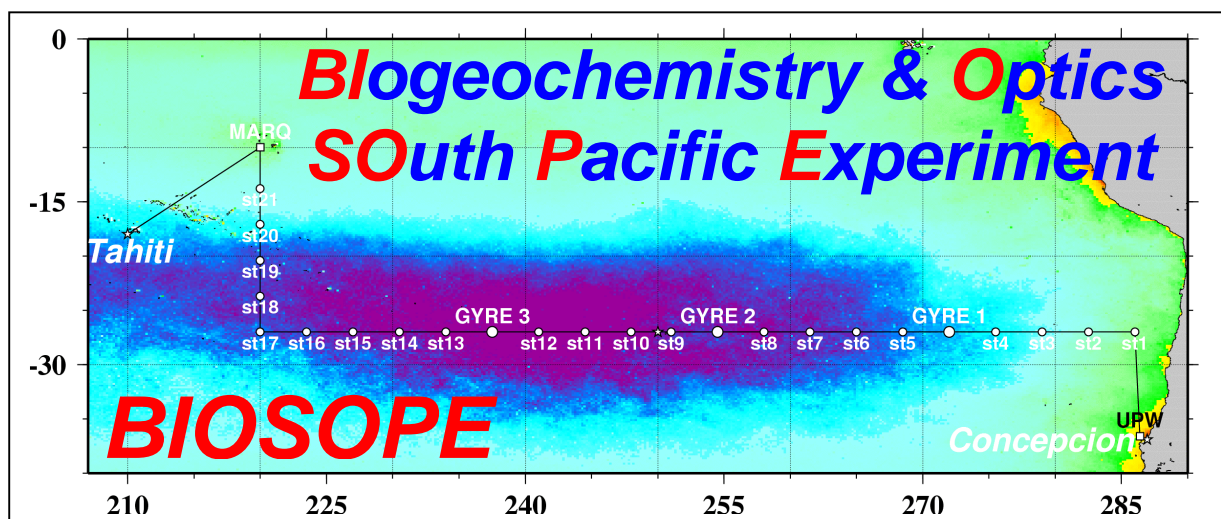


**DEMANDE DE CAMPAGNE
2004**

BIOSOPE

BIOgeochemistry & Optics South Pacific Experiment



Sur la page de garde, le trajet théorique de la campagne BIOSOPE est tracé sur une image composite annuelle de la concentration de chlorophylle *a* de surface, mesurée par le capteur SeaWiFS.

Table des matières

RÉCAPITULATIF 1	1
RÉCAPITULATIF 2 : Texte résumé français	2
RÉCAPITULATIF 3 : Texte résumé anglais	3
DOCUMENT N° 1 : Programme Général de Recherches	4
I Cadre Général - Etat de l'art	4
I.1 Désertification, dépôts de fer, et réponse biogéochimique des zones centrales des océans.....	4
I.2 Propriétés biologiques, bio-géochimiques et bio-optiques d'une zone oligotrophe limitée par le fer.	5
II Pour une étude dans le Pacifique Sud	5
II.1 Les thèmes scientifiques généraux	5
II.1.1 Les processus chimiques et biologiques régulateurs des flux d'éléments.	6
II.1.2 Le réseau microbien (diversité et aspects fonctionnels)	7
II.1.3 L'interprétation de la couleur de l'océan et la validations des modèles bio-optiques.....	9
II.2 Justification du choix des sites d'étude.....	11
II.2.1 Oligotrophie "extrême" : le tourbillon du Pacifique Sud.....	11
II.2.2 Mésotrophie : Fertilisation naturelle en zone HLNC sub-équatoriale	12
II.2.3 Eutrophie: upwellings le long des côtes chiliennes.....	13
References	13
DOCUMENT N°2 : stratégie d'approche et méthodes	16
I. Méthodologie - liste des travaux - stratégie	16
I.1 Mesures de bio-géochimie	16
I.1.1 Mesures de stock.....	16
I.1.2 Mesures de flux.....	16
I.2 Mesures de bio-diversité.....	17
I.3 Mesures de bio-optique	17
I.3.1 Mesures discrètes	17
I.3.2 Mesures continues.....	17
II. Déroulement général de la mission	18
III. Calendrier prévisionnel des travaux	20
III.1 Les stations "courtes" : de st1 à st 21.....	20
III.2 Les stations longues en point fixe : GYRE1, GYRE, GYRE3	20
III.3 Les stations longues Upwelling et Marquises	21
III.4 Les transit valorisés.....	21
DOCUMENT N° 3 : Moyens à mettre en œuvre	22
DOCUMENT N° 4 : Equipe scientifique et technique	24
DOCUMENT N° 5 : Plan d'exploitation des données	32
DOCUMENT N° 6 : Intégration au niveau National et International	34
DOCUMENT N° 7: Curriculum vitae du chef de projet et du chef de mission	35
DOCUMENT N° 8 : Accord des chercheurs	39
APPLICATION ABSTRACT PART -1- : General Organization	40
APPLICATION ABSTRACT PART -2- : Detail	41
APPLICATION ABSTRACT PART -3- : International cooperation	42

RÉCAPITULATIF 1**DOSSIER DE DEMANDE : BISOPE**

DATE : 15 JANVIER 2003

TITRE DE LA CAMPAGNE :

Année : 2004 Durée (sur zone) : 56 jours (total) Escale éventuelle (à justifier) : I les de Pâques (campagne en 2 Legs ; Rotation de scientifiques) Période (si impératif) : <u>Eté Austral</u> : Janvier / Février 2004 ou entre Novembre 2004 et Janvier 2005 Zone : Pacifique Sud Est Pays dont les eaux territoriales sont concernées : CHI LI Pays dont la zone économique est concernée : CHI LI	Chef de projet		Chef de mission			
	Nom Prénom :		Hervé CLAUSTRÉ		Hervé CLAUSTRÉ (Leg 1) Antoine SCI ANDRA (Leg 2)	
	Organisme :		CNRS		CNRS	
	Laboratoire :		Laboratoire d'Océanographie de Villefranche		Laboratoire d'Océanographie de Villefranche	
	Adresse :		Quai de la Darse B.P. 08, 06238 Villefranche sur mer		Station zoologique B.P. 28, 06234 Villefranche sur mer	
	Tél.:		33 4 93 76 37 29		33 493 76 38 19	
	Fax :		33 4 93 76 37 39		33 4 93 76 38 34	
E-mail :		claustre@obs-vlfr.fr		sciandra@obs-vlfr.fr		

Travaux : Hydrologie, Optique, Chimie, Biologie Traitement des données et Besoins informatiques : Navire : Atalante Engin(s) : Gros équipements : CTD-rosette 24 bouteilles, Profileur Video Marin, Profileurs optiques, ligne de pièges (dérivants) à particules conteneur "chimie propre", container "radio-isotopes" Nécessité d'une campagne pour récupération d'engin ? NON	Équipe scientifique embarquée : 32 scientifiques provenant de <ul style="list-style-type: none"> ➤ 7 Laboratoires français : LOV, LOB-Marseille, LMM, LEMAR, SBR, CEFREM, LOA ➤ 7 Laboratoires Nord-américains : NASA, SCRIPPS, WHOI, Universités de Rutgers, Rhode Island, Halifax ➤ Université de Concepcion (Chili) ➤ IAEA Monaco A terre : équipe satellitale (LOV et NASA) durant la campagne; mêmes équipes (plus le LISA pour les analyses atmosphériques et le LOB-Arcachon pour le zooplancton) pour traitement des données et exploitation post-campagne.
---	---

Cette proposition se rattache au(x) programme(s) (nationaux ou internationaux) avec comité scientifique :
(L'avis des comités scientifiques sera sollicité)

PROOF, SOLAS, campagne soutenue financièrement par la NASA et l'ESA

Responsable d'unité : Louis LEGENDRE

DATE :

SIGNATURE :

Nombre de dossiers présentés pour 2003 au sein de l'Unité :

RESUME

L'objectif de la campagne BIOSOPE (BIogeochemistry & Optics SOuth Pacific Experiment) est d'étudier, durant l'été austral, la variabilité des propriétés bio-logiques, bio-géochimiques et bio-optiques d'une variété de régimes trophiques dans le Pacifique Sud: la zone eutrophe associée au régime d'upwelling le long des côtes Chiliennes; la zone mésotrophe du panache des Iles Marquises qui résulte d'un enrichissement naturel en fer dans les eaux HLNC (High Nutrient Low Chlorophyll) de cette région subéquatoriale; enfin la zone la plus oligotrophe de la planète, au centre du "gyre" du Pacifique Sud. Cette zone est l'une des zones océaniques les moins connues et présente l'intéressante particularité d'être éloignée de toutes sources d'aérosols désertiques. La campagne BIOSOPE repose principalement sur des observations acquises le long de deux transects : un transect latitudinal (27°S) entre 70°W et 140°W; un transect longitudinal (140°W) entre 27°S et 8°S. En mer, le groupe BIOSOPE sera composé de scientifiques de 7 laboratoires français, 7 américains, de l'Université de Concepcion (Chili) et de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Le projet BIOSOPE est soutenu par le programme national PROOF (PROcessus biogéochimiques dans l'Océan et Flux). Au niveau international BIOSOPE relève du programme SOLAS (Surface Ocean Lower Atmosphere Study d'IGBP), et est soutenu par deux agences spatiales dans le cadre de la validation des capteurs couleurs SeaWiFS (NASA) et MERIS (ESA). Le N/O Atlante est demandé pour une période de 56 jours.

ABSTRACT

The objective of the BIOSOPE (Biogeochemistry & Optics SOuth Pacific Experiment) project is to study, during the austral summer, the biological, biogeochemical and biooptical properties of different trophic regimes in the South East Pacific: the eutrophic zone associated with the upwelling regime off the Chilean coast ; the mesotrophic area associated with the plume of the Marquise Island, likely the result of natural fertilization in these HLNC waters; and the oligotrophic area associated with the central part of the South Pacific Gyre. This area is one of the less studied major oceanic entities of the world ocean and presents the interesting particularity of being far away from any desert dust (iron) source. The BIOSOPE project will be mainly based on observations conducted along two transects : a 27°S line between 70°W and 140°W, and a 140°W line, between 27°S and 8°S. At sea, the BIOSOPE consortium will involve the participation of scientists from 7 French and 7 North America laboratories, the University of Concepcion (Chile) and from the International Atomic Energy Agency (IAEA). BIOSOPE is supported by the French program PROOF (Biogeochemical Processes in Ocean and Fluxes), and by SOLAS at an international level. BIOSOPE is also supported by two spatial agencies in the context of calibration activities of the ocean color sensors SeaWiFS (NASA) and MERIS (ESA). Research vessel Atalante is requested for a 56 day period.

Note du rédacteur : l'argumentaire scientifique développé dans le document 1 est celui qui a été soumis au programme PROOF.

I Cadre Général - Etat de l'art

I.1 Désertification, dépôts de fer, et réponse biogéochimique des zones centrales des océans.

Le rôle du fer dans la production photosynthétique marine a été étudié expérimentalement et commence à être mis en évidence dans les zones dites HLNC (High Nutrient-Low Chlorophyll) comme le Pacifique Equatorial (e.g. Coale et al. 1996b) ou l'océan austral (e.g. Boyd et al. 2000). Par contre, l'influence du fer dans la limitation de la fixation d'azote gazeux dans les vastes zones centrales des océans "Low nutrient - Low-Chlorophyll" (LNLC) que constituent les tourbillons sub-tropicaux n'a été que rarement abordée. Pourtant, compte-tenu de l'étendue spatiale de ces zones (~ 40% de l'océan mondial), la disponibilité en fer pourrait avoir une influence majeure sur le flux net de séquestration biologique de CO₂ à l'échelle globale (Karl et al. 1997, Falkowski 1997).

En "stimulant" l'assimilation d'azote "nouveau", la présence de fer dans une zone océanique est indirectement à l'origine de la limitation de la production par le phosphore (Karl et al. 1997; Wu et al. 2000). Le transport éolien de poussières désertiques constitue la source majeure de fer pour les zones centrales des océans (Duce and Tindale 1991 : l'état biogéochimique (limitation en phosphate vs nitrate, intensité de la limitation en phosphore) des tourbillons sub-tropicaux est donc intimement lié au transport éolien, et donc, à la proximité des déserts.

Il est désormais démontré que "l'état biogéochimique" des tourbillons de l'hémisphère Nord n'est pas stable mais, bien au contraire, en train d'évoluer (Pahlow and Riebesell 2000, Church et al. 2002): en effet, depuis une cinquantaine d'années, ces systèmes initialement limités par l'azote présentent maintenant les caractéristiques d'une limitation par le phosphore. Ces évolutions résultent en partie d'un accroissement des sources anthropiques d'azote (Elliott et al. 1997). Néanmoins, il reste vraisemblable que le principal facteur responsable des évolutions récentes soit l'augmentation de la déposition d'aérosols désertiques à la surface des océans. Le Sahara est la source principale de poussières désertiques pour l'océan Atlantique, alors que les déserts asiatiques (e.g. désert de Gobi) représentent la source essentielle pour le Pacifique Nord. Cet accroissement des dépôts d'origine désertique est soit d'origine naturelle (résultat d'oscillations climatiques, Moulin et al. 1997), ou bien la conséquence de l'action de l'homme sur son habitat (désertification associée à une intensification de l'utilisation des terres, Andreae 1996).

Dans la mesure où les principales sources d'aérosols désertiques sont localisées dans l'hémisphère Nord, les dépôts dans l'hémisphère Sud sont très faibles, c'est-à-dire de deux ordres de grandeur inférieurs à ceux mesurés dans le Nord (Duce and Tindale 1991, Moore et al. 2002) (Figure 1). La conséquence immédiate de cette rareté des dépôts est que **les tourbillons de l'hémisphère Sud sont vraisemblablement limités en azote, car limités en fer**. En outre, si les tourbillons de l'hémisphère Nord sont en train d'évoluer, aucune évolution sensible n'est perceptible pour ceux de l'hémisphère sud (Pahlow and Riebesell 2000), peut-être en raison de la faiblesse des forçages. *A priori*, **les tourbillons subtropicaux de l'hémisphère sud peuvent donc être considérés comme des références relativement "pures" et biogéochimiquement stables**. C'est pourquoi ils présentent un grand intérêt dans une perspective de monitoring de l'influence des perturbations anthropiques et des changements climatiques à grande échelle.

