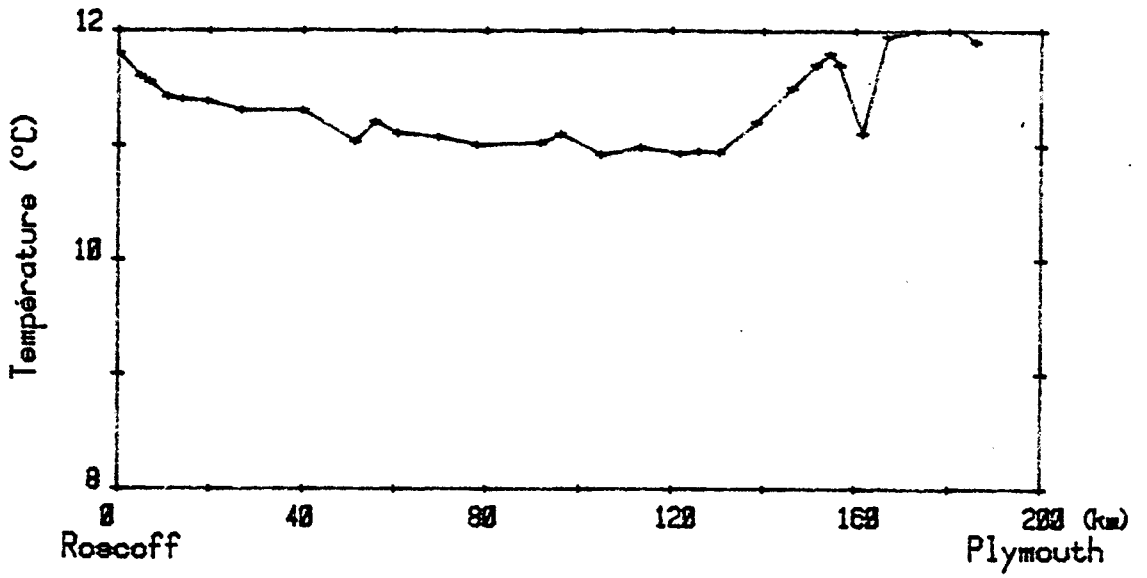
19 AVRIL 80



3 MAI 88

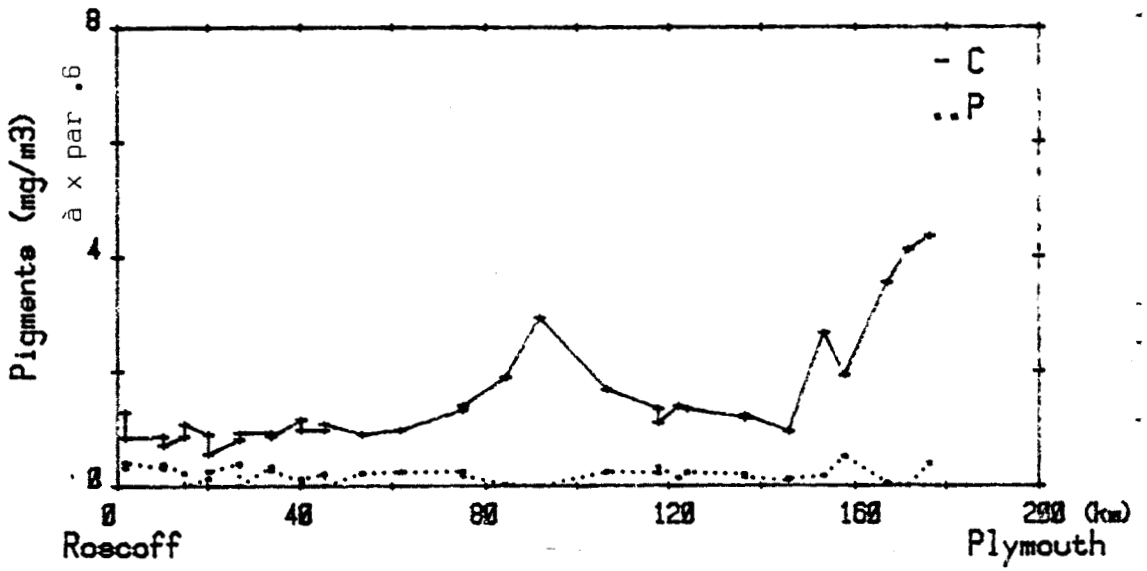
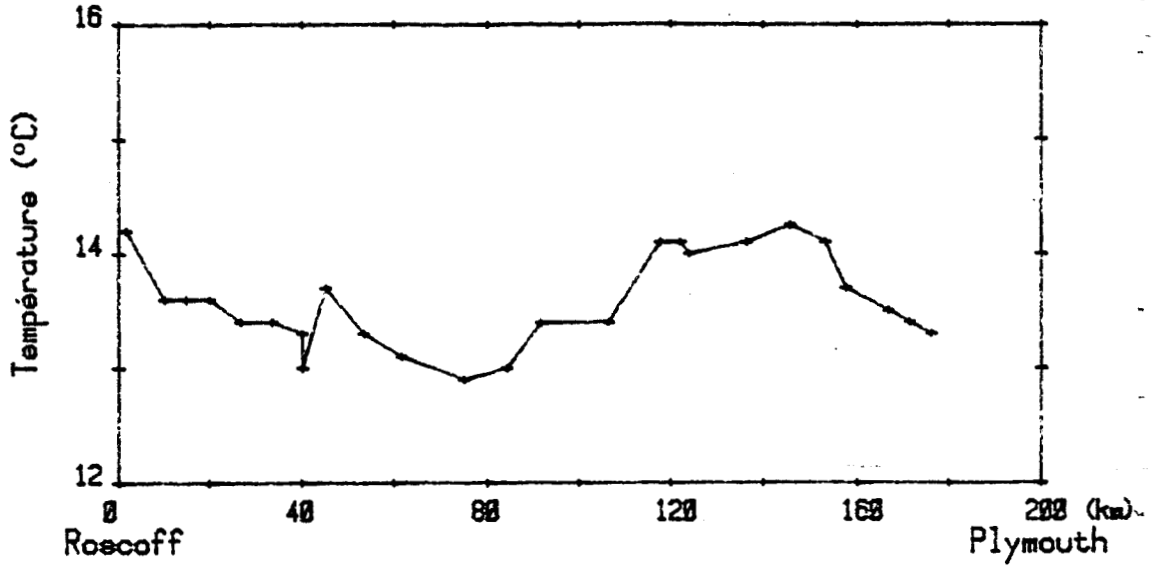


17 MAI 80

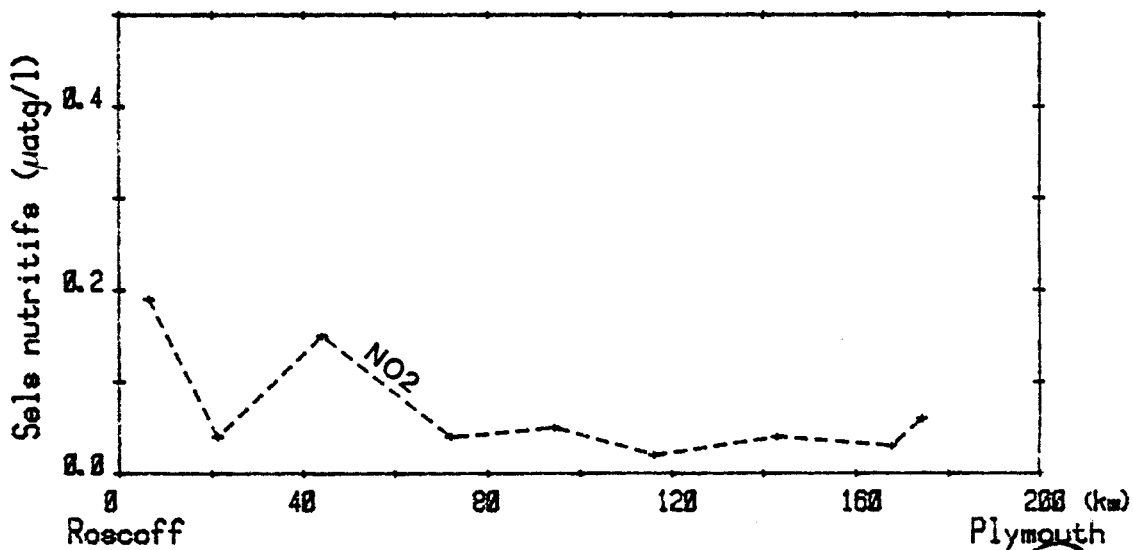
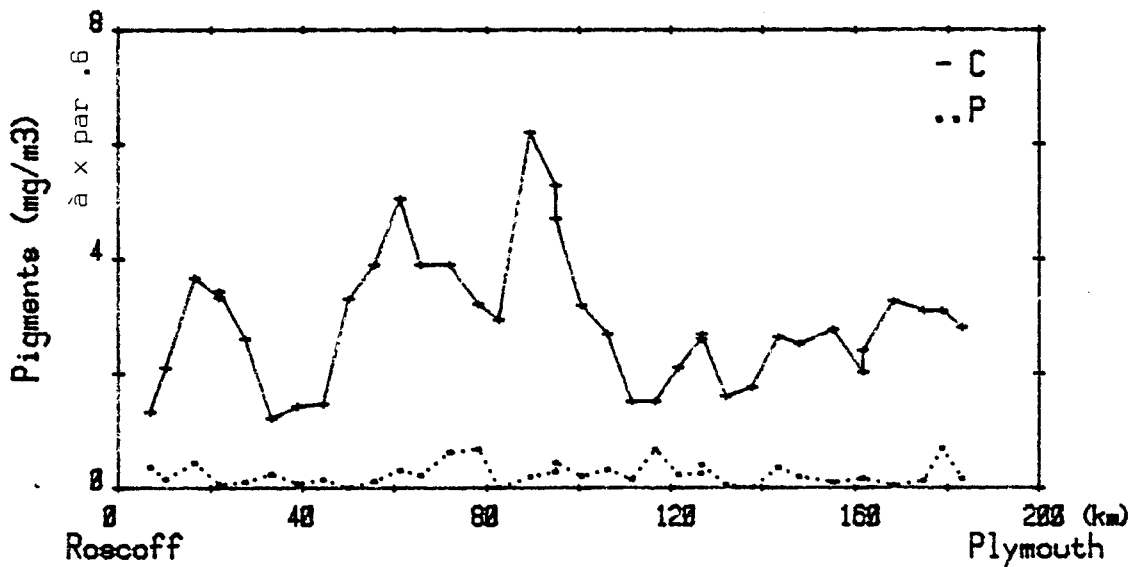
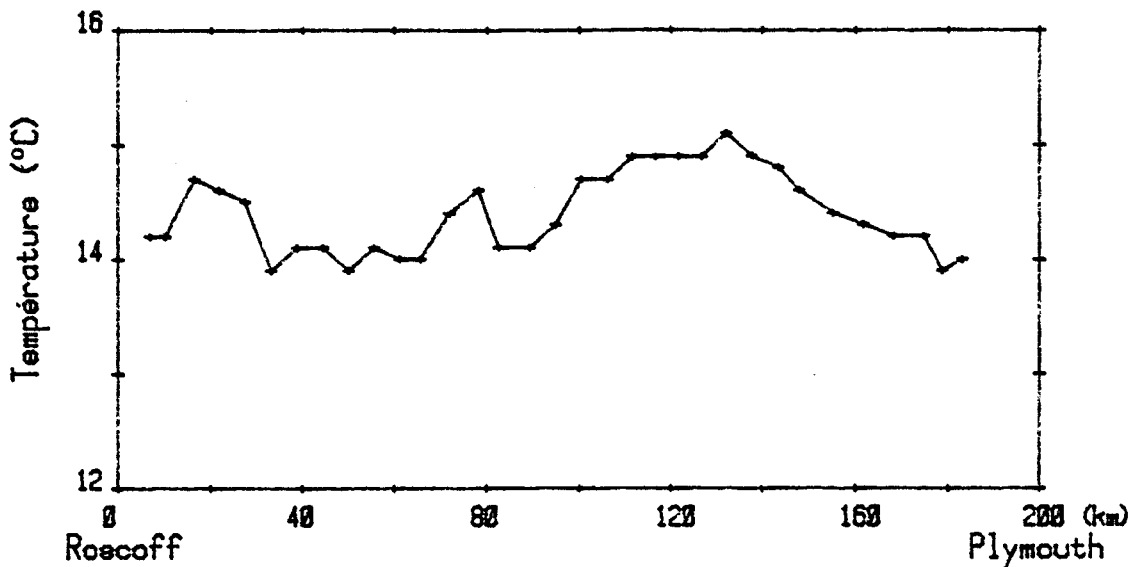




