

La chlorophylle de surface observée par le satellite NIMBUS-7 dans une zone d'archipel (Nouvelle-Calédonie et Vanuatu). Une première analyse

par

CÉCILE DUPOUY

*Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération (ORSTOM)
Centre ORSTOM
B.P. A5, Nouméa (Nouvelle-Calédonie)*

RESUME

Une première analyse de quarante scènes claires acquises par le capteur CZCS du satellite NIMBUS-7 de 1978 à 1984 sur la Nouvelle-Calédonie et le Vanuatu, apporte une vision nouvelle de la distribution de la chlorophylle de surface dans une zone d'archipel. Les structures superficielles tracées par le phytoplancton de surface ont été classées en deux groupes suivant deux critères : organisation spatiale et concentration en chlorophylle "satellite". On distingue un signal fort, lié aux variations saisonnières de la chlorophylle dans le Pacifique tropical Sud-Ouest, et des signaux de plus faible intensité, autour des terres émergées. Des effets d'îles apparaissent autour de la Nouvelle-Calédonie, mais sont plus réduits autour des îles Loyauté.

ABSTRACT

A preliminary analysis of forty cloud-free images of the NIMBUS-7 satellite taken by CZCS from 1978 to 1984 over New Caledonia and Vanuatu gives a new insight about the distribution of surface chlorophyll in an archipelago area. The superficial structures drawn by surface phytoplankton has been classified into two groups following two criteria : spatial organization and "satellite" chlorophyll concentration. It is possible to distinguish a strong signal connected with seasonal variations of chlorophyll in the south-western tropical Pacific Ocean, and lower intensity signals around islands. Some island effects appear around New Caledonia, but they are less important around the Loyalty Islands.

INTRODUCTION

Le capteur CZCS* à bord du satellite NIMBUS-7 (1978-1985) possède un canal bleu, indispensable à la mesure de la concentration en pigments chlorophylliens [HOVIS *et al.*, 1980]. Par ailleurs, les données de couleur de l'océan ont été largement utilisées pour l'étude et le suivi de systèmes productifs, tels les upwellings côtiers [EPPLEY *et al.*, 1985; PELAEZ & MCGOWAN, 1986 ; BRICAUD *et al.*, 1987 ; DUPOUY & DEMARCO, 1987 ; SHANNON *et al.*, 1983], les plateaux continentaux [HOLLIGAN *et al.*, 1983 ; VIOLLIER *et al.*, 1988], les grands courants tel le Gulf Stream [GORDON *et al.*, 1983], les sorties de fleuves [MULLER-KARGER *et al.*, 1988]. En revanche, peu d'études ont été entreprises à l'aide du satellite sur la biomasse océanique des zones oligotrophes [LOHRENZ *et al.*, 1988] ou autour des îles [FELDMAN *et al.*, 1984]. C'est l'originalité de ce travail d'être ciblé sur une région à la fois oligotrophe et parsemée d'îles.

Le Pacifique tropical Sud-Ouest est en effet considéré comme un océan oligotrophe du fait de la généralisation de la Structure tropicale typique** avec une thermocline plus profonde que dans l'Atlantique, associée à la nitracline, autour de 100 mètres [DANDONNEAU, 1979].

Toutefois ce schéma ne s'applique pas à la mer de Corail baignant les archipels de la Nouvelle-Calédonie et du Vanuatu. L'océan, profond autour de la "grande terre", remonte dans la région des rides de Fairway à l'ouest, des Loyauté à l'est et de l'île de Norfolk au sud (figure 1). Les hauts-fonds coralliens affleurent à l'ouest (atolls des Chesterfield, banc de Landsdowne). L'hydrologie de la mer de Corail dépend des facteurs

* Coastal Zone Color Scanner.

** Dans l'Atlantique tropical oriental en saison chaude, HERBLAND et VOITURIEZ [1977 ; 1979] ont défini une Structure tropicale typique (STT), c'est-à-dire un système à deux couches dont celle de surface est dépourvue de nitrate. Selon ces auteurs, la STT cesse d'exister quand le nitrate apparaît à la surface.

météorologiques liés à la migration en latitude de la zone de convergence du Pacifique Sud [DONGUY & HENIN, 1980, DONGUY, 1987]. Le mélange vertical y est intense entre 20°S et 30°S, sauf pour la période de décembre à mars (condition estivale australe) où s'installe une thermocline saisonnière [HENIN *et al.*, 1984]. Au sud de 22°S, la concentration en chlorophylle de surface est maximale en période d'alizés forts (condition hivernale australe, d'avril à septembre) par suite de la libération de sels nutritifs consécutive à l'érosion de la nitracine [DANDONNEAU & GOHIN, 1984].

Le phénomène d'enrichissement en chlorophylle autour des terres ou "effet d'îles"* n'est pas observé de façon systématique dans le Pacifique tropical Sud-Ouest [DANDONNEAU & CHARPY, 1985]. D'après cette étude fondée sur la collecte à maille large du réseau de navires marchands SURTROPAC**, la chlorophylle s'accroît autour des îles volcaniques du Vanuatu et de Fiji et non autour de l'île soulevée et entourée d'un lagon de Nouvelle-Calédonie.

A l'inverse des îles Hawaii [REVELANTE & GILMARTIN, 1974], aucun "effet de masse d'île" n'a été observé autour de l'île corallienne de Maré lors des campagnes PREFIL*** [LE BORGNE *et al.*, 1985].

Le principal atout de l'imagerie satellitaire en océanographie est l'apport d'un continuum d'échelle d'observation des structures dans l'espace. L'imagerie satellitaire de la couleur de l'eau par NIMBUS-7 a été analysée en vue de répondre à la question "l'océan tropical Sud-Ouest est-il oligotrophe dans les zones d'archipels et, sinon, à quelle échelle s'observent les phénomènes d'enrichissement ?".

MATERIEL ET METHODES

L'expérience Coastal Zone Color Scanner embarquée sur NIMBUS-7 était chargée de mesurer les réflectances terrestres dans 5 bandes du visible étroites (40 nm), du bleu (443 nm, maximum d'absorption par les pigments chlorophylliens), en passant par le vert et le jaune (520 et 550 nm), au proche infrarouge (670 et 750 nm). L'acquisition de ce satellite défilant, placé à 890 km sur une orbite héliosynchrone, se fait par un système de balayage, sur une trace de 1 600 km de largeur, avec une résolution au sol de 850 m x 850 m.

Nous avons sélectionné quarante images parmi les plus claires dans la région de Nouvelle-Calédonie au sein des archives du satellite NIMBUS-7 CZCS de la NASA. La liste des vingt-quatre scènes retenues pour cette étude est donnée dans le tableau 1.

