CFSICM

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

CENTRE DE BREST



CE TRAVAIL EST ACTUELLEMENT POURSUIVI AU CENTRE ORSTOM DE NOUMEA

LES SCENES RECEMMENT TRAITEES N'ONT PU ETRE INCLUSES DANS CE RAPPORT

-

L'IMAGERIE COULEUR EST DISPONIBLE AUPRES DE CECILE DUPOUY

.

AU CENTRE ORSTOM DE NOUMEA

JANVIER 1989

# RAPPORT ATP TELEDETECTION 1986-1987

# IFREMER/CNES/CNRS

# CONTRAT UNIVERSITAIRE Nº86 1 430 012

# L 'EFFET D'UNE ILE SUR L'OCEAN (CONCENTRATION EN CHLOROPHYLLE ET COURANTS). UTILISATION DU SATELLITE NIMBUS-7 CZCS.

#### DECEMBRE 1987

Cécile DUPOUY-DOUCHEMENT Antenne ORSTOM auprès du Centre IFREMER de Brest BP 337 29273 BREST CEDEX

Yves DANDONNEAU Centre ORSTOM de Nouméa BP A5 NOUMEA CEDEX (Nouvelle Calédonie)

Lionel LEMASSON Centre ORSTOM de Montpellier 2051, av. du Val de Montferrand BP 5045 34032 MONTPELLIER

# RESUME

# L'EFFET D'UNE ILE SUR L'OCEAN (CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE ET COURANTS). UTILISATION DU SATELLITE NIMBUS-7 CZCS.

Les effets d'îles sont souvent présentés comme des effets enrichissants de la masse d'eau superficielle (remontée de sels nutritifs en surface, soit par effet de sillage, soit par upwelling). Dans le Pacifique Tropical Sud Ouest, globalement oligotrophe, les îles seraient une cause primordiale d'enrichissement (en plus de l'effet de brassage vertical des vents alizés). Le réseau de bateaux marchands SURTROPAC de l'ORSTOM ne permet pas de les mettre en évidence systématiquement.

Sur 40 images de NIMBUS-7 CZCS d'archives sélectionnées de 1978 à 1984, les vingt plus marquantes ont été traitées sur le matériel IFREMER (VAX et Comtal Vision), en attente de la station de traitement d'images du Centre ORSTOM de Nouméa (logiciels de l' IFREMER/ORSTOM/CNRS). Les méthodes appliquées pour le traitement des données brutes de NIMBUS-7 CZCS consistent en l'utilisation du logiciel NIMBUS créé pour les fins du projet, permettant le décodage et des corrections géométriques précises (utilisant la grille de localisation de la NASA contenue dans la donnée), et d'un second logiciel (CZCS) permettant les corrections atmosphériques classiques ainsi que l'obtention de cartes de concentration en chlorophylle (mg/m3).

Une revue bibliographique des connaissances océanographiques de la région (principalement à partir des travaux de l'ORSTOM) permet de décrire brièvement les caractéristiques hydrologiques et biologiques de la zone de manière à permettre une interprétation océanographique des cartes satellitaires.

Les résultats sont présentés sous forme de cartes de concentrations en chlorophylle accompagnées d'une carte de situation. Une description détaillée des phénomènes océanographiques visibles sur chaque carte est présentée dans le texte. Les résultats sont regroupés en deux séries:

- Une série de 15 cartes de chlorophylle intercalibrées, en résolution dégradée (soit un pixel de 1650 m), représentant une aire géographique d'environ 8 degrés de latitude et de longitude, accompagnées des cartes de situation correspondantes, permet de décrire la région autour de la Nouvelle-Calédonie (gamme de couleur constante). Ces images montrent l'opposition entre les situations hivernales au cours desquelles de grandes structures hydrologiques sont bien mises en évidence, notamment une zone d'enrichissement en phytoplancton située au sud de la Nouvelle-Calédonie (entre 22 et 25S), correspondant probablement à une zone de convergence décrite au cours de nombreuses campagnes océanographiques de l'ORSTOM, et les situations estivales. Pour cette dernière période, des informations nouvelles sont apportées: blooms estivaux (été austral) d'algues phytoplanctoniques flottantes d'un genre particulier, les cyanophycées, s'étendant dans certains sur des surfaces cas supérieures à 90000 km2. Ces algues étant capables de fixer l'azote atmosphérique, leurs floraisons pourraient constituer un important apport d'azote pour la zone euphotique de la région, dont la quantité pour ce bloom a été estimée à 1 tonne d'azote fixé pendant 10 jours.

Ce sujet a fait l'objet d'une publication acceptée à International Journal of Remote Sensing. Les effets d'île sont également visibles sur ces images (Archipels des Loyauté et du Vanuatu), ainsi que l'effet enrichissant des plateaux et haut-fonds coralliens.

- Une série de cartes de chlorophylle non calibrées, en pleine résolution, (soit un pixel de 825 m), représentant une zone géographique de 4 degrés de latitude et de longitude, illustre les structures fines tracées par les enrichissements en chlorophylle autour des îles (gamme de couleur variable). Ces cartes de détail l'existence des effets d'îles (Loyauté et montrent nettement Vanuatu), ainsi que l'effet enrichissant du lagon de Nouvelle -Calédonie. Les effets d'îles sont de dimensions réduites, résultat attendu au vu des résultats des campagnes d'études autour de l'île l'ORSTOM (série PREFIL). Ils sont constitués de petits Maré de panaches d'environ 20 km de largeur, et apparaissent accrochés soit au sud, soit au nord des îles. Sont observables également de façon plus difficile (cartes du canal bleu) des effets superficiels entre les îles Loyauté, qui sont peut être liés à la bathymétrie.

En conclusion, l'étude des images montre que les effets d'îles sont observables par satellite, mais qu'ils sont loin de constituer la seule source d'enrichissement de la masse d'eau, les concentrations en chlorophylle étant également fortes à des distances éloignées des îles. Une étude statistique est en cours pour calculer la corrélation entre concentration en chlorophylle et distance à l'île selon le principe déjà retenu par Y. Dandonneau pour les données de chlorophylle des bateaux marchands (cette étude demande la création de fichiers plus importants, mosaïques de plusieurs scènes krigées, sans nuages, ce qui constitue l'objectif d'une demande d'ATP pour 1988).

#### SOMMAIRE

I. INTRODUCTIONp. 5	
II. OBJECTIFS DU PROJETp. 5	
III. MATERIEL ET METHODES	
IV. CONNAISSANCE OCEANOGRAPHIQUE	
V. RESULTATS	0
VI. INTERPRETATION	1
VII. CONCLUSION	3
VIII. BIBLIOGRAPHIE	4

# DESCRIPTIF DES FLORAISONS DE PHYTOPLANCTON OBSERVES PAR CZCS POUR LA PERIODE 1978 A 1984 AUTOUR DE LA NOUVELLE-CALEDONIE ET DE L'ARCHIPEL DU VANUATU

CARTI	ES Nº ANNEI	E ET MOIS		PARTICULARITES
		1978		
	14 Novembre	1978	bloom côtier de	cyanobactéries
	1	1979		
1 2,16	22 mars 1979 10 septembre	9 flo: ≥ 1979 flo:	raisons de phytopla raisons de phytopla	ancton au large ancton au large
	:	1980		•
3 4	19 novembre 1980 27 décembre 1980	to bloom de c	ourbillon sur la cé yanobacteries au la	ôte ouest de NC arge du Vanuatu
		1981		
5 6 7 17 8,23 9 10	1 avril 1981 17 avril 1981 3 mai 1981 13 juin 1981 29 juin 1981 3 juillet 1981 14 juillet 1983	tourbi zc effets d'î effets d'î 20 effets d'î 1 effets d'î	llon sur la côte no one d'enrichissemen les, zone d'enrich ffets d'îles dirige one d'enrichissemen les, zone d'enrich les, zone d'enrich	ord-ouest de NC nt au sud de NC issement au sud és vers le nord nt au sud de NC issement au sud
		1982		
<b>11</b>	4 janvier 1982 12 mars 1982 13 octobre 1983	bloom de c	yanobactéries au la enrichissemen effets d'îles	arge du Vanuatu t côtier au Vanuatu
		1983		
12,18 13,19	27 avril 1983 17 septembre 19 22 septembre 19	983 983	effets d'îles diri effets d'îles aux i effets d'îles diri	gés vers le sud Loyauté gés vers le sud
14,20 15,21 22	22 mars 19 7 septembre 19 15 septembre 19	984 984 984 2	bloom de cyano effets d'îles auto one d'enrichisseme	bactéries ur des Loyautés nt au sud

К',

### I. INTRODUCTION

L'effet d'une île sur la production primaire océanique est particulièrement important dans le Pacifique Tropical ouest où la thermocline est profonde et où la couche euphotique est épuisée en sels nutritifs jusqu'à une profondeur de l'ordre de 100 m. La multitude d'îles qui parsèment cette région est susceptible d'y apporter des modifications importantes (Dandonneau, 1979):

1) en induisant des remontées d'eaux profondes riches en sels nutritifs et en favoraisant leur mélange avec l'eau superficielle,

2) par le ruissellement d'eaux de pluie enrichies en substances humiques et en sels minéraux,

3) par la prédation que le récif exerce sur l'eau de mer, et par ce qu'il excète et produit.