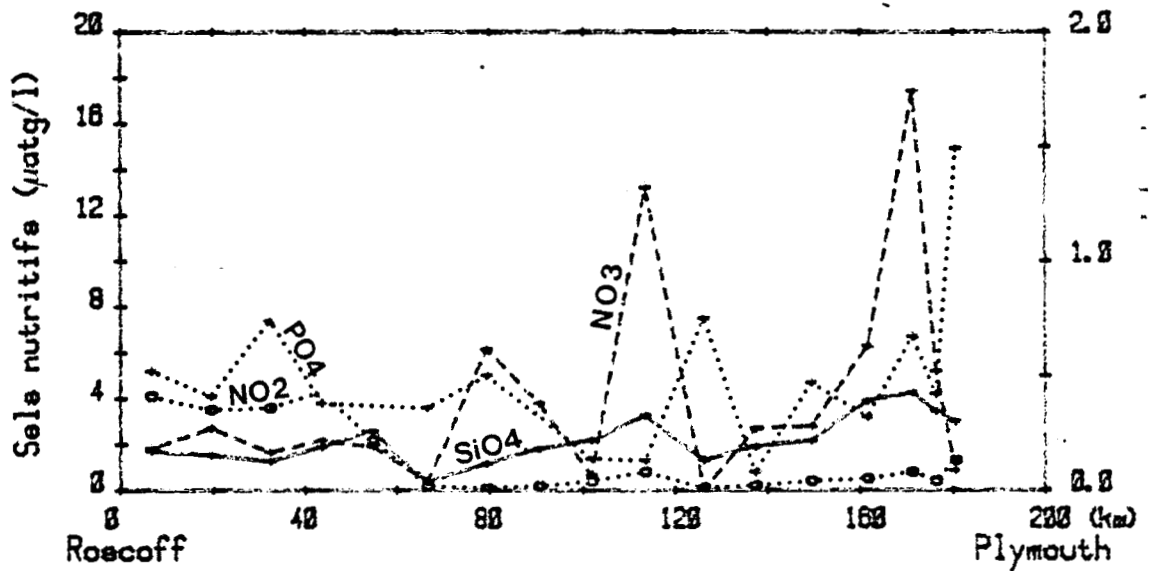
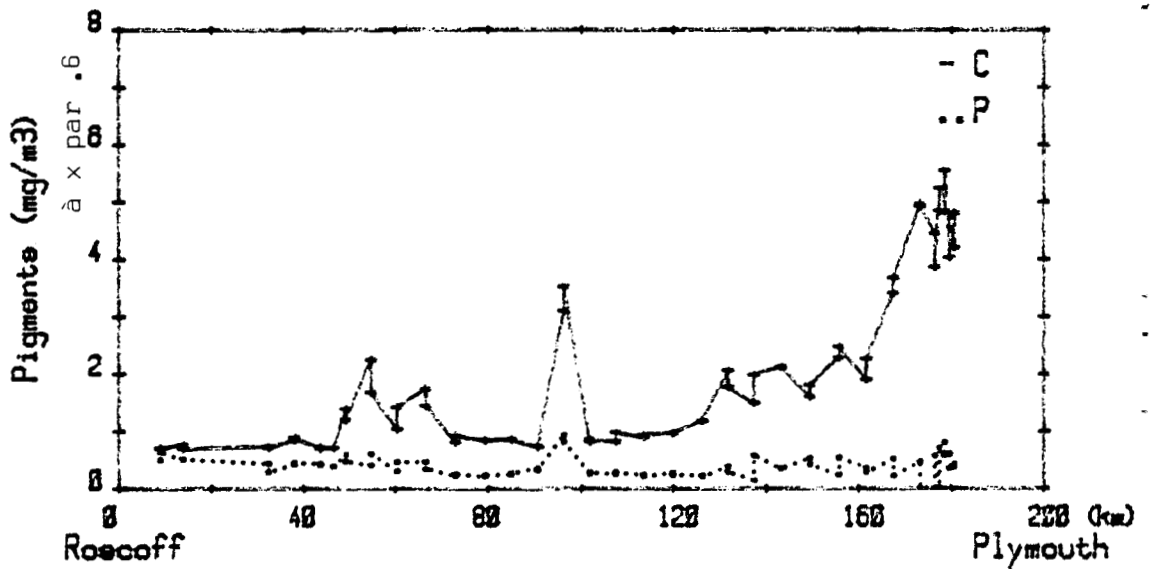
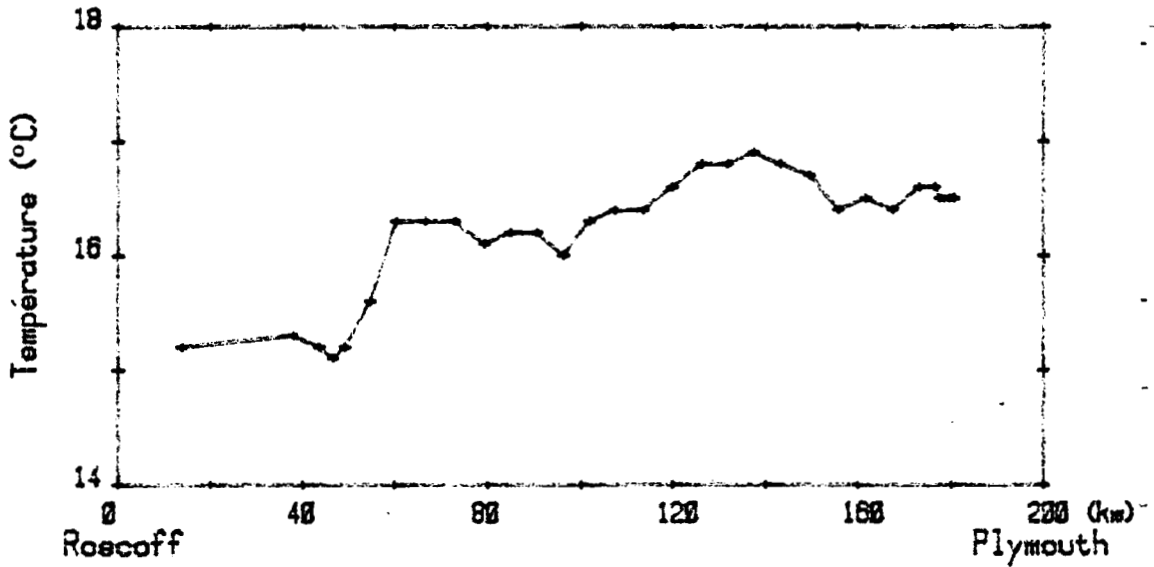
2 JUILLET 80



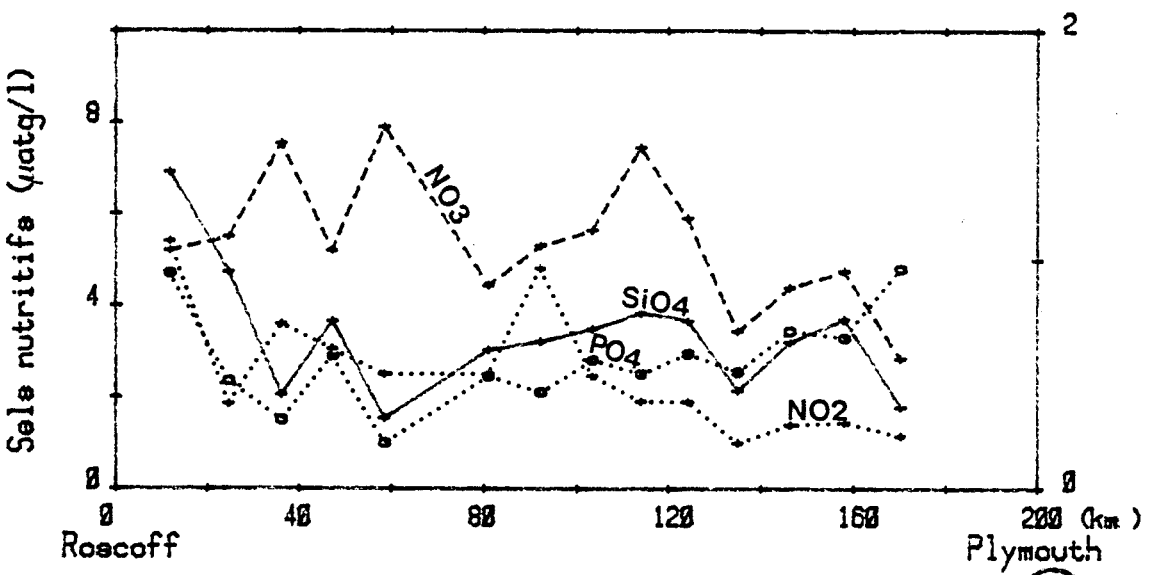
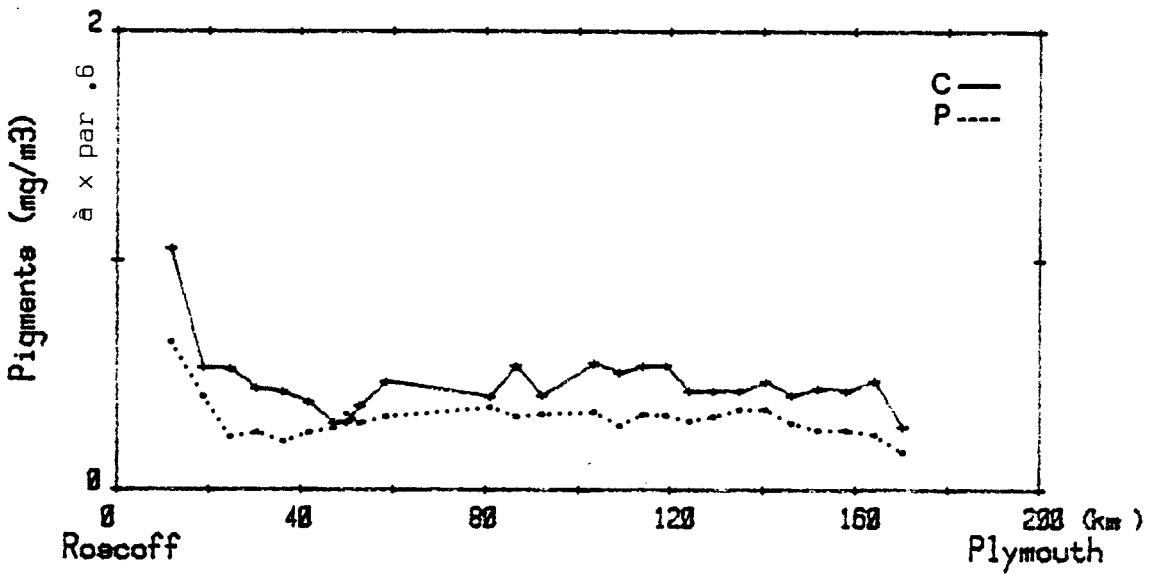
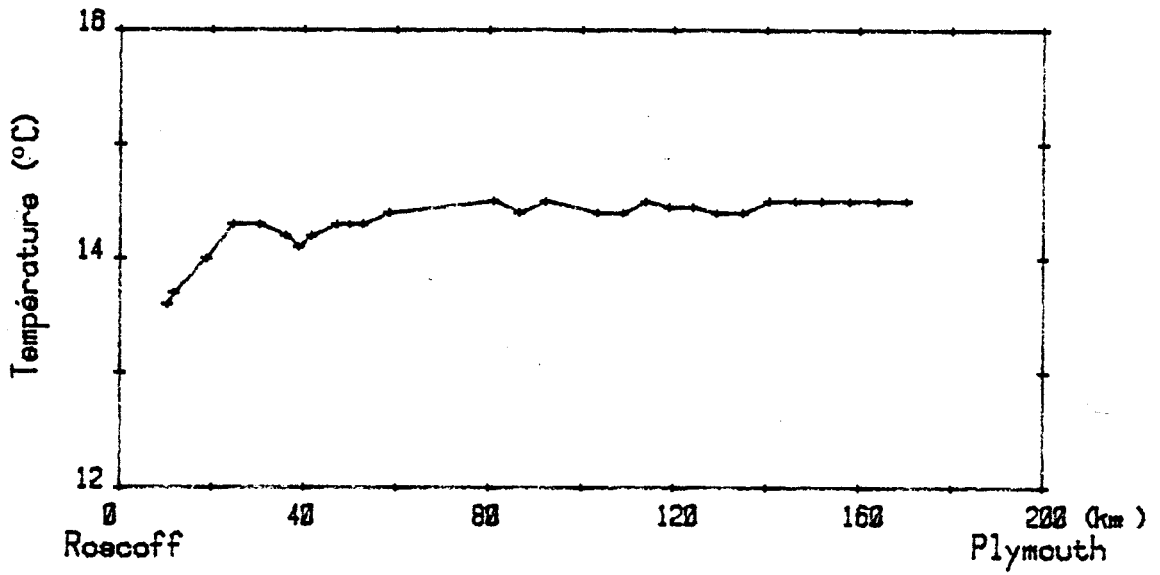
17 JUILLET 80