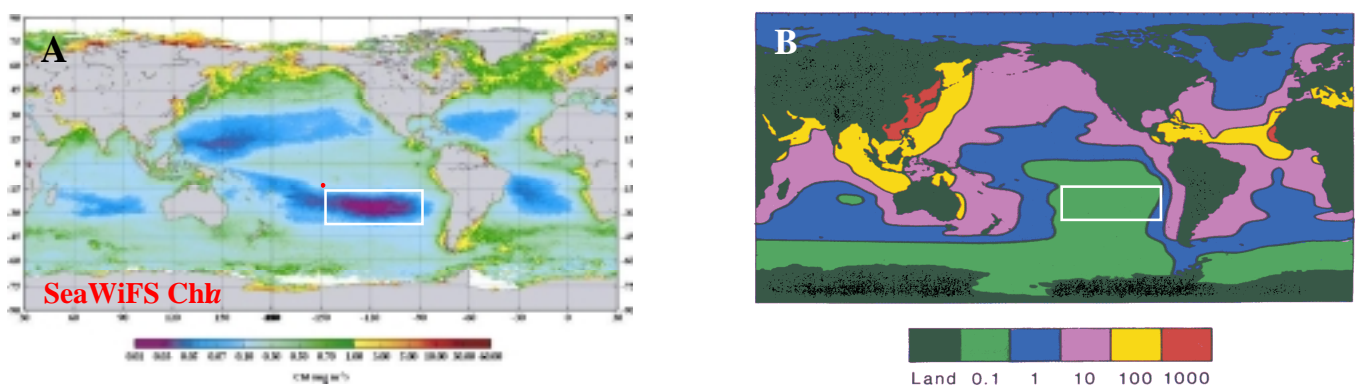


Figure 1 : Global map of remotely sensed Chla (A) and of Iron fluxes (B). The **South Pacific Gyre** is likely the most oligotrophic area of the planet. It is also the area where **desert dust fluxes are the lowest**. The oligotrophic station studied during the OLIPAC cruise is identified by a red dot. Iron flux map after Duce et al.: 1991

I.2 Propriétés biologiques, bio-géochimiques et bio-optiques d'une zone oligotrophe limitée par le fer.

La station située à 16°S 150°W, dans le tourbillon sub-tropical du Pacifique Sud a été étudiée pendant une période de 5 jours lors de la campagne OLIPAC (JGOFS-France, décembre 1994). A notre connaissance, c'est l'étude biogéochimique "la plus orientale" réalisée à ce jour dans ce vaste système. L'oligotrophie, qui fut alors qualifiée d'extrême, y présentait les caractéristiques suivantes :

- Les nitrates sont indétectables dans la couche 0-100m (et souvent 0-120m), même à l'aide de méthodes nano-molaires (Raimbault et al. 1999; Moutin et Coste, 1996)
- Les phosphates, avec des concentrations supérieures à 0.1 μM jusqu'en surface, ne sont pas limitants (Raimbault et al. 1999).
- Le maximum de Chlorophylle, très profond, est en deçà de 120 m, voire 150 m durant l'été austral (Claustre et al. 1999).
- En conséquence, les eaux étant extrêmement claires, la couche euphotique s'étend au-delà de 125 m (Morel and Maritorea 2001), ce qui constitue en quelque sorte un "record" pour des eaux océaniques tropicales.
- Dans l'UV, le coefficient d'atténuation diffuse est extrêmement faible, suggérant que la contribution de matière organique colorée et/ou de particules non-algales est très faible (Morel and Maritorea 2001).
- Cette dernière hypothèse est confirmée (dans un système légèrement moins oligotrophe, à 13°S) : la contribution des particules non-algales (biogène et/ou minérales) est extrêmement faible, en réalité la plus faible de l'océan mondial (Bricaud et al. 1998). L'absorption semble donc essentiellement être sous la dépendance du (faible) contenu en phytoplancton.
- La fluorescence de la Dv-Chla des *Prochlorococcus* dans la zone superficielle (> 50 m) est extrêmement faible (Vaultot and Marie 1999, Partensky et al. 1999).
- Une rythmicité diurne très marquée apparaît aussi bien dans les propriétés optiques (Claustre et al. 1999) que dans les caractéristiques photo-physiologiques déduites des mesures de fluorescence variable (Behrenfeld and Kolber 1999) ou de la fluorescence de la chlorophylle chez *Synechococcus* (Vaultot and Marie 1999). L'amplitude de cette rythmicité, notamment pour la fluorescence variable, semble contrôlée par la limitation en fer (Behrenfeld and Kolber 1999).

En résumé, les propriétés bio-optiques et bio-géochimiques décrites durant OLIPAC sont révélatrices d'un système (1) *a priori* très oligotrophe, et (2) limité par l'azote (et le fer). Néanmoins, sur la base de la concentration en chlorophylle de surface, l'affirmation selon laquelle l'oligotrophie au site 16°S, 150°W est extrême est fautive (Figure 1), puisqu'elle semble encore plus importante à l'Est.

Les images satellite SeaWiFS (lancé en septembre 1997) montrent très clairement que le centre du tourbillon du Pacifique Sud est la zone la plus oligotrophe¹ de la planète, en particulier durant la fin de l'été austral. Les teneurs en chlorophylle y sont systématiquement inférieures à 0,03 mg Chla m^{-3} et, au centre (120°W; 20°S), elles présentent une valeur moyenne de 0,02 mg m^{-3} , soit une concentration à la limite de la détectabilité à partir des images couleur SeaWiFS.

En combinant des cartes de [Chla] (produites par SeaWiFS) avec des cartes d'éclairement de surface (produites par TOMS, Total Ozone Mapping Spectrometer), Vasilkov et al. (2001) ont récemment montré que le centre du tourbillon du Pacifique Sud est également la zone de l'océan mondial où les radiations UV pénètrent le plus profondément.

D'autres investigations tentent également d'extraire de "nouveaux" produits bio-optique et bio-géochimique à partir des luminances marines télédéteectées. Dans ces études, le centre du tourbillon du Pacifique Sud présente également les caractères les plus extrêmes de l'océan mondial: les coefficients d'absorption à 440 nm, $a(440)$, et de retro-diffusion des particules à 550 nm, $b_{bp}(550)$, y sont minimaux durant l'été austral [Loisel, in prep]. La concentration en particules et en substances dissoutes colorées sont vraisemblablement minimales dans cette zone (ce qui peut expliquer la pénétration préférentielle des UV). Enfin, la dépendance spectrale de la rétro-diffusion suggère que les particules y sont, comme dans tous les tourbillons sub-tropicaux, très petites (Loisel, in prep). Ces résultats préliminaires restent néanmoins à confirmer à partir de mesures *in situ*.

II Pour une étude dans le Pacifique Sud

II.1 Les thèmes scientifiques généraux

En continuité avec les études de type "process studies" initiées par JGOFS et en adéquation avec les thèmes 1 et 2 de l'appel d'offre PROOF, la campagne BIOSOPE place le couplage des cycles des éléments (C, N, P, Si, Fe) au cœur de ses préoccupations. Derrière cet objectif général et fédérateur, BIOSOPE se distingue par deux originalités majeures :

D'une part, la manière d'aborder cette question centrale est résolument novatrice; aux **études biogéochimiques "classiques"**, c'est-à-dire visant à **comprendre les processus régulateurs des stocks et les flux de matière et d'éléments**, sont associées des études plus exploratoires et en marge de la biogéochimie : **les études de biologie moléculaire** permettent d'aborder la biodiversité marine aussi bien dans sa composante taxonomique que fonctionnelle, alors que **les études d'optique marine** permettant de d'appréhender comment la biogéochimie détermine et module la couleur de l'eau mesurée par des capteurs satellitaires.

D'autre part, BIOSOPE prend le défi d'explorer une zone de l'océan mondial, en particulier le tourbillon subtropical du Pacifique Sud-Est, qui a été systématiquement ignorée durant la décennie JGOFS, alors que le rôle potentiel de cette vaste zone

¹ La surface de cette zone (un rectangle ayant pour limites 100-130°W et 32-20°S) est importante : elle représente environ 4 10^6 km^2 , soit approximativement 1,1% de l'océan mondial ou encore 1,6 fois la surface de la Méditerranée.

océanique sur les cycles des éléments à l'échelle globale s'est révélée non-négligeable *a posteriori* (Daneri and Quinones 2001; Falkowski et al. 1998).

Les trois grandes orientations de la campagne BIOSOPE sont détaillées ci-après :

II.1.1 Les processus chimiques et biologiques régulateurs des flux d'éléments.

- **De la limitation par les seuls nitrates à la multi-limitation.** Suivant le concept de production exportable (Eppley and Peterson 1979), il est admis que la production primaire est, *in fine*, limitée par la disponibilité de l'azote (Dugdale and Wilkerson 1986), et que la quantité de matière produite (et donc de carbone potentiellement séquestré) dépend du flux de nitrate des couches profondes vers les couches éclairées. Toutefois, dans certaines conditions (systèmes *HNLC*, zones tropicales, systèmes côtiers, mers fermées, ...), l'efficacité d'utilisation du flux de nitrate peut être modulée par d'autres éléments biogènes majeurs comme le phosphore (Codispoti 1989) et le silicium (Dugdale et al., 1995), ou par des éléments-traces, en particulier le fer (Martin et al. 1994, Coale et al. 1996a). En outre, alors que l'on cherchait depuis plusieurs années à représenter le puits biologique de carbone par le biais essentiel de l'exportation particulaire, on a dû prendre également en compte le rôle du compartiment organique dissous, longtemps considéré comme inerte.

Les communautés phytoplanctoniques, à la base de la production de carbone organique, sont composées d'espèces très diverses dont les préférences nutritionnelles vis-à-vis des macro- et micro-nutriments déterminent pour une grande part la domination. En accélérant ou retardant son transfert vers les couches profondes, la nature même des organismes en présence (diatomées, prymnésiofycées, cyanobactéries) conditionne étroitement l'exportation de matériel biogène.

Bien que traditionnellement moins étudiée, la co-limitation (modification des processus d'utilisation d'un nutriment par la disponibilité d'un ou de plusieurs autres) représente aussi un processus important de contrôle, à la fois de la taxonomie et de la composition élémentaire des organismes (Hutchins and Bruland 1998, Takeda 1998), et donc de la qualité de la matière biogène exportable. **A l'évidence, l'image d'un cycle du carbone contrôlé uniquement par les nitrates est devenue trop simpliste, de sorte que l'étude des couplages élémentaires est aujourd'hui indispensable.** Il est donc opportun d'approfondir la connaissance et l'impact des processus de régulation des flux biogènes, étape essentielle en vue d'une meilleure quantification et d'une modélisation (e.g. Moore et al. 2002) correcte des puits et sources de CO₂ dans les différentes provinces océaniques.

- **La limitation par les phosphates.** Des travaux récents indiquent que le phosphate pourrait jouer un rôle déterminant dans la productivité de nombreuses régions océaniques dites oligotrophes. Le manque de phosphate peut limiter la croissance algale (Berland et al. 1980, Thingstad et al. 1998), ainsi que celle du bactérioplancton (Thingstad et al. 1998). Ceci va à l'encontre du concept classique selon lequel phytoplancton et bactérioplancton sont respectivement consommateur et producteur de phosphate. En effet, selon Thingstad et al. (1993), le rôle de ces communautés vis-à-vis du phosphate est sensiblement identique, et la compétition qui en résulte apparaît comme un processus clef dans le cycle biogéochimique du carbone, notamment dans l'export de carbone organique de la surface vers le fond (Thingstad et al. 1997). Cet auteur suggère que le phosphate, absorbé de manière compétitive par les bactéries et le phytoplancton, contrôle leur taux de croissance respectif, alors que leur biomasse sont contrôlées par le zooplancton. Ce modèle suggère une évolution possible de la structure et du fonctionnement du réseau trophique, c'est-à-dire la transition d'une situation oligotrophe (peu de phosphate disponible) où les micro-organismes de petite taille dominent et où l'exportation de carbone est essentiellement de nature dissoute, à une situation eutrophe (phosphate non limitant) où les micro-organismes de plus grande taille prédominent, et où l'exportation de carbone s'effectue par le biais d'une sédimentation importante de matériel particulaire. Il convient, dans le cadre de notre étude, d'apprécier si ces hypothèses se vérifient dans le Pacifique Sud, et en particulier pour le tourbillon sub-tropical, où la limitation par le phosphore n'est, *a priori*, pas attendue.
- **La limitation par l'acide silicique.** Le silicium est également un élément susceptible de contrôler la composition des assemblages phytoplanctoniques (Smyda 1990). Sa disponibilité contrôle directement la présence des communautés d'organismes siliceux (notamment les diatomées) ou non siliceux. Ces derniers sont représentés par des groupes (flagellés, coccolithophoridés, dinoflagellés) dont le développement dépend d'autres éléments majeurs, azote et phosphore, et par conséquent du type de système de production (régénération vs. production nouvelle). De ce fait, le silicium joue un rôle important dans le transfert de matière organique vers les échelons trophiques supérieurs ou vers le sédiment (séquestration) *via* le transport vertical. Les exemples de ce contrôle se multiplient depuis quelques années, que ce soit dans le domaine océanique (Dugdale et al. 1995) ou dans les écosystèmes eutrophes (Del Amo et al. 1997). Les organismes siliceux sont généralement considérés comme peu importants dans les systèmes oligotrophes. Toutefois, certaines observations réalisées pendant la campagne PROSOPE révèlent l'existence des phénomènes associés à la discontinuité physique de la thermocline. Ces pics peuvent représenter des épisodes d'injection discontinue de nutriments, associés à des exportations transitoires de matière biogène. Malgré la faible contribution présumée des diatomées, les zones oligotrophes représentent néanmoins, compte tenu de leur superficie, près de la moitié de la production globale de silice biogénique (Nelson et al., 1995). Certaines études indiquent également que les diatomées peuvent présenter 20% de la production de carbone du DCM dans ces systèmes (Blain et al. 1997). Il apparaît donc nécessaire de clarifier le rôle des diatomées dans les systèmes oligotrophes pour quantifier plus précisément leur rôle dans le cycle du silicium.
- **Le rôle du fer.** L'influence du fer sur la production biologique est très certainement fondamentale dans le Pacifique Sud (e.g. Moore et al. 2002). Etant donné la rareté des observations, les études devront être conduites aussi bien sur l'aérosol que sur la colonne d'eau. En ce qui concerne l'aérosol, granulométrie et composition ont été beaucoup mieux caractérisées au-dessus du