Une aire géographique commune à l'ensemble des scènes a été choisie : elle s'étend de 160°E à 170°E et de 15°S à 25°S. Les données brutes de NIMBUS-7 CZCS ont été redressées et corrigées des effets de l'atmosphère par les méthodes décrites en annexe. Il résulte de ce

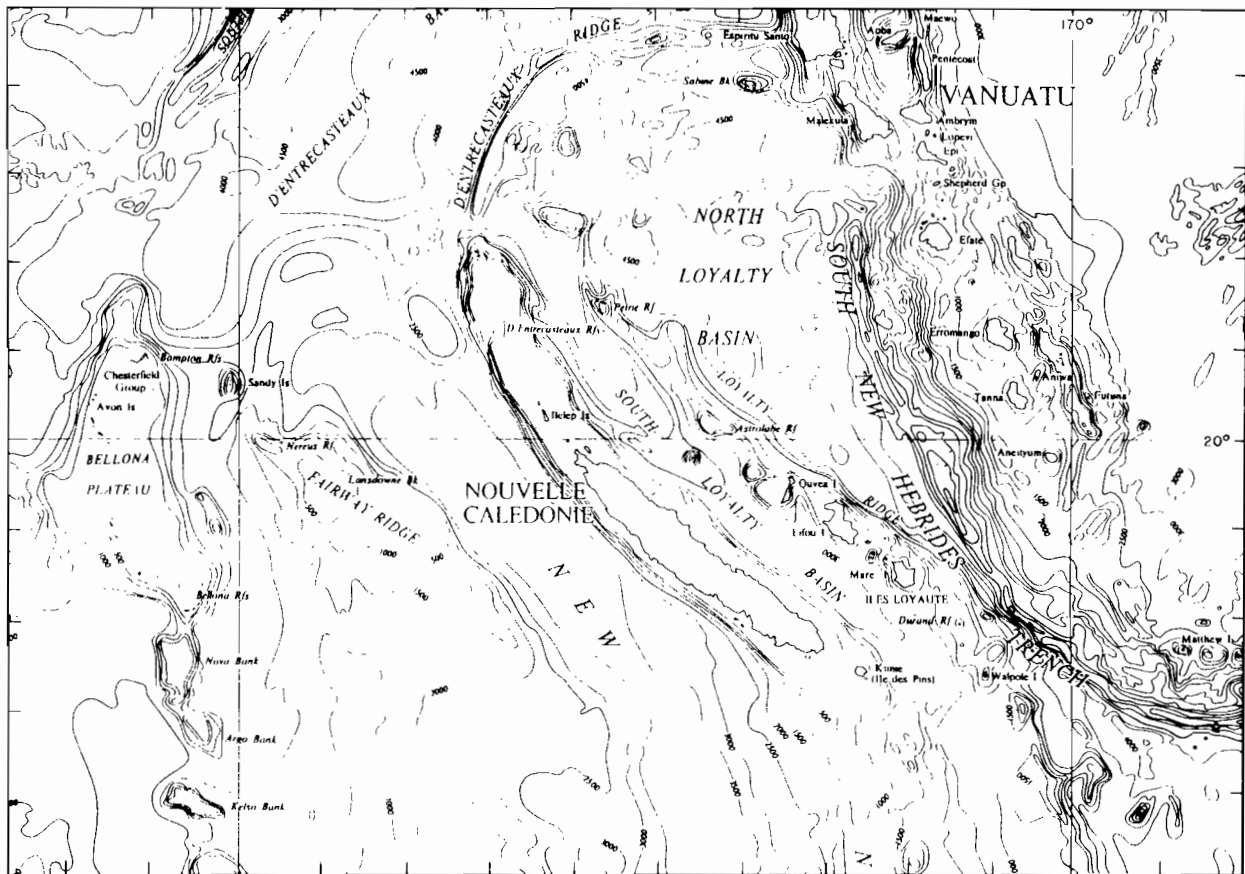
* Concept englobant de nombreux processus à toutes les échelles, d'après les différents auteurs.

** SURTROPAC : SURveillance TRar océanique du Pacifique.

*** PREFIL : PRoduction primaire et EFFets d'ILes.

FIGURE 1 : Carte bathymétrique détaillée de la région englobant la Nouvelle-Calédonie, les dépendances (îles Loyauté) et le Vanuatu (extraite de la carte CCOP/SOPAC, 1983).

On note, par rapport à la Nouvelle-Calédonie, les rides de Fairway à l'ouest, des Nouvelles-Hébrides à l'est ; les atolls des Chesterfield à l'ouest.



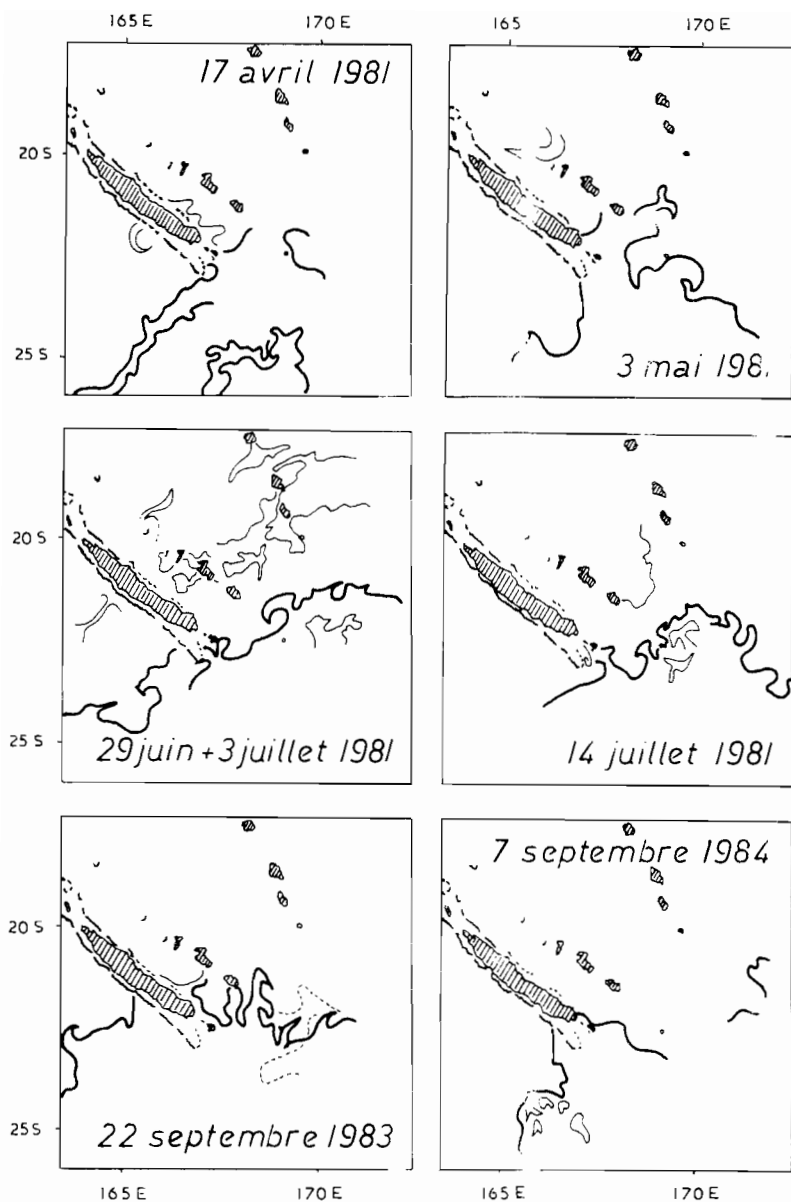


FIGURE 2: Représentation schématique de la limite entre les eaux riches du sud, et les eaux plus pauvres au nord pour les conditions hivernales 1981, 1983 et 1984. Le contour de la chlorophylle "satellite" suit l'isoplèthe $0,3 \text{ mg.m}^{-3}$. Elle a été lissée pour une meilleure clarté (voir planche I).