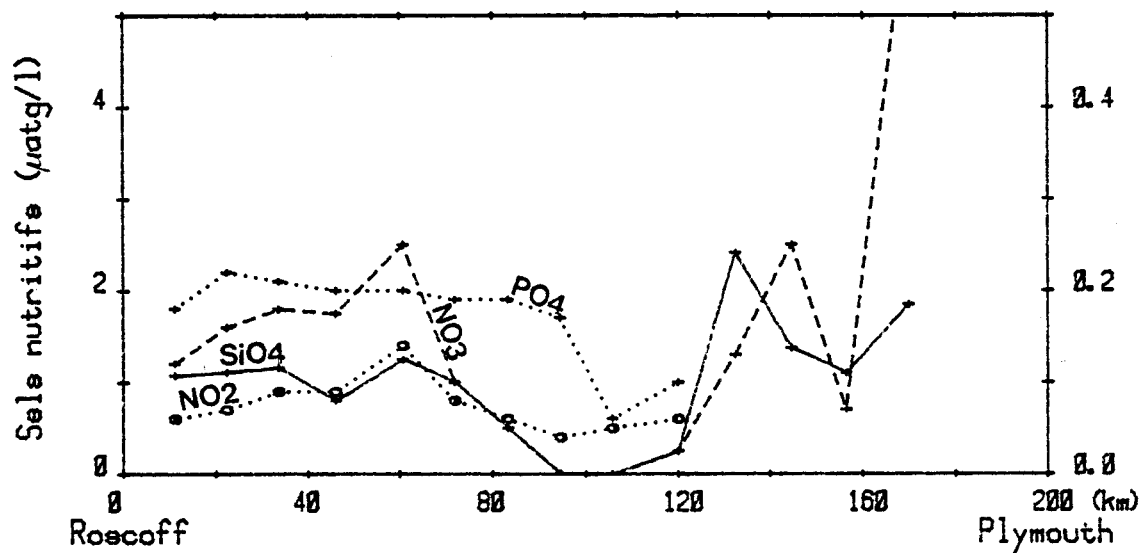
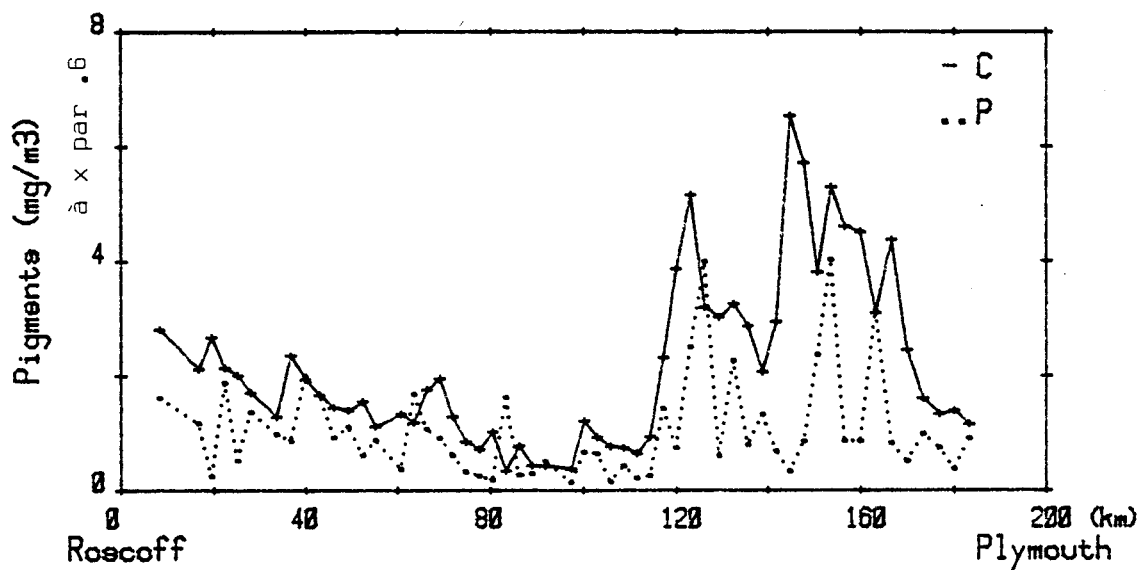
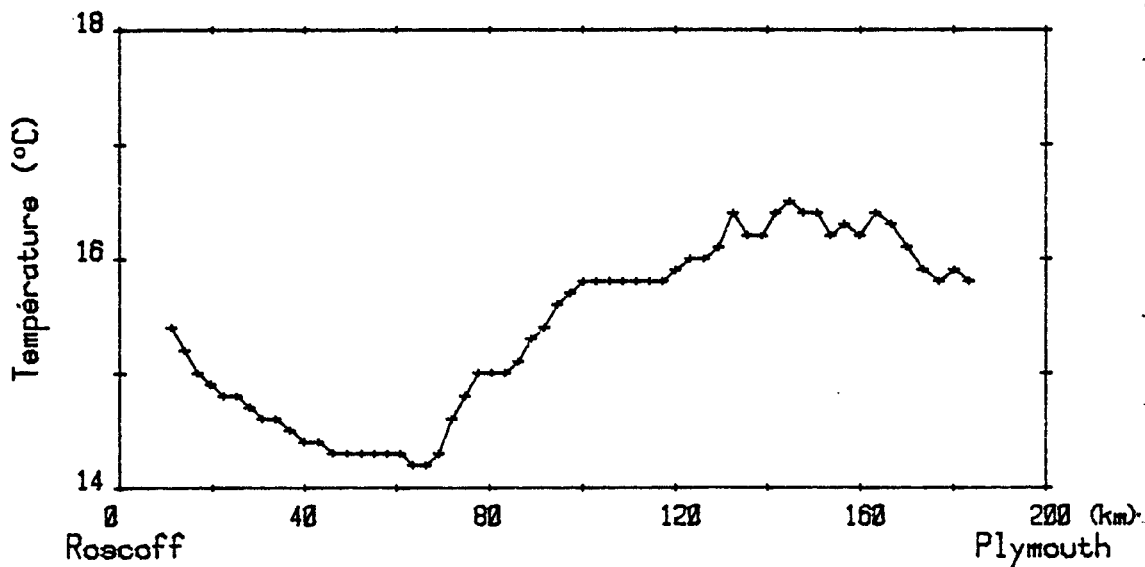
9 SEPTEMBRE 80 RET