Pacifique Nord (voir par exemple Kinne and Poesche 2001, Duce et al. 1983) qu'au dessus du Pacifique sud-tropical. S'il semble que les aérosols de l'hémisphère Nord soient principalement issus des zones arides asiatiques, leur composition dans l'atmosphère de l'hémisphère sud étant d'avantage sous l'influence d'émissions en provenance de l'Amérique du Sud et Centrale (Ohkouchi et al. 1997). La charge en particules (de l'ordre de $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ dans cette région du Pacifique) est essentiellement composée de sels et de sulfates marins, bien qu'une fraction non négligeable comprenne des particules minérales ainsi que du carbone suie (McInnes et al. 1996). Leur composition en fer et autres éléments lithogéniques comme Al et Si, particulièrement peu documentée, est évidemment liée au trajet de la masse d'air correspondante, de sorte qu'il est fondamental de déterminer ces apports à la colonne d'eau, si faibles soient-ils. En ce qui concerne les concentrations de fer dissous dans la colonne d'eau, peu d'information existe de la zone du Pacifique Sud que se propose d'étudier BIOSOPE (De Baar and De Jong 2001). Seules les échantillons collectés lors de la campagne EqPac (150w ; 10s) peuvent donner un ordre de grandeur sur les concentrations attendues dans cette zone ; les concentrations enregistrées jusqu'à 300 m, de l'ordre de 0.03 nM (Coale et al. 1996a), figurent parmi les plus faibles de l'océan mondial (Johnson et al. 1997). Le premier objectif est donc de **mesurer précisément les concentrations en fer dans le Pacifique Sud**. Le deuxième objectif consiste à **évaluer le rôle limitant du fer atmosphérique dans la zone du tourbillon du Pacifique Sud**, lié ou non à la diazotrophie.

- **La diazotrophie.** Parmi les processus mal connus à l'heure actuelle, la diazotrophie joue un rôle central dans les systèmes oligotrophes où elle assure l'apport d'azote « nouveau » dans les eaux de surface. Elle est responsable de la conversion du diazote - très abondant dans la nature mais relativement inerte - en substrats biologiquement utilisables. Il est maintenant reconnu que les études menées sur le rôle quantitatif de la fixation de N_2 dans les budgets nutritifs et le cycle du carbone des grands bassins océaniques présentent un intérêt scientifique de premier ordre (Falkowski et al. 1998). Jusqu'à très récemment, il était considéré que la majorité de la fixation était assurée, dans les eaux tropicales, par la cyanophycée *Trichodesmium*. Les études quantitatives récentes consacrées à ces organismes ont apporté la preuve qu'à l'échelle des bassins, la part de la diazotrophie dans les bilans d'azote avait été largement sous-estimée (Gruber and Sarmiento 1997). Ainsi, Karl et al. (1997) ont montré qu'à la station ALOHA située au nord d'Hawaii, la fixation d'azote N_2 pouvait satisfaire près de la moitié de l'azote requis pour l'exportation de matière organique hors de la couche de surface. Autrement dit, la fixation d'azote N_2 représenterait une source importante d'azote « nouveau » (au sens de Dugdale and Goering 1967) non seulement à la station ALOHA, mais probablement aussi dans l'ensemble du Pacifique tropical oligotrophe, et en particulier au cours des événements El Niño (Karl et al. 1997). Bien que les facteurs contrôlant la diazotrophie soient encore assez mal connus, il apparaît que ce processus est en grande partie contraint par la disponibilité en fer (Falkowski 1997) et/ou en phosphore (Sañudo-Wilhelmy et al. 2001). Les études biogéochimiques et les modèles suggèrent que la fixation globale d'azote est supérieure à celle estimée uniquement à partir des distributions de *Trichodesmium*. Tout récemment, Zehr et al. (2001) ont montré que des cyanobactéries unicellulaires nanoplanctoniques (taille comprise entre 3 et 10 μm) sont capables de fixer l'azote atmosphérique et, qu'à l'échelle océanique, cette fixation est équivalente à celle réalisée par *Trichodesmium*. La découverte de ces organismes diazotrophes implique que le modèle conceptuel concernant l'amplitude et le contrôle de la fixation d'azote en milieu océanique est certainement très imparfait et qu'il mérite d'être revu. La fixation d'azote doit donc être également mesurée sur la fraction nanoplanctonique (taille > 3 μm) qui, malgré sa très faible concentration dans les eaux oligotrophes (5 à 30% de la chlorophylle totale) **constituerait donc le siège principal de la diazotrophie**.
- **Co-limitation, diversités fonctionnelle et taxonomique.** Il est essentiel de comprendre comment les organismes qui interfèrent différemment avec le cycle des éléments dans l'océan répondent aux variations des conditions physique et chimique de l'océan, elles-mêmes forcées par les conditions climatiques. Vu l'utilisation intensive des rapports de Redfield dans les modèles biogéochimiques, il est important de les paramétrer ainsi que de connaître leurs variations en fonction des conditions environnementales. Les études à mener devront donc répondre à cette question centrale: **comment les divers sels nutritifs (nitrate, phosphate, acide silicique, fer,...) interagissent-ils pour, d'une part, limiter la production primaire, et, d'autre part, favoriser ou au contraire défavoriser certains groupes fonctionnels du phytoplancton?** Cette approche générale sera réalisée au travers des questions spécifiques suivantes:
 - Dans quelles conditions les processus biologiques sont-ils "redfieldiens" ou au contraire tendent à s'écarter des rapports classiques, compte tenu des types de communautés présentes (par exemple boucle microbienne vs. communauté microplanctonique) et du degré de limitation ou de co-limitation par les nutriments (via la limitation de la croissance ou l'adaptation à la ressource)?
 - Comment les différentes composantes du réseau trophique entrent-elles en compétition vis-à-vis de la ressource (par exemple compétition bactéries-phytoplancton pour le phosphore)?
 - Quels processus conditionnent la variabilité temporelle des communautés phytoplanctoniques et leurs réponses en terme de production de matière biogène (apports atmosphériques et diazotrophie, flux impulsions au niveau de la thermocline et communautés exportatrices)?
 - Peut-on chiffrer la contribution des zones oligotrophes dans les cycles globaux des principaux éléments biogènes (C, N, P, Si)? Quelle est la part due au processus de diazotrophie?

II.1.2 Le réseau microbien (diversité et aspects fonctionnels)

Il est maintenant clairement établi que le picoplancton (les cellules plus petites que 2 à 3 μm) domine la biomasse en milieu oligotrophe. Les études menées en cytométrie en flux dans les années 1990 ont démontré que le picoplancton photosynthétique était composé de deux variétés de cyanobactéries (*Prochlorococcus* et *Synechococcus*) et de très petits eucaryotes (Campbell et al. 1994). Si

les deux variétés sont relativement bien caractérisées génétiquement, et si des approches moléculaires commencent à permettre de déterminer leurs caractéristiques physiologiques *in situ*, notamment leurs mécanismes d'adaptation aux conditions extrêmes caractéristiques de la couche euphotique des zones océaniques centrales (forte lumière, très faible concentration en éléments nutritifs), c'est à peine si nous sommes capables d'identifier en routine les principaux groupes du picoplancton eucaryote. Pour ce dernier, **la composante hétérotrophe, complètement négligée jusqu'à présent, semble receler une diversité tout à fait insoupçonnée** (Lopez-Garcia et al. 2001; Moon Van Der Staay et al. 2001). Enfin, **deux groupes de procaryotes photosynthétiques océaniques viennent d'être découverts: des cyanobactéries unicellulaires** de type *Synechocystis* **fixant l'azote** (Neveux et al. 1999, Zehr et al. 2001) et **des bactéries photohétérotrophes** (Kolber et al. 2001a, Kolber et al. 2001b, Goericke 2002). Ces groupes, encore très peu étudiés, jouent probablement un rôle important en milieu très oligotrophe.

- **Abondance du plancton de petite taille.** Les progrès de la cytométrie, et notamment l'utilisation de marqueurs d'ADN, permettent de visualiser et dénombrer tous les microorganismes de taille comprise entre 40 nm (virus) et environ 5 µm (petit nanoplancton; Marie et al. 1999). Les analyses révèlent deux groupes principaux de virus (correspondant peut-être aux bactériophages et aux virus d'eucaryotes) et deux ou trois groupes de bactéries selon que l'on se situe en zone plus ou moins pélagique (Gasol et al. 1999). Les *Prochlorococcus* se distinguent facilement des *Synechococcus*, car ces derniers sont plus gros et possèdent une forte fluorescence orange due à leur contenu en phycoérythrine. Les cellules de type *Synechocystis* sont plus rarement observées (durant OLIPAC, ils étaient présents au-delà de 15°S; Neveux et al. 1999), mais sont également faciles à distinguer de par leur grande taille et leur forte fluorescence orange. Leur contribution éventuelle à la fixation d'azote atmosphérique dans le cadre de BIOSOPE (voir section I.2.2. page, 11) pourrait être importante. Dans les eaux oligotrophes de surface, les cellules de *Prochlorococcus* sont difficilement distinguables des bactéries : pour la campagne BIOSOPE, des méthodes seront testées pour essayer de pallier ce problème de détection (utilisation de cytomètres plus performants, développement d'anticorps spécifiques de la paroi, PCR quantitative, etc.). Une base de données mondiale des concentrations cellulaires de picoplancton a été mise en place (Partensky et al. 1999), et la campagne BIOSOPE permettra de combler l'absence de données pour la partie sud est Pacifique. Cette base devrait permettre, à terme, d'estimer avec une relative précision la contribution des différents groupes du picoplancton à la biomasse carbonée globale.
- **Diversité génétique des cyanobactéries** Même s'il n'existe que deux genres de cyanobactéries dans le picoplancton océanique, chacun d'eux présente une variabilité génétique importante. On distingue au moins neuf groupes phylogénétiques chez *Synechococcus*, dont l'un regroupe toutes les souches capables de motilité (Scanlan, unpublished). Cependant, il n'est toujours pas clairement établi si ces groupes occupent des régions géographiques ou des niches différentes. Par contre, il a été démontré qu'il existait un étagement vertical des populations de *Prochlorococcus*, avec des espèces adaptées respectivement aux fortes intensités lumineuses de surface et aux faibles intensités en bas de la couche euphotique et jusqu'à plus de 200 m. Alors que, quelle que soit leur origine géographique, les souches de surface sont génétiquement proches et se répartissent dans seulement deux groupes principaux (HLI et HLII) dont les distributions géographiques semblent mutuellement exclusives (West et al. 2001), la diversité au sein des souches profondes est beaucoup plus grande. Une différenciation importante réside dans les multiples copies du gène codant pour le principal complexe collecteur de la lumière (*pcb*) dans les souches de profondeur, alors que les souches de surface n'en présentent qu'un seul (Garczarek et al. 2000; Garczarek et al. 2001). La variabilité importante du nombre mais aussi de la séquence de ce gène en font un bon marqueur de la diversité des populations naturelles. Durant PROSOPE, des analyses RFLP (Random Fragment Length Polymorphism) de ce gène ont permis d'établir qu'il existait au moins trois types de population de *Prochlorococcus* occupant des niches lumineuses différentes, ainsi qu'une certaine homogénéisation horizontale de ces génotypes au niveau de l'ensemble de la Méditerranée (Garczarek, Dufresne et Partensky, non publié). Une telle étude devrait être réalisée durant BIOSOPE et permettra d'étudier l'influence des gradients lumineux et trophiques sur la diversité de *Prochlorococcus* et d'établir l'extension sur une large zone géographique des différents génotypes.
- **Diversité taxonomique des eucaryotes picoplanctoniques.** Au cours de dix dernières années, les principaux groupes du picoplancton ont été identifiés par une combinaison d'approches incluant la mise en culture et l'analyse pigmentaire. Cependant cette vue restait partielle, et ce n'est que récemment que l'analyse directe de l'ARNr 18S (petite sous-unité de l'ARN ribosomal) dans le milieu océanique a permis d'affiner la détermination des organismes présents (Lopez-Garcia et al. 2001; Moon Van Der Staay et al. 2001). En milieu oligotrophe, Prasinophyceae, Pelagophyceae, Dictyochophyceae et Prymnesiophyceae semblent dominer (Moon Van Der Staay et al. 2001). En milieu côtier, les Cryptophyceae deviennent importantes alors que les Pelagophyceae disparaissent (Romari et Vaulot, données non publiées). Cette analyse est loin d'être terminée car le nombre de systèmes explorés reste extrêmement faible. En outre, l'estimation de l'abondance des groupes les plus communs doit être entreprise. Au vu de l'extrême diversité des milieux qui seront échantillonnés, la campagne BIOSOPE rassemble les conditions idéales pour poursuivre et étendre ces études. Dans ce contexte, la classe de **Prasinophyceae**, ubiquiste, paraît particulièrement intéressante, alors que des groupes taxonomiques différents sont présents en fonction des différents milieux (par exemple Mamiellales telle que *Micromonas pusilla* dans les eaux côtières). L'étude de cette classe constitue donc une de nos priorités. Nous étudierons également les **nouveaux groupes hétérotrophes** (alvéolés, straménopiles) dont l'importance et l'ubiquité ont été révélées grâce à de récentes études moléculaires (Lopez-Garcia et al. 2001; Moon Van Der Staay et al. 2001). La campagne BIOSOPE sera l'occasion de vérifier si ces taxons hétérotrophes sont répartis uniformément indépendamment des conditions d'oligotrophie ou si, au contraire, certains groupes sont plus spécifiquement rattachés à des zones très oligotrophes et s'ils se stratifient dans la colonne d'eau.