TABLEAU 1 : Structures tracées par la chlorophylle de surface par NIMBUS-7 CZCS pendant la période 1978-1984. Les étoiles indiquent que l'image est présentée dans les planches en couleur, pour la période considérée.

PERIODE HIVERNALE (ALIZES)	
6 avril 1980 1 ^{er} avril 1981 17 avril 1981** 3 mai 1981 13 juin 1981 29 juin 1981** 3 juillet 1981 14 juillet 1981** 14 août 1981 27 avril 1983** 22 septembre 1983 7 septembre 1984	fronts de couleur sud et nord tourbillon sur la côte ouest enrichissement sud enrichissement sud effets d'îles aux Loyauté gradient de couleur nord sud enrichissement au sud de la Nouvelle-Calédonie enrichissement au sud de la Nouvelle-Calédonie front de couleur au nord de la Nouvelle-Calédonie enrichissement au sud de la Nouvelle-Calédonie enrichissement au sud de la Nouvelle-Calédonie enrichissement au sud de la Nouvelle-Calédonie
PERIODE ESTIVALE (CALMES)	
14 novembre 1978 22 mars 1979 18 décembre 1979 27 décembre 1980** 4 janvier 1982** 12 mars 1982 22 mars 1984	<i>Trichodesmium</i> sp. pauvreté en chlorophylle <i>Trichodesmium</i> sp. <i>Trichodesmium</i> sp. <i>Trichodesmium</i> sp. <i>Trichodesmium</i> sp. <i>Trichodesmium</i> sp.
SITUATIONS INTERMEDIARES	
9 septembre 1980 1 ^{er} novembre 1980** 19 novembre 1980	tourbillon sur côte ouest accroissement général tourbillon sur côte ouest
STRUCTURES FINES	
18 décembre 1979** 13 juin 1981 17 septembre 1983 22 septembre 1983** 4 octobre 1983**	<i>Trichodesmium</i> sp. effets d'îles vers le nord effets d'îles vers le sud effets d'îles vers le sud effets d'îles vers le sud

traitement des cartes de concentration en chlorophylle intercalibrées (gamme logarithmique en mg.m^{-3}). Les cartes les plus caractéristiques sont regroupées dans les planches I et II, avec une résolution dégradée de 1,6 km x 1,6 km, et dans la planche III, avec la résolution initiale de 825 m x 825 m.

Afin de simplifier la description des champs de chlorophylle obtenus, nous avons adopté une représentation schématique des enrichissements en chlorophylle avec le choix d'une isoplèthe représentative.

RESULTATS

Les images satellitaires obtenues par le capteur CZCS dans l'archipel de Nouvelle-Calédonie révèlent une hétérogénéité spatiale et une variabilité temporelle inattendues pour une zone "oligotrophe".

Les structures phytoplanctoniques de surface extraites de la série NIMBUS-7 (tableau 1) ont été classées en deux groupes, suivant l'intensité des concentrations en chlorophylle. Le premier groupe (signal fort) représente les structures tracées par des isoplèthes supérieures à $0,3 \text{ mg.m}^{-3}$ de chlorophylle, le second, celles tracées par les plus faibles valeurs (supérieures à $0,1 \text{ mg.m}^{-3}$).

1. Signal fort de la série NIMBUS-7 observé

On peut distinguer dans le premier groupe, deux types d'enrichissements très distincts de par la forme et la période d'observation.

Conditions hivernales (planche I)

Les cartes représentatives de la période hivernale, soit celles des 17 avril, 3 mai, 29 juin, 3 et 14 juillet 1981, du 22 septembre 1983 et du 7 septembre 1984, ont été regroupées dans la figure 2. L'isoplèthe $0,3 \text{ mg.m}^{-3}$ de chlorophylle "satellite" décrit, vers 22°S , la limite entre les eaux plus riches situées au sud de la Nouvelle-Calédonie et celles du nord plus pauvres. Cette limite varie peu en latitude aux différentes dates où on l'observe (hiver austral 1981, 1983, 1984). En revanche, l'orientation de l'isoplèthe suit, soit la ride de Norfolk au sud (figures 2b et 2f), soit la ride des Nouvelles-Hébrides à l'est (figures 2c, 2d et 2e).

Ce front de couleur de l'eau coïncide avec un front thermique observé au cours de la campagne HYDROTHON 01 en condition hivernale en juillet 1978 [JARRIGE *et al.*, 1979] qui sépare les eaux chaudes au nord (température de surface supérieure ou égale à 25°C) des eaux froides du sud (température de surface inférieure ou égale à 21°C). Cette zone correspond à la zone de la convergence tropicale. La couleur de l'océan trace donc la limite septentrionale des eaux enrichies du sud sous l'influence des alizés et mise en évidence par les données du réseau SURTROPAC [DANDONNEAU & GOHIN, 1984].

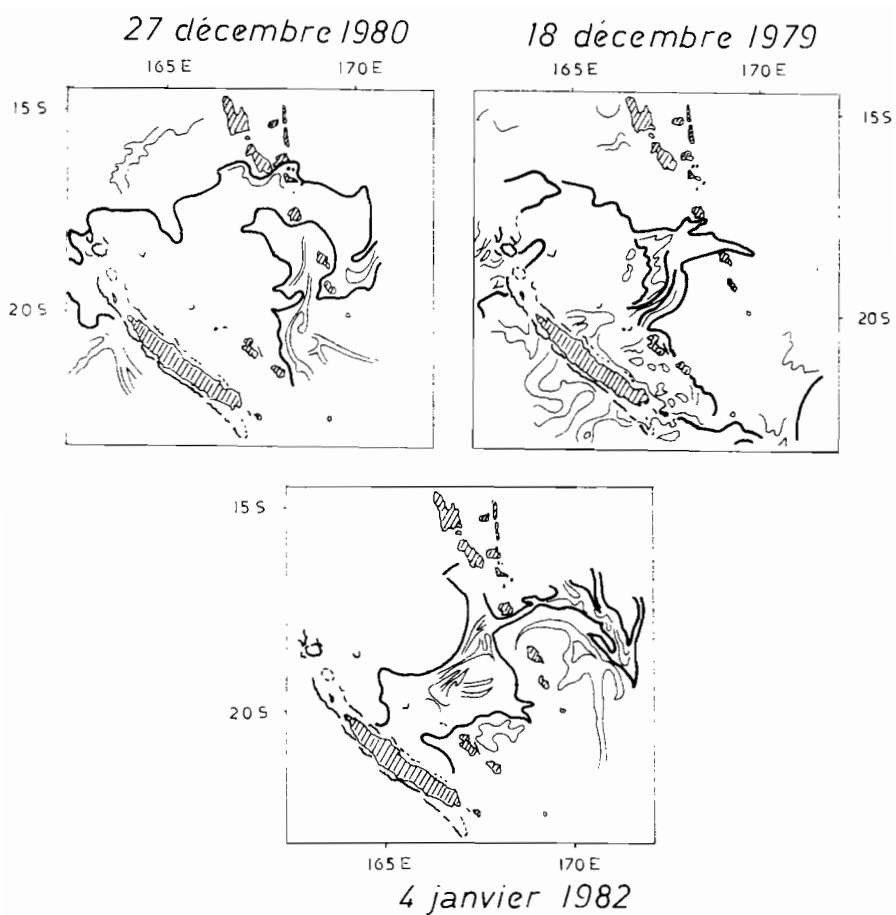


FIGURE 3 : Représentation schématique des eaux riches en pigments chlorophylliens pour les conditions estivales 1979, 1980 et 1982, montrant l'extension des efflorescences à *Trichodesmium*. La chlorophylle "satellite" suit l'isoplèthe $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$ (voir planche II).