1 NOVEMBRE 80

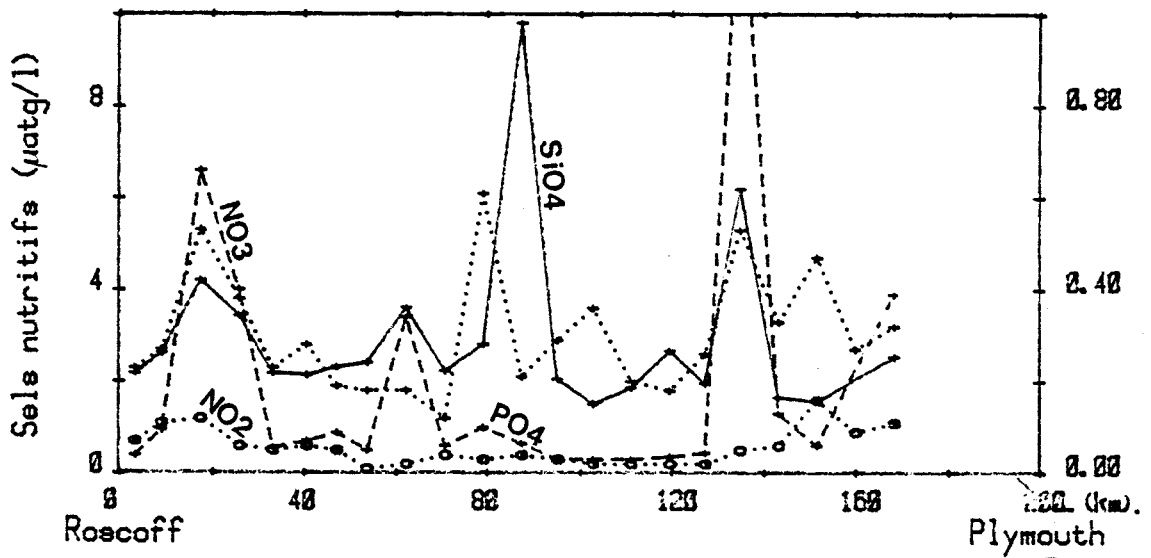
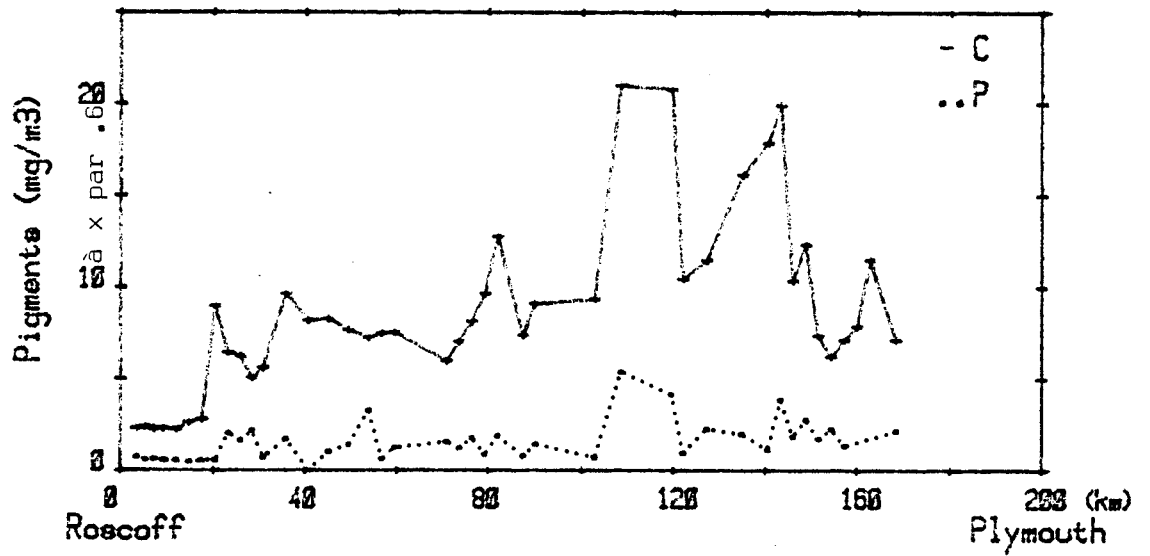
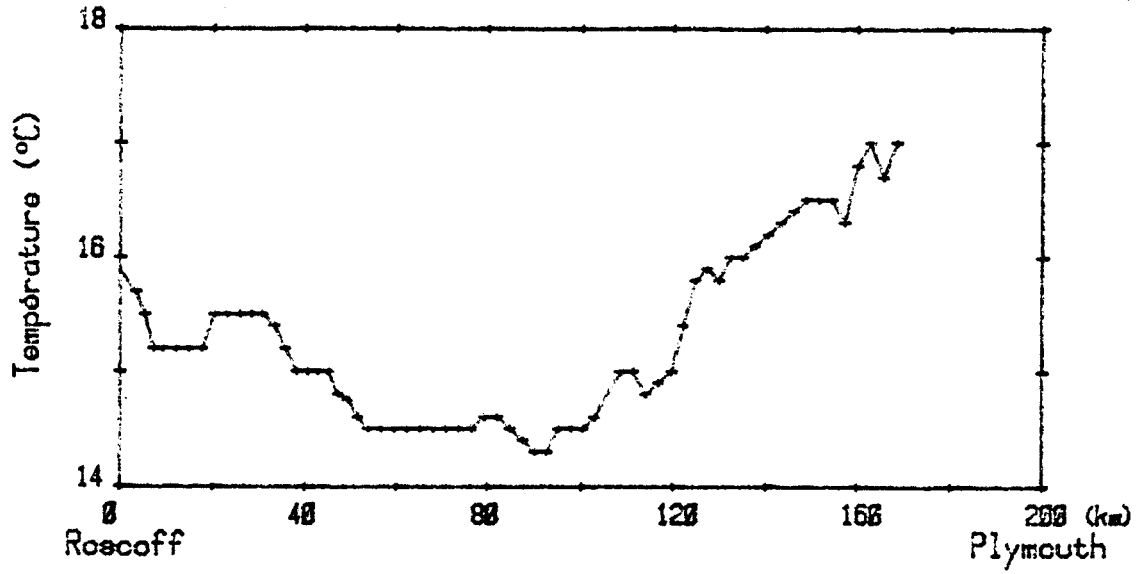


2 JUILLET 81

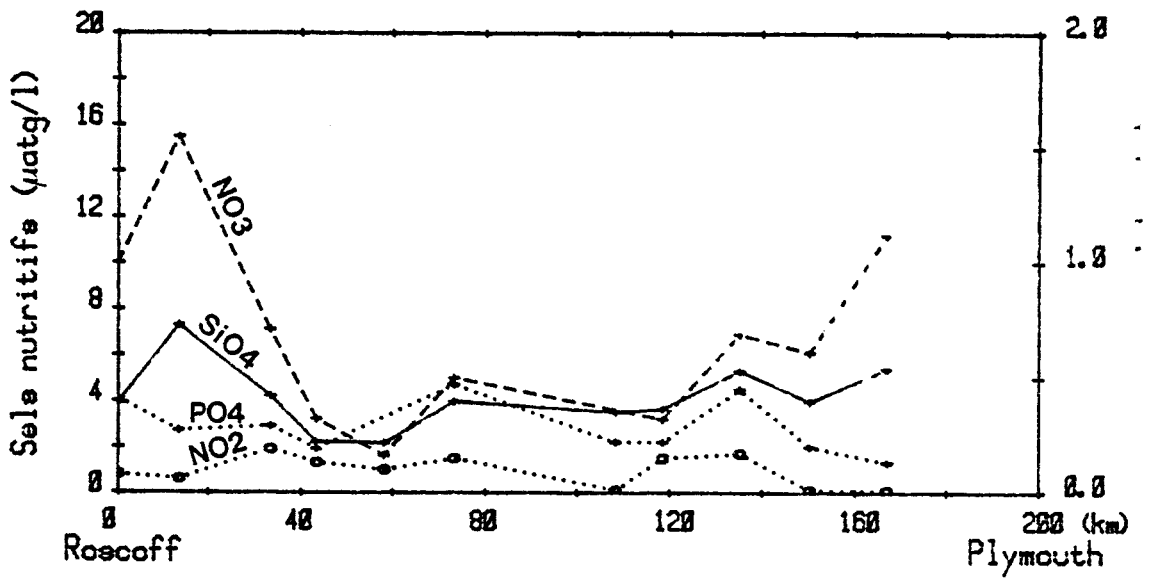
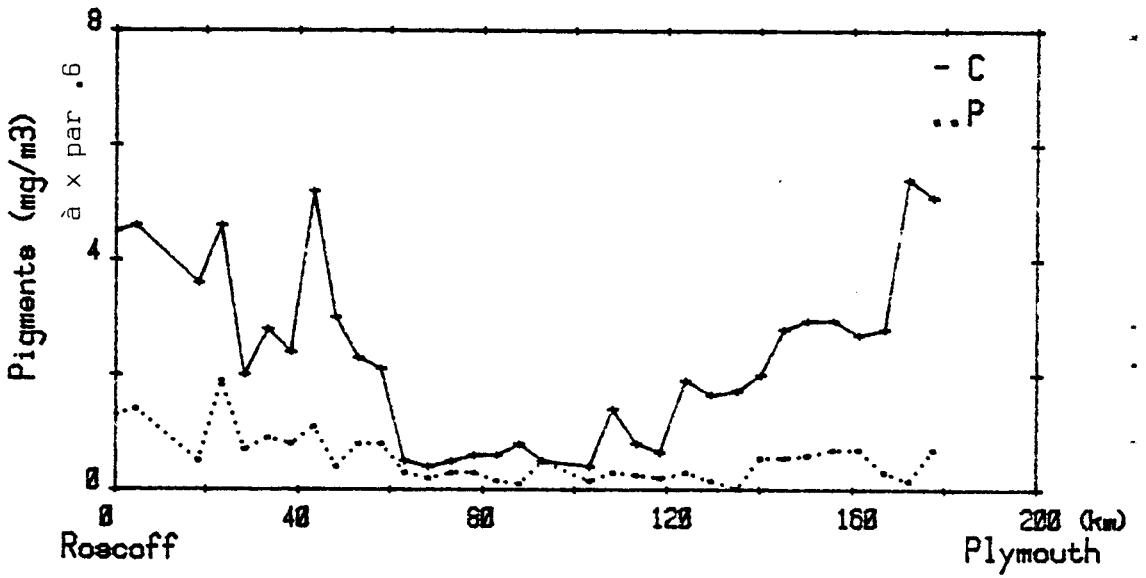
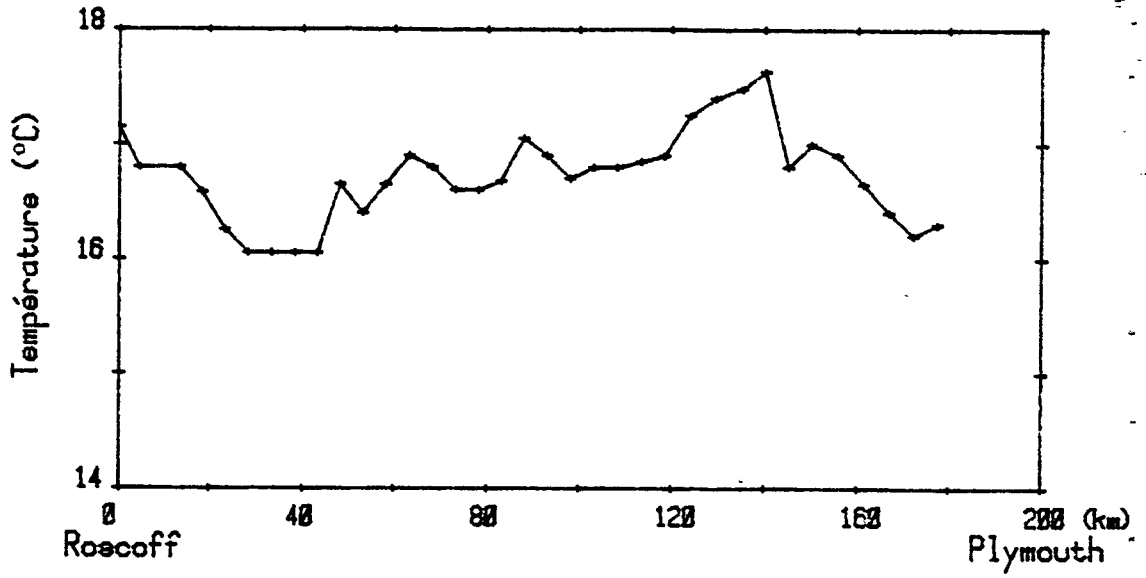


215  
1300

5 AGUT 81



20 AOUT 81



ANNEXE VMESURES D'OPTIQUE MARINE

Coordinateur : M. VIOLLIER

Développement expérimental et campagnes à la mer : J.Y. BALOIS, P. LECOMTE,  
C. DUPOUY

Sommaire : 1 - Introduction

- 2 - Définitions: - Propriétés apparentes  
- Propriétés intrinsèques  
- Propriétés spécifiques

- 3 - Matériel et méthodes : - Instrument  
- Traitement pour obtenir les propriétés apparentes  
- Calcul des propriétés intrinsèques

4 - Résultats : liste des coefficients optiques par station

5 - Références bibliographiques.

1 - Introduction

Depuis juin 1980, au cours de plusieurs campagnes, en Mer d'Iroise, Manche, et Pas de Calais, des mesures d'optique marine ont été réalisées à l'aide d'un radiomètre multispectral. Recueillies sur plus de 200 stations, ces mesures vont permettre d'effectuer le premier essai de classification optique des eaux de ces régions.

Nous donnons ici un rappel sur les définitions et les méthodes employées, ainsi que les résultats des campagnes faites à partir de Roscoff et Plymouth.

La forme de présentation de ces résultats (des tableaux récapitulatifs et concis) ne doit pas cacher l'importance du travail de saisie des données en mer et de leur traitement. Une station représente en effet environ 600 données (50 niveaux x 12 paramètres).