Afin de répondre à ces diverses questions, nous comptons mettre en œuvre trois méthodes basées plus spécifiquement sur l'analyse du gène de l'ARNr 18S :

- Etude de la diversité par DGGE donnant une image des différents taxons présents.

- Etude de l'abondance relative des groupes ciblés par PCR quantitative
 - Etude de l'abondance absolue des groupes ciblés par FISH (Fluorescent *in situ* hybridization)
- **Adaptation physiologique des cyanobactéries aux conditions environnementales.** La disponibilité de quatre génomes de cyanobactéries marines (3 *Prochlorococcus*, 1 *Synechococcus*) font de ces organismes ubiquistes des cibles très intéressantes pour étudier la régulation de certains gènes clés *in situ*. Le développement de méthodes telles que la RT-PCR en temps réel devrait permettre de mesurer la concentration en ARNm dans le milieu naturel.
- Gènes impliqués dans l'adaptation à l'oligotrophie : Les comparaisons génomiques et protéomiques ainsi que les études d'expression génique et de protéomique au laboratoire devraient permettre d'identifier chez *Prochlorococcus* et *Synechococcus* un certain nombre de gènes connus ou inconnus, impliqués spécifiquement dans la réponse aux carences nutritives, notamment par l'azote et le fer. Ces gènes pourraient jouer un rôle prépondérant dans l'adaptation des cellules aux conditions oligotrophes. Leur expression sera donc étudiée pour les populations de cyanobactéries en surface, le long de gradients trophiques. L'expression de gènes tels que *idiA*, qui ne s'exprime qu'en cas de carence en fer, nous renseignera également sur l'état physiologique des populations naturelles.
 - Gènes impliqués dans la réponse générale au stress : Au cours des trois dernières années, le groupe de Roscoff a commencé à s'intéresser aux gènes activés à l'occasion de stress cellulaires. Ceux codant pour les heat shock proteins (*hsp*) sont tout à fait intéressants car, rémanents et transcrits en abondance, ils peuvent être étudiés par RT-PCR. Nous nous concentrerons en particulier sur les chaperones de type GroEL/ES et DnaK/DnaJ (Glatz et al. 1999). L'intensité de leur expression devrait nous permettre de mesurer l'état de stress des cellules, en réponse par exemple aux fortes intensités lumineuses de la couche de surface au midi solaire, ou bien à un appauvrissement en éléments nutritifs dans le gradient côte-large.
 - Gènes impliqués dans la photoprotection : La présence de *Prochlorococcus* et *Synechococcus* dans la couche de surface suggère que ces espèces ont développé des mécanismes particuliers de défense contre les forts rayonnements visibles et UV. La disponibilité du génome complet de souches de surface de *Prochlorococcus* (MED4) et de *Synechococcus* (WH8102) va permettre (avant la campagne BIOSOPE) d'étudier et d'identifier précisément au laboratoire les gènes et protéines spécifiquement impliqués dans ces processus, en plus des gènes de réponse au stress mentionné plus haut. Une classe de protéines particulièrement intéressante *a priori* est celle des HLIPs (High Light-Induced Proteins), qui sont induites par les forts éclaircissements, et dont la souche MED4 possède de nombreuses copies. L'expression de ces gènes sera étudiée lors de BIOSOPE pour des populations naturelles de *Prochlorococcus* à différentes profondeurs et dans différentes conditions hydrologiques.

II.1.3 L'interprétation de la couleur de l'océan et la validation des modèles bio-optiques

L'estimation de la concentration en chlorophylle a ([Chl_a]) à partir de la "couleur de l'eau" mesurée par un satellite repose, en grande partie, sur des relations statistiques (e.g. O'reilly et al. 1998); ces relations statistiques ou "algorithmes empiriques" sont établies grâce à des bases de données de mesures simultanées de [Chl_a] et de couleur de l'eau [indexée par les rapports de réflectance (Figure 3)]. Ces relations correspondant à des "lois moyennes", il en résulte **deux limitations principales**. Premièrement, ces **relations** sont fortement **contraintes par l'origine géographique** (et temporelle) **des données**. C'est pourquoi, et de façon analogue à de nombreuses bases de données, les eaux très oligotrophes et très eutrophes et, plus généralement, les eaux de l'hémisphère sud, sont sous-représentées dans ces bases de données. En conséquence, elles le sont également dans les relations moyennes qui en découlent. Deuxièmement, autour de ces relations moyennes, il existe une variabilité qui n'est pas due au bruit expérimental. Cette **variabilité** est essentiellement **d'origine naturelle ou biogéochimique** (Loisel and Morel 1998). Les études visant à **comprendre et quantifier cette variabilité** doivent être entreprises pour deux raisons essentielles: d'une part, pour affiner les modèles empiriques "globaux" en élaborant, le cas échéant, des **algorithmes régionaux** (Bricaud et al. 2001); d'autre part, pour permettre le développement de **modèles semi-analytiques ou analytiques** s'appuyant sur une compréhension plus déterministe des processus mis en jeu.

Dans ce contexte, la campagne BIOSOPE s'orientera vers des études visant à comprendre et à quantifier les particularités biogéochimiques responsables de la variabilité de la relation "couleur de l'eau" - [Chl_a]. Plus particulièrement les caractéristiques et les sources de variabilité des stocks biogènes (et minéraux) ainsi que les processus suivants seront étudiés:

- **La matière organique dissoute colorée** ou CDOM (Color Dissolved Organic Matter). Le CDOM, qui représente 10% du DOC (soit approximativement le réservoir de POC) est un intermédiaire fondamental des réactions photochimiques qui influencent les bilans de carbone dans l'océan superficiel et l'échange air-mer de certains gaz, dont le CO₂. Les sources de CDOM sont essentiellement biogènes et résultent des activités autotrophes (Bricaud et al. 1981) et/ou hétérotrophes (Nelson et al. 1998). Il a été récemment avancé (Oubelkheir 2001) que l'équilibre entre ces deux sources de production pourrait être lié au régime de production (origine autotrophe en système productif (upwelling) vs origine hétérotrophe en régime peu productif). Les puits de CDOM sont essentiellement liés aux processus de photo-oxydation qui dépendent de l'éclairement de surface et du degré de stratification ou de mélange des eaux superficielles (Vodacek et al. 1997). A partir des caractéristiques spectrales du CDOM (absorption augmentant vers les courtes longueurs d'onde, diffusion négligeable), on peut déduire qu'un excès de CDOM par rapport à la "loi moyenne" (telle que décrite par la Figure 3) conduit à une surestimation de [Chl_a], et réciproquement. La présence de CDOM modifie la qualité spectrale de l'éclairement disponible en profondeur, en particulier la pénétration des radiations UV. Il s'agira de quantifier les stocks de CDOM et d'apprécier les sources de variabilité, biologiques ou physiques.
- **Les bio-détritus**. Ce réservoir est extrêmement mal connu car très difficile à quantifier. Des études récentes (Chung et al. 1998; Claustre et al. 1999) montrent néanmoins que les bio-détritus peuvent contribuer de 50% à 80% du signal de diffusion par les particules, cette contribution augmentant avec le degré d'oligotrophie. Ces estimations "optiques" sont équivalentes à des

contributions en carbone de l'ordre de 40 à 60% du POC (Oubelkheir 2001). Tout comme pour le CDOM, les caractéristiques optiques des bio-détritus (incluant les organismes micro-hétérotrophes) sont telles (absorption augmentant vers les courtes longueurs d'onde, diffusion spectralement neutre) qu'une augmentation de la proportion de bio-détritus par rapport à la "loi moyenne" se traduit ici encore par une surestimation de [Chl a], et réciproquement. Étant donné l'importance (supposée) des bio-détritus, il est urgent d'entreprendre des études biogéochimiques et optiques destinées à mieux caractériser ce stock.

- **Les poussières minérales.** Un des résultats (inattendus) de la campagne PROSOPE a été que les eaux méditerranéennes paraissent plus "vertes" que ce que la [Chl a] permet d'expliquer. La conséquence directe est que les algorithmes standards, reposant sur des lois moyennes, surestiment la [Chl a] en Méditerranée. Différentes hypothèses ont été examinées pour expliquer cette "anomalie", notamment la présence anormalement élevée de bio-détritus ou de CDOM ; l'hypothèse la plus probable reste néanmoins la présence de fines poussières sahariennes en suspension dans les eaux de surface (Claustre et al. 2001). Pour les eaux dites du cas I (c'est-à-dire celles dont les variations des propriétés optiques sont essentiellement dues au phytoplancton et aux substances associées), il existe donc une variabilité de la relation entre "couleur de l'eau" et [Chl a] qui pourrait être dépendante de la proximité des sources de particules minérales. Les eaux du Pacifique Sud, très éloignées de telles sources, constituent vraisemblablement une situation extrême qu'il convient de décrire et de quantifier.

Une étude récente sur les propriétés d'absorption de 24 types de particules minérales suggère fortement que l'hydroxyde de fer (état ferrique) est le principal « chromophore » de ces particules dans la nature (Babin et Stramski *en préparation*, voir aussi Babin and Stramski 2002, Babin et al. 2002). Or, la signature spectrale de l'absorption par l'hydroxyde de fer montre des similitudes avec celle des détritiques (augmentation quasi-exponentielle vers l'UV). Étant donné (1) cette similitude des propriétés d'absorption, (2) l'affinité chimique (propriété d'adsorption en particulier) de l'hydroxyde de fer pour la matière organique, et (3) la coïncidence entre la faible contribution à l'absorption par les détritiques dans le Pacifique (Bricaud et al. 1998) et la rareté du fer dans cette zone, il est permis de penser que l'hydroxyde de fer est aussi un chromophore des détritiques. Dans les zones pauvres en fer, ces détritiques pourraient être présents en quantités équivalentes aux autres zones oligotrophes, mais demeurer invisibles parce que « décolorés ». Cette hypothèse pourra être vérifiée durant la campagne BIOSOPE.

- **Le cycle diurne** de certaines propriétés optiques est un phénomène désormais clairement établi *in situ* (Siegel et al. 1989; Claustre et al. 1999), et que l'on peut "reproduire" aisément au laboratoire (Durand and Olson 1998). Ce processus est vraisemblablement à l'origine d'une partie du "bruit" dans les bases de données optiques (Stramski and Reynolds 1993), sur lesquels s'appuient bon nombre de développements algorithmiques. Si le phénomène est identifié et décrit, les sources qui sont à l'origine de ces variations à l'échelle de la journée sont moins claires : elles peuvent résulter de changement (1) dans l'équilibre entre particules algales (production de jour) et non algales (production préférentielle la nuit), (2) de la taille des particules, et (3) de la modification de l'indice de réfraction des particules consécutif aux variations de la concentration interne en composés organiques (essentiellement le carbone). Des variations diurnes du CDOM, conséquence d'une alternance entre les processus de production et de photo-oxydation, ne sont pas à exclure même si ces variations n'ont jamais été illustrées.
- **Paramètres photosynthétiques et fluorescence.** L'étude des propriétés photosynthétiques du phytoplancton dans un système aussi fortement oligotrophe est incontournable, ne serait-ce qu'à titre exploratoire. Dans un tel système, on peut s'attendre à ce que les forçages extrêmes (limitations par le fer et l'azote, éclaircissements extrêmes dans la couche de surface y compris une forte dose d'UV) induisent non seulement des acclimatations importantes de différentes natures (pigmentation, processus de « quenching » non-photochimique, mais également des effets adverses aigus (photo-inhibition, effet des carences nutritives sur le fonctionnement de l'appareil photosynthétique). Différents protocoles de mesure de la fluorescence variable seront appliqués pour déterminer les processus à l'origine des variations des propriétés photosynthétiques (fixation de carbone).

Récemment des améliorations algorithmiques ont permis d'extraire, à partir des luminances marines télédéteectées, des grandeurs géophysiques différentes de la [Chl a], comme le coefficient de retrodiffusion $b_b(555)$, qui est un estimateur de la concentration en POC (Stramski et al. 1999; Loisel et al. 2001). Ces extractions ont été réalisées pour des provinces biogéochimiques particulières (océan austral et Méditerranée); il convient d'évaluer l'applicabilité de ces relations importantes à d'autres océans, car elles permettent une évaluation synoptique des grandeurs biogéochimiques essentielles. La campagne BIOSOPE sera également l'occasion d'aborder cette thématique.

Dans toutes les études proposées ci-dessus, on comprend aisément que l'**optique et la biogéochimie** marines sont **intimement liées**. En réalité, ces études d'optique marine sont indissociables de l'estimation des stocks (e.g matière dissoute, bio-détritus,...) et de la compréhension des processus (e.g. cycle diurne, régime de production). L'une des ambitions de BIOSOPE est de favoriser les synergies entre communautés d'opticiens et de biogéochimistes afin de réaliser des études **complémentaires** en bio-optique marine. Ce type d'approche est déjà une "spécialité française" qu'il convient de renforcer. D'une part, ces études permettent de comprendre et d'établir les relations nécessaires aux études fondamentales en optique marine, au transfert radiatif et aux développements algorithmiques. D'autre part, la bio-optique marine apporte(ra) un éclairage nouveau sur la biogéochimie marine : les méthodes sont non-intrusives (pas d'incubation par exemple), répétitives (haute fréquence d'acquisition) et parfois uniques (pour étudier certains stocks biogènes, par exemple la fraction colorée du CDOM).

