

Expérience aéroportée de télédétection (température et couleur de la mer) dans le détroit du Pas-de-Calais

Télédétection
Eaux côtières
Couleur de l'océan
Chlorophylle
Manche
Remote sensing
Coastal waters
Ocean colour
Chlorophyll
English Channel

M. Viollier ^a, P. Lecomte ^a, M. Bougard ^b, A. Richard ^b

^a Laboratoire d'Optique atmosphérique, Université des Sciences et Techniques de Lille, 59650 Villeneuve d'Ascq.

^b Institut de Biologie maritime et régionale, 62930 Wimereux.

Reçu le 30/12/77, révisé le 2/3/78, accepté le 10/3/78.

RÉSUMÉ

Des mesures aéroportées par télédétection et des mesures en mer ont été effectuées simultanément dans le détroit du Pas-de-Calais.

Un avion volant à basse altitude (150 m) mesurait la température de surface par radiométrie infrarouge et les réflectances à 466, 525, 550 et 600 nm, sensibles à la présence de phytoplancton et de sédiments dans la masse d'eau. La température, la concentration en chlorophylle et la profondeur de disparition du disque de Secchi ont été mesurées par le bateau à 17 stations. Les mesures de télédétection par l'avion sont bien corrélées aux mesures *in situ* du bateau et permettent de décrire le gradient côtier des propriétés hydrobiologiques dans le détroit du Pas-de-Calais.

Oceanol. Acta, 1, 3, 1978, 265-269.

ABSTRACT

Airborne remote sensing measurement of ocean colour and sea surface temperature in the Straits of Dover

Airborne remote sensing measurements of ocean colour and sea surface temperature were made simultaneously with sea truth measurements, and the results compared. At seventeen ship stations, water temperature, chlorophyll content and Secchi depth were measured while an aircraft flying at low altitude measured the infrared surface temperature and the reflectivities at 466, 525, 550 and 600 nm, which are sensitive to the presence of phytoplankton and sediments in water. The remote sensing measurements are shown to match the sea truth measurements and may thus be used to describe the coastal gradient of hydrobiological properties in the Straits of Dover.

Oceanol. Acta, 1, 3, 1978, 265-269.

INTRODUCTION

La rapidité de l'exploration de grandes surfaces océaniques par avion ou satellite peut aider considérablement l'étude de l'environnement marin. Parmi les techniques

de télédétection intéressantes pour l'océanographe, il y a d'une part la mesure de la température de surface par radiométrie infrarouge, et d'autre part la mesure du contenu en chlorophylle par l'analyse du rayonnement visible rétrodiffusé, que l'on appelle aussi étude de la

couleur de l'océan. La mesure de la température de surface est parfaitement opérationnelle. Par contre, on ignore quels degrés de fidélité et d'exactitude caractérisent les méthodes de télédétection de la chlorophylle à cause de la complexité des phénomènes de diffusion et d'absorption de la lumière dans le milieu marin. Les opérations d'intercalibration entre les survols aériens et les mesures à la mer (vérité-mer) sont, d'autre part, trop peu nombreuses; on peut citer cependant celles de nos études antérieures (Deschamps *et al.*, 1977), et celles d'autres équipes (Clarke *et al.*, 1970; Arvesen *et al.*, 1973; Miller *et al.*, 1977). Dans le but d'établir de nouveaux points de comparaison, une expérience mettant en œuvre des instrumentations montées sur avion et sur bateau a été effectuée le 27 juin 1977 au détroit du Pas-de-Calais. Nous en présenterons ici les résultats expérimentaux.

MÉTHODE

Le principe de la technique de mesure (Viollier *et al.*, 1978) est rappelé succinctement. Cette technique permet des mesures de façon opérationnelle même en présence de couverture nuageuse discontinue. A l'aide d'un radiomètre spécialement construit pour ce type d'expérience, on mesure simultanément le rayonnement remontant de la mer et le rayonnement descendant à 4 longueurs d'onde, 466 nm (bleu), 525 nm (vert), 550 nm (jaune) et 600 nm (orange), de manière à obtenir une valeur de réflectance indépendante des conditions d'éclairement. Seules sont exploitées les différences entre 2 réflectances mesurées à 2 longueurs d'onde voisines, de façon à minimiser un certain nombre de perturbations, et à éliminer la réflexion sur la surface de la mer, terme indépendant de la longueur d'onde.