2 - Définitions2-1 - Propriétés apparentes

Les éclairements montant et descendant à la longueur d'onde  $\lambda$  mesurés dans un plan horizontal à la profondeur  $z$  étant notés  $E_U^\lambda(z)$  et  $E_D^\lambda(z)$ , on définit la réflectance

$$R_w^\lambda(z) = \frac{E_U^\lambda(z)}{E_D^\lambda(z)} \quad (1)$$

et le coefficient d'atténuation diffuse

$$K^\lambda(z) = - \frac{1}{E_D^\lambda(z)} \frac{\Delta E_D^\lambda(z)}{\Delta z} \quad (2)$$

Ces propriétés sont appelées apparentes, car elles dépendent des facteurs qui peuvent modifier les conditions d'éclairement : nébulosité, hauteur du soleil, état de surface, profondeur, hétérogénéité du milieu.

2- - Propriétés intrinsèques

Ces propriétés sont au contraire des caractéristiques propres du milieu en un point donné. Elles correspondent à la perte de rayonnement  $\Delta E$  dans la direction de propagation et le long d'une petite distance  $\Delta l$ . On distingue les fractions perdues par absorption  $\Delta E_a$  et par diffusion  $\Delta E_b$ . Ce qui conduit à définir les coefficients

$$\text{d'atténuation} \quad c^\lambda = - \frac{1}{E^\lambda} \frac{\Delta E^\lambda}{\Delta l} \quad (3)$$

$$\text{d'absorption} \quad a^\lambda = - \frac{1}{E^\lambda} \frac{\Delta E_a^\lambda}{\Delta l} \quad (4)$$

$$\text{de diffusion} \quad b^\lambda = - \frac{1}{E^\lambda} \frac{\Delta E_b^\lambda}{\Delta l} \quad (5)$$

avec

$$c^\lambda = a^\lambda + b^\lambda \quad (6)$$

Le rayonnement perdu par diffusion est retrouvé dispersé dans

toutes les autres directions, ce qui est décrit mathématiquement par la fonction de phase. En optique marine une bonne approximation consiste à simplifier cette description

$B^\lambda$ , probabilité de diffusion dans le demi-plan arrière.

On en déduit la probabilité de diffusion avant

$$F^\lambda = 1 - B^\lambda \quad (7)$$

Le produit  $(b.B)^\lambda$  est appelé coefficient de rétrodiffusion.

### 2-3 - Propriétés optiques spécifiques aux composants

En cherchant les influences des divers composants de l'eau de mer sur les propriétés optiques, on est amené à définir des coefficients spécifiques, c'est à dire les coefficients optiques normalisés à l'unité de concentration du composant étudié. On a ainsi une décomposition du type

$$(\text{coeff.})^\lambda = (\text{coeff.})^\lambda_\omega + \sum_{\chi} (\text{coeff.})^\lambda_\chi \cdot \bar{\chi} \quad (8)$$

où

$(\text{coeff.})^\lambda_\chi$  représente un des coefficients optiques,  $a$ ,  $b$ ,  $B$  ou  $b.B$ , relatif au composant  $\chi$ ,  $\bar{\chi}$  est la concentration du composant,  $(\text{coeff.})^\lambda_\omega$  est relatif à l'eau pure.

## 3 - Matériel et méthodes

### 3-1 - Instrument

On a utilisé un radiomètre fabriqué par la compagnie allemande EOS. Cet appareil qui peut être immergé jusqu'à une profondeur de 50 mètres, mesure les éclaircissements plans horizontaux  $E_u^\lambda$  et  $E_d^\lambda$  dans cinq bandes spectrales décrites table 1. Quatre bandes sont identiques à celles de CZCS, la bande à 400 nm a été ajoutée pour tenter de distinguer entre chlorophylle et substances jaunes. La température et la pression de l'eau sont également mesurées, ce qui permet de calculer la profondeur à laquelle la mesure a été faite. Le profil de température (figure 1) donne une

caractéristique hydrologique du milieu.

<u>Canal</u>	<u>Longueur d'onde centrale (nm)</u>
1	400
2	443
3	520
4	550
5	670

An.V Table 1 - Caractéristiques spectrales du radiomètre

### 3-2 - Détermination des propriétés apparentes

#### 3-2-1 - Réflectances

Les réflectances sont obtenues en faisant le rapport de  $E_u^\lambda$  sur  $E_d^\lambda$  (équation 1). Les exemples, donnés figure 2, montre que les réflectances sont en première approximation constantes quelque soit la profondeur, sauf près de la surface où des problèmes bien connus perturbent la mesure : ombres et réflexions parasites dues au navire, instabilité de l'instrument par mer agitée, focalisation du rayonnement par les vagues.

Dans la plupart des cas on ne garde qu'une seule valeur, appelée  $R_w^\lambda(o^-)$  correspondant à la moyenne des mesures sur toutes les profondeurs. A 670 nm, l'incertitude sur  $R_w^\lambda$  est très grande. Dans les premiers mètres on rencontre les problèmes évoqués plus haut ; au delà le signal  $E_u^\lambda$  est très faible, inférieur à la sensibilité de l'instrument. Pour les autres canaux, on estime l'incertitude à  $\Delta R_w^\lambda = \pm 0,005$ .

#### 3-2-2 - Coefficient d'atténuation diffuse

Les valeurs de  $K^\lambda(z)$  sont déterminées par les tracés graphiques de  $\ln(E_d^\lambda(z))$  en fonction de  $z$ . En effet, en cas de milieu homogène, et

d'après l'équation 2, les points de ce graphique doivent s'aligner sur une droite dont la pente est égale à  $-K^\lambda$  (figure 3). Dans un milieu à plusieurs couches, on observe des ruptures de pente (figure 4) ce qui conduit à définir plusieurs valeurs de  $K$  :  $K^\lambda(o^-)$  et  $K(z)$ . Les mesures de  $K$  à 670 nm sont à prendre avec précaution pour diverses raisons : très forte absorption par l'eau, influence possible de la fluorescence,...

### 3-3 - Calcul des propriétés intrinsèques

#### 3-3-1 - Calcul du coefficient d'absorption

L'équation donnée par MOREL et PRIEUR (1975) et reprise dans un article récent par PRIEUR et SATHYENDRANATH (1981) a été utilisée

$$a^\lambda = \frac{K^\lambda(1-R^\lambda) \cos j}{0,6 + \{0,47 + 2,5 R\} \cos j} \quad (9)$$

où  $K^\lambda$  et  $R^\lambda$  sont les coefficients décrits dans le paragraphe précédent, et  $j$  est l'angle zénithal du soleil dans l'eau. En cas de ciel couvert la valeur 0,86 est introduite à la place de  $\cos j$ .

Quoique très proche de l'approximation donnée par PREISENDORFER (1976)

$$a^\lambda = 0,75 K^\lambda \quad (10)$$

l'équation (9) permet de tenir compte de l'influence de la diffusion par l'intermédiaire de  $R$  et de  $j$ . Qualitativement :  $b$  et  $R$  variant dans le même sens, le rapport  $a/K$  diminue lorsque  $R$  augmente, ce qui est bien traduit par l'équation (9).

#### 3-2 - Calcul du coefficient de rétrodiffusion

Le coefficient de rétrodiffusion  $(b.B)^\lambda$  est calculé au moyen de l'équation donnée par MOREL et PRIEUR (1977)

$$(B.b)^\lambda = a^\lambda R(o^-) / 0,33 \quad (11)$$

où  $R^{\wedge}(o^-)$  est la réflectance diffuse (section 3-2-1) et  $a$  est le coefficient d'absorption (section 3-3-1).

On ne peut aller plus loin dans les calculs des propriétés intrinsèques (calcul de B et de F), car ceux-ci auraient nécessité des mesures de  $c(z)$  ou de  $b(z)$ .

#### 4 - Résultats

On trouvera après les figures successivement quatre sous-ensembles de tableaux, respectivement pour les campagnes

- 1) - John Murray en mars (stations M)
- 2) - Pluteus en juin (stations P)
- 3) - John-Murray 16 juillet (stations J)
- 4) - John Murray 17 juillet

Chaque sous-ensemble est constitué de 4 tableaux

- 1) - angle solaire zénithal et réflectances (l'absence d'angle solaire signifie couverture nuageuse),
- 2) - coefficient d'atténuation diffuse (en cas de milieu stratifié, le coefficient retenu correspond à la couche supérieure),
- 3) - le coefficient d'absorption, calculé à l'aide de l'équation 9, auquel on a soustrait le coefficient de l'eau pure,
- 4) - le coefficient de rétrodiffusion, calculé à l'aide de l'équation 11, et multiplié par 100.

#### 5 - Références bibliographiques (Annexe Optique Marine)

- MOREL A. et PRIEUR L. 1975 "Analyse spectrale des coefficients d'atténuation diffuse, d'absorption et de rétrodiffusion pour diverses régions maritimes". Centre de Recherche Oceanogr. Villefranche Sur Mer, Rapport 17, 157 p.
- MOREL A. et PRIEUR L. 1977 "Analysis of variations in ocean color". Limnology and Oceanography, 22, 709-722.
- PRIEUR L. et SATHYENDRANATH S. 1981 "An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter and other particulate materials". Limnology and Oceanography, 26, 671-689.
- PREISENDORFER R.W. 1976 "Hydrologic optics" vol. V U.S. Dept. of Commerce, NOAA - U.S. Govt Printing Office.