Des résultats contradictoires sont recueillis depuis 1960 sur ces effets. Dans certains cas, les îles constituent des pôles de production primaire élevée (îles Hawaii, Gilmartin et Revelante, 1974, îles Scilly, Simpson et al. 1982). L'effet d'île n'est pas toujours aussi nettement observé, soit que les stratégies d'échantillonnage soient mal adaptées, soient que l'île n'exerce aucun effet amplificateur de la production, soit même qu'elle constitue un frein à la production (Dandonneau et Charpy, 1985).

Après un programme d'étude océanographique développé par le Centre ORSTOM de Nouméa autour de la Nouvelle-Calédonie et des Loyauté (Campagnes PREFIL, Le Borgne et al., 1985), il s'avère que les effets d'îles sont de dimensions modestes (quelques km) et transportés par des courants qui sont très instables et lents. Une implique pour que des hétérogénéïté spatiale complexe aussi structures fines soient observées un échantillonnage optimal. Ce dernier peut être obtenu idéalement par des moyens aéroportés ou satellitaires. Cette vision synoptique est idéalement apportée par les images couleur de l'eau de l'expérience Coastal Zone Color Scanner (NIMBUS-7) qui permet de distinguer les variations très faibles de couleur de la mer liées à la présence de phytoplancton à une échelle spatiale adaptée (1 point de l'image équivaut à une surface de 825 m x 825 m).

II. OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude sont de:

1) documenter par des cartes de chlorophylle les processus d'enrichissements en phytoplancton de la région de la Nouvelle-Calédonie

2) mettre en évidence les effets d'îles grâce aux cartes de chlorophylle de surface de CZCS

3) conclure sur l'apport océanographique de l'information satellitaire

On comprend alors la nécessité de travailler les données du satellite NIMBUS-7 à deux échelles: en résolution dégradée pour caractériser de façon générale les grandes zones d'enrichissement en chlorophylle, en pleine résolution pour essayer de déterminer l'influence des îles sur la répartition fine du phytoplancton de surface.

# III. MATERIEL ET METHODES

Une acquisition destinée à la couverture satellitaire des campagnes PREFIL avait été demandée à la NASA sur la zone de la Nouvelle Calédonie. Sans doute en raison de la brièveté des campagnes et donc des périodes d'acquisition demandées, les données sur la zone

TABLEAU I. DONNEES DE NIMBUS-7 CZCS ARCHIVEES PAR L'ORSTOM

Date			Orbite	Heures	Limites géographiques nord-est et sud-ouest					
			:	a acduraterou	Mord est et sud odest					
		7.0	0.07	010107						
14	novembre	/8	287	012137 - 012337	154E 215/168E 245					
22	mars	79	2057	012453 - 012653	153E 22S/168E 25S					
20	avril	79	2458	014111 - 014311	149E 17S/162E 20S					
19	juin	79	3287	011652 - 011852	156E 23S/170E 26S					
30	juin	79	3439	011542 - 011742	156E 22S/171E 25S					
12	juillet	79	3605	013353 - 013553	150E 20S/166E 23S					
17	juillet	79	3674	012333 - 012533	154E 23S/168E 26S					
	•			012533 - 012733	151E 20S/173E 22S					
10	septembre	79	4434	012301 - 012501	153E 17S/167E 21S					
26	novembre	79	5498	012021 - 012201	151E 20S/173E 22S					
18	décembre	79	5802	012102 - 012302	149E 16S/172E 18S					
	decempt e			011902 - 012102	151E 235/174E 255					
20	dácombro	79	5951	011953 - 012153	150F 195/173E 215					
23	decembre	00	7170	011705 - 012100	1550 195/1/30 215 1550 200/1690 245					
20	mars	00	7104	011705 = 011845	151E 205/164E 235					
41	mars	80	7184	013605 - 013805	151E 205/164E 235					
ь	avrii	80	1322	011655 - 011855	155E 1/S/169E 215					
				011455 - 011655	156E 24S/1/1E 28S					
29	avril	80	7640	013226 - 013346	150E 20S/167E 23S					
4	juillet	80	8552	012551 - 012751	152E 21S/169E 24S					
6	août	80	9008	012223 - 012423	153E 19S/169E 23S					
12	août	80	9091	013123 - 013323	150E 18S/167E 21S					
				012923 - 013123	152E 21S/169E 28S					
9	septembre	80	9478	013634 - 013744	149E 20S/166E 23S					
1	novembre	80	10210	005247 - 005407	161E 17S/175E 21S					
19	novembre	80	10459	011618 - 011728	151E 18S/173E 19S					
27	décembre	80	10984	010019 - 010219	155E 17S/177E 19S					
4	février	81	11523	010247 - 010447	159E 22S/173E 23S					
10	fáurier	81 81	11606	010247 - 010347	156F 189/170F 219					
21	férmien	01	11700	011212 = 011302	1570 100/170E 215					
4	revitet	01 01	10007	010948 - 011103	15/6 105/1/06 215					
L L	avril	01	12297	010925 = 011125	156E 205/1/1E 225					
17	avril	81	12300	005915 - 010105	158E 195/1/5E 225					
1/	avrii	81	12518	005646 - 005846	161E 22S/1/5E 25S					
3	mai	81	12739	004356 - 004546	164E 20S/177E 23S					
13	juin	81	13306	011908 - 012108	154E 22S/171E 25S					
29	juin	81	13527	010619 - 010819	158E 22S/172E 26S					
				010819 - 010950	157E 15S/170E 19S					
3	juillet	81	13582	003708 - 003858	164E 18S/180E 21S					
14	juillet	81	13734	003324 - 003524	165E 21S/178E 24S					
13	août	81	14149	011351 - 011501	155E 16S/167E 20S					
				009351 - 011351	156E 22S/171E 25S					
4	janvier	82	16139	004516 - 004716	158E 16S/179W 18S					
12	mars	82	17065	004004 - 004118	164E 19S/178E 23S					
13	octobre	82	20037	010333 - 010533	158E 18S/172E 22S					
27	avril	83	22746	003321 - 003455	164E 205/168E 245					
17	sentembre	83	24723	010347 - 010447	158F 169/171F 205					
22	sentembro	81	24792	0.5202 - 0.5254	160F 159/17/F 199					
21	octobre	00 02	43/24 95102	010319 - 0105030	1500 100/1/90 000 1500 100/1700 000					
<u>ل</u> ت ۸	octobre	00	2J17J 2/050	010312 = 010422	1500 100/1700 000 1500 100/1700 000					
4	occobre	00	44730	010317 - 010455	TOOF TAD/1/2F 722					
21	octobre	83	25193	010318 - 010503	158E 19S/172E 23S					
22	mars	84	27308	005047 - 005202	161E 19S/175E 22S					
		•		010249 - 010357	158E 18S/171E 20S					
7	septembre	84	29644	003947 - 004150	164E 21S/178E 24S					
13	septembre	84	29727	004603 - 004747	161E 18S/176E 22S					
14	septembre	84	29741	010334 - 010526	157E 21S/173E 25S					
15	septembre	84	29755	012401 - 012456	152E 15S/165E 21S					
				012201 - 012401	153E 23S/168E 25S					
3	décembre	84	30847	011405 - 011604	155E 21S/169E 25S					

sont peu abondantes (400 acquisitions englobant strictement la Nouvelle Calédonie de 1978 à 1984).