Pratiquement les différences $R_{525}-R_{466}$ et $R_{550}-R_{600}$ sont exploitées. La première, $R_{525}-R_{466}$ augmente avec le contenu en chlorophylle, car celle-ci présente un maximum d'absorption vers 450 nm. La seconde $R_{550}-R_{600}$ est théoriquement plutôt sensible aux propriétés diffusantes de l'eau de mer. Ce schéma est évidemment basé sur un modèle extrêmement simplifié des propriétés optiques du milieu marin. L'analyse approfondie de Morel et Prieur (1977) montre qu'en réalité les phénomènes d'absorption et de diffusion peuvent interférer dans toutes les régions du spectre. D'autre part, dans les eaux côtières, il existe un nombre variable de

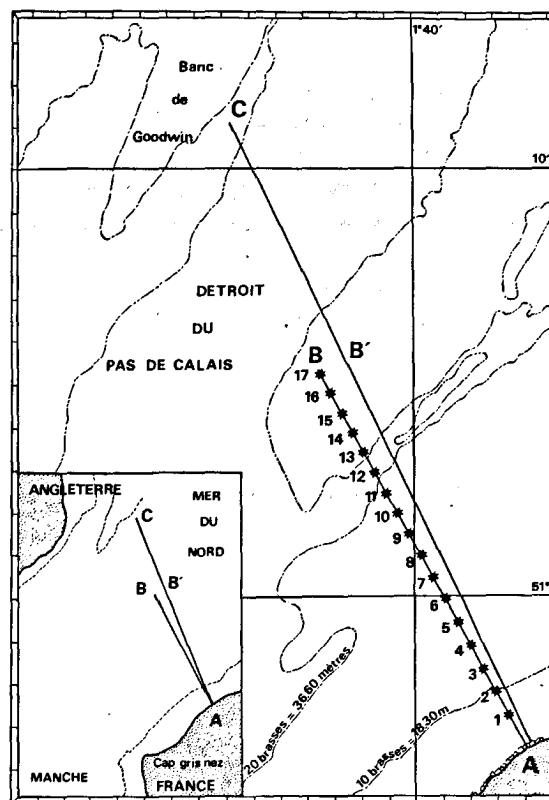


Figure 1

Localisation de l'expérience. Parcours du bateau AB, stations 1 à 17, et de l'avion (AB'C).

