

DEUX ASPECTS DIFFERENTS DES FLORAISONS DE PHYTOPLANKTON  
VUS PAR SATELLITE (CZCS) EN MANCHE OCCIDENTALE

C. DUPOUY

ORSTOM, 70-74 route d'Aulnay, 93 Bondy, France

(travail effectué au Laboratoire d'Optique Atmosphérique de Lille  
actuellement Attachée de Recherche ORSTOM, Bondy)

ABSTRACT

Two images recorded during summer 1981 by the experience CZCS on the satellite NIMBUS 7 over the English Channel have been treated and are presented here. They provide a synoptic view of very large patterns of complex shape related differently in June and July to the thermal front. Spectral signatures measured during two oceanographic campaigns comaptibly with the images allow the development of an algorithm for determination of chlorophyll concentration on the zone. Corresponding hydrologic and biological data prove that the two observed phytoplankton blooms have a different type (diatoms/dinoflagellates) and probably do not have the same implications on the marine food chain.

Key words

Thermal front, remote sensing, CZCS, phytoplankton, spectral signature, chlorophyll distribution, English Channel.

1. INTRODUCTION

La Manche Occidentale présente en été une structure thermique très particulière qui a été étudiée au cours des dernières années, et modélisée (ref. 1). En effet, les courants de marée, importants le long des côtes françaises, créent une zone brassée et donc plus froide l'été que le reste de la Manche qui demeure stratifiée. Le front thermique marquant la remontée de la thermocline à la surface, suit la ligne d'isovitesse de courant des 2 noeuds (fig. 1). Les développements de phytoplancton sont déterminés par la présence de la thermocline et du front thermique mais présentent une grande variabilité saisonnière et annuelle (ref. 1-2-3). Une zone aussi complexe ne peut être étudiée qu'à l'aide de moyens nouveaux : suivis temporels en mer effectués conjointement à l'utilisation d'images satellitaires. Les données de couleur de l'océan fournies par l'expérience satellitaire Coastal Zone Color Scanner (CZCS), lancée sur Nimbus 7, ont fourni des informations de nature nouvelle sur la biomasse du phytoplancton et ont pu être interprétées quantitativement et qualitativement à l'aide des vérité-mer.

2. DONNEES

2.1. Analyse des données océanographiques

Les données permettant l'interprétation des images de CZCS proviennent de deux campagnes océanographiques menées la première en juin (Pluteus, 15-16 juin 1981), la deuxième en juillet, celle-ci sur un navire de Plymouth (John Murray, 15-16-17 juillet 81) sur les trajets indiqués fig. 1. Les paramètres biologiques et les propriétés optiques mesurés en parallèle à chaque station sont résumés à la table 1.

TABLE 1

Paramètres biologiques et physiques	Propriétés optiques spectrales en fonction de la profondeur Z (m)
-------------------------------------	---

Température (sonde thermique)

Eclairement descendant Ed  
Eclairement remontant Eu

Chlorophylle (fluorescence Turner)

Comptages cellulaires (fixation Lugol)

Réflectance  $R = \frac{Ed}{Eu}$   
Coef. d'atténuation diffuse Kd  
 $\log Ed = Kd f(z)$

(Radiomètre multispectral à 5 bandes  
Electro Optics Suarez)

Les réflectances de l'eau en juillet sont reportées en fonction de la longueur d'onde à la figure 2. La réflectance à 550 nm décroît de 0,02 à 0,009 quand la concentration en chlorophylle augmente de 1 à 30  $mgm^{-3}$ .