Les données ont été sélectionnées au Centre d'archivage de la NOAA (NESDIS Washington), d'après les clichés photographiques.

Ces données se composent des radiances brutes (6 canaux de 440, 520, 550, 670 et 750 nm), comportant une grille de localisation (bandes CRT).

La recherche a été effectuée sur une zone délimitée par les bornes géographiques 20S à 40S et 150E à 170E. Une élimination du 3/4 des scènes pour leur trop forte couverture nuageuse a abouti à la sélection de la liste d'images présentée au tableau I. En raison des raisons évoquées ci-dessus, les scènes ne sont pas réparties uniformément dans le temps (cf tableau II ci-dessous).

# ZONE DE NOUVELLE CALEDONIE: 20S-30S/150E-170E IMAGES ARCHIVEES A L'ANTENNE ORSTOM DE BREST

	1978	1979	1980	1981	1982	2	1983	1984   Total /mois	
Jan					1				
Fev				3	_		_	3	
Mar		, 1	2		1		1	5	
Avr		1	2	3		1		7	
Mai				1				1	
Jui	ŀ	2		2				4	
Jut		2	1 2	2	•			5	
Aou				1				3	
Sep	1	1	1			2	4	8	
Oct		_			1	2		3	
Nov	1	1	2					4	
Dec	1 -	2	1				1	4	
Total/ année	1	10	11	12	3	5	6	48	

Tableau II. Répartition temporelle des scènes CZCS

#### **B. METHODOLOGIE**

#### CHAINE DE TRAITEMENT UTILISEE POUR CZCS

La chaîne de traitement a été totalement remaniée en 1987, par la création du logiciel NIMBUS. Les logiciels dédiés à CZCS disponibles à l'IFREMER ne prévoyaient pas de correction géométrique des images (logiciels prévus pour les images non localisées du Centre d'archivage de Dundee). La correction géométrique se faisait alors en utilisant des points d'amers. Cette méthode, bonne lors du traitement de petits fichiers, ne convenait absolument pas pour des fichiers de grande taille, sans points d'amers (cas des archipels du Pacifique). Désireux de posséder une méthode de correction fiable, permettant une comparaison des scènes point par point, nous avons fait réaliser le logiciel décrit ci-après. Il nous a permis de traiter les fichiers à partir de février 1987.

Matériel VAX 11/780 du Département Informatique IFREMER Matériel COMTAL-VISION et microVAX IFREMER Logiciel NIMBUS interactif (Delmas R., 1987, Informatique Internationale)

\*\*\*\* LOGICIEL NIMBUS \*\*\*\*

1- DECODAGE DES 6 CANAUX (1968 points x 970 lignes) CREATION DES DEUX FICHIERS: ----- grille de localisation et

----- fichier image

2- RECTIFICATION DES 6 CANAUX (par re-échantillonnage de l'image en coordonnées MERCATOR)

- choix de la résolution (825 ou 1650 mètres)

- choix de la borne nord-ouest en latitude/longitude

- correction du décalage de la grille de localisation par rapport à l'image, par essais successifs.

Nota: Une nette amélioration est actuellement apportée au logiciel, permettant le calcul du décalage de la grille par mise en correspondance visuelle des traits de côte grille et image sur écran TEKTRO (utilisée dans le logiciel PESKET).

**Précision de la correction:** limite de la précision de la grille de localisation, soit de 1 à 3 pixels (dépendant de la localisation du point dans l'orbite).

Choix de la résolution: les résolutions de traitement sont fonction de la couverture nuageuse de la scène. La résolution 1/1 (825mx825m) sera choisie sur les portions de scènes claires autour des îles. La résolution 1/2 (1650mx1650m) s'applique aux scènes exceptionnellement claires sur l'ensemble de la zone.

<u>Nota</u>: Il faut noter que, pour chaque résolution, un passage sur l'ensemble de la chaîne est nécessaire. Les fichiers résultats, quelle que soit la résolution, sont de taille 512 x 512 points.

POSSIBILITE DE MOSAIQUES

Si l'on désire obtenir une image de grande taille en pleine résolution (825 m), on a possibilité de faire une mosaïque de 4 fichiers en définissant uniquement la borne nord-ouest de l'image finale (pas de calcul de chaque borne). Les images sont rectifiées une à une puis juxtaposées simplement par définition relative de l'image par rapport à une des 3 autres. Dans ce cas, on obtient une image de 1024 x 1024 points.

Nota: Les moyens de visualisation actuels ne permettent pas de visualiser directement une telle image (ni donc d'y appliquer les corrections atmosphériques). On procède alors à un reéchantillonage des pixels.

Description du logiciel CZCS, VIollier et al., 1980

1- CORRECTION ATMOSPHERIQUE

Logiciel interactif (Viollier, 1983)

- correction Rayleigh calculée sur le centre de l'image

- choix d'un coefficient d'Angström identique (0.5) pour toutes les scènes (avec contrôle des résultats de la correction des aérosols en réflectances sur les trois canaux).

2- CALCUL DES CHLOROPHYLLES

- choix de l'algorithme (Gordon et al., 1980)

- prise en compte de la baisse de sensibilité des capteurs (Viollier, 1982, Viollier et Deschamps, 1987)

La calibration en chlorophylle grâce aux données de terrain est particulièrement aisée. En effet, on dispose des bornes inférieures et supérieures des concentrations grâce aux données ORSTOM: les eaux oligotrophes montrent une concentration homogène de 0.05 mg/m3. Les eaux les plus riches, trouvées dans le lagon (lorsque l'effet du fond n'est pas important et en dehors de la zone intérieure des baies, c'est à dire dans la partie extérieure du lagon), ont une concentration en chlorophylle constante au cours de l'année de 0.5 mg/m3 (Rougerie, 1986).

Pour l'ensemble des opérations usuelles de traitement d'image, on a bénéficié de l'utilisation des logiciels interactifs de traitements d'images GIPSY (Belbeoch, 1985) et GRINGO (1986) sur matériel VAX/ COMTAL, développés par l'équipe du Département Informatique de l'IFREMER ainsi que des différents utilitaires de l'IFREMER (gestion de fichiers).

Pour les sorties images, le matériel de restitution d'images couleur VERSATEC de l'IFREMER a été utilisé.

#### COMPARAISON DONNEES SATELLITAIRES ET DE TERRAIN

Au stade préliminaire de l'étude, il n'a pas été nécessaire de développer des outils statistiques d'analyse des données satellites, ni de comparaison avec les données de terrain (trop peu de coïncidence temporelle).

#### IV. CONNAISSANCE DE LA ZONE

#### IV.1. CLIMATOLOGIE ET COURANTOLOGIE

Deux grandes saisons peuvent être distinguées en fonction de la migration en latitude de la zone de convergence intertropicale, et de sa branche sud, la zone de convergence du Pacifique. L'hiver austral, d'avril à octobre, est caractérisé par la présence d'alizés du sud est. Ceux-ci induisent une circulation vers l'ouest, en contradiction avec la circulation géostrophique. L'été austral, de novembre à mars, est caractérisé par le remplacement des alizés par des vents de mousson d'ouest, liés à de fortes pluies, alternant avec des périodes de calmes (dizaine de jours). La Mer du Corail est alors le siège de dépressions plus ou moins fortes, provenant du nord est.

Une synthèse de la courantologie de la Mer de Corail a été réalisée (Donguy et al, 1970, 1976, Donguy et Hénin, 1981, Hénin et al, 1984, Rougerie ,1986). Cette région révèle une circulation superficielle complexe, par sa situation à la limite sud de la dérive des alizés de l'océan Pacifique ouest.