Le tourbillon oligotrophe du Pacifique sud-est, au centre des préoccupations de BIOSOPE, a été utilisé par le CNES pour calibrer des observations de la couleur de l'océan acquises par le capteur POLDER-I. Cette région sera de nouveau explorée par les capteurs MERIS et POLDER-II. Elle a été sélectionnée pour la clarté de son atmosphère (épaisseur optique des aérosols < 0.1 dans le visible ; absence d'aérosols d'origine continentale) et pour les faibles concentrations en chlorophylle des eaux de surface. En effet, ces conditions permettent théoriquement d'appliquer la méthode dite de « calibration Rayleigh » (Vermotte *et al.*, 1992), qui consiste à générer par transfert radiatif le signal que le capteur devrait mesurer en haut de l'atmosphère, moyennant certaines hypothèses sur la valeur de la luminance marine et la teneur et le type des aérosols (hypothèses acceptables dans la mesure où la diffusion moléculaire prédomine). La comparaison avec le signal effectivement mesuré par le capteur en orbite permet d'établir une calibration, dite

« indirecte ». Une meilleure caractérisation des propriétés des aérosols et une meilleure détermination du signal marin, rendues possibles grâce aux mesures prévues pendant BIOSOPE, permettrait d'améliorer très significativement la qualité des calibrations réalisées selon cette technique. Il serait en outre possible d'évaluer les performances de cette technique en la confrontant à d'autres, comme celles mises en œuvre pour le capteur Américain SeaWiFS (Barnes *et al.*, 2000) ou prévues pour MERIS.

II.2 Justification du choix des sites d'étude

Les caractérisations biologiques, biogéochimiques et optiques du tourbillon du Pacifique Sud est au centre des préoccupations du projet BIOSOPE. Toutefois, étant donné les spécificités des thèmes de recherche que le groupe souhaite développer, la zone d'étude ne peut être restreinte au seul tourbillon. Cette zone doit, de manière générale, répondre à deux critères :

- **Des situations trophiques variées** doivent être étudiées. Ce point est un pré-requis essentiel pour interpréter (et éventuellement modéliser) la variabilité de la relation entre couleur de l'eau et [Chla]; dans ce cadre, il est nécessaire de documenter la variabilité des concentrations en substances optiquement significatives autres que la [Chla] (e.g. CDOM, bio-détritus) selon un continuum trophique. De plus, l'étude de systèmes à très fortes et très faibles [Chla] est nécessaire, car ce sont ceux pour lesquels les bases de données optiques (sur lesquelles reposent les modélisations) sont actuellement les moins documentées. Du point de vue de la diversité biologique, les gradients trophiques sont également très intéressants car ils entraînent des modifications dans la structure des populations et une sélection des espèces les mieux adaptées aux conditions hydrodynamiques et chimiques locales.
- **Des systèmes limités par des ressources différentes** (Fe/N, P). La comparaison de systèmes limités par l'azote (et le fer) avec des systèmes (éventuellement) limités par le phosphore ou encore non limités par les ressources nutritives doit permettre de comprendre les mécanismes chimiques et/ou biologiques à l'origine de leurs différences. La comparaison d'écosystèmes océaniques singularisés par la nature du ou des facteurs limitants en vigueur est un préalable pertinent au développement de modèles censés intégrer les notions de limitations multiples ou de co-limitations.

Sur la base de ces critères, la campagne BIOSOPE s'articulera autour de l'étude de sites, choisis *a priori* pour répondre à ces questions : les systèmes (ultra)oligotrophes associés au tourbillon du Pacifique Sud, le système d'upwelling le long des côtes chiliennes, et la zone productive associée à l'effet d'île au niveau des îles Marquises.

Dans les parties suivantes, il est donné un aperçu rapide des connaissances et de la problématique scientifique associée.

II.2.1 Oligotrophie "extrême" : le tourbillon du Pacifique Sud

Les arguments pour mener une étude sur le tourbillon du Pacifique Sud, complémentaires de ceux, plus généraux, présentés dans la partie introductive (section I.1, page 4) sont les suivants :

- Il s'agit de **la zone la plus oligotrophe au monde** (Figure 1 A). Il n'y a pas lieu de spéculer sur ce que pourraient être les manifestations d'une oligotrophie encore plus marquée que celle rencontrée lors d'OLIPAC (voir plus haut), mais il est vraisemblable que toutes les caractéristiques d'oligotrophie observées à 16°S, 150W se manifestent de manière encore plus aiguë. En outre, le système est vierge de toutes observations (voir plus bas) biologique, biogéochimique ou optique. Rien n'interdit de penser que des particularités [e.g. adaptation du phytoplancton à des conditions extrêmes de limitation en azote (en fer)] puissent être découvertes.
- Parmi les zones tropicales, le **Pacifique Sud est celle qui reçoit le moins de dépôts d'aérosols**, qu'ils soient d'origines naturelle (désertique) ou anthropique (Figure 1 B). Deux conséquences fondamentales peuvent être identifiées :
 - ❑ C'est une zone de référence où l'atmosphère peut être considérée comme relativement pure et la biogéochimie comme uniquement dépendante des processus de recyclage locaux. A l'heure où la désertification et ses conséquences biogéochimiques sur les tourbillons de l'hémisphère Nord commencent être à être identifiées (Wu *et al.* 2000), le Pacifique Sud est vraisemblablement une zone de référence unique pour documenter des processus biogéochimiques en l'absence de perturbations.
 - ❑ Compte-tenu de l'éloignement de la zone des terres émergées et des dépôts minimes en fer, les concentrations en cet élément sont vraisemblablement extrêmement faibles, tout comme celles en azote.
- **C'est une zone peu ou pas connue**. La partie orientale du tourbillon du Pacifique Sud et, de manière plus générale, le Pacifique Sud-Est, reste une des entités majeures de l'océan mondial les moins explorées (Shaffer *et al.* 1995) : la circulation (Shaffer *et al.* 1999), tout comme la biogéochimie de cette zone (Daneri and Quinones 2001) sont largement méconnues. En effet, très peu de campagnes d'observations ont été menées et les données hydrologiques sont donc relativement éparpillées. Seules, deux couvertures synoptiques (hydrologie et chimie) ont traversé le Tourbillon du Pacifique Sud entre les côtes chiliennes et australiennes: le programme SCOPIO le long des parallèles 28°S et 43°S en 1967 (e.g. Stommel, 1973; Wunsch *et al.*, 1983), et plus récemment (1992), les radiales P6 (32°S) et P21 (17°S) du programme WOCE (Tsimplis *et al.* 1998; <http://www.soc.soton.ac.uk/OTHERS/woceipo/science/data/dguide97/index.html>).
- **Le tourbillon oligotrophe du Pacifique sud-est représente une zone test particulièrement intéressante pour la calibration des observations de la couleur de l'océan** (faible concentration en chlorophylle, atmosphère très pure). BIOSOPE procure en outre une opportunité pour l'inter-calibration des différentes missions spatiales (collaborations établies avec les différentes missions couleur de l'océan). Ce point est particulièrement important pour qu'on soit, à terme, en mesure de générer les archives pluri-annuelles et multi-capteurs nécessaires à l'identification d'éventuels changements globaux de la biomasse phytoplanctonique en réponse aux modifications globales de l'environnement.
-

Résumé : Objectifs spécifiques à l'étude du tourbillon du Pacifique Sud

- Quelles sont les caractéristiques optiques des eaux *a priori* les plus claires de la planète?
- Est-ce que les capteurs satellitaires fournissent une bonne estimation de [Chla] dans cette zone? Si non, pourquoi?
- Les faibles concentrations en [Chla] et surtout en matières dissoutes ou en bio-détritus conduisent-elles à une pénétration préférentielle des radiations ultraviolettes.
- Quels sont les effets de ces radiations ultraviolettes sur les espèces bactériennes et sur la transformation de la matière dissoute?
- Peut-on détecter des adaptations taxonomiques et fonctionnelles, inhérentes à ces conditions extrêmes?
- Quelles sont les particules qui contribuent au cycle diurne des propriétés optiques dans la couche sub-superficielle de l'océan ?
- Quelles concentrations en fer trouve-t-on dans l'atmosphère et dans la colonne d'eau ?
- Quelle est la relation (éventuelle) entre cyclicité de la fluorescence (variable ou non) et la limitation en fer?
- La fixation d'azote atmosphérique est-elle significative et, si oui, est-elle assurée par des cyanobactéries unicellulaires tels que *Synechocystis* plutôt que par des cyanobactéries coloniales du type *Trichodesmium*?

II.2.2 Mésotrophie : Fertilisation naturelle en zone HLNC sub-équatoriale

A la fin du printemps et au début de l'été austral, le secteur au voisinage de l'archipel des Marquises (localisé vers 10°S, 140°W et 350 km) présente des [Chla] voisines de 0.3 mg Chla m⁻³, c'est-à-dire bien supérieures aux concentrations ambiantes généralement observées (~ 0.1 mg Chla m⁻³) dans cette zone subéquatoriale (Signorini et al. 1999) (Figure 4). Ces fortes concentrations sont non seulement détectées dans la partie sous le vent de l'archipel, mais également au sein d'une bande rectangulaire (dimension approximative : 200 km x 600 km) orientée ouest nord-ouest dans le prolongement du courant sud équatorial (SEC) qui s'écoule à travers et autour de l'archipel. Au sein du vaste système HLNC que constitue la zone subéquatoriale, l'effet d'île est donc ici une évidence.

Plusieurs mécanismes biophysiques et physico-chimiques expliquant l'origine de cette productivité accrue ont été proposés. D'une part, l'interaction entre la circulation dynamique et la topographie (les îles s'élèvent de manière très raide depuis la plaine abyssale à 4000 m) favorise la formation de structures hydrodynamiques à moyenne échelle (front, tourbillon, remontée des isopycnes) propices à une production accrue et à l'accumulation de biomasse. D'autre part, ces structures permettent également d'entretenir le mélange des eaux environnantes riches en nutriments (NO₃ > 4 µM), mais pauvres en fer, le fer provenant des îles elles-mêmes selon deux processus possibles : premièrement, la dispersion des produits issus du lessivage des terres (enrichis notamment en fer) vers l'ouest par le SEC; deuxièmement, les flux hydrothermaux au sein des cônes volcaniques. Ces flux "siphonnent" des eaux profondes vers la surface au travers de la couche basaltique (concept dit "d'endo-upwelling"), si bien que les eaux résultantes finissent saturées en fer (Andrié et al. 1992)

Cet oasis de production en zone HLNC éloignée et quasiment dépourvue d'observations biogéochimiques a été essentiellement décrit grâce à une imagerie couleur synoptique de la zone par SeaWiFS. Il convient désormais de mener des recherches plus approfondies qui permettent de quantifier les processus biologiques et biogéochimiques impliqués dans le développement de ce bloom.

Ce type d'étude vient à point nommé dans le débat scientifique (et éthique) qui s'interroge sur l'opportunité de fertilisations "industrielles" de certaines zones océaniques dont le but est de séquestrer l'excès anthropique de CO₂ (Chisholm et al. 2001, Aslo 2001). En effet, les études de fertilisations naturelles associées aux effets d'île permettent d'aborder, sur le long terme, les changements dans la structure des écosystèmes et dans les cycles biogéochimiques, ce que les fertilisations expérimentales et momentanées de type Ironex ou Soiree n'ont pu faire. Les îles Marquises, ainsi que les phénomènes hydrodynamiques et biogéochimiques associés, peuvent donc être considérées comme des modèles "grandeurs nature" d'une fertilisation "grande échelle" et continue. Les recherches que nous souhaitons entreprendre viseront donc à acquérir un certain nombre de connaissances fondamentales, pour mieux décrire (et modéliser) l'effet de ces fertilisations naturelles. Ces études en milieu tropical sont complémentaires de celles menées en milieu austral, (e.g. Blain et al. 2001; Bucciarelli et al. 2001), de sorte qu'un parallèle pourrait être également établi avec l'étude du panache qui se développe sur le plateau de Kerguelen, proposée dans le projet KEOPS (Stéphane Blain).

Résumé : Objectifs spécifiques à l'étude du panache des îles Marquises

- Quelles sont les concentrations en fer au voisinage de la zone et y a-t-il un gradient selon la direction nord-ouest?
- Les nutritifs sont-ils complètement épuisés?
- Quelles sont les populations phytoplanctoniques présentes, leur état physiologique diffère-t-il de celui des populations présentes dans les eaux adjacentes?
- Est-ce que l'effet d'île entraîne une augmentation de la fixation d'azote atmosphérique par rapport aux eaux oligotrophes environnantes et, si oui, quel organisme (*Trichodesmium* ou *Synechocystis*) est impliqué?
- Comment le réseau trophique est-il structuré?
- Existe-t-il des caractéristiques bio-optiques particulières (CDOM, bio-détritus, espèces phytoplanctoniques) qui pourraient expliquer une variabilité potentielle dans la relation couleur de l'eau - [Chla]?

II.2.3 Eutrophie: upwellings le long des côtes chiliennes

Dans le Pacifique Sud-Est, le courant antarctique circumpolaire (ACC) se sépare en deux branches dont la branche ascendante, le Peru Current (PC) ou Peru-Chile Current (PCC), représente la branche méridienne Est de la circulation anticyclonique. Occasionnellement, ce PCC peut à son tour se séparer en deux branches : une veine très étendue, dénommée courant de Mentor, passe au large ; une veine étroite longeant la côte, appelée courant de Humboldt. Les upwellings permanents associés au PCC le long des côtes chiliennes représentent l'une des zones les plus productives de l'océan mondial (Carr, 2002), de laquelle sont extraites d'importantes ressources halieutiques. Malgré cet impact biologique (et économique), et à l'instar du tourbillon du Pacifique Sud, le PCC reste le système de courant frontière de l'est le moins bien connu, tant d'un point de vue de sa dynamique que de sa biogéochimie (*e.g.* Leth and Shaffer 2001, Daneri and Quinones 2001). Les scènes CZCS acquises le long des côtes chiliennes montrent néanmoins que, dans la bande latitudinale 25°S-35°S, l'upwelling est actif durant l'été austral (Thomas 1999), ce que confirment certaines études hydrologiques et courantologiques menées à la latitude de Valparaiso (33°S) (Johnson et al. 1980) ou encore des mesures de flux de particules à 30°S (Hebbeln et al. 2000).