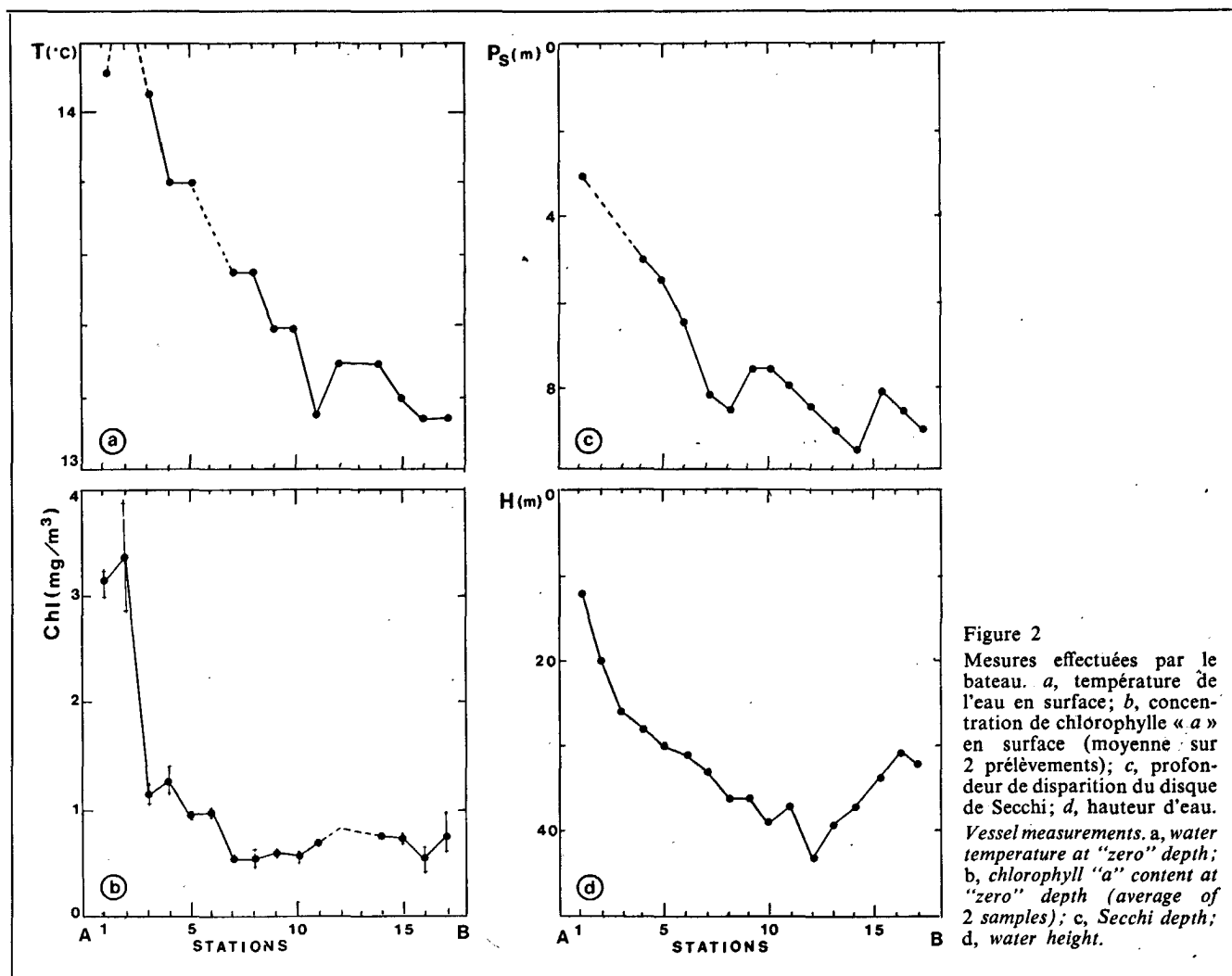
Location of the experiment. Vessel track AB, stations 1-17, and aircraft track AB'C.

substances vivantes et inorganiques qui présentent des spectres d'absorption spécifiques, difficiles à mettre en évidence, et qui perturbent les valeurs des réflectances.

Dans le cas d'eaux claires peu profondes, la réflectance mesurée est également influencée par la réflexion du fond. Ce n'est pas le cas en Mer du Nord, où les eaux sont très turbides. Ainsi, pendant l'expérience décrite plus loin, la profondeur de disparition du disque de Secchi, indice de la turbidité de l'eau, était toujours trois fois plus petite que la hauteur d'eau.

LOCALISATION DE L'EXPÉRIENCE

La figure 1 montre les parcours suivis par l'avion et le bateau. L'avion a traversé le détroit du Pas-de-Calais à l'altitude de 150 m, de Sangatte, près de Calais, jusqu'aux hauts fonds de Goodwin à l'est de la côte anglaise. Le bateau a effectué 17 stations depuis la côte française jusqu'au milieu du détroit. Les caps sont restés sensiblement les mêmes, environ 330°. L'avion a survolé le bateau lors de la station 15, les stations près de la côte ont été effectuées durant l'heure et demie qui précédait. Les conditions météorologiques étaient les suivantes, mer belle, vent 10 à 20 nœuds d'ouest-sud-ouest, nébulosité élevée 60 %, constituée principalement par des cirrus.