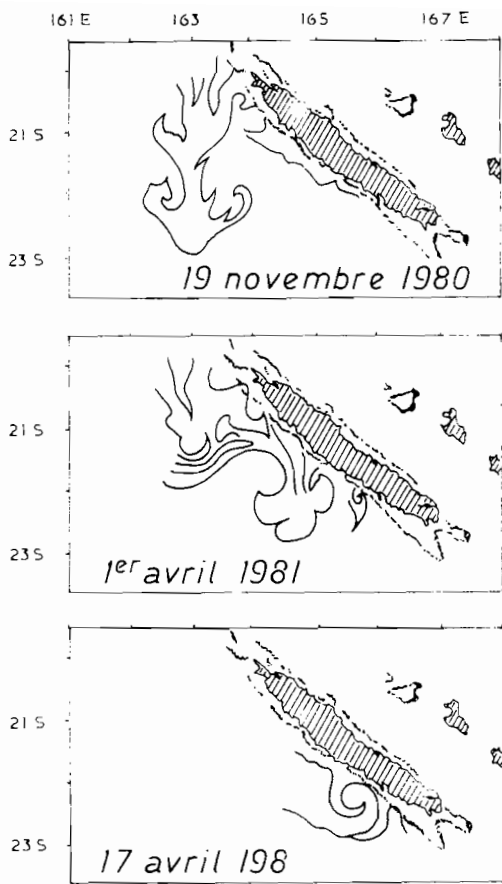


FIGURE 4 : Représentation schématique des eaux faiblement enrichies en chlorophylle. La chlorophylle "satellite" suit l'isoplethe (1 mg.m^{-3}).

Exemples de tourbillons piégés à la côte nord-ouest de Nouvelle-Calédonie.

Conditions estivales (planche II)

Les cartes représentatives de la période estivale, soit celles du 18 décembre 1979, du 27 décembre 1980 et du 4 janvier 1982, sont regroupées dans la figure 3.

L'isoplèthe $0,2 \text{ mg.m}^{-3}$ de la chlorophylle "satellite" délimite des superficies d'eaux enrichies de plus de $100\,000 \text{ km}^2$, de forme régulière, s'étirant vers l'est jusqu'à 400 km. Prenant leur origine sur les côtes nord de Nouvelle-Calédonie, elles vont jusqu'à dépasser l'archipel du Vanuatu en janvier 1982 (figure 3c). L'enrichissement de janvier est remarquablement structuré en un large vortex cyclonique se terminant, vers le sud, par un tourbillon orienté en forme de flèche (figure 3c), semblant indiquer un transport.

Comme il a été montré auparavant [DUPOUY *et al.*, 1988], bien qu'aucun échantillon simultané n'ait été prélevé à la date de janvier 1982, le capteur CZCS détecte sans aucun doute à cette date des floraisons de *Trichodesmium spp.* (*Oscillatoria*) [SOURNIA, 1986], algues constamment présentes dans la masse d'eau jusqu'à 80 mètres [LE BORGNE, 1986]. Leurs efflorescences sont connues pour former des "marées rouges", fréquemment observées par les équipages de bateaux marchands du réseau SURTROPAC. Ces algues sont également connues pour s'agréger en filaments, pouvant alors s'accumuler le long de lignes de convergence, que l'on observe sur les images de janvier 1982 dans l'axe du vortex et en décembre 1979. Par ailleurs, DANDONNEAU et GOHIN [1984] montrent qu'elles sont effectivement responsables des enrichissements en chlorophylle de surface au nord de 20°S en période estivale.

Ces algues ont la particularité de fixer l'azote atmosphérique [CARPENTER & PRICE, 1976]. C'est ainsi que DUPOUY *et al.* [1988] ont pu, en utilisant les données de la littérature, évaluer cette fixation d'azote pour l'efflorescence de janvier 1982 à 1 tonne. Cette quantité représente le centième de la fixation annuelle estimée pour tout le Pacifique par CAPONE et CARPENTER [1982].

Le capteur CZCS de NIMBUS-7 se révèle être un outil unique pour calculer l'impact de telles floraisons, responsables d'une fixation d'azote non négligeable, et, de plus, fréquentes dans la région du Pacifique tropical Sud-Ouest.

2. Signal faible de la série NIMBUS-7

Ce groupe est délimité par les intensités faibles de chlorophylle ($>0,1 \text{ mg.m}^{-3}$). La principale observation, dans cette gamme de faibles valeurs, est un continuum permanent de chlorophylle entre la Nouvelle-Calédonie et le Vanuatu. Les eaux plus oligotrophes sont trouvées plus au nord et à l'ouest de la grande terre.

Au sein de cet enrichissement global, l'isoplèthe $0,1 \text{ mg.m}^{-3}$ permet ainsi d'isoler des structures caractéristiques dont il est difficile de savoir, vu le peu d'images analysées, si elles représentent des traits caractéristiques de l'hydrologie de cette région.

Tout d'abord, la partie nord-ouest du lagon de la Nouvelle-Calédonie, connue comme une zone riche en tourbillons observés par

SCENES NIMBUS-7 CZCS

La gamme de concentration en chlorophylle croissante est au bas des images, du bleu vers le rouge pour des valeurs de 0,05 à 0,5 mg.m⁻³, en progression logarithmique. Les nuages sont masqués en blanc, les terres en noir.