Les upwellings le long des côtes chiliennes présentent deux particularités interdépendantes:

- Les fortes biomasses chlorophylliennes observées sont en opposition de phase avec les vents *a priori* favorables (vers l'équateur) aux conditions d'upwelling; de plus, elles ne sont pas corrélées aux faibles températures (Thomas 1999).
- Ces biomasses ont des extensions vers le large sous la forme de filaments de plusieurs centaines de kilomètres (~200-300 km) (Thomas et al. 1994). L'extension au large de ces caractéristiques côtières de surface est bien plus importante que celle attendue à partir de la stricte dynamique locale des "wind-driven" upwelling.

C'est pourquoi, une hypothèse a été émise selon laquelle l'augmentation de biomasse et de production le long des côtes chiliennes résulte plus vraisemblablement de l'interaction entre les phénomènes locaux et la circulation à plus grande échelle (Thomas et al. 1994). Récemment des études numériques ont montré que les phénomènes d'upwelling le long des côtes chiliennes résultent d'une activité à moyenne échelle (méandres et tourbillons) (Leth and Shaffer 2001), et que cette activité entretient, selon toute vraisemblance, de fortes biomasses plus au large sous la forme de filaments.

Si les études centrées sur les cycles biogéochimiques dans les upwellings ont été relativement nombreuses dans les années 1970 et 1980, notamment sous l'impulsion de la communauté française, la communauté JGOFS-international n'a pas poursuivi ces efforts par la suite. A notre connaissance, seule la communauté JGOFS-France (campagne Eumeli 4) a consacré une partie de ses activités à l'étude de l'upwelling Mauritanien. Les bases conceptuelles du fonctionnement des upwellings reposent sur des acquis relativement anciens. De la même manière, les bases de données JGOFS sont actuellement plutôt incomplètes de par l'absence de mesures sur les zones très productives. Ce "manque" constitue une limitation pour la validation des modèles (optiques, bio-optiques ou biogéochimiques). Il apparaît donc opportun d'initier de nouvelles études sur les upwellings, basées en partie sur la mise en œuvre de développements méthodologiques récents. C'est une des raisons qui avaient motivé le groupe PROSOPE à mener une étude biogéochimique sur l'upwelling du Maroc. C'était une première étape, et il apparaissait nécessaire que ces efforts soient poursuivis.

L'étude des propriétés biologiques, biogéochimiques et optiques d'un filament résultant de l'activité d'upwelling sur le PCC, permettrait d'accroître la connaissance d'un système de production particulier mais peu connu, et plus généralement, celle des upwellings dans leur ensemble.

Résumé: Objectifs spécifiques à l'étude de l'upwelling

- Y a-t-il une évolution de la structure des communautés et de l'écosystème le long d'un filament?
- Quelle est l'évolution biogéochimique le long d'un filament?
- Y a-t-il un vieillissement de la matière produite le long du filament qui puisse être identifié par des propriétés optiques particulière (production de CDOM et de bio-détritus?)
- Quelle est la représentativité d'une mesure au sein d'un pixel lorsque les phénomènes physiques à petite et moyenne échelles sont cruciaux dans un système d'upwelling? (problème de "matchup" de SeaWiFS dans un système "dynamique")

References

- Andreae, M. O. 1996. Raising dust in the greenhouse. *Nature* 380: 389-390.
- Andrié, C., I. Bouloubassi, H. Cornu, R. Fichez, C. Perre, and F. Rougerie. 1992. Chemical and tracer studies in coral reef interstitial waters (French Polynesia) : implications for endo-upwelling circulation, p. 1165-1173, proceedings of the 7th International coral reef symposium, Guam.
- ASLO. 2001. The scientific and policy uncertainties surrounding the use of ocean fertilization to transfer atmospheric carbon dioxide to the oceans.
- Babin, M., and D. Stramski. 2002. Light absorption by aquatic particles in the near-infrared spectral region. *Limnology and Oceanography*: in press.
- Babin, M. and others 2002. Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, non-algal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe. *Journal of Geophysical Research*: in press.
- Barnes, R.A., R.E. Eplee, W.D. Robinson, G.M. Schmidt, F.S. Patt, S.W. Bailey, M. Wang, and C.R. McClain. 2000. The calibration of SeaWiFS on orbit, Earth Observing Systems V, William L. Barnes, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 4135, 281-293.
- Behrenfeld, M. J., and Z. S. Kolber. 1999. Widespread iron limitation phytoplankton in the South Pacific Ocean. *Science* 283: 840-843.
- Berland, B., J. Bonin, and S. Y. Maestrini. 1980. Azote ou phosphore? Considérations sur le 'paradoxe nutritionnel' de la mer méditerranée. *Oceanologica Acta* 3: 135-142.
- Blain, S., A. Leynaert, P. Treguer, M. J. Chretiennot-Dinet, and M. Rodier. 1997. Biomass, growth rates and limitation of Equatorial Pacific diatoms. *Deep-Sea Research* 44: 1255-1275.
- Blain, S. and others 2001. A biogeochemical study of the island mass effect in the context of the iron hypothesis: Kerguelen Islands, Southern Ocean. *Deep-Sea Research I* 48: 163-187.
- Boyd, P. W. and others 2000. A mesoscale phytoplankton bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. *Nature* 407: 695-702.
- Bricaud, A., E. Bosc, and D. Antoine. 2001. Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean basin: intercomparison of data from various satellite sensors, and implication for primary production estimates. *Remote Sensing of Environment* in press.

- Bricaud, A., A. Morel, M. Babin, K. Allali, and H. Claustre. 1998. Variations of light absorption by suspended particles with chlorophyll a concentration in oceanic (case 1) waters: Analysis and implications for bio-optical models. *Journal of Geophysical Research* 103: 31,033-31,044.
- Bricaud, A., A. Morel, and L. Prieur. 1981. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnology and Oceanography* 26: 43-53.
- Bruyant, F. 2002. Variations circadiennes et spatiales de la photosynthèse : Etude dans différentes conditions hydrologiques et trophiques, p. 141. University Pierre et Marie Curie.
- Bucciarelli, E., S. Blain, and P. Treguer. 2001. Iron and manganese in the wake of the Kerguelen Islands (Southern Ocean). *Marine Chemistry* 73: 21-36.
- Campbell, L., H. A. Nolla, and D. Vaultot. 1994. The importance of *Prochlorococcus* to community structure in the Central North Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography* 39: 954-961.
- Carr, M. E. 2002. Estimation of potential productivity in Eastern Boundary currents using remote sensing. *Deep-Sea Research II* 49: 59-80.
- Chisholm, S. W., P. G. Falkowski, and J. J. Cullen. 2001. Dis-crediting ocean fertilization. *Science* 294: 309-310.
- Chung, S. P., W. D. Gardner, M. R. Landry, M. J. Richardson, and I. D. Walsh. 1998. Beam attenuation by microorganisms and detrital particles in the equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research* 103: 12669-12681.
- Church, M. J., H. Ducklow, and D. Karl. 2002. Multiyear increases in dissolved organic matter inventories at station ALOHA in the North Pacific Gyre. *Limnology and Oceanography* 47: 1-10.
- Claustre, H. and others. 2000. Continuous monitoring of surface optical properties across a geostrophic front: Biogeochemical inferences. *Limnology and Oceanography* 45: 309-321.
- Claustre, H. and others 1999. Variability in particle attenuation and chlorophyll fluorescence in the Tropical Pacific: Scales, patterns, and biogeochemical implications. *Journal of Geophysical Research* 104: 3401-3422.
- Claustre, H. and others 2002. Is desert dust making oligotrophic waters greener. *Geophysical Research Letters*: in press.
- Coale, K. H., S. E. Fitzwater, R. M. Gordon, K. S. Johnson, and R. T. Barber. 1996a. Control of community growth and export production by upwelled iron in the Equatorial Pacific Ocean. *Nature* 379: 621-624.
- Coale, K. H. and others 1996b. A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the Equatorial Pacific Ocean. *Nature* 383: 495-501.
- Codispoti, L. A. 1989. Phosphorus vs. Nitrogen limitation of new and export production, p. 377-394. *In* W. H. Berger, V. Smetacek and G. Wefer [eds.], *Productivity of the ocean : Present and past*.
- Daneri, G., and R. A. Quinones. 2001. Undersampled Ocean systems : a plea for an international study of biogeochemical cycles in the Southern Pacific Gyre and its boundaries. *U.S. JGOFS Newsletter January 2001*: 9.
- De Baar, H. J. W., and J. T. M. de Jong. 2001. Distribution, Sources and Sinks of Iron in Seawater. *In* T. A. Hunter [ed.], *Biogeochemistry of Fe in Seawater. SCOR/IUPAC, Chapter 5*.
- Del Amo, Y., O. Le Pape, B. Quéguiner, P. Tréguer, H. Breton, and L. Lampert. 1997. The impacts of high-nitrate freshwater inputs on macrotidal ecosystems: II-The specific role of the silicic acid pump in the year-round dominance of diatoms in the Bay of Brest (France). *Marine Ecology Progress Series* 191: 225-237.
- Diez, B., C. Pedros-Alio, T. L. Marsh, and R. Massana. 2001. Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) to study the diversity of marine picoeukaryotic assemblages and comparison of DGGE with other molecular techniques. *Applied and Environmental Microbiology* 67: 2942-2951.
- D'Sa, E. J., and R. G. Steward. 2001. Liquid capillary waveguide application in absorbance spectroscopy (Reply to the comment by Byrne and Kaltenbacher). *Limnology and Oceanography* 46: 742-745.
- D'Sa, E. J., R. G. Steward, A. Vodacek, N. V. Blough, and D. Phinney. 1999. Determining optical absorption of colored dissolved organic matter in seawater with a liquid capillary waveguide. *Limnology and Oceanography* 44: 1142-1148.
- Duce, R. A., R. Arimoto, B. J. Ray, C. K. Unni, and P. J. Harder. 1983. Atmospheric trace elements at Enewetak Atoll, 1, concentrations, sources, and temporal variability. *Journal of Geophysical Research* 88: 5321-5342.
- Duce, R. A., and N. W. Tindale. 1991. Atmospheric transport of iron and its deposition in the ocean. *Limnology and Oceanography* 36: 1715-1726.
- Dugdale, R. C., and J. J. Goering. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography* 12: 196-206.
- Dugdale, R. C., and F. P. Wilkerson. 1986. The use of ¹⁵N to measure nitrogen uptake in eutrophic oceans, experimental conditions. *Limnology and Oceanography*: 673-689.
- Dugdale, R. C., F. P. Wilkerson, and H. J. Minas. 1995. The role of a silica pump in driving new production. *Deep-Sea Research* 42: 697-719.
- DuRand, M. D., and R. J. Olson. 1998. Diel patterns in optical properties of the chlorophyte *Nannochloris* sp.: Relating individual-cell to bulk measurements. *Limnology and Oceanography* 43: 1107-1118.
- Elliott, S. and others 1997. Motorization of China implies changes in Pacific air chemistry and primary production. *Geophysical Research Letters* 24: 2671-2674.
- Eppley, R. W., and B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 282: 677-680.
- Falkowski, P. G. 1997. Evolution of the nitrogen cycle and its influence on the biological sequestration of CO₂ in the ocean. *Nature* 387: 272-275.
- Falkowski, P. G., R. T. Barber, and V. Smetacek. 1998. Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science* 281: 200-206.
- Garczarek, L., W. R. Hess, J. Holtzendorff, G. W. M. van der Staay, and F. Partensky. 2000. Multiplication of antenna genes as a major adaptation to low light in a marine prokaryote. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97: 4098-4101.
- Garczarek, L. and others 2001. Differential expression of antenna and core genes in *Prochlorococcus* PCC 9511 (Oxyphotobacteria) grown under a modulated light-dark cycle. *Environmental Microbiology* 3: 168-175.
- Gasol, J. M., U. L. Zweifel, F. Peters, J. A. Fuhrman, and A. Hagstrom. 1999. Significance of size and nucleic acid content heterogeneity as measured by flow cytometry in natural planktonic bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 4475-4483.
- Glatz, A., I. Vass, D. A. Los, and L. Vigh. 1999. The Synechocystis model of stress: From molecular chaperones to membranes. *Plant Physiology and Biochemistry* 37: 1-12.
- Goericke, R. 2002. Bacteriochlorophyll a in the ocean: Is anoxygenic bacterial photosynthesis important? *Limnology and Oceanography* 47: 290-295.
- Gruber, N., and J. Sarmiento. 1997. Global patterns of marine nitrogen fixation and denitrification. *Global Biogeochemical Cycles* 11: 235-266.
- Hebbeln, D., M. Marchant, and G. Wefer. 2000. Seasonal variations of the particle flux in the Peru-Chile current at 30 degree S under 'normal' and El Nino conditions. *Deep-Sea Research II* 47: 2101-2128.
- Hooker, S. and others 2001. The first SeaWiFS HPLC analysis Round-Robin experiment (SeaHARRE-1). *NASA Technical Memorandum* 2000-206892, 14: 1-42.
- Hutchins, D. A., and K. W. Bruland. 1998. Iron-limited diatom growth and Si:N uptake ratios in a coastal upwelling regime. *Nature* 393: 561-564.
- Johnson, D. R., T. Fonseca, and H. Sievers. 1980. Upwelling in the Humboldt Coastal Current near Valparaiso, Chile. *Journal of Marine Research* 38: 1-16.
- Johnson, K. S., R. M. Gordon, and K. H. Coale. 1997. What controls dissolved iron concentrations in the world ocean? *Marine Chemistry* 57: 137-161.
- Karl, D., R. Letelier, L. Tupas, J. Dore, J. Christian, and D. Hebel. 1997. The role of nitrogen fixation in biogeochemical cycling in the subtropical North Pacific Ocean. *Nature* 388: 533-538.
- Kinne, S., and I. R. Poesche. 2001. Aerosol radiative forcing for Asian continental outflow. *Atmospheric Environment* 35: 5019-5028.
- Kirk, J. T. O. 1997. Point-source integrating-cavity absorption meter : theoretical principals and numerical modeling. *Applied Optics* 36: 6123-6128.
- Kolber, Z. and others 2001a. Contribution of aerobic photoheterotrophic bacteria to the carbon cycle in the ocean. *Science* 292: 2492-2495.
- Kolber, Z., C. L. VanDover, R. A. Niederman, and P. G. Falkowski. 2001b. Bacterial photosynthesis in surface waters of the open ocean. *Nature* 407: 177-179.
- Leathers, R. A., T. V. Downes, and C. O. Davis. 2000. Analysis of a point-source integrating-cavity absorption meter. *Applied Optics* 39: 6118-6127.
- Leth, O., and G. Shaffer. 2001. A numerical study of the seasonal variability in the circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research* 106: 22229-22248.
- Loisel, H., E. Bosc, D. Stramski, K. Oubelkheir, and P. Y. Deschamps. 2001. Seasonal variability of the backscattering coefficient in the Mediterranean Sea based on satellite SeaWiFS imagery. *Geophysical Research Letters* 28: 4203-4206.
- Loisel, H., and A. Morel. 1998. Light scattering and chlorophyll concentration in case 1 waters: A reexamination. *Limnology and Oceanography* 43: 847-858.