Deux grands courants s'opposent en Mer du Corail (Figure 1):



Fig.1. Courantologie générale dans le Pacifique Tropical Sud Ouest (Atlas de Nouvelle Calédonie, ORSTOM, 1981).

un flot dirigé vers l'ouest : le Courant Equatorial Sud (CES) et deux contre courants dirigés vers le sud-est. Le premier se situe à 15°S, c'est le Contre Courant Equatorial Sud (CCES), le second est plus au sud (à 20°S), c'est le Contre Courant Tropical Sud (CCTS). La dominance de l'un ou l'autre des courants est renforcée par les En période hivernale, le CES est renforcé par les alizés: les vents. eaux froides et salées remontent vers le nord, aidées par ce courant l'anticyclone de la côte sud-estrenforcé par de sud-ouest australienne. Les eaux sont alors fraîches, entre 23 et 24°C et très salées (salinité supérieure à 35%o). En été, calmes et vents d'ouest renforçent le CCTS: la Nouvelle Calédonie est alors baignée par des eaux chaudes, entre 27 et 28°C.

La circulation géostrophique, déterminée à partir des différences de densité est dirigée vers l'est sud- est (ORSTOM, Nouméa).

A ces influences se superposent celles, topographiques, de nombreuses îles (Archipel des Loyauté et du Vanuatu, ainsi que de haut-fonds et plateaux coralliens (Plateau des Chesterfields et Bancs de Lansdowne, Figure 2).

#### Courantologie à échelle fine

La méthode électromagnétique (Geomagnetic-Elektro-Kinetograph, Guillerm, 1980) apparaît comme le meilleur système de mesure de courants variables et faibles des masses d'eau superficielles. Les mesures fournissent un courant traversier qui est la composante perpendiculaire à la direction du câble traîné par le navire. En effectuant des créneaux de dimension réduite, et en interpolant les mesures effectuées à chaque changement de direction, on trace les vecteurs de courants.

Le champ de courants est presque instantané (une carte équivaut à 2 à 3 jours de croisière). Le pas d'échantillonnage est suffisamment petit (chaque côté parcouru représente une distance de 1,8 mille nautique): c'est une carte des courants de la masse d'eau superficielle. Ces mesures sont à priori comparables avec des variations spatiales de la masse d'eau enregistrées par satellite.

De Février 78 à août 80, 20 croisières GEK ont été effectuées autour de la Nouvelle-Calédonie (Guillerm, 1980). Par la suite, 10 campagnes océanographiques classiques (PREFIL 1 à 10) ont permis de dresser des cartes de courants autour des îles Maré et Lifou (Le Borgne et al, 1985).

Le Courant des Loyautés, situé dans le chenal entre les Loyautés et la Nouvelle-Calédonie est mesuré tout au long de l'année. On observe donc dans cette zone en période d'alizés un système de vent contre courant (Figure 3).

Les variations spatiales des courants autour de l'île Maré sont mises en évidence, sans qu'une corrélation simple vent/ courant soit établie. Autour de Maré, les courants semblent être dirigés vers le nord-ouest (janvier et novembre), vers le sud-est (avril et septembre) (Figure 4, Le Borgne et al., 1985).

#### IV.2. CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES

L'Océan Pacifique Tropical est oligotrophe. Dans le Pacifique Tropical Nord, les concentrations en chlorophylle y sont de l'ordre de 0.1 à 0.5 mg/m3 (Hayward, 1987). La cause en est la permanence



Fig. 2. Bathymétrie (isobathes en mètres)





in Hénin et al., 1984

Fig. 3. Schémas de circulation par situation météorologique d'alizé: (1) et par vents d'ouest (2).



Fig. 4. Courants de surface mesurés par la méthode GEK (voir texte) à 4 périodes de l'année (in LeBorgne et al., 1985):

- Janvier 83
- Novembre 83 (courants de sud-est)
- Avril 83
- Septembre 83 (courants de nord-est)

d'une structure tropicale typique, avec un maximum de chlorophylle profond (80 à 120 m), situé entre la profondeur de la nutricline et celle du 1% d'énergie lumineuse disponible pour la photosynthèse. Les sels nutritifs sont bloqués sous cette profondeur. Plus profonde que dans le Pacifique Est, la thermocline peut remonter vers la surface autour des îles et haut-fonds (Figure 5). Dans le Pacifique Tropical Sud OUest (PTSO), les faibles gradients verticaux de température observés expliqués par les fortes tensions de vent et les multiples îles qui le parsèment (cause de turbulence) doivent avoir une influence sur la production primaire (Dandonneau, 1979, Figure 5 bis).

De façon à étudier les variations spatiale et saisonnière de la chlorophylle de surface, a été développé un réseau de bateaux marchands: programme SURTROPAC (Donguy, 1976, Dandonneau, 1982, Dandonneau et Gohin, 1984) (Figure 6). L'été austral est caractérisé par la situation tropicale typique. Des maxima superficiels de toutefois être observés à cette période chlorophylle peuvent proliférations de seraient liés d'oligotrophie: ils à des cyanophycées du genre Oscillatoria (Trichodesmium) spp. capables de fixer l'azote atmosphérique. L'hiver austral (ainsi que la région soumise au brassage par les alizés) est caractérisé par des blooms phytoplanctoniques superficiels (apport de sels nutritifs dans la couche d'océan éclairée). Ce brassage n'intervient pas au nord de 21°S, comme le montre la figure 6.

Les effets d'îles.

- Les effets d'îles ne sont pas mis en évidence de façon égale autour de toutes les îles du Pacifique Tropical Sud Ouest, en raison, soit de la trop faible résolution spatio-temporelle des mesures des bateaux- marchands, soit de la faible intensité de l'effet d'île dans cette partie du Pacifique. Ils sont plus nettement observés au Vanuatu et autour des îles Fidji (Figure 7, Dandonneau et Charpy, 1985).

# Caractéristiques des floraisons à échelle fine

Dans la zone située autour des îles, la structure thermique verticale est peu marquée, indiquant un brassage vertical important des eaux de surface (la thermocline saisonnière oscille entre 30m au sud des Loyautés et 70 m au sud ouest de la Nouvelle-Calédonie, Figure 5).

Les mesures hydrologiques à des stations réparties de façon concentrique autour de l'île Maré (île haute, sans apport terrigène) ont été effectuées (Figure 8, LeBorgne et al., 1985). Les enrichissements en chlorophylle autour de l'île sont observés de façon variable, et selon ces auteurs ne sont pas corrélés avec les courants. Les mécanismes verticaux d'enrichissement apparaissent mal (difficultés d'échantillonnage).



# in Petit et Gohin, 1982

Fig. 5. Caractéristiques hydrologiques à 2 stations au large de la Nouvelle-Calédonie, en juin 1981 (station 6 stratifiée, station 17 brassée).

Profondeur de pénétration de CZCS = 20m Le CZCS ne détecte pas le maximum profond de chlorophylle à la station 17 (illustration: cas du 29 juin 81).

щ	)°E				15	50°	E			16	0°6	Ξ			17(	)°E				180
٩N																-				_
					799			200		-								$\vdash$	-+	
	_	899 899				-	÷	44						<b>Q58</b>			┢─	┝─┤	-+	-
		32	(†)		244		<u> </u>	022				0.75		065	0.51	Q.87		0.63		
0		<b>x</b> 96	ŝ		iii)			a7£				<b>a</b> ,70	0.94	0,57	Q 64	0.74		Q 6 3		
		Ś	<b>e</b> 6D	•	995	••		070				068		Q43	0,53	0,53	ļ	070	·	
			3	60	99	4	<u>pv</u>	207				Q52	Q23	<b>Q</b> 36	Q49	Q56		asz	$\dashv$	
	_				(1)	Ē	105				Ŀ	0,61	QSZ	0.53	043	830	049	Q.57	-+	
25		$\vdash$		2	2	<u>k</u>	<u>'.</u>	967			5	0.62		10.60	<u>asz</u>	9475	059		-+	-+
	-	A				-	Ŀ	49.5	1, y . 		<b>-</b>	0.65	0.67	083		201	1472		$\dashv$	$\neg$
		$\vdash$	5			-		<u> </u>   .		ù iż		Vice.	0.39	<b>D</b>	6	072			-	$\neg$
	1	[	-	-	-		$\vdash$		Sec		άżι.		C.54		-	0%1		$\left  - \right $	寸	्म
	-			T		-						[-,'			990		Í		Ī	
ц,					$\Box$								2	5						
						$\square$					<u>^</u>	οu	ME	2	<u> </u>				$ \downarrow$	_
							Þ							<u> </u>						_
							4										<u> </u>		-	$\dashv$
							11													

Fig. 5 bis. Distribution du maximum de chlorophylle (mg/m3) dans le Pacifique Tropical Sud Ouest (valeurs postérieures à 1970). La valeur de chaque carré est la moyenne arithmétique des valeurs pour toutes les stations contenues dans ce carré.