L'existence de puissants courants de marée constitue, pour une période donnée, le principal phénomène agissant sur les caractéristiques hydrobiologiques de cette zone. Sous l'influence principale du flot, les eaux claires et salées de la Manche pénètrent au milieu du détroit parmi les eaux chargées d'apports côtiers de la Mer du Nord. D'où l'existence des différences très marquées des paramètres hydrobiologiques de la côte vers le large, gradients que nous nous étions proposés de mettre en évidence.

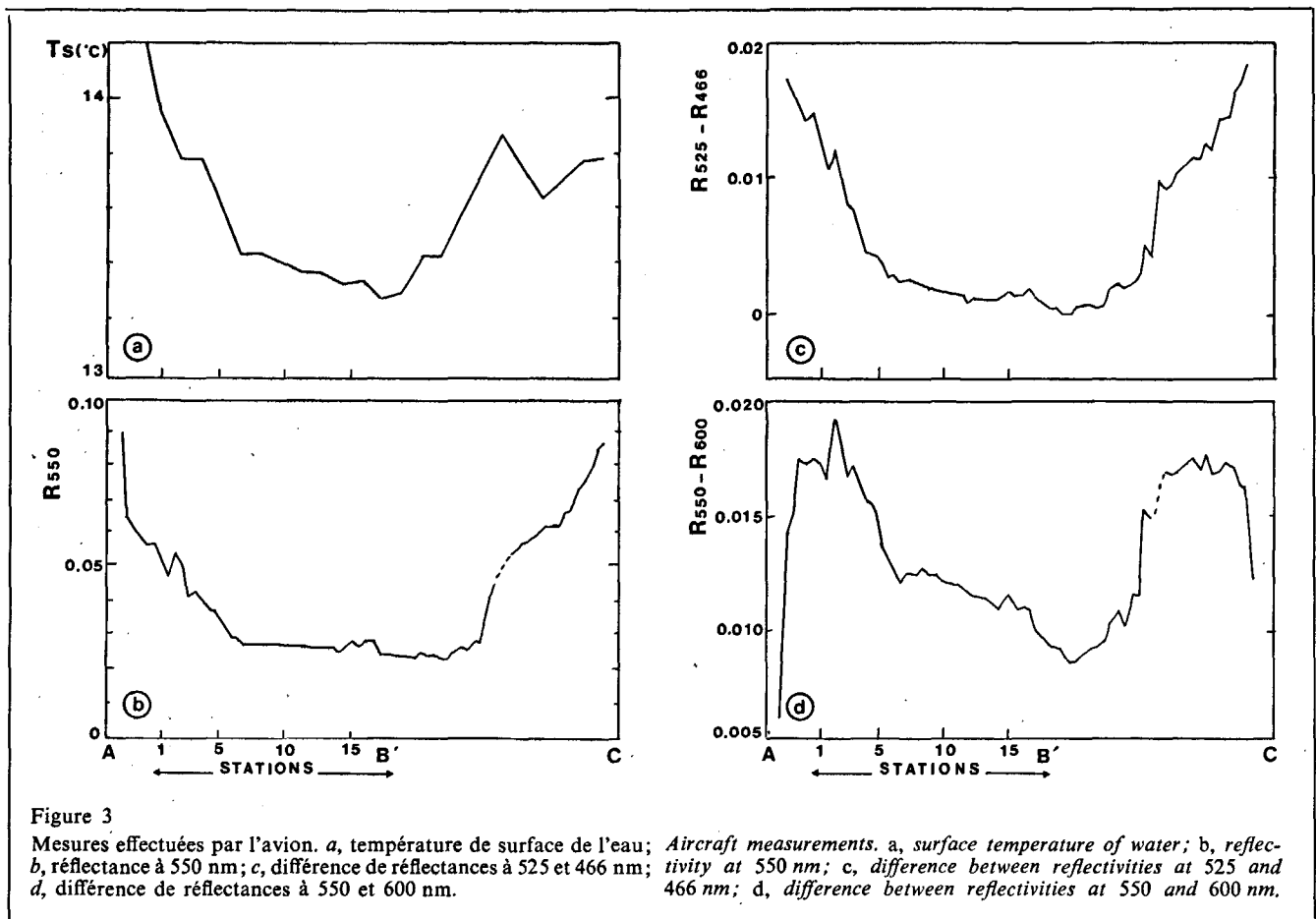
RÉSULTATS

La figure 2 représente les mesures recueillies par le bateau. Les mesures de chlorophylle sont présentées en 2 b. Deux prélèvements en surface ont été effectués à chacune des 17 stations. Les prélèvements en profondeur n'étaient pas nécessaires en raison de la relative homogénéité verticale de la couche d'eau. Sous l'influence des brassages alternatifs des courants de marée et de la faible profondeur il n'existe en effet pas de thermocline dans cette partie de la Manche. Le dosage en chlorophylle des prélèvements était ensuite réalisé par la méthode spectrophotométrique de Richards et Thompson (Anonyme UNESCO, 1966). Les écarts entre les 2 prélève-

ments de chaque station sont variables, en moyenne de l'ordre de 10 %, ce qui donne une idée de la précision maximale à rechercher par télédétection. A la station 1, située à 1,6 km de la côte, on trouve 3,1 mg/m³ de chlorophylle, puis on observe une très nette diminution vers le large. A partir de la station 7, la concentration en chlorophylle se stabilise entre 0,7 et 0,5 mg/m³.

D'autres mesures ont été effectuées par le bateau. La température de l'eau (fig. 2 a) diminue régulièrement de la côte (14,1°C) vers la station 17 (13,1°C). La profondeur de disparition du disque de Secchi (fig. 2 c) augmente progressivement. Toutes ces mesures sont relativement bien corrélées à la hauteur d'eau (fig. 2 d). La signification de la mesure de la profondeur de Secchi n'est pas immédiate [Otto (1966), Tyler (1968)]. Certes, à cause de sa simplicité de mise en œuvre, cette mesure est couramment employée et fournit une bonne appréciation de la turbidité de l'eau; cependant, elle ne permet pas de calculer en toute rigueur le coefficient d'atténuation de l'eau, et, *a fortiori*, le coefficient de diffusion.