- Lopez-Garcia, P., F. Rodriguez-Valera, C. Pedros-Alio, and D. Moreira. 2001. Unexpected diversity of small eukaryotes in deep-sea Antarctic plankton. *Nature* 409: 603-607.
- Marie, D., C. P. D. Brussaard, R. Thyrhaug, G. Bratbak, and D. Vault. 1999. Enumeration of marine viruses in culture and natural samples by flow cytometry. *Applied and Environmental Microbiology* 65: 45-52.
- Martin, J. H., and e. al. 1994. Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. *Nature* 371: 123-129.
- McInnes, L. M., P. K. Quinn, D. S. Covert, and T. L. Anderson. 1996. Gravimetric analysis, ionic composition and associated water mass of the marine aerosol. *Atmospheric Environment* 30: 869-884.
- Montoya, J. P., M. Voss, P. Kähler, and D. G. Capone. 1996. A simple, high precision, high sensitivity tracer assay for N₂ fixation. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 986-993.
- Moon van der Staay, S. Y., R. De Wachter, and D. Vault. 2001. Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal unsuspected eukaryotic diversity. *Nature* 409: 607-610.
- Moore, J. K., S. C. Doney, D. M. Glover, and I. Y. Fung. 2002. Iron cycling and nutrient limitation patterns in surface waters of the world ocean. *Deep-Sea Research II* 49: 463-507.
- Morel, A., and S. Maritorea. 2001. Bio-optical properties of oceanic waters: A reappraisal. *Journal of Geophysical Research* 106: 7163-7180.
- Moulin, C., C. E. Lambert, F. Dulac, and U. Dayan. 1997. Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic Oscillation. *Nature* 387: 691-694.
- Nelson, N. B., D. A. Siegel, and A. F. Michaels. 1998. Seasonal dynamics of colored dissolved material in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Research I* 45: 931-957.
- Neveux, J., F. Lantoiné, D. Vault, D. Marie, and J. Blanchot. 1999. Phycoerythrins in the southern tropical and equatorial Pacific Ocean: Evidence for new cyanobacterial types. *Journal of Geophysical Research* 104: 3311-3321.
- Ohkouchi, N., K. Kawamura, H. Kawahata, and A. Taira. 1997. Latitudinal distribution of terrestrial biomarkers in the sediments from the central Pacific. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61: 1911-1918.
- O'Reilly, J. E. and others 1998. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS. *Journal of Geophysical Research* 103: 24,937-924,953.
- Oubelkheir, K. 2001. Caractérisation biogéochimique de provinces biogéochimiques océaniques à l'aide d'indicateurs bio-optiques, à diverses échelles spatio-temporelle, p. 131. University of Marseille.
- Pahlow, M., and U. Riebesell. 2000. Temporal trends in deep ocean Redfield ratios. *Science* 287: 831-833.
- Partensky, F., W. R. Hess, and D. Vault. 1999. *Prochlorococcus*, a marine photosynthetic prokaryote of global significance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 63: 106-127.
- Pope, R. M., and E. S. Fry. 1997. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II. integrating cavity measurements. *Applied optics* 36: 8710 - 8723.
- Pope, R. M., A. D. Weidemann, and E. S. Fry. 2000. Integrating Cavity Absorption Meter measurements of dissolved substances and suspended particles in ocean water. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 31: 307-320.
- Raimbault, P. and others 1999. Carbon and nitrogen uptake and export in the equatorial Pacific at 150 degree W: Evidence of an efficient regenerated production cycle. *Journal of Geophysical Research* 104: 3341-3356.
- Sañudo-Wilhelmy, S. A. and others 2001. Phosphorus limitation of nitrogen fixation by *Trichodesmium* in the central Atlantic Ocean. *Nature* 411: 66-69.
- Shaffer, G., S. Hormazabal, O. Pizarro, and S. Salinas. 1999. Seasonal and interannual variability of currents and temperature off central Chile. *Journal of Geophysical Research* 104: 29,951-929,961.
- Shaffer, G., S. Salinas, O. Pizarro, A. Vega, and S. Hormazabal. 1995. Currents in the deep ocean off Chile (30 degree S). *Deep-Sea Research* 42: 425-436.
- Siegel, D. A., T. D. Dickey, L. Washburn, M. K. Hamilton, and B. G. Mitchell. 1989. Optical determination of particulate abundance and production variations in the oligotrophic ocean. *Deep-Sea Research* 36: 211-222.
- Signorini, S. R., C. R. McClain, and Y. Dandonneau. 1999. Mixing and phytoplankton bloom in the wake of the Marquesas Islands. *Geophysical research Letters* 26: 3121-3124.
- Smayda, T. J. 1990. Novel and nuisance phytoplankton blooms in the sea : evidence for a global epidemic, p. 29-40. *In* E. Granéli [ed.], *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier Science.
- Stramski, D., and R. A. Reynolds. 1993. Diel variations in the optical properties of a marine diatom. *Limnology and Oceanography* 38: 1347-1364.
- Stramski, D., R. A. Reynolds, M. Kahru, and B. G. Mitchell. 1999. Estimation of particulate organic carbon in the ocean from satellite remote sensing. *Science* 285: 239-242.
- Suzuki, M. T., L. T. Taylor, and E. F. DeLong. 2000. Quantitative analysis of small-subunit rRNA genes in mixed microbial populations via 5'-nuclease assays. *Applied and Environmental Microbiology* 66: 4605-4614.
- Takeda, S. 1998. Influence of iron availability on nutrient consumption ratio of diatoms in oceanic waters. *Nature* 393: 774-777.
- Thingstad, T. F., A. Hagström, and F. Rassoulzadegan. 1997. Accumulation of degradable DOC in surface waters : Is it caused by a malfunctioning microbial loop ? *Limnology and Oceanography* 42: 398-404.
- Thingstad, T. F., E. F. Skjoldal, and R. A. Bohne. 1993. Phosphorus cycling and algal-bacterial competition in Sandsfjord, western Norway. *Marine Ecology Progress Series* 99: 239-259.
- Thingstad, T. F., U. L. Zweifel, and F. Rassoulzadegan. 1998. P limitation of heterotrophic bacteria and phytoplankton in the northwest Mediterranean. *Limnology and Oceanography*: 88-94.
- Thomas, A. C. 1999. Seasonal distributions of satellite-measured phytoplankton pigment concentration along the Chilean coast. *Journal of Geophysical Research* 104: 25,877-825,890.
- Thomas, A. C., F. Huang, P. T. Strub, and C. James. 1994. A comparison of the seasonal and interannual variability of phytoplankton pigment concentrations in the Peru and California Current systems. *Journal of Geophysical Research* 99: 7355-7370.
- Thomson-Bulldis, A., and D. Karl. 1998. Application of a novel method for phosphorus determinations in the oligotrophic North Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography* 43: 1565-1577.
- Tsimplis, M. N., S. Bacon, and H. L. Bryden. 1998. The circulation of the subtropical South Pacific derived from hydrographic data. *Journal of Geophysical Research* 103: 21443-21468.
- Turner, S. M., P. D. Nightingale, L. J. Spokes, M. I. Liddicoat, and P. S. Liss. 1996. Increased dimethyl sulphide concentrations in sea water from in situ iron enrichment. *Nature* 383: 513-517.
- Vasilkov, A. P., N. Krotkov, J. Herman, C. McClain, K. R. Arrigo, and W. Robinson. 2001. Global mapping of underwater UV irradiances and DNA-weighted exposures using Total Ozone Mapping Spectrometer and Sea-viewing wide Field-of-View Sensor data products. *Journal of Geophysical Research* 106: 27205-27219.
- Vermote, E., Santer, E., Deschamps, P.-Y. and M. Herman (1992). In-flight calibration of large field of view sensors at short wavelengths using raleigh-scattering . *International Journal of Remote Sensing*, 13: 3409-3429.
- Vault, D., and D. Marie. 1999. Diel variability of photosynthetic picoplankton in the equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research* 104: 3297-3310.
- Vodacek, A., N. V. Blough, M. D. DeGrandpre, E. T. Peltzer, and R. K. Nelson. 1997. Seasonal variation of CDOM and DOC in the Middle Atlantic Bight: Terrestrial inputs and photooxidation. *Limnology and Oceanography* 42: 674-686.
- West, N. J. and others 2001. Closely related *Prochlorococcus* genotypes show remarkably different depth distributions in two oceanic regions as revealed by in situ hybridization using 16S rRNA-targeted oligonucleotides. *Microbiology Sgm* 147: 1731-1744.
- Wu, J., W. Sunda, E. A. Boyle, and D. M. Karl. 2000. Phosphate depletion in the Western North Atlantic Ocean. *Science* 289: 759-762.
- Zehr, J. and others 2001. Unicellular cyanobacteria fix N₂ in the subtropical North Pacific Ocean. *Nature* 412: 635-638.

I. Méthodologie - liste des travaux - stratégie

Globalement, la campagne BIOSOPE s'articulera autour des trois thèmes que sont la biogéochimie, la biodiversité et la bio-optique. Pour chacun de ces thèmes, les mesures reposeront sur des approches discrètes, c'est-à-dire des prélèvements d'eau (bouteilles Niskin sur rosette, bouteilles Go-flo sur câble kevlar, pompage de surface ou pompage in situ), traitement de l'échantillon, analyse à bord ou de retour au laboratoire (après conservation appropriée). Pour certains de ces thèmes (Biogéochimie et Biooptique) des mesures continues, à partir de profileurs, seront également réalisées.

I.1 Mesures de bio-géochimie

Nous ne détaillerons pas ici les procédures employées pour mesurer les paramètres dits de base (chimiques, biologiques et hydrologiques) selon des protocoles qui avaient préconisés par JGOFS international (JGOFS 1996) et qui ont été pour certains optimisés au niveau de vue de leur sensibilité. Les scientifiques qui auront la responsabilité de ces mesures ont déjà éprouvé leurs méthodes en de nombreuses occasions (campagnes Eumeli, Antares, Olipac, Almofront, Prosope et Pomme).

I.1.1 Mesures de stock

- Sels nutritifs analysés à bord (nitrate, nitrite, phosphate)
- PO₄ nanomolaire (Magic)
- Ammonium à bord
- Silicates (analysés à terre)
- Matière organique particulaire (C-N-P) sur GF/F
- Matière organique particulaire (C-N-P) sur fraction de taille (0.2, 0.6, 2 µm)
- Stocks totaux (non fractionnés) de Silice biogénique et lithogénique
- Stocks fractionnés (0.2-0.6 µm, 0.6-2 µm et < 2 µm) de Silice biogénique et lithogénique
- Poids sec (*filtre anodisc 47 mm, 0.2 µm*)
- Concentration et spectre de taille des particules (compteur optique HIAC)
- Concentration et spectre de taille des particules (compteur COULTER)
- Pigments HPLC (au laboratoire)
- Mycosporine-amino acid (pigment absorbant dans l'UV)
- Pigments par fluorimétrie (*à bord*)
- Matière organique dissoute (C-N-P)
- Sucres
- Di-acides organiques
- Concentration en fer (incluant total, dissous (<0.2) et « dissous vrai »)

I.1.2 Mesures de flux

- Absorption ¹⁵NO₃ et production primaire ¹³C
- Absorption ¹⁵NH₄ et production primaire ¹³C
- Absorption ³³P et production primaire ¹⁴C (0.2 ; 2 µm)
- Absorption ³³P (0.2; 0.6; 2; 10 µm)
- Courbes P vs E
- Fixation ¹⁵N₂ et production primaire ¹³C sur GF / F
- Fixation ¹⁵N₂ et production primaire ¹³C > 3 µm
- Régénération ammonium ¹⁵NH₄
- Nitrification ¹⁵N
- Excrétion de ¹⁵N-NOD
- Production de silice lithogénique ³²Si
- Production bactérienne
- Production bactérienne par classe de taille (0.2; 0.6 µm)
- Flux d'aérosols (filtration à l'avant du bateau pendant les transits)
- Flux de masse carbone azote opale et calcite par pièges à particule PPS 5 à 2 immersions²
- Flux de ²³⁴thorium particulaire et dissous pour calibration des trappes ²

² Ces deux mesures, qui n'étaient pas initialement intégrées à la stratégie de BIOSOPE, ont été récemment rajoutées au programme d'échantillonnage suite à une recommandation récente du CS PROOF. Elles seront assurées par le groupe de l'AIEA de MONACO.