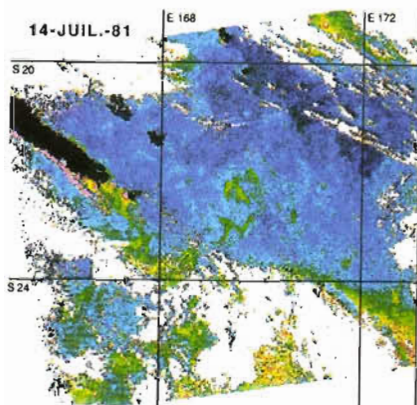
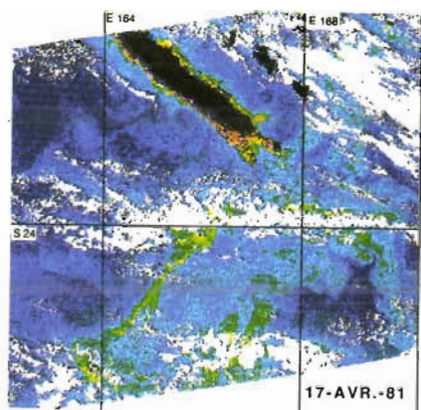
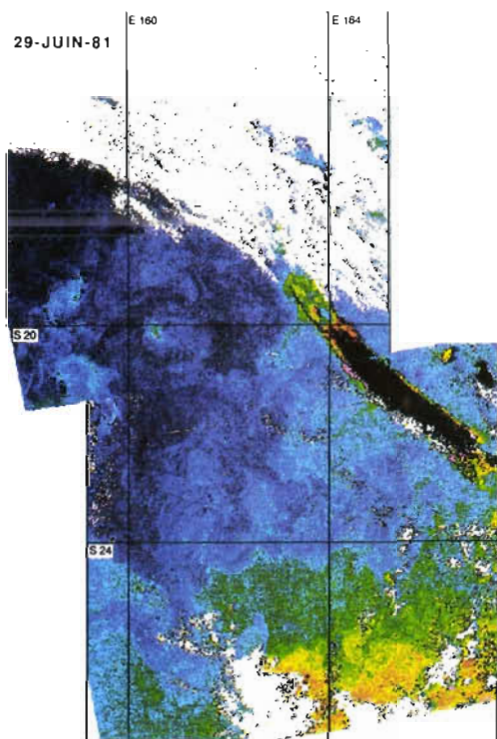
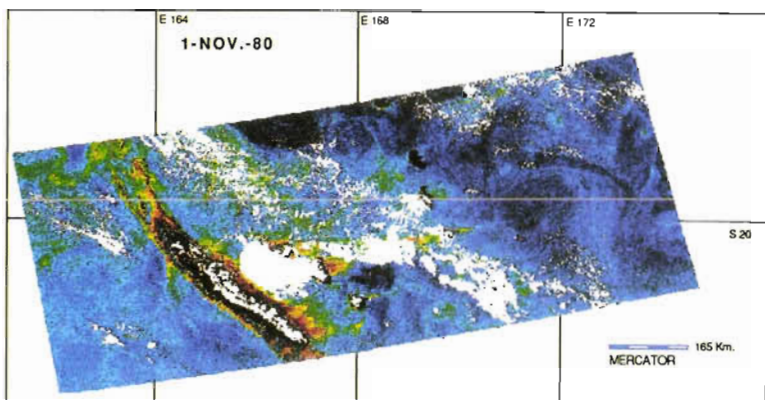
PLANCHE I. Conditions hivernales.

1^{er} novembre 1980 ;

29 juin 1981 ;

17 avril 1981 ;

14 juillet 1981.



CHL A + PHEO (mg/m³)

SCENES NIMBUS-7 CZCS

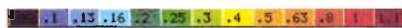
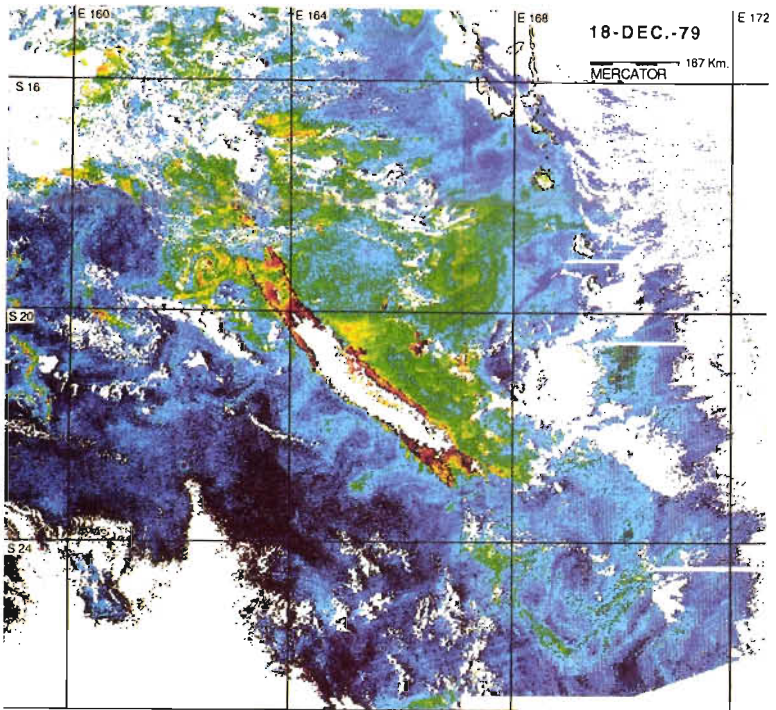
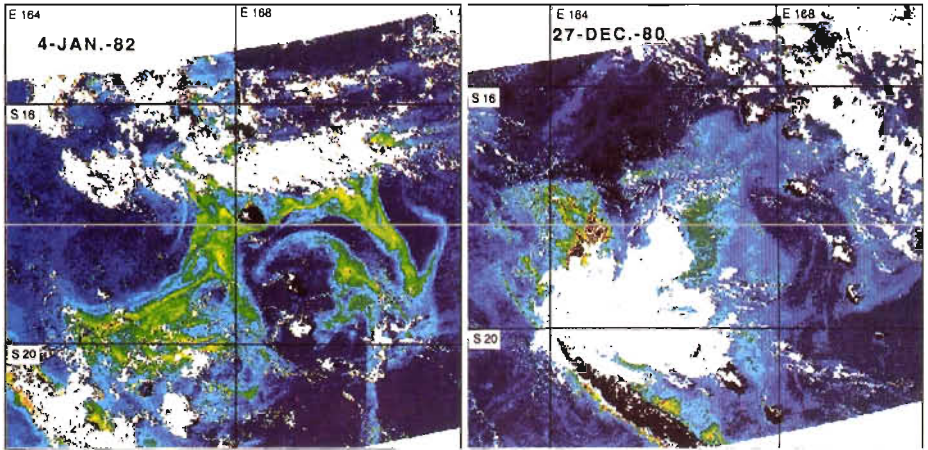
La gamme de concentration en chlorophylle croissante est au bas des images, du bleu vers le rouge pour des valeurs de 0,05 à 0,5 mg.m⁻³, en progression logarithmique. Les nuages sont masqués en blanc, les terres en noir.

PLANCHE II. Conditions estivales.

4 janvier 1982 ;

27 décembre 1980 ;

18 décembre 1979.



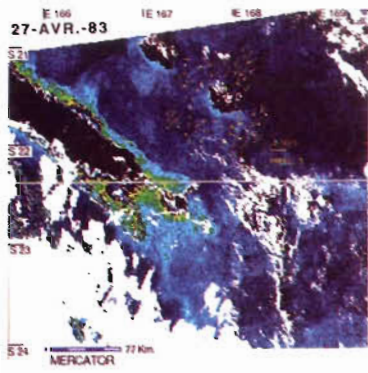
CHL A + PHEO (mg/m³)

SCENES NIMBUS-7 CZCS

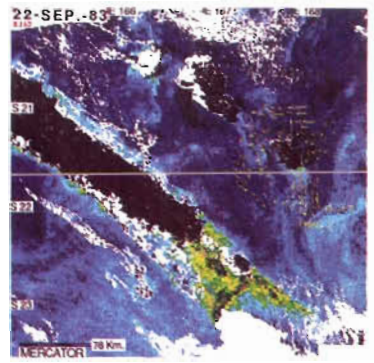
La gamme de concentration en chlorophylle croissante est au bas des images, du bleu vers le rouge pour des valeurs de 0,05 à 0,5 mg.m⁻³, en progression logarithmique. Les nuages sont masqués en blanc, les terres en noir.