En grisé, valeurs supérieures à 0.7 mg/m3 Encadrées, valeurs inférierures à 0.55 mg/m3 in Dandonneau, 1979



Fig. 6. Estimations optimales (par krigeage) du champ de CCS (concentration en chlorophylle de surface) entre 160°E-175°E et 31S-17S (réseau de bateaux marchands) pour la période 1978 à 1982.

a) valeurs transformées Y= log(1+100 CCS)

b) CCS = en mg/100 m3

c) coefficient de variation estimé en %

En grisé. les valeurs supérieures à 15 mg/100 m3

HIVER AUSTRAL: Mars à Septembre: blooms liés au brassage par les alizés intervenant au sud de 21S.

ETE AUSTRAL: Janvier à Mars: blooms superficiels de cyanophycées

(in Dandonneau and Gohin, 1984)



Fig. 7. Carte de la corrélation dans le Pacifique entre la concentration en chlorophylle de surface et la distance nautique à une île (240 nmi). Les hachurés correspondent à des concentrations décroissantes à l'approche de l'île (effet d'île négatif). in •\_\_ Dandonneau et Charpy, 1985.

(bateaux marchands 1978-1982)



Fig. 8. Cartes de concentration en chlorophylle intégrée sur les 200 premiers mètres pour 4 périodes de l'année (idem que figure 4). in LeBorgne et al., 1985)

Le maximum profond de chlorophylle est à 88m et 71 m en janvier et avril, à 105 m en septembre et novembre.

# **V** . RESULTATS

Les traitements d'images effectués sont résumés au tableau III (page suivante).

Dans la plupart des cas, les images ont été traitées en résolution dégradée (R2). Toutes les scènes n'ont pu être traitées en pleine résolution (R1), en raison de la forte couverture nuageuse sur les îles Loyauté, zone d'intérêt prioritaire.

Les résultats sont exposés sous forme de cartes de concentration en chlorophylle de surface (en mg/m3), dans une gamme de fausse couleur identique (15 cartes).

Les cartes sont regroupées en fin de texte (pages 31 et suivantes).

Les valeurs ne dépassent pas 0.4 mg/m3 dans les eaux du large, des valeurs supérieures peuvent être trouvées dans les parties côtières du lagon.

Deux modes de présentation peuvent être trouvées:

#### a. CARTES DE CHLOROPHYLLE

#### RESOLUTION DEGRADEE

Echelle logarithmique en concentration en chlorophylle (mg/m3), du bleu (eaux les plus claires) au rouge. La plupart des valeurs se situent dans la gamme du bleu au vert.

Redressées en coordonnées Mercator

(marquage de latitude et longitude tous les 4 degrés) Zone couverte: environ 7° en latitude et en longitude Résolution (taille du pixel): 1650 m x 1650 m

Graphiques blanc pour masque de nuages noir pour masque de terre (en général)

### RESOLUTION FINE

Les cartes de concentrations en chlorophylle ne sont pas intercalibrées, la priorité étant donnée à la netteté des structures à observer. La gamme de couleur choisie est également fonction du phénomène à observer.

Redressées en coordonnées Mercator

(marquage de latitude et longitude tous les degrés (ou 2°).

**b. CARTES "VRAIE COULEUR"** 

Pour certaines scènes, l'information "en vraie couleur" est également présentée. Il s'agit d'une reconstitution de l'information couleur de la mer, après correction atmosphérique, qui est rendue possible par la combinaison des 3 plans de l'écran de la COMTALVISION, c'est à dire les plans rouge (canal jaune de CZCS), vert (canal jaune) et bleu (canal bleu).

Suit une description détaillée de chaque carte présentée (les cartes étant regroupées en fin de texte pages 31 et suivantes).

# DONNEES NOUVELLE-CALEDONIE

ANNEE DATE	DECODAGE	R	ECTIF R1	ICATION R2	RECALAG	E COORDONNEES R1 (825 m)	DU POINT N/W R2 (1650 m)
<b>1978</b> 14 nov	non						
1979							
22 mars	oui		oui	oui	0/0	195 163E /	19.3S 158.3E
10 sept	oui			oui	2/2	18S 163E /	15S 159E
1980			,				
9 sept	non	par	amer	s			
1 nov	non					1	
19 nov	oui			oui	0/3	1	17S 158E
27 dec	oui			oui	5/3	1	14.35 162.3E
1981							
1 avril	oui			oui	3/3	205 165E /	185 162E
6 avril	non				-		
17 avril	oui		oui	oui	8/1		20S 162E
3 mai	non			par amers	5		18S 164E
13 juin	non	par	amer	S		19.55 164E	
29 juin (1) Sud	<b>-</b>			<b>-</b>		,	
(1) Sud 3 $inil+$	oui			oui	6/3	/	20.2S 159.3E
14 inilt				par amers	5 5 / 2 -	· ,	17S 164.3E
14 août	non			OUL	5/4	/	192 102E
1092							
1904 4 jan	oui			011 <del>1</del>	2/2	,	14 30 1640
12 mars	oui		oui	oui	8/0	/	190 163 25
13 oct	oui		oui	oui	5/3	· /	165 163.JE
22 oct	non		•		<b>U</b> / <b>U</b>	· .	100 1020
1983							
27 avril	011		oui	oui	10/5	20 39 165 39 /	100 165P
17 sep	oui		oui	Out	5/5	189 164F /	192 102F
22 sept	oui		oui	oui	15/2	205 165E /	165 162E
4 oct	non				20, 2		100 1022
1984							
22 mars	oui		oui	oui	8/0	19 35 1655	/ 185 1635
7 sept	oui		oui	oui	10/8	205 163.3E	/ 19.35 164F
12 sept	oui						
15 sept	oui		oui		5/5	19.3S 162E	

décodage: non (fichier non traité pour cause de localisation erronée) En R1, traitements non effectués en raison de la forte couverture nuageuse sur la région des îles Loyauté

TABLEAU III. RESUME DES TRAITEMENTS CZCS EFFECTUES (R1 et R2)

#### V-1. SERIE RESOLUTION DEGRADEE (R2)

# 1. 22 mars 1979

On distingue des enrichissements liés au Plateau des Chesterfields, ainsi qu'au Bancs de Landsdowne.

On distingue également un tourbillon sur la côte nord-est de la Nouvelle-Calédonie, entre 20 et 215, 165 et 166E.

#### 2. 10 septembre 1979

Enrichissements autour de la Nouvelle-Calédonie, et à la partie nord des Chesterfields (195, 159E). Sur la côte nord-est de Nouvelle-Calédonie (205, 166E), on distingue un tourbillon se dirigeant vers le nord, ainsi que des effets de surface entre les îles (au nord de l'île d'Ouvéa).

9 septembre 1980 (carte non présentée)

Formes tourbillonnaires au large de la côte ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Enrichissement sur la barrière de corail australienne. Au centre, masse nuageuse importante.

#### 1 novembre 1980

Enrichissements autour de la Nouvelle-Calédonie. Effets d'îles au Vanuatu.

#### 3. 19 novembre 1980

Champignon (tourbillon double) s'accrochant à la côte nordouest de la Nouvelle-Calédonie, s'étendant de 20 à 23S, et de 164 à 162E (diamètre maximal: 3°).

#### 4. 27 décembre 1980

Floraison de phytoplancton caractérisée par une très large surface homogène d'absorption dans le bleu. Enrichissement lié à la Nouvelle-Calédonie, s'enroulant en un vaste tourbillon sur une distance de 6°, contournant par l'est les îles Mallicolo, Vate, Erromango et Tanna, tout en semblant éviter le plateau continental formé par cet ensemble. L'extrémité sud du tourbillon à l'île de Tanna, indique, de par sa forme en flèche, un mouvement vers le sud. Fronts très marqués entre cette tache et les eaux oligotrophes environnantes, surtout visible pour la limite nord du bloom: entre 17 et 18S, 165 et 167 E.