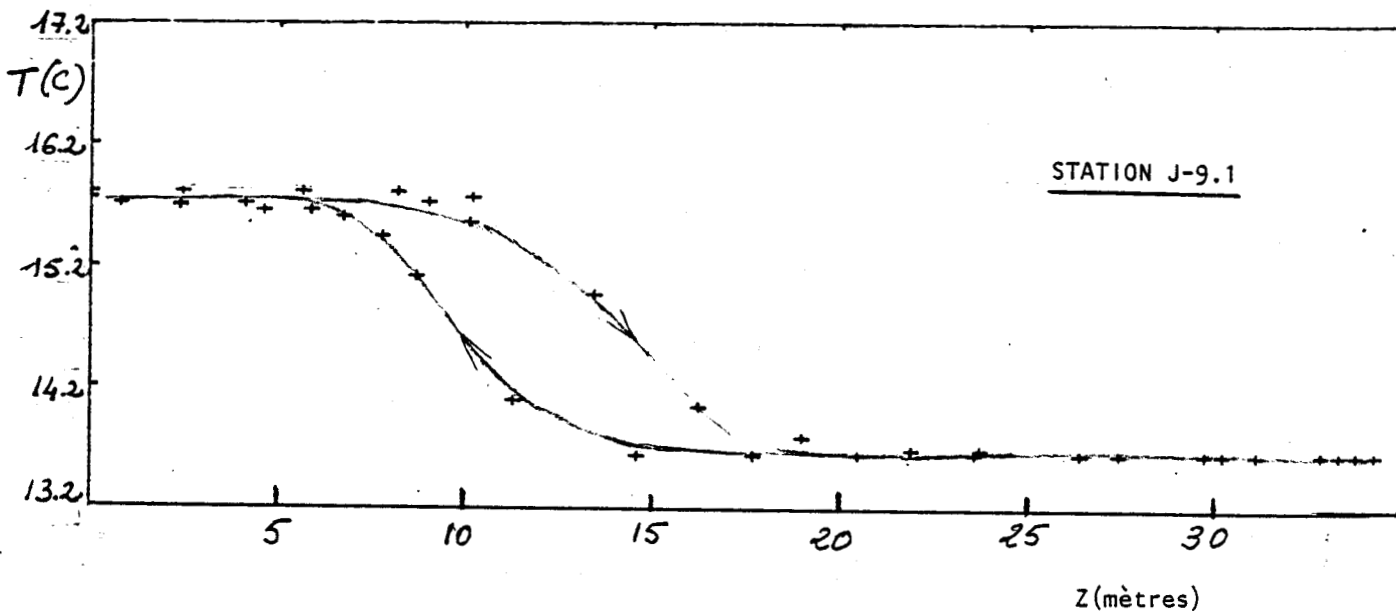
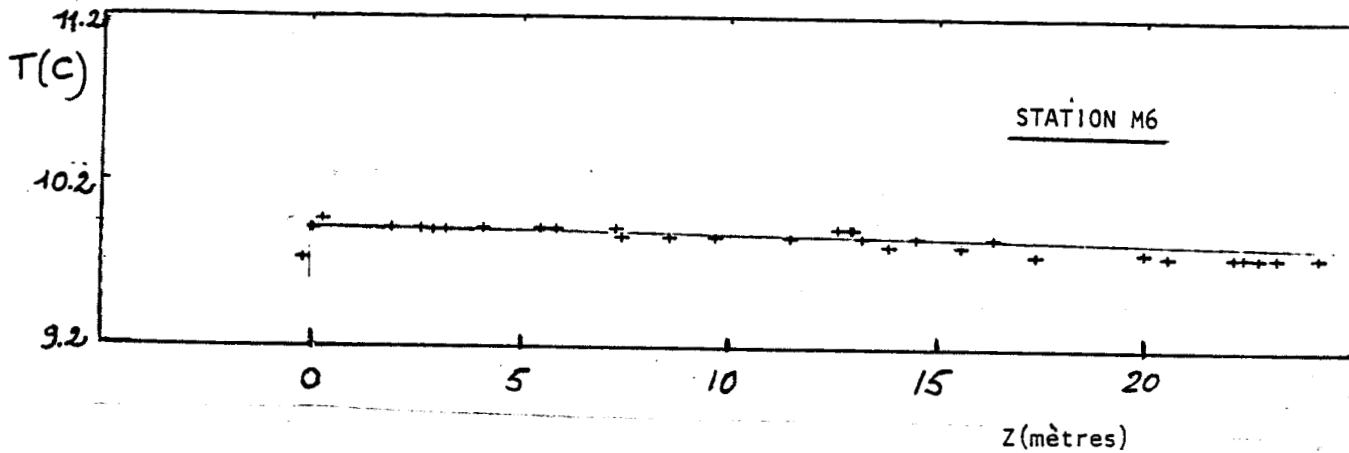


Figure 1 (Annexe V) - Température de l'eau en fonction de la profondeur en haut : à cette station effectuée en mars, le milieu est homogène.  
 en bas : en juillet, la stratification est bien établie, la température diminue d'environ 2 degrés entre 10 et 15 mètres ; le dédoublement des courbes, à la montée et à la descente de l'instrument est probablement un effet d'inertie thermique du système de mesure.

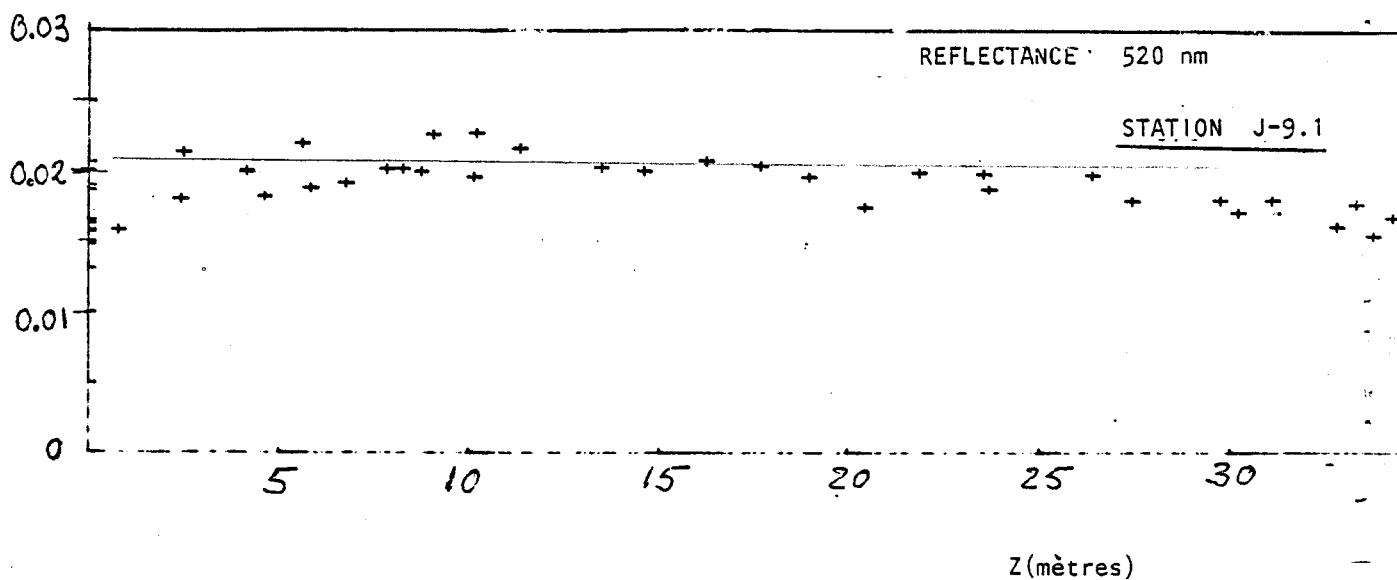
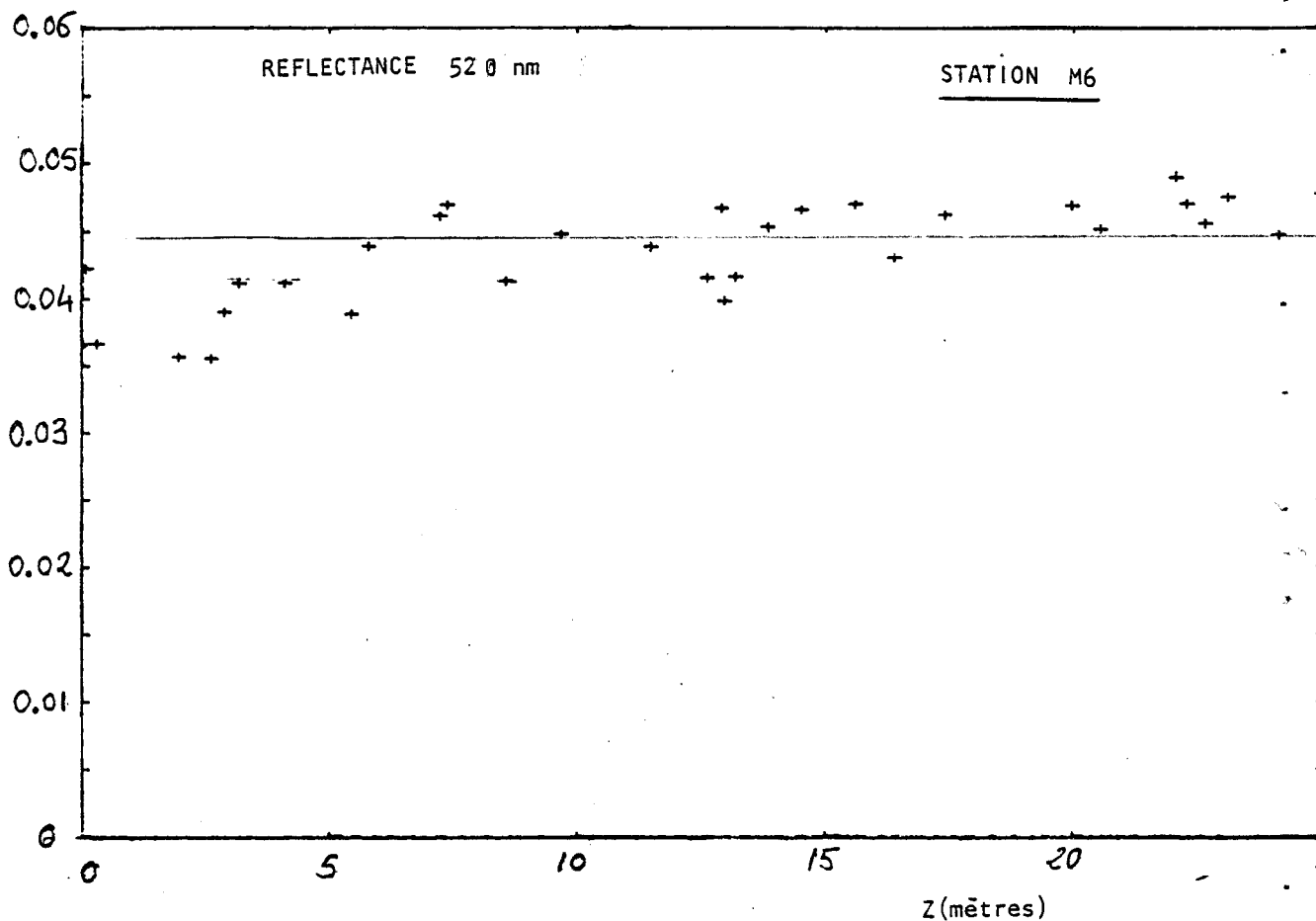


Figure 2 (Annexe V) - Réflectance en fonction de la profondeur

La différence de niveau sur les 2 graphiques s'explique par le fait qu'en mars les eaux étaient beaucoup plus turbides qu'en juillet, et moins riches en phytoplancton.