O. R. S. I. O. M. Fonds Documentaire

N° : 15639

Cote : B

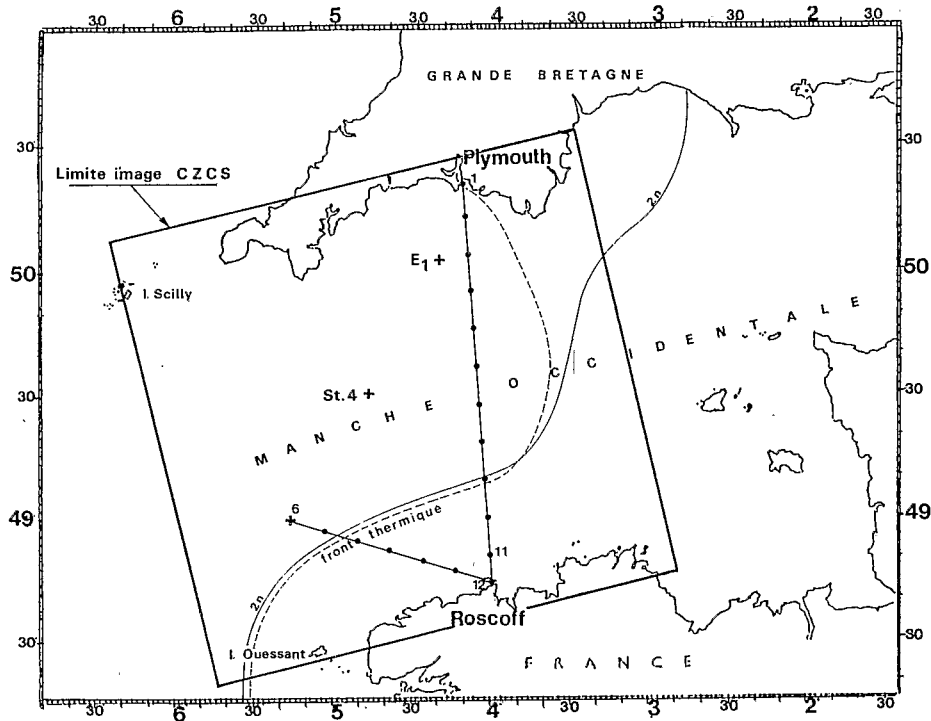


Fig. 1 - Average position of the thermal front in the English Channel. Location of the Pluteus campaign from Roscoff to the open waters (St. 6) and of the John Murray campaign from Roscoff to Plymouth (St. 11 to St. 1).

under. w. refl.

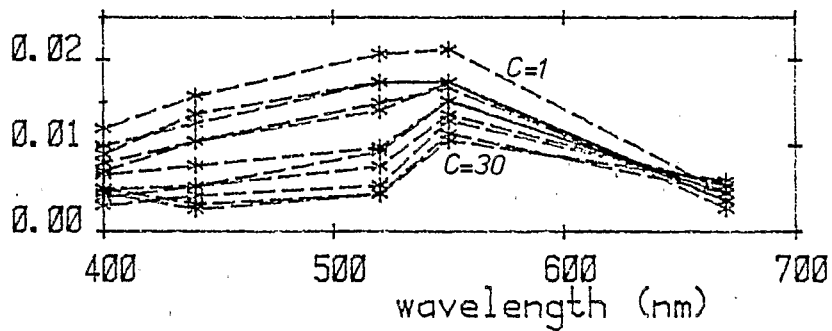


Fig. 2 - Spectral reflectance measured just below the surface in the Western English Channel, on July 17th 1981, across a *Gyrodinium aureolum* bloom (see further in the text). The chlorophyll concentration  $C$  ranged from 1 to 30  $\text{mg}/\text{m}^3$ . The sediment content was negligible.

De cet ensemble de juillet des mesures de réflectances  $R$ , et de concentrations en chlorophylle,  $C$ , on a pu déterminer une régression linéaire de la forme  $\log R (s_{20})/(s_{50}) = a + b \log C$  qui constitue le premier algorithme de détermination de la chlorophylle pour la Manche Occidentale (ref. 4.5). Cette relation, utilisant les réflectances vert-jaune et proche de celle de Gordon (ref. 6) est représentée fig. 3. Elle permet l'interprétation en terme de chlorophylle, des images de CZCS de juin et juillet, obtenues à moins de 10 jours d'intervalle avec les campagnes.

\* Les réflectances de juin sont analogues à celles des eaux les plus claires de juillet

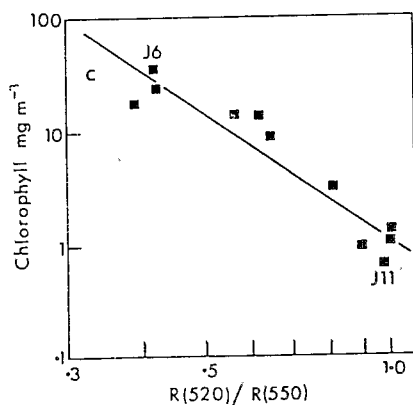


Fig. 3 - Regression of log chlorophyll concentration (C) against log of the ratio of subsurface reflectances at 520 and 550 nm (measurements from stations J<sub>6</sub> - J<sub>11</sub> between Roscoff and Plymouth on 17 July 1981).

## 2.2. Analyse des documents de CZCS

L'expérience CZCS possède un canal thermique et 5 canaux dans le visible et proche infra-rouge (400, 440, 520, 550, 670 nm). Les documents étudiés datent du 22 juin et du 28 juillet 81. Les cartes de température tracées d'après ces documents CZCS (fig. 4a, 4b) montrent deux aspects différents du front thermique : le gradient est faible et diffus en juin, plus net mais déformé par de nombreux tourbillons cycloniques en juillet. La zone stratifiée et chaude est beaucoup plus importante au milieu de l'été.