PLANCHE III. Observations à échelle fine.

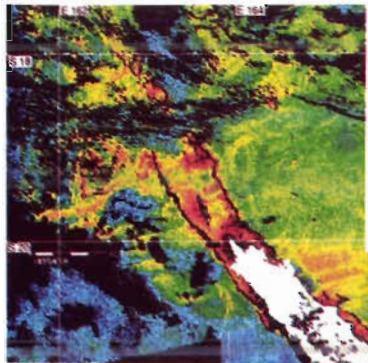
- a. 27 avril 1983 ;
- b. 22 septembre 1983 ;
- c. 4 octobre 1983 ;
- d, e, f. 18 décembre 1979.



a

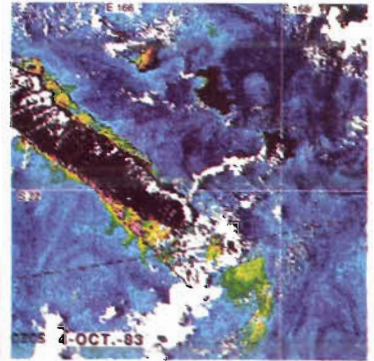


b

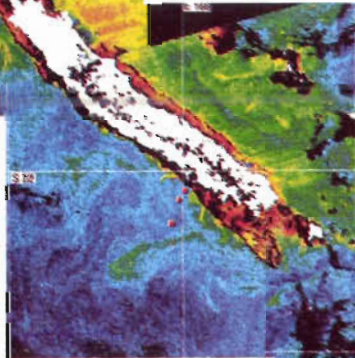


d

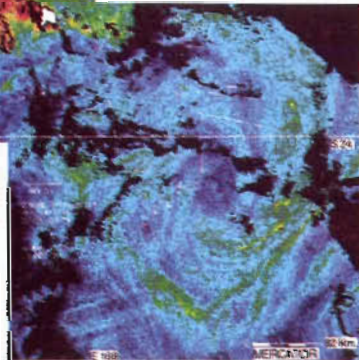
18 DEC. 79



c



e



f

avion dans l'infrarouge thermique en novembre 1980 [PETIT & HENIN, 1982], piège de larges vortex de chlorophylle (200 km) aux dates des 19 novembre 1980, 1er et 17 avril 1981 (figure 4), mais également les 6 avril et 9 septembre 1980.

En revanche, aux îles Loyauté, Lifou et Maré (planche III), des panaches d'eaux plus riches (20 km) que les eaux avoisinantes situées dans le courant des Loyauté se détachent des côtes en direction du sud. Ces observations sont en accord avec les mesures de courants superficiels effectuées au cours des campagnes PREFIL 5, du 13 au 25 avril 1983, et PREFIL 6, du 8 au 13 septembre 1983.

De plus, des enrichissements isolés se produisent au-dessus des hauts-fonds (60 mètres) du plateau de Landsdowne (ride de Fairway). Ils sont bien détectés en juin 1981 (planche I). Les atolls Chesterfield montrent régulièrement des biomasses plus riches, aussi bien à l'intérieur qu'autour des anneaux des récifs (juin 1981, planche I, mais également décembre 1979, mars 1979, août 1981).

Enfin, sur toutes les scènes, des sorties d'eaux riches sont constatées aux principaux passages nord et sud du lagon de Nouvelle-Calédonie. Des exportations de chlorophylle se produisent, à certaines dates, par les étroites passes du lagon ouest (octobre 1983, planche III). Une étude approfondie des échanges lagon/océan est en cours et elle nécessite de garder la résolution initiale de 825 mètres (planche III). Enfin l'image de décembre 1979 (planche III) procure des détails de l'hétérogénéité spatiale d'une floraison de *Trichodesmium*, avec des structures tourbillonnaires étonnantes à l'extrémité nord du lagon et au large de l'île des Pins par 24°S.

Ce signal faible de la série NIMBUS-7 est le plus important car il permet de nuancer les conclusions tirées des campagnes à la mer (pas d'influence sur la chlorophylle de surface de l'île de Maré lors des PREFIL) et indique la présence d'enrichissements fortement localisés, définissant un milieu oligotrophe hétérogène, difficilement accessible aux mesures classiques.

CONCLUSIONS

Les images du satellite NIMBUS-7 CZCS ont apporté une vision synoptique des enrichissements de chlorophylle qui manquait jusqu'alors dans cette région de Nouvelle-Calédonie, parsemée d'îles et de hauts-fonds.

Le signal saisonnier est prédominant du fait des forts enrichissements qu'il amène en surface ($>0,3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$), en période d'alizés ou de calmes. Les fortes concentrations en chlorophylle observées en période hivernale, au sud de Nouvelle-Calédonie, sont liées aux alizés, tandis que celles du nord-est en conditions estivales sont dues à des proliférations de *Trichodesmium* exploitant une forte stabilité de la masse d'eau chaude et stratifiée.

Le signal saisonnier masque généralement l'information de faibles intensités révélée autour des îles par le satellite. C'est ainsi qu'au sud de la Nouvelle-Calédonie où de nombreux monts sous-marins ont été

détectés récemment [RIGOLOTT, 1989], l'enrichissement hivernal homogène masque tout autre signal. Le réseau SURTROPAC ne détecte que le signal de fortes concentrations, les campagnes n'ont pu reconstituer les enrichissements, sans doute fugitifs, de chlorophylle autour des îles. Aussi, de telles informations sont précieuses pour décrire la circulation superficielle considérée dans la région comme faible et variable [HENIN *et al.*, 1984].

Cet article est le résultat d'un premier classement, visuel, des résultats obtenus par CZCS. On n'a pas déterminé l'importance relative et l'impact du léger enrichissement ("effet d'archipel"), permanent et étendu, en comparaison des enrichissements forts mais saisonniers. La comparaison avec une autre source de biomasse phytoplanctonique dans le Pacifique (l'upwelling équatorial) permettrait une cartographie globale du Pacifique tropical Sud-Ouest, qui apparaît, grâce aux images satellites, plus mésotrophe qu'oligotrophe.