Les mesures par avion, c'est-à-dire les 4 réflectances du visible et la température radiométrique étaient effectuées toutes les 8 secondes durée pendant laquelle l'avion parcourait environ 500 m. La figure 3 a représente la température de surface mesurée à l'aide d'un radiomètre infrarouge Barnes PRT 5. L'appareil avait été



préalablement étalonné en laboratoire. Un bruit de $0,2^{\circ}\text{C}$ étant apparu sur les mesures, on représente sur la figure 3 a le résultat d'une moyenne sur 3 mesures. L'accord avec les mesures en mer (fig. 2 a) est satisfaisant, d'environ 14°C près de la côte française et sur le banc de Goodwin, la température diminue jusqu'à $13,3^{\circ}\text{C}$. Le minimum s'observe au-delà de la dernière station effectuée par le bateau.

La figure 3 b représente la mesure de la réflectance à 550 nm, effectuée de l'avion. Parce que les nuages (principalement des cirrus) étaient uniformément répartis la mesure est dans le cas présent très peu bruitée par la fraction due à la réflexion de surface. Les figures 3 c et 3 d représentent les mesures des différences de réflectances $R_{525}-R_{466}$ et $R_{550}-R_{600}$. Dans leur forme générale, ces courbes sont superposables à celles des figures 2 b (chlorophylle) et 2 c (disque de Secchi). Les coefficients de corrélation (r) entre les 2 différences de réflectances d'une part, et les mesures de chlorophylle et de profondeur Secchi d'autre part, sont présentés dans le tableau suivant :

	Chlorophylle	P. Secchi
$R_{525}-R_{466}$	0.91	0.88
$R_{550}-R_{600}$	0.81	0.96

La meilleure corrélation est trouvée entre la profondeur Secchi et la différence $R_{550}-R_{600}$ (fig. 4 a). La corrélation

entre la chlorophylle et la différence $R_{525}-R_{466}$ (fig. 4 b) est un peu moins bonne. La concentration en chlorophylle est cependant mieux corrélée à la différence $R_{525}-R_{466}$ qu'à la différence $R_{550}-R_{600}$, comme cela était prévu théoriquement. La comparaison entre les températures de surface, mesurées de l'avion et du bateau, est montrée (fig. 4 c).