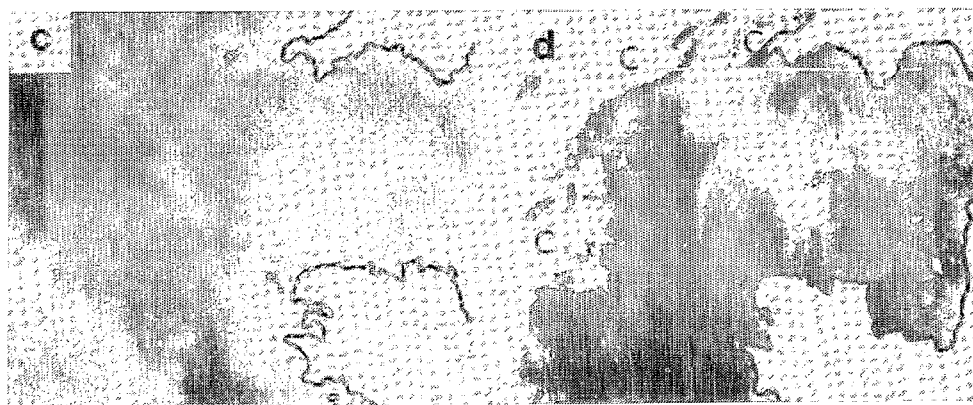
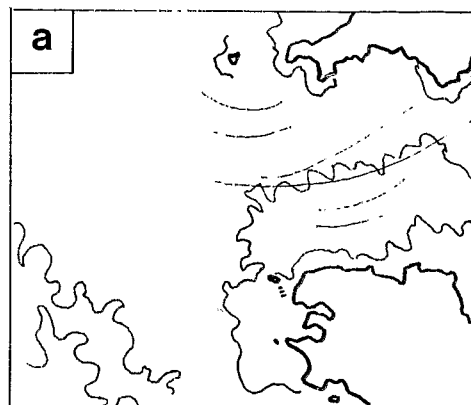


Fig. 4 - CZCS images (a) and (c), 11 20 GMT 22 June 1981; (b) and (d), 10 50 GMT 29 July 1981; (a) and (b) show temperature distribution drawn from the CZCS images and also respectively the Pluteus and John Murray routes. (16-17 June and 16-17 July 1981).

Les deux images correspondantes de la "couleur de l'océan" (fig. 4c, 4d) sont les produits finaux du traitement élaboré au L.A.O. (ref. 7.8) c'est-à-dire corrigés des effets de l'atmosphère et résultant du rapport d'images dans les deux canaux "vert" et "jaune" (longueurs d'onde 550/520). La régression linéaire de la fig. 3 nous permet d'affirmer que les documents obtenus représentent la répartition de la concentration en pigments de la couche de surface (sur la profondeur:

$$Z = \frac{1}{Kd_{550}}$$

et avec une précision sur  $\log C$  de  $\pm 0.2$ , réf. 4).

### 3. INTERPRETATION DES DOCUMENTS CZCS

Les cartes de la chlorophylle (représentées fig. 4c, 4d) montrent que la répartition du phytoplancton est cohérente avec celle des températures et peuvent être interprétées grâce aux coupes Pluteus et John Murray (fig. 5a, b, c, d).