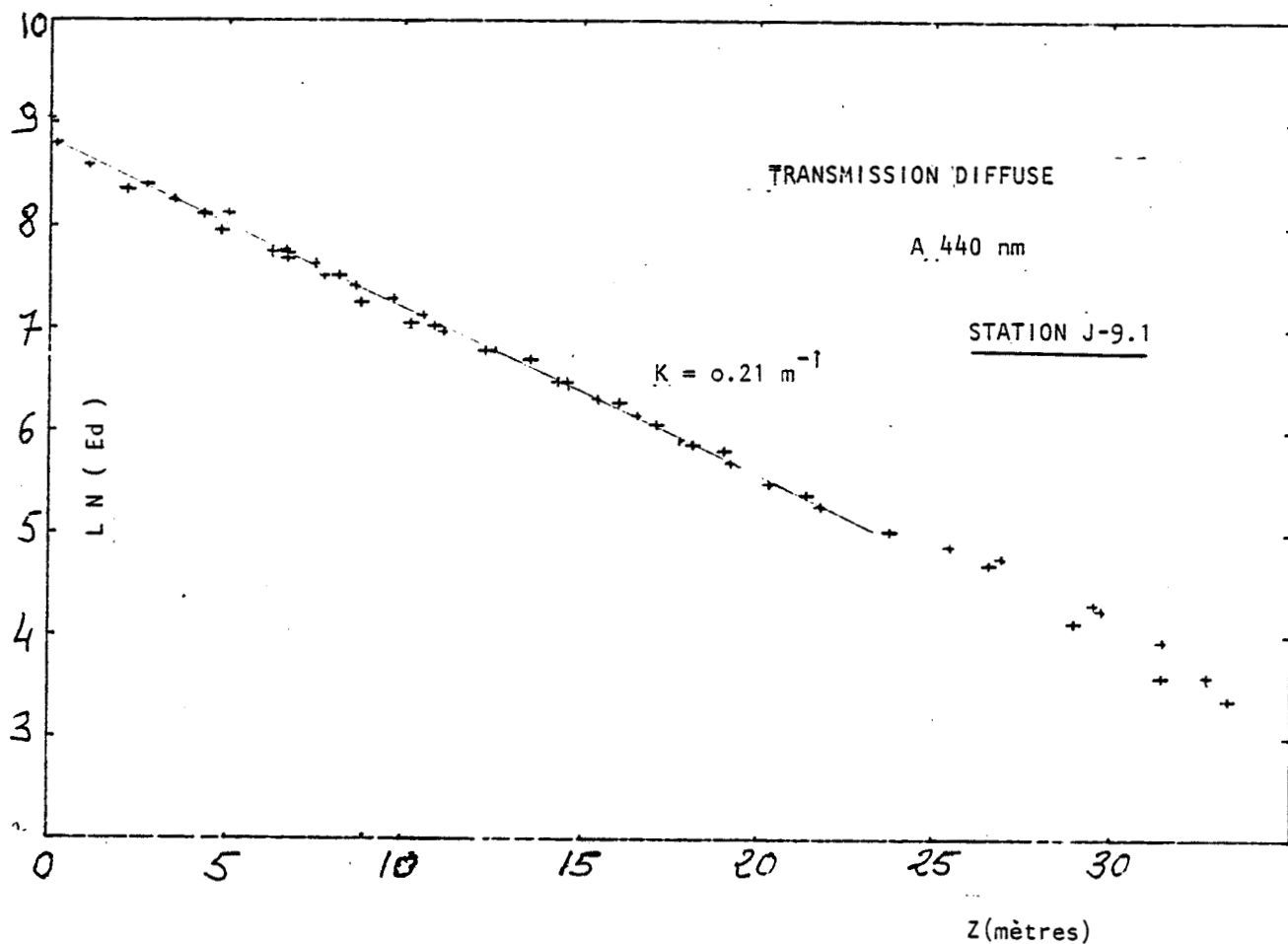
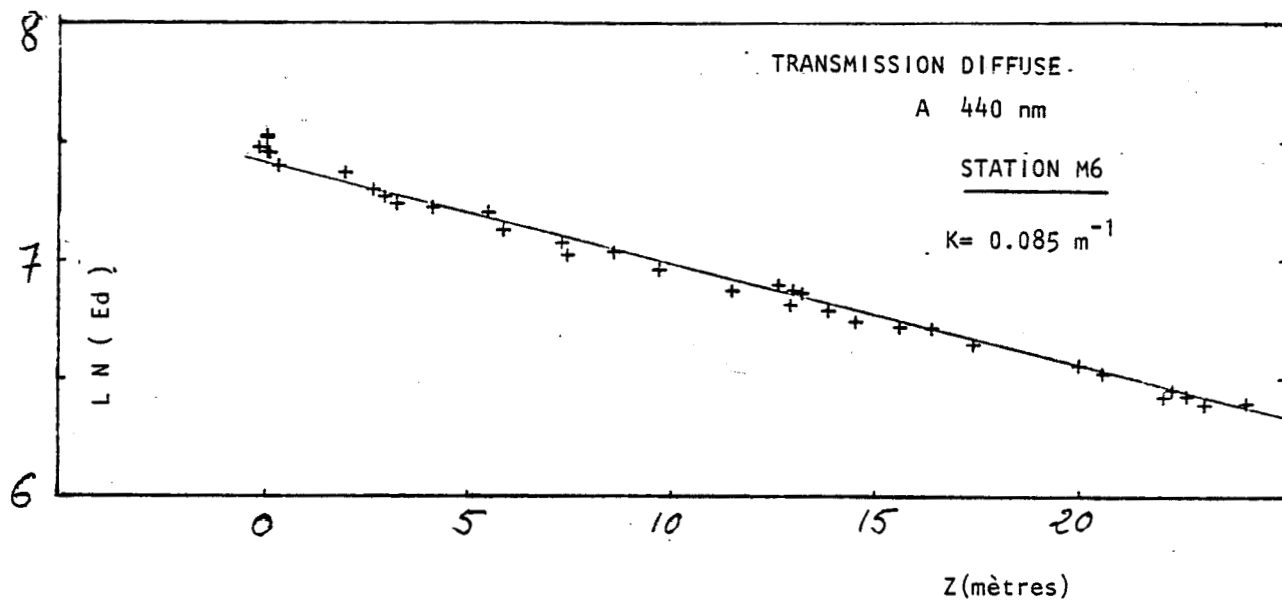


Figure 3 - Logarithme du flux descendant (en valeur relative en fonction de la profondeur.

Annexe V

La pente de la droite obtenue correspond au coefficient d'atténuation diffuse  $K$ .



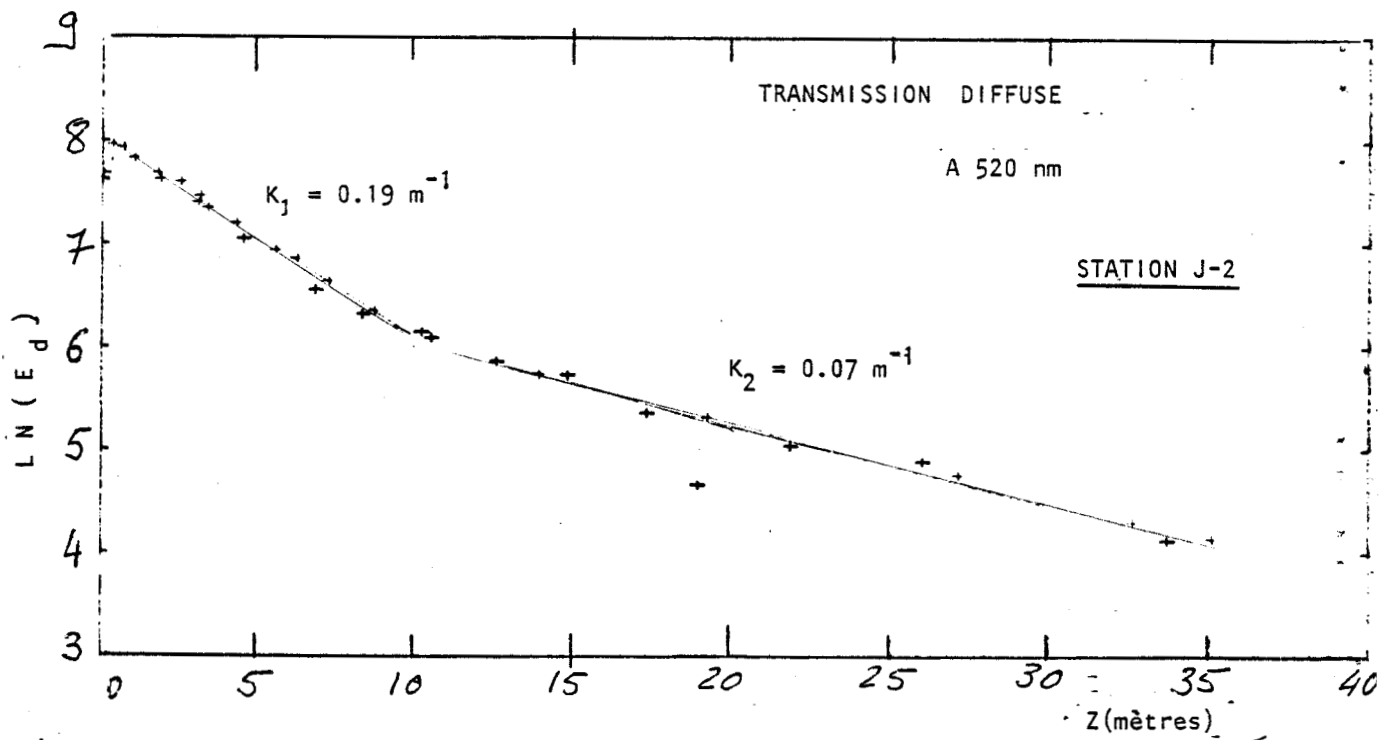
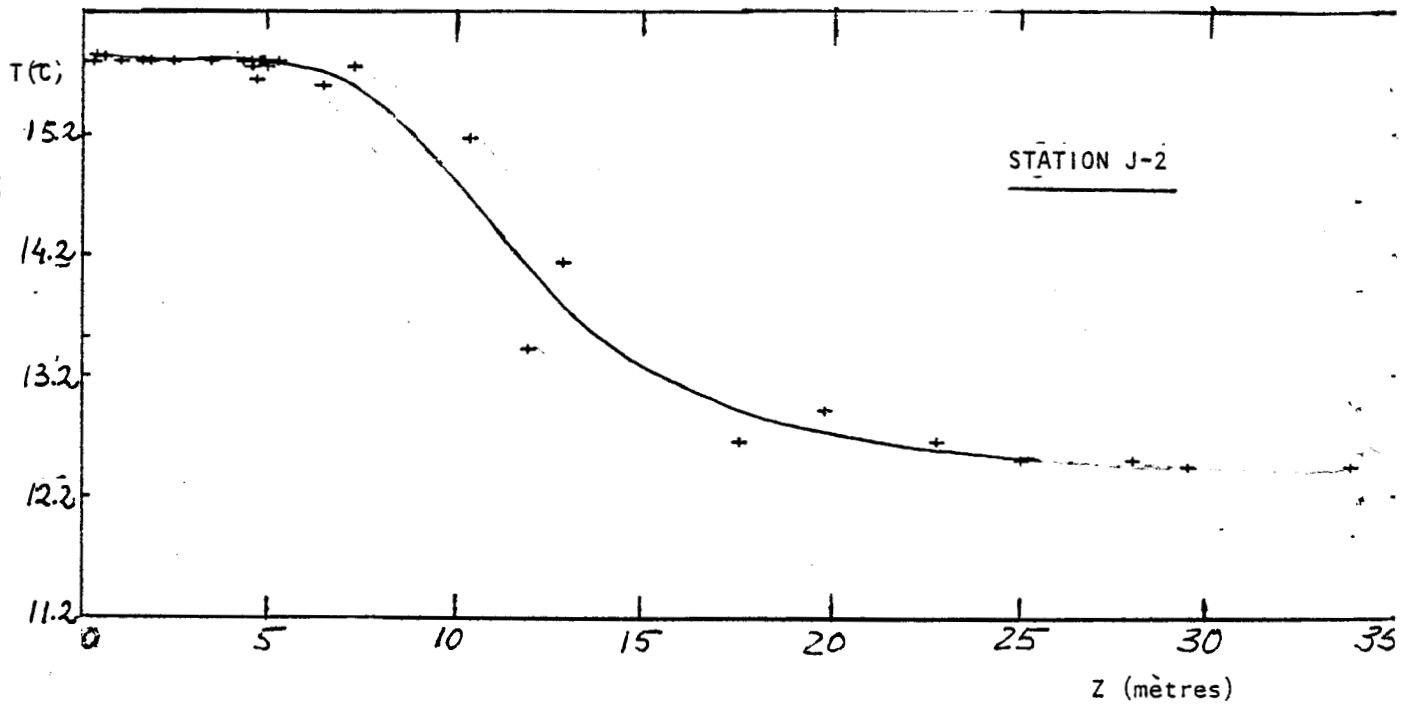


Figure 4 - Cas d'un milieu optique à deux couches

Annexe V

En haut : température

En bas : pénétration de la lumière

Dans ce cas les eaux de surface sont nettement plus opaques que celles de la couche inférieure.