Il est nécessaire qu'un suivi de couleur de l'eau soit programmé dans la prochaine décennie avec les expériences Sea-WiFS* de la NASA, et SPOT 4/5 du CNES sur lequel il sera ajouté une bande bleue au capteur Végétation. La cartographie globale des bassins océaniques se poursuit à l'aide de l'archive NIMBUS-7 [FELDMAN *et al.*, 1989]. Toutefois, des études plus régionales demeurent indispensables pour comprendre les mécanismes de la production primaire. A toutes les échelles, le satellite offre une information abondante qui n'est pas encore totalement interprétée et qui permet de mieux cibler les futures observations de terrain.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BRICAUD (A.), MOREL (A.) & ANDRE (J.M.), 1987. - Spatial/temporal variability of algal biomass and potential productivity in the Mauritanian upwelling zone, as estimated from CZCS data. *Advances in space research*, 7, 2, pp. 53-62.
- CAPONE (D.G.) & CARPENTER (E.J.), 1982. - Nitrogen fixation in the marine environment. *Science*, 217, 4565, pp. 1140-1142.
- CARPENTER (E.J.) & PRICE (C.C.), 1976. - Marine Oscillatoria (Trichodesmium): explanation for aerobic nitrogen fixation without heterocysts. *Science*, 191, 4233, pp. 1278-1280.
- DANDONNEAU (Y.), 1979. - Concentrations en chlorophylle dans le Pacifique tropical sud-ouest : comparaison avec d'autres aires océaniques tropicales. *Oceanologica acta*, 2, 2, pp. 133-142.

* Sea-WiFS : Sea-Wiewing Wide Field-of-view Sensor.

- DANDONNEAU (Y.), 1982. - A method for the rapid determination of chlorophyll plus phaeopigments in samples collected by merchant ships. *Deep-sea research*, (A) 29, 5, pp. 647-654.
- DANDONNEAU (Y.) & CHARPOT (L.), 1985 - An empirical approach to the island mass effect in the south tropical Pacific based on sea surface chlorophyll concentrations. *Deep-sea research*, (A) 32, 6, pp. 707-721.
- DANDONNEAU (Y.) & GOHIN (F.), 1984. - Meridional and seasonal variations of the sea surface chlorophyll concentration in the southwestern tropical Pacific (14 to 32°S. 160 to 175°E). *Deep-sea research*, (A) 31, 12, pp. 1377-1393.
- DELMAS (R.), 1987. - Logiciel de décodage et de rectification des images NIMBUS-7 (CZCS). *Document techniques CISI*, 60 p.
- DESCHAMPS (P.Y.) & VIOLLIER (M.), 1987. - Algorithms for ocean colour from space and application to CZCS data. *Advances in space research*, 7, 2, pp. 11-19.
- DONGUY (J.R.), 1987. - Recent advances in the knowledge of the climatic variations in the tropical Pacific Ocean. *Progress in oceanography*, 19, 1, pp. 49-85.
- DONGUY (J.R.) & HENIN (C.), 1980. - Climatic teleconnections in the western South Pacific with El Niño phenomenon. *Journal of physical oceanography*, 10, 12, pp. 1952-1958.
- DUPOUY (C.), en préparation. - Mesures optiques de l'atténuation de l'éclairement photosynthétique. *Rapports de mission - Centre ORSTOM de Nouméa, sciences de la mer, océanographie* (Rapport de la campagne PROPPAC 04 du N.O. Suroit 28 octobre-28 novembre 1989).
- DUPOUY (C.) & DEMARCO (H.), 1987. - CZCS as an aid for understanding modalities of the phytoplankton productivity during upwelling off Senegal. *Advances in space research*, 7, 2, pp. 63-71.
- DUPOUY (C.), PETIT (M.) & DANDONNEAU (Y.), 1988. - Satellite detected cyanobacteria bloom in the southwestern tropical Pacific. Implication for oceanic nitrogen fixation. *International journal of remote sensing*, 9, 3, pp. 389-396.
- EPPLEY (R.W.), STEWART (E.), ABBOTT (M.R.) & HEYMAN (U.), 1985. - Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll. Introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. *Journal of plankton research*, 7, 1, pp. 57-70.

- FELDMAN (G.), CLARK (D.) & HALPERN (D.), 1984. - Satellite color observations of the phytoplankton distribution in the eastern equatorial Pacific during the 1982-1983 El Niño. *Science*, **226**, 4678, pp. 1069-1071.
- FELDMAN (G.), KURING (N.), NG (C.), ESAIAS (W.), McCLAIN (C.), ELROD (J.), MAYNARD (N.), ENDRES (D.), EVANS (R.), BROWN (J.), WALSH (S.), CARLE (M.) & PODESTA (G.), 1989. - Ocean color, availability of the global data set. *Eos, transactions - American geophysical union*, **70**, 23, pp. 634-635, 640-641.
- GILMARTIN (M.) & REVELANTE (N.), 1974. - The 'island mass' effect on the phytoplankton and primary production of the Hawaiian islands. *Journal of experimental marine biology and ecology*, **16**, 2, pp. 181-204.
- GORDON (H.R.) & CLARK (D.K.), 1980. - Remote sensing optical properties of a stratified ocean: an improved interpretation. *Applied optics*, **19**, 20, pp. 3428-3430.
- GORDON (H.R.), CLARK (D.K.), BROWN (J.W.), BROWN (O.B.), EVANS (R.H.) & BROENKOW (W.W.), 1983. - Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: comparison of ship determinations and CZCS estimates. *Applied optics*, **22**, 1, pp. 20-36.
- 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**, 4465, pp. 63-66.
- HENIN (C.), GUILLERM (J.-M.) & CHABERT (L.), 1984. - Circulation superficielle autour de la Nouvelle-Calédonie. *Océanographie tropicale*, **19**, 2, pp. 113-126.
- HERBLAND (A.) & VOITURIEZ (B.), 1977. - Production primaire, nitrate et nitrite dans l'Atlantique tropical. I. - Distribution du nitrate et production primaire. *Cahiers ORSTOM, série océanographie*, **15**, 1, pp. 47-55.
- HERBLAND (A.) & VOITURIEZ (B.), 1979. - Hydrological structure analysis for estimating the primary production in the tropical Atlantic Ocean. *Journal of marine research*, **37**, 1, pp. 87-101.
- HOLLIGAN (P.M.), VIOLLIER (M.), HARI'OUR (D.), CAMUS (P.) & CHAMPAGNE-PHILIPPE (M.), 1983. - Satellite and ship studies of coccolithophore production along a continental shelf edge. *Nature*, **304**, 5924, pp. 337-342.