D'autre part, phénomènes de petite taille, tels que lignes, tourbillons très fins (entre Maré et Annatom) et au large de la côte ouest (215, 163E), typiques de blooms de Cyanophycées (observés dans la Baltique par Landsat, Ulbricht, 1983).

Valeurs de chlorophylle à négliger de part leur contact avec la masse nuageuse (165E et 167E), de même que les deux zones riches sur la côte est.

L'interprétation la plus probable est qu'il s'agit d'une floraison de Cyanobactéries (en décembre, période chaude).

5. 1 avril 81

Large tourbillon affleurant la côte ouest de la Nouvelle Calédonie (diamètre: 2°), entre 163 et 165E, 20S et 23E. Enrichissements au nord (18S, 166E).

6. 17 avril 81

Zone enrichie au sud particulièrement marquée ("rivière") caractérisée par des concentrations fortes sur les deux bords de la zone riche, entre 164 et 168E, 24 et 28S. Largeur des bordures riches en chlorophylle :50 km. La zone d'enrichissement s'accroche au lagon sud de la Nouvelle-Calédonie.

Tourbillon de taille moyenne sur la côte ouest (centre) de la Nouvelle-Calédonie.

7. 3 mai 81

Très nuageux. Intéressant pour l'enrichissement côtier (côte est) et également une zone riche s'accrochant à la pointe sud de la Nouvelle-Calédonie.

8. 29 juin 81

Scène montrant particulièrement nettement la partie ouest de la zone enrichie en chlorophylle du sud de la Nouvelle-Calédonie.

Les concentrations diminuent du sud au nord de la scène, les eaux les plus oligotrophes se trouvant à l'est de 160° et au nord de 245.

La zone frontale (gradient progressif tourbillonnaire) la plus nette se situe entre 26 et 24S, 162 et 168E, et correspond à celle d'avril.

Les coupes de concentration en chlorophylle de la croisière ORSTOM Hydrothon 05 ont été reportées sur la carte CZCS aux positions des stations 8 à 21. Elles montrent la diminution progressive de la dureté des profils vers le sud, ce qui correspond à un gradient nordsud de la concentration en chlorophylle de surface mesurée par CZCS.

9. 3 juillet 81

Enrichissements dans les archipels.

Zone enrichie du sud de la Nouvelle-Calédonie, dont la limite nord (22S, entre 168 et 172E) correspond à celle de juin.

Fronts de couleur dans le chenal des Hébrides.

Enrichissements plus forts aux Vanuatu qu'aux Loyautés (notamment autour d' Erromango).

#### 10. 14 juillet 81

Zone enrichie au sud. Limite frontale (225, entre 168 et 172E) tourbillonnaire, mais de position identique (correspondant à

celle du 3 juillet). Stabilité de ce front pendant l'hiver 81. Enrichissements aux Loyauté.

Petit tourbillon entre les deux pointes du lagon sud et l'Ile des Pins.

# 11. 4 janvier 82

Une large masse d'eau décolorée (jaune à vert), tranchant avec les eaux bleues environnantes est visible entre la Nouvelle Calédonie et le Vanuatu (carte 11, en vraie couleur). Le bloom s'étire sur plus de 6° de longitude, entre 164 et 172E. Une ligne de plus forte brillance marque la veine centrale de cette masse enrichie en phytoplancton (fortes réflectances le vert/jaune dans et absorption au canal bleu). Elle peut être suivie partant des Loyauté (où plusieurs lignes parallèles sont d'ailleurs bien distinctes (19 à 20S, 167E), passant au sud de l'île de Vaté et s'orientant plus sud ensuite en contournant par l'est les îles les plus méridionales de l'archipel du Vanuatu (Erromango, Tanna et Annatom). L'extrémité sud de ce large tourbillon se termine en forme de flèche.

La carte de chlorophylle correspondante (carte 11 chl a) permet de distinguer les lignes de plus forte concentration en chlorophylle (ou en matériel particulaire), et de montrer les frontières très nettes de ce bloom.

L'extrême étendue km2), de cette floraison (90 000 la couleur, ainsi que les formes observées à plus petite échelle, telles les lignes parallèles îles Loyauté, tourbillons, autour des d'une enroulements, sont caractéristiques de blooms espèce phytoplanctonique capable de flotter en surface. L'interprétation la plus probable, basée sur les signatures spectrales de CZCS, les observations aéroportés de la couleur de l'eau, et la connaissance des communautés de phytoplancton du Pacifique sud ouest (Dupouy, Petit et Dandonneau, 1988, à paraître), est que l'on est en présence d'un bloom de cyanobactéries de saison chaude (voir également image du 27 décembre 80). Ces organismes étant capables de fixer l'azote atmosphérique, on a tenté d'estimer la quantité d'azote apportée par ce bloom dans la zone euphotique. Si on assume que le bloom a duré 10 jours (période de calmes en Nouvelle-Calédonie), et un taux de fixation moyen de 1.3 mg d'azote fixé par m2 et par jour, on aboutit à une quantité fixée de 1.2 tonne d'azote total.

12 mars 82

Enrichissements sur la côte sud ouest de Nouvelle Calédonie.

20 octobre 82

Très nuageux. Effets d'îles au Vanuatu, et notamment autour de Vate.

#### 12. 27 avril 83

Enrichissements au sud avec un front plus marqué entre 169 et 170E, vers 22S (même zone frontale que les scènes d'avril à juillet 81).

Enrichissements nets autour des îles Loyauté.

#### 13. 22 septembre 83

Enrichissement de la zone sud avec zone frontale nettement observable à la latitude de 22S, aussi bien à l'est qu'à l'ouest de la Nouvelle-Calédonie.

Enrichissements nets autour des îles loyauté.

#### 14. 22 mars 84 vraie couleur

L'image chlorophylle mais surtout l'image en vraie couleur montrent des amas et enroulements de petit diamètre (10 km) de coloration jaune, situés entre les îles Loyauté et la côte est de la Nouvelle Calédonie. Ils sont aussi présents entre les Loyauté et le Vanuatu, et mais sont absents à l'ouest de la grande terre. Présence probable de cyanobactéries.

15. 7 septembre 84

Nuageux. Zone sud de la Nouvelle Calédonie très riche en chlorophylle (entre 166 et 170E), s'accrochant au lagon sud. Petits enrichissements autour des îles Loyauté.

V-2. SERIE PLEINE RESOLUTION

(1 novembre 1978)

Concentrations en chlorophylle très faibles Cmax = 0.04 mg/m3 Filaments jaunes enroulés, en tourbillons symétriques, situés entre deux îles Maré et la côte nord-est de la Nouvelle Calédonie. Présence probable de cyanobactéries.

16. 10 septembre 79

Carte non calibrée du canal bleu après corrections atmosphériques. On distingue des structures (en bleu foncé, indiquant une absorption plus forte dans le bleu), entre les îles d'Ouvéa et les récifs de l'Astrolabe (20.3S, 166E) et le récif Petrie (18.3S, 164.3E). Ces structures rappelent la bathymétrie (se reporter à la carte correspondante : les profondeurs varient entre 500 et 1000 m). (valeurs à négliger autour de la masse nuageuse).

9 septembre 80

Important tourbillon sur la côte ouest de la Nouvelle Calédonie (largeur: 2°) et également petits tourbillons au large de cette côte.

17. 13 juin 81

Effets d'île dirigés vers le nord, accrochés aux côtes des îles Ouvéa et Lifou (largeur: 20km, longueur: 100 km). Nets enrichissements sur la côte est de la Nouvelle-Calédonie (effet du Courant des Loyauté). Zone très riche sur la côte sud-est (tourbillon côtier).

On ne dispose malheureusement pas de données de courants superficiels simultanées.

18. 27 avril 83

Effets d'enrichissement autour de Lifou et Maré, reliés à la côte sud des îles (largeur: 25 km).

Courants GEK superposés de la campagne PREFIL 5 (13-25 avril 83).

Les courants mesurés sont orientés vers le sud-ouest (voir également figure 4, LeBorgne et al., 1985). La côte nord de l'île Maré, exposée au courant, est pauvre (convergence), tandis que la côte sud, située sous le courant est enrichie (divergence). Les cartes de chlorophylle intégrée sur les 200 premiers mètres (voir figure 8) ne coïncident pas avec les cartes de surface du CZCS (concentrations intégrées sur les 5 premiers mètres).