Un examen plus approfondi des variations de $R_{550}-R_{600}$ (fig. 3 d) montre qu'au-delà de la dernière station effectuée par le bateau, il existe un minimum très bien marqué indiquant la présence d'eaux plus claires à proximité du point le plus profond du détroit. On remarque enfin que la relation monotone entre $R_{550}-R_{600}$ et la turbidité n'est plus valable à proximité immédiate de la côte (point A) ou sur le banc de Goodwin (point C) où $R_{550}-R_{600}$ diminue brusquement probablement à cause de la présence d'un type nouveau d'absorbant ou de l'influence directe du fond.

CONCLUSION

Des mesures à la mer ont mis en évidence que le gradient de la turbidité des eaux et de la concentration en chlorophylle de la côte vers le large était particulièrement marqué dans le détroit du Pas-de-Calais. Ces profils ont été comparés à ceux des mesures des différences de réflectances visibles à 2 longueurs d'onde, obtenues à partir d'un avion. La corrélation entre les deux profils est assez bonne et démontre l'utilité des mesures de

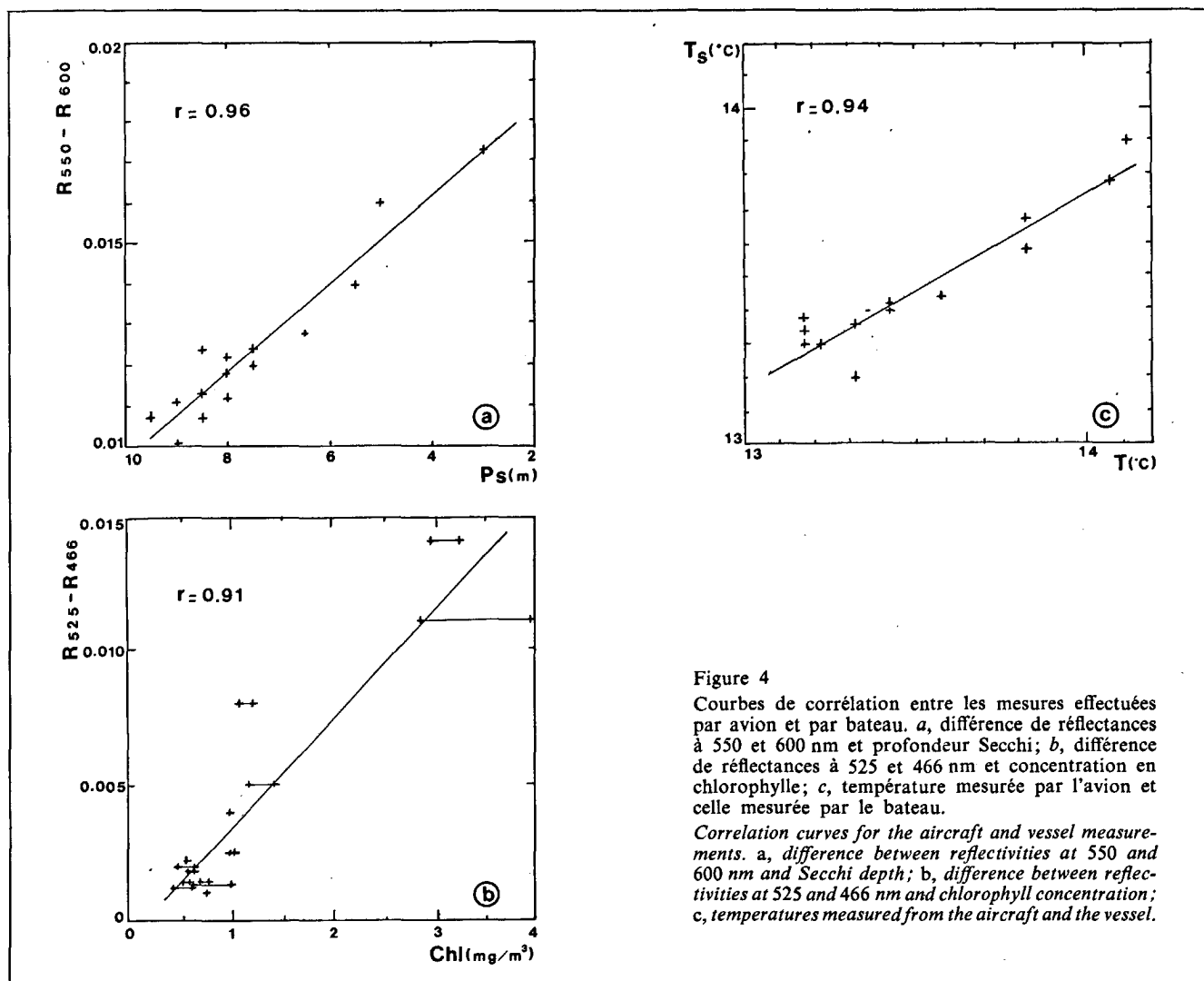


Figure 4

Courbes de corrélation entre les mesures effectuées par avion et par bateau. a, différence de réflectances à 550 et 600 nm et profondeur Secchi; b, différence de réflectances à 525 et 466 nm et concentration en chlorophylle; c, température mesurée par l'avion et celle mesurée par le bateau.

Correlation curves for the aircraft and vessel measurements. a, difference between reflectivities at 550 and 600 nm and Secchi depth; b, difference between reflectivities at 525 and 466 nm and chlorophyll concentration; c, temperatures measured from the aircraft and the vessel.

télédéttection pour suppléer aux mesures des navires aux déplacements limités. D'autre part, dans la perspective de l'étude des images satellitaires à application océanographique, ces mesures constituent une bonne évaluation des variations de réflectances qui devront être mesurées de l'espace.