- HOVIS (W.A.), CLARK (D.K.), ANDERSON (F.), AUSTIN (R.W.), WILSON (W.H.), BAKER (E.T.), BALL (D.), 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**, 4465, pp. 60-63.
- JARRIGE (F.), BOURRET (P.) & GUILLERM (J.M.), 1979. - Observation d'une zone de frontière thermique dans le sud-ouest du Pacifique. *Rapports scientifiques et techniques - Centre ORSTOM de Nouméa, océanographie*, **5**, 11 p.
- KIRK (J.T.O.), 1983. - *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. - Cambridge : Cambridge university press. - XI-401 p.
- KROENKE (L.), JOUANNIC (C.) & HOWARD (P.), 1983. - *Bathymetry of the Southwest Pacific*. - Suva : UN ESCAP/CCOP/SOPAC.
- LE BORGNE (R.), 1986. - *Résultats des campagnes à la mer du programme "PROCAL". 3. Campagnes "PRÉFIL" (zooplancton et micronecton), "UITOE", "MARE" et "ONDIMAR", décembre 1982-septembre 1984*. - Nouméa : Centre ORSTOM, océanographie. - 154 p.
- LE BORGNE (R.), DANDONNEAU (Y.) & LEMASSON (L.), 1985. - The problem of the island mass effect on chlorophyll and zooplankton standing crops around Mare (Loyalty Islands) and New Caledonia. *Bulletin of marine science*, **37**, 2, pp. 450-459.
- LOHRENZ (S.E.), ARNONE (R.A.), WIESENBURG (D.A.) & DePALMA (I.P.), 1988. - Satellite detection of transient enhanced primary production in the western Mediterranean Sea. *Nature*, **335**, 6187, pp. 245-247.
- MOREL (A.), 1980. - In-water and remote measurements of ocean color. *Boundary-layer meteorology*, **18**, 2, pp. 177-201.
- MULLER-KARGER (F.E.), McCLAIN (C.R.) & RICHARDSON (P.L.), 1988. - The dispersal of the Amazon's water. *Nature*, **333**, 6168, pp. 56-59.
- PELAEZ (J.) & McGOWAN (J.A.), 1986. - Phytoplankton pigment patterns in the California Current as determined by satellite. *Limnology and oceanography*, **31**, 5, pp. 927-950.
- PETIT (M.) & HENIN (C.), 1982. - Radiométrie aérienne et prospection thonière. Rapport final. *Note et documents d'océanographie - Mission ORSTOM de Port-Vila*, **3**, 96 p.

- RIGOLOTT (P.), 1989. - Origine et évolution géodynamique du système Ride de Nouvelle-Calédonie/Norfolk (S.O. Pacifique) : synthèse des données de géologie et de géophysique marine, étude des marges et bassins associés. *Thèse Géologie-géophysique, Brest*, 310 p.
- SHANNON (L.V.), MOSTERT (S.A.), WALTERS (N.M.) & ANDERSON (F.P.), 1983. - Chlorophyll concentrations in the southern Benguela current region as determined by satellite (Nimbus-7 coastal zone colour scanner). *Journal of plankton research*, 5, 4, pp. 565-583.
- SOURNIA (A.), 1986. - *Atlas du phytoplancton marin. Volume 1: Introduction, Cyanophycées, Dictyochophycées, Dinophycées et Raphidophycées.* - Paris : Editions du Centre national de la recherche scientifique. - 219 p.
- VIOLLIER (M.), SOURNIA (A.), BIRRIEN (J.-L.), CHRETIENNOT-DINET (M.-J.), LE BORGNE (P.), LE CORRE (P.), MORIN (P.) & OLRV (J.P.), 1988. - Satellite (AVHRR/NOAA-9) and ship studies of a coccolithophorid bloom in the western English Channel. *Marine nature*, 1, 1, pp. 1-14.
- VIOLLIER (M.), TANRE (D.) & DESCHAMPS (P.Y.), 1980. - An algorithm for remote sensing of water color from space. *Boundary-layer meteorology*, 18, 3, pp. 247-267.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié, pour l'obtention des données NIMBUS-7, d'une action thématique programmée CNES/CNRS en 1987. Les logiciels ont été élaborés et le traitement des images effectué grâce à l'accord et l'aide amicale des équipes DERO/AT et DERO/DI du Centre IFREMER de Brest. Je remercie également les chercheurs du Centre ORSTOM de Montpellier, de Brest et de Nouméa qui m'ont permis d'interpréter l'imagerie satellitaire grâce aux précieuses informations issues des campagnes à la mer.

ANNEXE

Les images brutes NIMBUS-7 ont été traitées comme suit. Les effets de la courbure et de la rotation de la terre ont été corrigés de façon à obtenir des images en coordonnées Mercator, comparables point à point [DELMAS, 1987]. La résolution a été dégradée à 1,5 km x 1,5 km pour les planches I et II (traitement d'un point sur deux) et la résolution initiale conservée à 825 m x 825 m pour la planche III.

Les effets atmosphériques, importants dans le domaine visible, ont été éliminés en utilisant les algorithmes de VIOLLIER *et al.* [1980]. Le traitement des données exposé vise à retrouver les réflectances marines dans les trois canaux du visible : 1 (443 nm), 2 (520 nm), 3 (550 nm) en utilisant le canal 4 (670 nm) pour les corrections atmosphériques suivant les recommandations de DESCHAMPS et VIOLLIER [1987].

La totalité du signal du satellite dans chaque canal (440 à 670 nm) est converti en réflectances en tenant compte des calibrations initiales et de la baisse de sensibilité du capteur intervenue depuis 1981. La partie constante du signal atmosphérique est ensuite calculée et éliminée de la réflectance totale (partie Rayleigh due à l'air).

La partie variable de ce signal atmosphérique, due à la diffusion des aérosols aériens (eau et poussières), est fournie par le canal 4 car à 670 nm le signal marin est considéré comme presque nul, le résidu dépend du canal 3 [DESCHAMPS & VIOLLIER, 1987]. Une loi de dépendance de la diffusion aérosols en $(k)^n$ où k est la longueur d'onde et n est le coefficient d'Angström non connu, permet d'extrapoler le signal aérosol aux canaux 1, 2 et 3 à partir de sa valeur dans le canal 4. Ce coefficient varie entre -1 et +1 suivant la nature des aérosols terrestres ou marins. Le choix, pour toutes les scènes, d'un coefficient constant ($n=0,5$) n'a pas introduit d'erreur. La validité de la correction atmosphérique a été testée sur les points d'eau claire de l'image choisis au large des terres, pour lesquels le spectre de réflectances marines est connu. Une gamme de chlorophylle "satellite" constante est applicable à toutes les scènes, de 0,05 à 0,5 mg.m⁻³. Le maximum est trouvé dans les eaux les plus riches du lagon.

La concentration en chlorophylle (plus phéopigments), "C sat" (chlorophylle "satellite"), est calculée à partir d'un rapport des réflectances "satellite" marines dans les canaux bleu/vert [GORDON *et al.*, 1980], le mieux adapté aux eaux claires oligotrophes du cas 1 [MOREL, 1980], influencées essentiellement par le phytoplancton et les particules associées. L'incertitude sur la concentration en chlorophylle "satellite" est inférieure à la valeur admise de 30% [HOVIS *et al.*, 1980] car le traitement de cette série NIMBUS-7 s'est effectué sur le type d'eau idéal du cas 1 (en dehors des lagons) et a bénéficié, de plus, d'un important fichier de vérités-mer.

"C sat" dépend de $K(m^{-1})$, K étant le coefficient d'atténuation diffuse de la lumière visible. En effet, la lumière solaire rétrodiffusée captée par le satellite provient d'une profondeur estimée à $0,7/K$ [GORDON & CLARK, 1980]. Dans le Pacifique tropical Sud-Ouest, on estime à 20 mètres en moyenne la profondeur de détection par le satellite de la biomasse en phytoplancton [KIRK, 1983] et 25 mètres d'après des mesures récentes au quantamètre [DUPOUY, en préparation]. Le maximum profond de chlorophylle (80 mètres en moyenne) n'est jamais détecté.