#### 17 septembre 83

Effets d'enrichissement très fins, au nord de l'île de Maré et Ouvéa (bandes parallèles tracées par des eaux plus bleues, donc moins riches en chlorophylle).

#### 19. 22 septembre 83

Enrichissements nets plus étirés qu'au 27 avril 1983, dirigés vers le sud, reliés aux îles Ouvéa, Lifou et Maré. Les sillages ou panaches ont des dimensions de 5 à 10 km de large et 60 km de long. Courants GEK superposés de la campagne PREFIL 6 (8-13

septembre 83, voir également figure 4, in LeBorgne et al., 1985). Les courants de surface sont dirigés vers le sud. Les côtes exposées au courant sont pauvres (convergence) tandis que les côtes

sud sont enrichies (sous le courant, d'où divergence). Les cartes de chlorophylle intégrée sur les 200 premiers mètres sont en accord-avec la carte CZCS de surface (voir figure 8).

20. 22 mars 84

Blooms superficiels de cyanophycées, plus abondants entre la Nouvelle-Calédonie et les Loyauté. Les amas de chlorophylle sont sans relation apparente avec les îles.

Nota: Les images CZCS n'ont jamais permis d'observer de blooms de cyanophycées directement reliés à une île, bien qu'ils soient généralement situés dans les zones d'archipels. Leur floraison semble être indépendante d'un enrichissement localisé en sels nutritifs (en raison probablement de leur capacité de fixation d'azote atmosphérique).

21. 7 septembre 84: canal bleu après correction atmosphérique

Effets d'île au sud de l'île d'Ouvéa (20.3S, 166.3E), apparaissant en bleu (absorption plus forte au canal 1, donc enrichissement en chlorophylle). Enrichissements sur la côte est de Nouvelle-Calédonie. Large tourbillon sur la côte sud -ouest. 22.15 Septembre 84: canal bleu après correction atmosphérique

Effets d'île au sud du récif Petrie (20S, 165E), apparaissant en bleu foncé (donc synonymes d'enrichissement).

Un résumé des observations par CZCS peut être trouvé au tableau IV.

#### TABLEAU IV

DESCRIPTIF DES FLORAISONS DE PHYTOPLANCTON OBSERVES PAR CZCS POUR LA PERIODE 1978 A 1984 AUTOUR DE LA NOUVELLE-CALEDONIE ET DE L'ARCHIPEL DU VANUATU

PARTICULARITES

bloom côtier de cyanobactéries

floraisons de phytoplancton au large floraisons de phytoplancton au large

CARTES Nº ANNEE ET MOIS

#### 1978

14 Novembre 1978

1979

1	22	mars 1979	
2,16	10	septembre	1979

1980

3	19	novembre	1980			tourbillon sur	la	côte	ouest	t de NC
4	27	décembre	1980	bloom	de	cyanobacteries	au	large	e du V	Vanuatu

#### 1981

5	<b>1 avril 1981</b>	tourbillon sur la côte nord-ouest de NC
6	17 avril 1981	zone d'enrichissement au sud de NC
7	3 mai 1981	effets d'îles, zone d'enrichissement au sud
17	13 juin 1981	effets d'îles dirigés vers le nord
8,23	29 juin 1981	zone d'enrichissement au sud de NC
9	3 juillet 1981	effets d'îles, zone d'enrichissement au sud
10	14 juillet 1981	effets d'îles, zone d'enrichissement au sud

1982

11	4 janvier 1982	bloom de cyanobactéries au large du Vanuatu
	12 mars 1982	enrichissement côtier
	<b>13 octobre 1982</b>	effets d'îles au Vanuatu

12,18	27 17	avril 1983 septembre	3 1983	effets effets	d'îles d'îles	dirigés aux Loy	vers auté	le	sud
13,19	22	septembre	1983	effets	d'îles	dirigés	vers	le	sud
-			1984						
14,20 15,21 22	7 15	22 mars septembre septembre	1984 1984 1984	ble effets zone d'e	oom de d d'îles enrichis	cyanobac autour ssement	téries des Lo au suo	s oyaı 1	ıtés



CARTE 1. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 22 MARS 1979





CARTE 2. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 10 SEPTEMBRE 1979





CARTE 3. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 19 NOVEMBRE 1980





CARTE 4. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 27 DECEMBRE 1980





CARTE 5. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 1 AVRIL 1981





CARTE 6. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 17 AVRIL 1981





CARTE 7. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 3 MAI 1981





CARTE 8. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 29 JUIN 1981





CARTE 9. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 3 JUILLET 1981





CARTE 10. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 14 JUILLET 1981





CARTE 11. 4 JANVIER 1982 (VRAIE COULEUR)



CARTE 11. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 4 JANVIER 1982





CARTE 12. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 27 AVRIL 1983









# CARTE 14. 22 MARS 1984 (VRAIE COULEUR)

の方面の一部門



CARTE 15. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 7 SEPTEMBRE 1984















CARTE 19. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 22 SEPTEMBRE 1983 (non calibré)



CARTE 20. CHL A + PHEOPIGMENTS (MG/M3) DU 22 MARS 1984 (non calibré)



CARTE 21. 7 SEPTEMBRE 1984: CANAL BLEU APRES CORRECTION ATMOSPHERIQUE



CARTE 22. 15 SEPTEMBRE 1984: CANAL BLEU APRES CORRECTION ATMOSPHERIQUE

#### VI. INTERPRETATION OCEANOGRAPHIQUE

Caractéristiques des poussées de phytoplancton décrites par CZCS en situation hivernale (avril à octobre).

La série des images du 17 avril, 3 mai, 29 juin, 3 et 14 juillet, ainsi que celles du 27 avril et 22 septembre 83, du 7 septembre 84 montrent la position la plus septentrionale de la zone enrichie en phytoplancton située au sud de la Nouvelle-Calédonie. Les images permettent de confirmer l'enrichissement systématique en chlorophylle de surface de la région située au sud de la latitude 215, en raison du brassage par les alizés en période hivernale (données de bateaux marchands, figure 6, Dandonneau and Gohin, 1984).

La figure 9 qui schématise les fronts de couleur CZCS superposés de plusieurs époques différentes (1981), montre que ce front est stable en latitude. Les images CZCS en infra-rouge (en exemple, carte 23 :canal de température du 29 juin 1981 de CZCS) montrent que ces fronts de couleur sont en coïncidence avec des fronts thermiques de surface(voir page 52 bis).

Ce front correspond à la zone de convergence détectée par les données de bathythermographes à la latitude de 22S (Figures 10 et 11, en période hivernale 1978, Jarrige et al., 1980).

Les enrichissements autour des îles sont très souvent observés, mais de façon concomitante avec des enrichissements non reliés aux îles (notamment au nord de la Nouvelle-Calédonie, en dehors des archipels, en période hivernale 1981 et 1979).

Caractéristiques des poussées phytoplanctoniques en situation estivale (décembre à mars)

Les images de novembre 78, décembre 80, janvier 82, et mars 84 montrent des développements plus ou moins étendus de cyanophycées (du type Oscillatoria Trichodesmium).

Les masses d'eau couvertes par ces floraisons peuvent être gigantesques (en janvier 82: 90 000 km2). L'extension de ces blooms est probablement favorisée par les conditions météorologiques permettant la flottaison de ces algues en surface (vacuoles remplies de gaz), c'est à dire en période de calmes.

Les détails caractéristiques de leurs blooms (forte hétérogéneïté spatiale, lignes, petits tourbillons, amas, observés par CZCS le 22 mars 84, 27 décembre 80 et 4 janvier 82) sont également visibles par avion (Petit et Gohin, 1982).

Ces formes sont toujours associées à des concentrations plus fortes de chlorophylle, ainsi qu'à une couleur jaune caractéristique (obtenue par combinaison de canaux). Cette signature particulière (réflectances élevées dans le canal jaune) est causée par l'accumulation de colonies dans les premiers mètres de la surface accessibles par satellite.