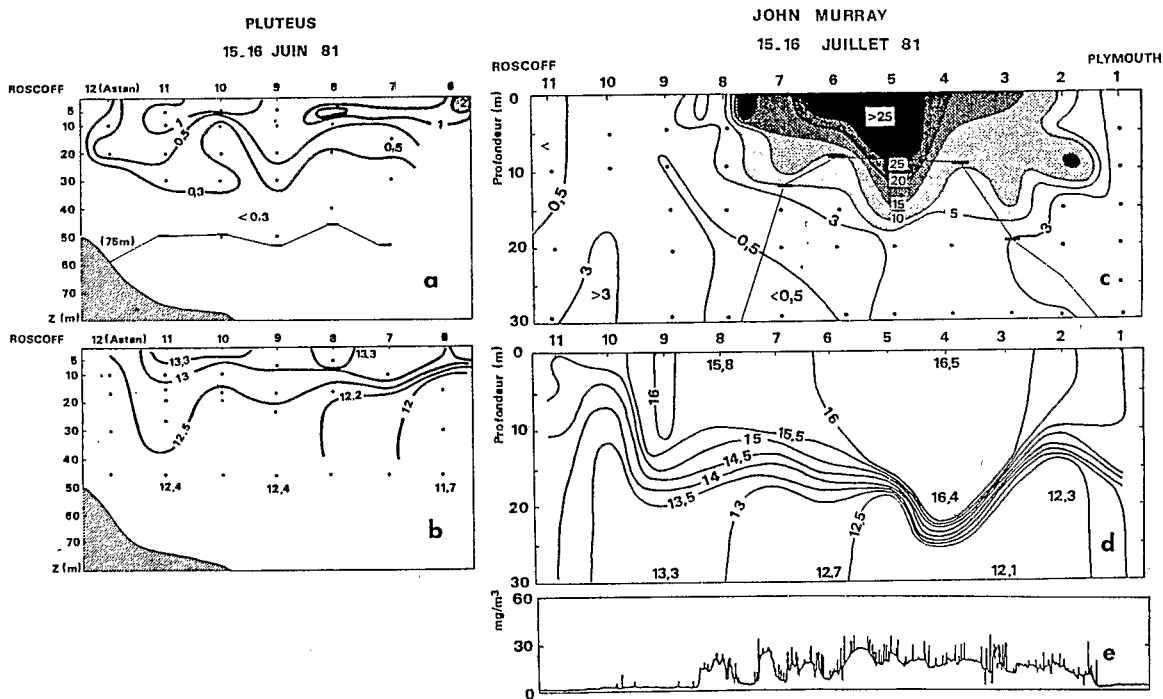


Fig. 5 - Temperature and chlorophyll sections. Pluteus; June 15, between Roscoff and open waters (St. 0): (a) temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ); (b) chlorophyll a ( $\text{mg m}^{-3}$ ). John Murray; July 81, between Roscoff and Plymouth (St. 11 - St. 1): (c) temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ); (d), chlorophyll a ( $\text{mg m}^{-3}$ ); (e) subsurface fluorescence trace. The dots indicate the sampling frequency. The horizontal marks show the depth of the 1% of the green radiation.

#### 3.1. Situation de juin

Le document CZCS présente un enrichissement en chlorophylle qui suit la limite frontale (en blanc fig. 4c). Les tourbillons proviennent des mouvements de la masse d'eau dues à la marée. La zone brassée au large des côtes bretonnes demeure pauvre en chlorophylle (en noir). Cette répartition du phytoplancton s'explique par les coupes de la température et de la chlorophylle (fig. 5 a, b) obtenues le 15 et 16 Juin de la côte au large. La seule valeur de chlorophylle supérieure à  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  ( $2 \text{ mg m}^{-3}$ ) a été trouvée à la station 6 et correspond à une zone frontale plus chaude. Les algues responsables de la floraison sont des diatomées avec pour espèce dominante *N. delicatissima* (1.3 millions cellules/l) associée à des dino-flagellés.

L'image de juin apporte une vision synoptique de la phase finale d'un développement printanier de Diatomées lié à la mise en place de front thermique.

#### 3.2. Situation de juillet

L'image CZCS montre une large zone enrichie en chlorophylle s'étendant sur la plus grande partie de la Manche et correspondant aux eaux stratifiées et chaudes (comparaison fig. 4 b et fig. 4 d). Les formes allongées en doigts de gants qui déforment le front thermique sont également des lieux de floraisons. Au large de Roscoff, les eaux de la zone brassée sont claires (en noir, fig. 4d).

La distribution de la chlorophylle est en effet très marquée ainsi que le montrent le tracé de la fluorescence de surface et la coupe de la chlorophylle des 30 premiers mètres (fig. 5d). La floraison massive de phytoplancton est située juste au-dessus de la thermocline et est limitée aux eaux les plus stables et chaudes, ce qui s'explique par le fait que les dinoflagellés et notamment *G. aureolum* (5 millions c/l) qui forment la floraison avec plus de 30 mg/m<sup>3</sup> de chlorophylle ont une préférence pour ce type d'eau.

L'image CZCS amène l'information essentielle que la floraison de dinoflagellés s'étend sur une vaste zone à l'ouest couvrant plus de 3.10<sup>4</sup> km<sup>2</sup> jusqu'aux Iles Scilly.

Une succession d'images CZCS décrit le devenir et la destruction progressive de cette floraison (ref. 5).