RÉFÉRENCES

- Anonyme Unesco, 1966. Determination of photosynthetic pigments in sea-water, Unesco, 69 p.
- Arvesen J. C., Millard J. P., Weaver E. C., 1973. Remote sensing of chlorophyll and temperature in marine and fresh waters, *Astronaut. Acta*, 18, 229-239.
- Clarke G. L., Ewing G. C., Lorenson C. J., 1970. Spectra of backscattered light from the sea obtained from aircraft as a measure of chlorophyll concentration, *Science*, 167, 1119-1121.
- Deschamps P. Y., Lecomte P., Viollier M., 1977. Remote sensing of ocean color and detection of chlorophyll content, 11 th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, 1021-1033.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec l'aide financière du Conseil régional du Nord Pas-de-Calais et du Ministère de la Culture et de l'Environnement. Nous tenons à remercier le pilote, M. Lecluselle et les marins du « St Éloi » de Gravelines pour leur aimable collaboration.

Miller J. R., Jain S. C., O'Neill N. T., McNeil W. R., Thomson K. P. B., 1977. Interpretation of airborne spectral reflectance measurements over Georgian Bay, *Remote Sensing of Environ.*, 6, 183-200.

Morel A., Prieur L., 1977. Analysis of variations in ocean color., *Limnol. Oceanogr.*, 22, 709-722.

Otto L., 1966. Light attenuation in the North Sea and the Dutch Wadden Sea in relation to Secchi Disc Visibility and suspended Matter, *Neth. J. Sea Res.*, 3, 28-51.

Tyler J. E., 1968. The Secchi Disc, *Limnol. Oceanogr.*, 13, 1-6.

Viollier M., Deschamps P. Y., Lecomte P., 1978. Airborne remote sensing of chlorophyll content under cloudy sky as applied to the tropical waters in the Gulf of Guinea, *Remote Sensing of Environ.*, 14 p.