STATION	TETAθ	R400	R440	R520	R550	R670
M1	68.0	0.038	0.063	0.098	0.114	0.045
M2	55.2	0.023	0.026	0.033	0.034	0.009
M3	52.0	0.028	0.034	0.038	0.045	0.006
M4	50.4	0.025	0.028	0.033	0.025	0.005
M5	60.0	0.038	0.048	0.049	0.042	0.009
M6		0.038	0.037	0.044	0.038	0.006
M7		0.025	0.038	0.044	0.038	0.007

STATION	Kd400	Kd440	Kd520	Kd550	Kd670
M1	0.680	0.540	0.370	0.360	0.730
M2	0.181	0.151	0.122	0.132	0.480
M3	0.147	0.113	0.101	0.108	0.460
M4	0.130	0.108	0.086	0.113	0.590
M5	0.135	0.110	0.089	0.108	
M6	0.113	0.085	0.066	0.076	0.440
M7	0.140	0.112	0.100	0.108	0.470

STATION	A*=A-AW A*400	A*440	A*520	A*550	A*670
M1	0.451	0.332	0.168	0.137	0.011
M2	0.119	0.099	0.042	0.033	-0.113
M3	0.093	0.069	0.026	0.014	-0.058
M4	0.082	0.067	0.018	0.023	0.054
M5	0.080	0.063	0.013	0.012	
M6	0.070	0.050	0.001	-0.006	-0.061
M7	0.093	0.070	0.027	0.018	-0.036

STATION	bB.100 bB400	bB440	bB520	bB550	bB670
M1	5.396	6.640	6.411	6.934	6.686
M2	0.958	0.905	0.892	1.002	0.854
M3	0.946	0.860	0.858	1.062	0.711
M4	0.759	0.709	0.656	0.659	0.659
M5	0.894	0.944	0.912	0.975	
M6	0.802	0.727	0.652	0.665	0.785
M7	0.841	0.980	0.988	0.945	0.859



STATION	TETA0	R400	R440	R520	R550	R670
P12		0.015	0.020	0.033	0.028	0.005
P11	34.7	0.013	0.021	0.026	0.023	0.005
P10-1	16.9	0.017	0.021	0.028	0.025	0.007
P10-2	60.3	0.012	0.016	0.019	0.019	0.004
P9	64.2	0.014	0.016	0.017	0.016	0.003
P8	54.6	0.010	0.012	0.014	0.017	0.003
P7	36.9	0.015	0.016	0.025	0.027	0.005

STATION	Kd400	Kd440	Kd520	Kd550	Kd670
P12	0.148	0.109	0.060	0.070	0.400
P11	0.179	0.130	0.090	0.100	0.460
P10-1	0.168	0.115	0.087	0.094	0.500
P10-2	0.146	0.100	0.068	0.077	0.400
P9	0.141	0.106	0.074	0.085	
P8	0.150	0.137	0.099	0.111	0.400
P7	0.210	0.164	0.075	0.081	0.400

STATION	A**A-400	A**A-440	A**A-520	A**A-550	A**A-670
P12	0.103	0.073	-0.002	-0.009	-0.093
P11	0.134	0.092	0.025	0.018	-0.030
P10-1	0.129	0.084	0.025	0.016	0.020
P10-2	0.094	0.061	0.003	-0.006	-0.115
P9	0.088	0.064	0.007	-0.001	
P8	0.101	0.093	0.029	0.022	-0.106
P7	-0.000	0.122	0.012	0.001	-0.085

STATION	bB.100	bB400	bB440	bB520	bB550	bB670
P12	0.543	0.534	0.460	0.473	0.551	
P11	0.597	0.606	0.579	0.565	0.546	
P10-1	0.755	0.633	0.627	0.605	0.982	
P10-2	0.407	0.363	0.287	0.333	0.343	
P9	0.452	0.379	0.290	0.305		
P8	0.360	0.379	0.331	0.436	0.265	
P7	0.000	0.655	0.457	0.524	0.564	

PLUTEUS -JUN 15-16 JUN 81



STATION	TETA0	R400	R440	R520	R550	R670
J1	54.8	0.007	0.011	0.015	0.017	0.004
J2		0.007	0.008	0.010	0.015	0.005
J3		0.005	0.005	0.009	0.015	0.005
J4		0.005	0.003	0.004	0.011	0.005
J5		0.003	0.004	0.005	0.013	0.005
J6		0.005	0.003	0.004	0.011	0.006
J7		0.004	0.005	0.008	0.014	0.005
J8		0.008	0.011	0.014	0.017	0.004
J9		0.010	0.013	0.017	0.017	0.004
J10		0.009	0.014	0.017	0.017	0.003
J11		0.012	0.016	0.021	0.021	0.005

STATION	Kd400	Kd440	Kd520	Kd550	Kd670
J1	0.230	0.189	0.126	0.118	0.500
J2	0.340	0.310	0.189	0.184	0.470
J3	0.362	0.334	0.234	0.177	0.430
J4	0.620	0.650	0.454	0.332	0.534
J5	0.650	0.660	0.430	0.314	0.544
J6	0.960	0.950	0.580	0.404	0.710
J7	0.560	0.550	0.352	0.270	0.493
J8	0.220	0.170	0.110	0.130	0.420
J9	0.200	0.150	0.111	0.110	0.440
J10	0.195	0.170	0.112	0.104	0.410
J11	0.143	0.110	0.090	0.090	0.470

STATION	A**A-AW				
	A*400	A*440	A*520	A*550	A*670
J1	0.166	0.134	0.050	0.027	-0.027
J2	0.267	0.244	0.109	0.086	-0.033
J3	0.287	0.266	0.147	0.081	-0.067
J4	0.505	0.536	0.335	0.210	0.021
J5	0.533	0.543	0.314	0.194	0.028
J6	0.793	0.792	0.442	0.271	0.167
J7	0.456	0.448	0.246	0.158	-0.015
J8	0.166	0.126	0.042	0.041	-0.074
J9	0.148	0.109	0.042	0.025	-0.057
J10	0.144	0.125	0.043	0.020	-0.082
J11	0.100	0.075	0.024	0.008	-0.033

STATION	bB.100				
	bB400	bB440	bB520	bB550	bB670
J1	0.389	0.475	0.446	0.463	0.440
J2	0.570	0.605	0.466	0.692	0.541
J3	0.462	0.452	0.549	0.666	0.495
J4	0.792	0.534	0.511	0.948	0.615
J5	0.501	0.710	0.592	1.010	0.750
J6	1.105	0.636	0.653	1.075	1.067
J7	0.574	0.744	0.678	0.913	0.679
J8	0.445	0.448	0.385	0.556	0.388
J9	0.503	0.472	0.475	0.471	0.406
J10	0.443	0.579	0.479	0.445	0.285
J11	0.429	0.429	0.453	0.464	0.541

STATION	TETA0	R400	R440	R520	R550	R670
J9-1		0.012	0.017	0.024	0.028	0.005
J9-2		0.018	0.025	0.038	0.046	0.005
J9-3		0.012	0.015	0.021	0.024	0.005

STATION	Kd400	Kd440	Kd520	Kd550	Kd670
J9-1	0.218	0.178	0.138	0.138	0.418
J9-2	0.178	0.138	0.078	0.068	0.478
J9-3	0.195	0.162	0.108	0.095	0.448

STATION	A**A-AW	A*400	A*440	A*520	A*550	A*670
J9-1		0.155	0.123	0.055	0.038	-0.085
J9-2		0.128	0.088	0.005	-0.019	-0.034
J9-3		0.143	0.117	0.032	0.012	-0.058

STATION	BB.100	BB400	BB440	BB520	BB550	BB670
J9-1		0.638	0.707	0.749	0.878	0.565
J9-2		0.735	0.769	0.616	0.616	0.648
J9-3		0.585	0.594	0.584	0.543	0.587

JOHN MURRAY -17 JUILLET 81

ANNEXE VITELEDETECTION

L'algorithme utilisé pour notre étude est basé sur un rapport de réflectances. Nous discutons ici du choix de ce rapport.

1 - Utilisation du rapport

Nous savons d'après les travaux de MOREL (1980) SMITH et WILSON (1980), CLARK (1980), VIOLLIER (1980) que les rapports de réflectances de canaux différents peuvent éliminer les effets de l'atmosphère et sont reliés à la concentration en pigments de façon significative.

Toutefois, la différence de réflectances dans 2 canaux différents permet d'éliminer plus sûrement les effets de l'atmosphère et de réflexion de surface (VIOLLIER, 1980). La différence est plus sujette à caution lorsque les relations entre concentrations en chlorophylle et les valeurs de rétrodiffusion sont très variables d'un point à un autre de la scène.

Or, c'est souvent le cas en Manche, où des eaux côtières turbides voisinent avec les eaux du large, aux réflectances très différentes.

Nous avons donc préféré utiliser un algorithme sous forme de rapports de deux canaux.

2 - Choix du rapport  $\frac{\rho_1}{\rho_3}$  ou  $\frac{\rho_2}{\rho_3}$

---

Deux algorithmes conduisent théoriquement à la concentration en "chlorophylle" (tableau 5)

$$\frac{\rho_{440}}{\rho_{550}} \quad \text{ou} \quad \frac{\rho_{520}}{\rho_{550}}$$

Il est préférable d'utiliser le rapport  $\rho_{520}/\rho_{550}$  pour plusieurs raisons:

- le canal de mesure dans le bleu (440 nm) a subi depuis l'année de lancement de CZCS une importante baisse de sensibilité. Les mesures

sont donc entachées d'une importante incertitude (VIOLLIER, 1982),

- le canal "bleu" est le plus difficile à corriger des effets de l'atmosphère mesurés à 670 nm,

- nous trouvons (au chapitre IV) une corrélation légèrement meilleure entre ce rapport et la concentration en pigments.

Le rapport  $\rho_{440}/\rho_{550}$  est plus sensible aux faibles valeurs en pigments. Nous utiliserons pour l'ensemble des images 1981 le même rapport  $\rho_{520}/\rho_{550}$  de façon à obtenir des résultats comparables.





## RESUME

Cette étude océanographique du phytoplancton de la Manche Ouest met en oeuvre des moyens nouveaux : suivi régulier des propriétés de la surface sur une ligne commerciale entre Roscoff et Plymouth en 1980 et 1981, utilisation d'images de l'expérience Coastal Zone Color Scanner sur le satellite Nimbus 7 (CZCS) et campagnes de mesures d'optique marine permettant l'interprétation des données satellitaires en 1981.

Elle permet de mettre en évidence une importante variabilité des poussées phytoplanctoniques en relation avec la présence du front thermique. En 1981, à l'aide de la combinaison d'images CZCS et de mesures en mer, on décrit un développement de Diatomées sur le front thermique, et une floraison massive de Dinoflagellés dans la zone stratifiée, celle-ci s'étendant sur une surface de 30 000 km<sup>2</sup> et persistant pendant plus d'un mois. Les eaux de la Manche, au moins à cette période, ont des propriétés optiques (atténuation et réflectances) influencées par le phytoplancton, ce qui conduit à établir un algorithme permettant l'analyse quantitative des scènes CZCS.

L'expérience CZCS apporte donc une vision synoptique des processus phytoplanctoniques, qui, associée à une étude de l'état bio-optique du milieu marin, devient un outil indispensable à toute étude d'océanographie biologique.

- PHYTOPLANCTON. FLORAISON
- OCEAN. COULEUR/SATELLITE IMAGE
- OPTIQUE MARINE
- MANCHE OCCIDENTALE. FRONT THERMIQUE
- SATELLITE. IMAGE/OCEAN. COULEUR