### 3.3. Comparaisons des deux situations

Les deux floraisons décrites en juin et juillet correspondent à deux étapes distinctes de l'évolution saisonnière du phytoplancton en Manche Occidentale : floraison printanière de diatomées et développement massif de dinoflagellés pouvant provoquer des marées rouges (réf. 2.3.). Le premier type de floraison dépend de la combinaison de plusieurs facteurs soit l'abondance en sels nutritifs, éclaircissement nécessaire à la photosynthèse, relative stabilité de la masse d'eau. Ces facteurs sont réunis et induisent donc des floraisons tout le long de la zone frontale, d'Quessant au canal de la Manche est, tel que le montre pour la première fois l'image CZCS.

Les floraisons massives de dinoflagellés obéiraient à un mécanisme différent. Les algues concentrées à la thermocline pourraient migrer verticalement et s'accumuler sous la surface, bénéficiant ainsi essentiellement de lumière et de stabilité. Les concentrations très élevées de phytoplancton sont alors trouvées sur toute la zone stratifiée (cette étude) et ne seraient pas restreintes à la zone frontale (réf. 1). Les implications biologiques et chimiques de ces deux types de floraison ne sont pas identiques puisque diatomées et dinoflagellés n'ont pas le même contenu en chlorophylle, ni le même rendement de production primaire. De plus, les dinoflagellés dégagent parfois des substances toxiques pour les consommateurs primaires (réf. 9). Si l'on cherche une estimation de la biomasse globale apportée par ces floraisons, convertie en carbone, on mesure la disproportion entre les apports de juin et juillet (2.710<sup>3</sup> et 30010<sup>3</sup> tonnes carbone). On devra alors étudier plus précisément le devenir de ces deux types de production sur les chaînes écologiques marine et benthique.

### 4. CONCLUSIONS

Les images CZCS apportent une vision synoptique de deux différents types de floraisons : la première due au groupe des diatomées, frontale et printanière, la deuxième due au groupe de dinoflagellés, s'étendant à l'ensemble de la zone stratifiée et chaude sur plus de 3.10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>. La conjonction des images et des mesures en mer

permettent d'en préciser les mécanismes et de manière plus quantitative d'en estimer la biomasse globale en Manche, en utilisant un algorithme de détermination de la chlorophylle représentatif de la zone. Pour ces deux raisons, les images satellitaires constituent un instrument important pour l'étude à grande échelle des phénomènes de production végétale marine.

### REMERCIEMENTS

Cette étude représente une partie des résultats de différents programmes organisés conjointement par Holligan (M.B.A.) et Aiken (I.M.E.R.) pour l'océanographie et par M. Viollier (Université de Lille, actuellement Station Biologique de Roscoff) pour la télédétection. Le programme de télédétection a bénéficié des supports du C.N.R.S., CNES et Ministère de l'Environnement.

### R E F E R E N C E S

1. PINGREE, R.D., HOLLIGAN P. & G.T. MARDELL 1978  
*The effects of vertical stability on phytoplankton distributions in the summer on the north-west European shelf.*  
Deep Sea Res. 25, 1011-1028.
2. HOLLIGAN, P.M., 1981  
*Biological implications of fronts on the north-west European continental shelf.*  
Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A-302, 547-562.
3. LE FEVRE J., VIOLLIER M., LE CORRE P., DUPOUY C. & J. R. GRALL, 1982  
*Remote sensing observations of biological material by Landsat along a tidal thermal front and their relevancy to the available field data.*  
Estuarine, Coastal and Shelf Science, 15 (6).
4. DUPOUY C., 1982  
*Etude des floraisons phytoplanctoniques entre Roscoff et Plymouth (Manche Occidentale). Apport des images de la couleur de l'océan (CZCS).*  
Thèse de 3ème cycle, Univ. de Lille, 140 p.
5. HOLLIGAN P.M., VIOLLIER M., DUPOUY C. & J. AIKEN, 1983.  
*Satellite studies on the distributions of chlorophyll and Dinoflagellate blooms in Western English Channel.*  
Continental Shelf Research (à paraître).
6. GORDON H.R., CLARK D.K., MUELLER J.L. & W.A. HOVIS, 1980  
*Phytoplankton pigments from the NIMBUS 7 CZCS. Comparisons with surface measurements.*  
Science, 210, 63-66.
7. VIOLLIER M., TANRE D. & P.Y. DESCHAMPS, 1980.  
*An algorithm for remote sensing of water color from space.*  
Boundary-Layer Meteorol. 18, 247-267.
8. VIOLLIER M., 1982.  
*Radiometric calibration of the Coastal Zone Color Scanner on NIMBUS 7: a proposed adjustment.*  
Appl. Opt. 21, 1142-1145.
9. SELIGER H.H. & D.L. TAYLOR, (ed.) 1979.  
*Toxic Dinoflagellates blooms. Developments in marine biology.*