Fig. 9. Superposition des fronts de chlorophylle de surface de CZCS situés au sud de la Nouvelle-Calédonie, pour différentes dates en période hivernale: 3 mai 1981, 29 juin 1981, 3 juillet 81, 14 juillet 1981 (limite arbitraire: C=0.15 mg/m3).



Fig. 10. Résultats de la campagne ORSTOM HYDROTHON 01, in Jarrige et al., 1980. Topographie de la surface isotherme 19°C: juillet-août 1978.

(les 0 indiquent les positions des plus forts gradients thermiques horizontaux enregistrés par le thermographe de surface, et les \* celles des forts gradients observés en juin 1978)

Fig. 11. Résultats de la campagne HYDROTHON 01, in Jarrige et al., 1980. Températures de surface : du 05 au 12 juillet 1978.



CARTE 23. CARTE DE LA TEMPERATURE DE LA PEAU DE LA MER (CANAL INFRA ROUGE CZCS) DU 29 JUIN 1981. La correspondance avec le gradient de chlorophylle est frappant: se reporter à la carte de chlorophylle 8 page 35. Le CZCS permet donc la distinction entre des blooms superficiels (cas des cyanopbactéries du Pacifique) et des floraisons de phytoplancton plus homogènement répartis dans la colonne d'eau. Cette capacité avait déjà été montrée pour le satellite LANDSAT dans le cas de blooms très nettement diffusants (réflectances atteignant 10% dans le cas des coccolithes de la Manche Occidentale, cas des cyanophycées en Baltique). Dans le cas des blooms moins diffusants détectés dans la région de Nouvelle-Calédonie, il serait intéressant de comparer les performances des différents capteurs.

#### Les effets d'îles

Autour des Loyauté, les effets d'îles restreints ont été mis en évidence. Les directions des sillages ou enrichissements coïncident avec celles des courants superficiels mesurés au GEK au cours de campagnes océanographiques (cas du 27 avril et du 22 septembre 1983).

Les sillages d'îles sont parfois orientés vers le nord (cas du 13 juin 1981), de même les courants superficiels mesurés en janvier et novembre 1983.

La bathymétrie induit des perturbations de la masse d'eau superficielle entre les îles Loyauté.

En conclusion, les effets d'îles de dimension réduite sont mis en évidence par le CZCS. Sans être négligeables, ils ne constituent pas le seul facteur d'enrichissement de la région.

#### VII. CONCLUSION

Seule, la partie de dépouillement des images CZCS et leur interprétation succincte a pu être réalisée (logiciel NIMBUS réalisé en 1987). Une méthodologie classique a été utilisée (corrections atmosphériques identiques pour toutes les scènes), les calibrations en chlorophylle ont été aisées. A celà deux raisons, d'une part, la relative transparence de l'atmosphère, et les concentrations très faibles en chlorophylle détectées.

Les résultats ont permis :

- la détection de floraisons très étendues de cyanobactéries fixatrices d'azote (objet d'une publication dans International Journal of Remote Sensing à paraître en 1988)

- la description océanographique à grande échelle des floraisons de phytoplancton dans la région autour de la Nouvelle Calédonie (objet d'une présentation au symposium IUGG de Vancouver).

- une description unique des effets d'îles autour des Loyauté et du Vanuatu (résultats préliminaires), qui, de dimensions réduites, ont été difficilement décrits par les mesures in situ.

# REMERCIEMENTS

Tous nos remerciements vont au Département Informatique de l'IFREMER pour leur gentillesse et leur constante préoccupation de la bonne qualité des matériels et logiciels partagés, et en particulier à Mme G. Legrand, pour les sorties couleur de qualité. Nous remercions également Mr Sournia, pour son aide lors de la rédaction de la publication sur les cyanophycées, et enfin Mr Michel Viollier pour son expérience en traitement des images de NIMBUS-7 CZCS.

#### VIII. BIBLIOGRAPHIE

1985. GIPSY. Logiciel interactif de traitement d'images BELBEOCH G., numériques. IFREMER/DI/DLS. DELMAS R., 1986. Logiciel de décodage et de rectification des images NIMBUS-7 (CZCS). Informatique Internationale, 60 p. DANDONNEAU Y., 1979. Concentrations en chlorophylle dans le Pacifique ouest: comparaison avec d'autres aires océaniques Tropical sud tropicales. Oceanol. Acta, 2(2), 133-142. DANDONNEAU Y., 1982. A method for the rapid determination of chlorophyll plus pheopigments in samples collected from merchant ships. Deep Sea Res., 32, 707. DANDONNEAU Y. and 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 Res. 31, 1377. DANDONNEAU Y. and CHARPY, L., 1985. An empirical approach to the island mass effect in the south tropical Pacific based on sea surface chlorophyll concentrations. Deep Sea Res., 32(6), 707-721. DONGUY J.R., OUDOT с., and ROUGERIE F., 1970. Circulation superficielle et subsuperficielle en Mer du Corail et à 170°E. Cah. ORSTOM, Série Océanogr., 8, 1, 33. DONGUY J.R., HENIN C. et ROUGERIE F., 1976. Les contre-courants dans le Pacifique Tropical occidental. Cah. ORSTOM, Série Océanogr., 14 (1), 15-26.DONGUY J.R. ET HENIN C., 1981. Two types of hydroclimatic conditions in the south western Pacific. Oceanol. Acta (4), 1, 57-62. DUPOUY C. PETIT M. and DANDONNEAU Y., 1988. Satellite detected cyanobacteria bloom in the Southwestern Tropical Pacific: implication for nitrogen fixation. Int. J. Remote Sensing (sous presse). DUPOUY C., DANDONNEAU Y., et LEMASSON L., 1987. General circulation and seasonal phytoplankton biomass in the south west tropical Pacific. Communication au symposium IAPSO (IUGG), Vancouver, juillet 1987. GILMARTIN N. and REVELANTE N., 1974. The "island mass" effect on the phytoplankton and primary production of the Hawaiian islands. J. exp. mar. Biol. Ecol. 16, 181. CLARK D.K., MUELLER J.L., HOVIS W.A., 1980. Phytoplankton GORDON R., pigments from the NIMBUS-7 Coastal Zone Color Scanner: comparisons with surface measurements. Science, 210, 63. GUILLERM, J.M., 1980. Courantométrie de surface au moyen du G.E.K. à bord du N.O. VAUBAN de 1978 à 1980. HAYWARD T.L., The nutrient distribution and primary production in the Central North Pacific. Deep-Sea Res., 34, 9, 1593-1627. HENIN C., GUILLERM J.M. et L., CHABERT 1984. Circulation superficielle autour de la Nouvelle-Calédonie. Cah. ORSTOM, Série Océanogr. 19(2), 113-126. JARRIGE F., BOURRET P. et GUILLERM, J.M., 1980. Observation d'une zone de frontière thermique dans le sud-ouest du Pacifique. Rap. Sci. et Techn., 5, Centre ORSTOM de Nouméa, 11p. LE BORGNE R., DANDONNEAU Y. and LEMASSON L., 1985. The problem of the island mass effect on chlorophyll and zooplankton standing crops around Maré (Loyalty Islands) and New Caledonia. Bull. of Marine Science, 37(2), 450-459. PETIT M. et GOHIN F., 1982. Radiométrie aérienne et prospection

SIMPSON J.H., TETT P.B., ARGOTE M.L., EDWARDS A., JONES K.J. and SAVIDGE, 1982. Mixing and phytoplankton growth around an island in a stratified sea. Continental Sea Res., 1, 1, 15-31. SOURNIA, 1986. Atlas du phytoplancton marin. Volume I. Introduction, cyanophycées, dictyophycées, dinophycées et raphidophycées (éditions du CNRS), 219p.

ULBRICHT, 1983. Int. J. of Remote Sensing, 4, 801.

VIOLLIER M., TANRE D., and DESCHAMPS P.Y., 1980. An algorithm for remote sensing of water color from space. Boundary Layer Meteorol., 16, 247.

VIOLLIER M., 1982. Radiometric calibration of Coastal Zone Color Scanner on Nimbus-7. Appl. Optics, 21, 1142.

VIOLLIER M., 1984. Logiciel CZCS, CNES/IFREMER.

VIOLLIER M. et DESCHAMPS P.Y., 1987. Algorithms for ocean colour from space and application to CZCS data. Advances in Space Res., 7,2, 11-19.