I.2 Mesures de bio-diversité

- Diversité Pigmentaire par HPLC (un exercice d'inter comparaison des méthodes sera également réalisé entre 6 laboratoires à partir des échantillons prélevés durant la campagne)
- **Cytométrie** : 3 analyses seront effectuées sur chaque échantillon, permettant de quantifier le picophytoplancton, les bactéries hétérotrophes et les virus.
- **Cultures** : 500 prélèvements d'eau seront mis en culture afin d'isoler de nouveaux clones, espèces, ou genres.
- **Séquencage de clones ARN 18S** (100 clones séquencés par librairie) : La mise en place d'une plate-forme génomique à Roscoff a permis de développer une activité d'acquisition de séquences d'ARN 18S à partir d'échantillons naturels. Les données obtenues servent à élaborer des sondes moléculaires spécifiques.
- **DGGE** (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) : cette technique permet d'obtenir rapidement l'image de la diversité d'un peuplement. 50 bandes par échantillon seront ensuite sélectionnées puis séquencées).
- **Sondes pour hybridation *in situ* (FISH)**. Des sondes spécifiques des principaux groupes du picoplancton (Prasinophycées, Pelagophycées, Prymnesiophycées...) sont désormais au point et seront utilisées à raison de 10 sondes FISH sur 200 échantillons collectés. En outre, des hybridations en milieu liquide commencent à être opérationnelles permettant d'envisager de réaliser une analyse rapide des échantillons par cytométrie en flux.
- **PCR quantitative**. Cette technique permet de quantifier rapidement l'abondance d'un taxon donné ou l'expression d'un gène dans un grand nombre d'échantillons. Pour l'étude de la diversité, 10 sondes seront appliquées sur 800 échantillons. Pour l'étude de l'expression génique, 10 gènes seront étudiés sur 200 échantillons.
- Diversité des communautés de zooplancton. Mesures par Zooscan et spectre de taille OPC
- Diversité des communautés de ciliés par microscopie.
- Diversité des communautés de microphytoplancton (diatomées et dinoflagellés) par microscopie

I.3 Mesures de bio-optique

I.3.1 Mesures discrètes

- Mesure du coefficient d'absorption spectrale des particules par spectrophotométrie sur filtre GF/F. Décomposition numérique et/ou chimique (méthanol) des fractions phytoplanctoniques et détritiques.
- Mesure du coefficient d'absorption spectrale de la matière organique dissoute colorée par système capillaire ultrapath à chemin optique variable (de 2 cm à 2 m) [multiple pathlength, liquid core waveguide (MPLCW)]
- Mesure du coefficient d'absorption spectrale de la matière totale (organique dissoute et particulaire) par cavité résonnante.
- Mesure de l'indicatrice de diffusion par goniodiffusiomètre

I.3.2 Mesures continues

Ces mesures seront réalisées par différents profileurs, montés ou non sur la rosette.

- Spectroradiancemètres Satlantic qui mesure les irradiances ascendantes et descendantes et les radiances ascendantes. dans le spectre visible et dans l'UV. Des instruments hyper spectraux, et à longueurs d'onde fixe (7 ou 13) seront utilisés. Ces instruments sont déployés en mode "free floating".
- 2 Attenuancemètres / absorptiomètres WetLabs permettent de mesurer l'absorption dissoute (moyennant une pré-filtration sur 0.2 µm) et particulaire à 9 longueurs d'onde. Ces deux instruments sont montés sur la rosette.
- Un retrodiffusiomètre mesurant le coefficient de diffusion arrière à un angle (117°) et à trois longueurs d'onde (470, 530 et 660nm). Cet instrument est monté sur la rosette
- Un fluorimètre qui mesure la lumière bleue (460 nm) émise par fluorescence par le CDOM (Colored Dissolved Organic Matter) lorsqu'il est excité dans l'ultraviolet (380 nm). Cet instrument est monté sur la rosette.
- Un fluorimètre *in situ* FRR (Fast Repetition Rate) qui permet de quantifier la fluorescence variable qui est une mesure de l'état fonctionnel de l'appareil photosynthétique et permet des estimations indirectes de la production primaire. Cet instrument est monté sur la rosette.
- Le Profileur Video Marin (PVM) enregistre des images d'organismes macroscopiques (>5 mm) et de particules marines (>100 µm). Il peut être monté sur une rosette ou mise en œuvre de manière indépendante.

II. Déroulement général de la mission

Le tableau 1 et la figure 1 présentent les étapes essentielles de la campagne BIOSOPE que l'on peut résumer de la façon suivante :

- La campagne est prévue entre les ports de Concepcion (Chili) et de Papeete (la distance totale parcourue est proche de 6000 milles); elle peut toutefois démarrer à Papeete.
- La durée totale demandée est de 56 jours se répartissant en 23.5 jours de transit (valorisé pour l'essentiel par des mesures en continu et des prélèvements d'aérosols), 28.1 jours de travail en station et 4.4 jours pour les opérations d'embarquement / débarquement et d'escale.
- Etant donnée la durée de la campagne et la "spécialisation" de certaines études (e.g. silice pour l'étude de l'upwelling et fer pour le panache des Marquises), une escale sera nécessaire pour relever une partie de l'équipe scientifique. L'île de Pâques est l'endroit le plus favorable (à mi-distance entre les côtes chiliennes et Tahiti).
- La période souhaitée est celle de (ou proche de) l'été austral (voir argumentaire scientifique). Cette période offre en effet le meilleur compromis entre l'oligotrophie "extrême" du Gyre sub-tropical, l'activité de l'upwelling et la manifestation la plus claire de l'effet d'île dans la zone des Marquises. Dans l'hypothèse où l'Atalante serait dans le Pacifique à compter de 2004 jusqu'au début de 2005, les dates "optimales" seraient à définir dans les "fenêtres temporelles" suivantes: Janvier - Février 2004 et **Novembre 2004 - Février 2005**. Il faut cependant noter que si la campagne KEOPS était soutenue et programmée pour janvier 2004, la campagne BIOSOPE pourrait difficilement se dérouler en même temps. Des moyens humains et matériel (e.g. conteneur chimie propre de l'INSU pour les mesures de fer) sont en effet communs aux deux projets. Enfin, il faut noter que **le trajet idéal irait du Chili à Tahiti et non l'inverse** : la problématique liée au fer est plus importante au niveau des marquises que sur l'upwelling. Au début de la campagne, les mesures de fer nécessitent un temps de rinçage des circuits analytiques et le contrôle de la propreté du matériel de prélèvement qui requierent quelques jours. Si la campagne démarrait de Tahiti, nous serions sur zone (Marquise) en moins de trois jours ce qui imposerait de démarrer les mesures sans réaliser de station d'essai.

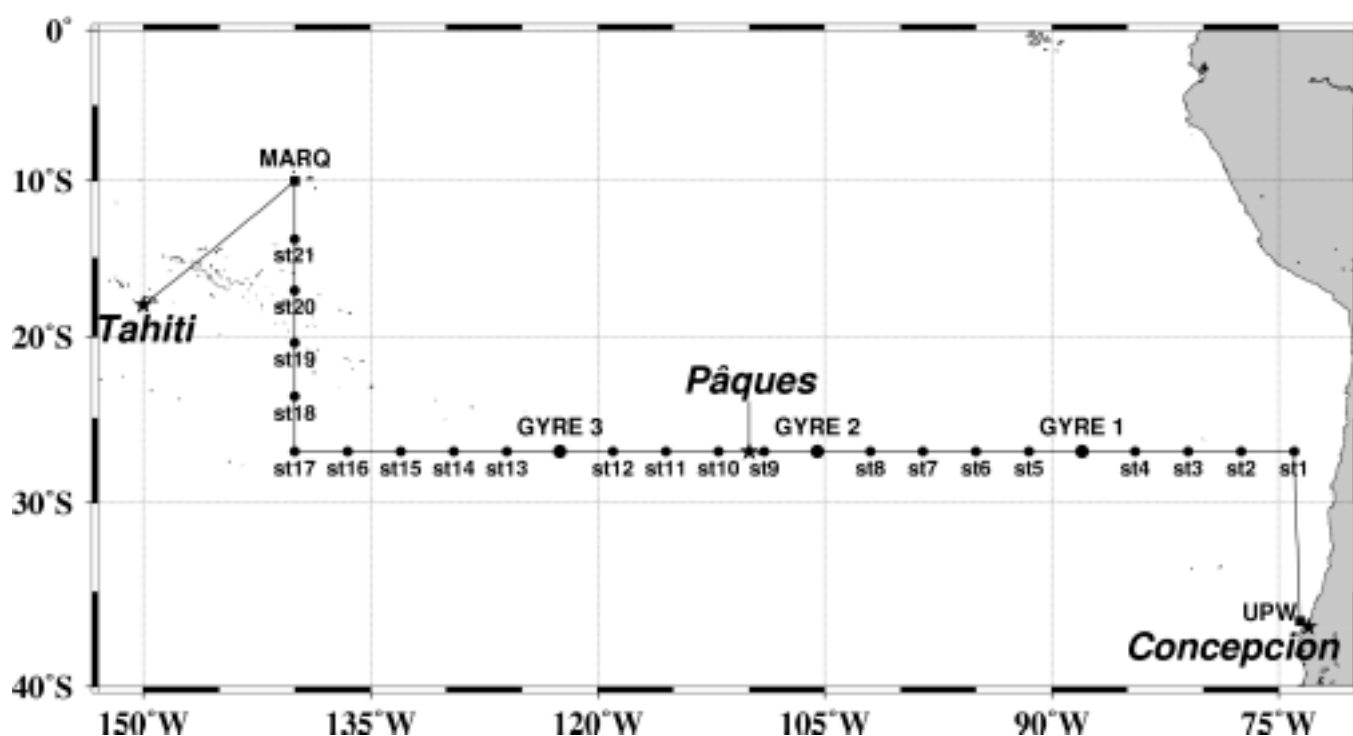


Figure 1 : Position des stations et trajets théoriques effectués durant la campagne BIOSOPE

- stations courtes (6 heures)
- stations longues en point fixe (~ 3 jours)
- étude de zones particulières (~ 6 jours)
- ★ Lieu d'embarquement / débarquement ou d'escale

Tableau 1 : Scénario de la campagne. Position des différentes stations.

Jour	Zone / Lieu	Lat (° S)	Long (° W)	Temps de transit (j)	Temps en station (j)	Autre (j)	Distance (milles)
J1	Concepcion /embarquement	36.8	73.1.	0.00	0.00	1.00	
J2	Embarq./Transit/ St essai / UPW 1	36.6	73.6	0.12	0.63	0.25	33
J3	UPW2	36.6	73.6	0.62	0.38		0
J4	UPW3	36.6	73.6	0.00	1.00		0
J5	UPW4	36.6	73.6	0.00	1.00		0
J6	UPW5	36.6	73.6	0.00	1.00		0
J7	UPW6	36.6	73.6	0.00	1.00		0
J8	UPW7 + début Transit	36.6	73.6	0.00	1.00		0
J9	Transit			1.00	0.00		0
J10	Transit			1.00	0.00		0
J11	St 1	27.0	74.0	0.75	0.25		576
J12	St 2	27.0	77.5	0.75	0.25		198
J13	St 3	27.0	81.0	0.75	0.25		198
J14	St 4	27.0	84.5	0.75	0.25		198
J15	GYRE1-1	27.0	88.0	0.00	1.00		198
J16	GYRE1-2	27.0	88.0	0.00	1.00		0
J17	GYRE1-3	27.0	88.0	0.00	1.00		0
J18	GYRE1-4 + début transit	27.0	88.0	0.75	0.25		0
J19	St 5	27.0	91.5	0.75	0.25		198
J20	St 6	27.0	95.0	0.75	0.25		198
J21	St 7	27.0	98.5	0.75	0.25		198
J22	St 8	27.0	102.0	0.75	0.25		198
J23	GYRE2-1	27.0	105.5	0.00	1.00		198
J24	GYRE2-2	27.0	105.5	0.00	1.00		0
J25	GYRE2-3	27.0	105.5	0.00	1.00		0
J26	GYRE2-4 + début transit	27.0	105.5	0.75	0.25		0
J27	St 9	27.0	109.0	0.75	0.25		198
J28	Pâques	27.0	110.0	0.21	0.25	0.54	57
J29	Pâques	27.0	110.0	0.00	0.00	1.00	0
J30	St 10	27.0	112.0	0.43	0.25	0.32	113
J31	St 11	27.0	115.5	0.75	0.25		198
J32	St 12	27.0	119.0	0.75	0.25		198
J33	GYRE3-1	27.0	122.5	0.00	1.00		198
J34	GYRE3-2	27.0	122.5	0.00	1.00		0
J35	GYRE3-3	27.0	122.5	0.00	1.00		0
J36	GYRE3-4 + début transit	27.0	122.5	0.75	0.25		0
J37	St 13	27.0	126.0	0.75	0.25		198
J38	St 14	27.0	129.5	0.75	0.25		198
J39	St 15	27.0	133.0	0.75	0.25		198
J40	St 16	27.0	136.5	0.75	0.25		198
J41	St 17	27.0	140.0	0.75	0.25		198
J42	St 18	23.7	140.0	0.75	0.25		198
J43	St 19	20.4	140.0	0.75	0.25		198
J44	St 20	17.1	140.0	0.75	0.25		198
J45	St 21	13.8	140.0	0.75	0.25		198
J46	Fin transit + MARQ1	10.0	140.0	0.11	0.89		228
J47	MARQ2	10.0	140.0	0.00	1.00		0
J48	MARQ3	10.0	140.0	0.00	1.00		0
J49	MARQ4	10.0	140.0	0.00	1.00		0
J50	MARQ5	10.0	140.0	0.00	1.00		0
J51	MARQ6	10.0	140.0	0.00	1.00		0
J52	MARQ7	10.0	140.0	0.00	1.00		0
J53	Transit			1.00	0.00		0
J54	Transit			1.00	0.00		0
J55	Transit/Papeete/débarquement	17.7	149.3	0.75	0.00	0.25	727
J56	Papeete/débarquement	17.7	149.3	0.00	0.00	1.00	0
			TOTAL	23.5	28.1	4.4	6090

III. Calendrier prévisionnel des travaux

Durant la campagne BIOSOPE, 4 grands types de travaux sont prévus (voir aussi tableau 1 et Figure 1) :

- 21 stations courtes (St1 à St 21) occupées 6 heures par jour, sur deux périodes distinctes.
- 3 stations longues en point fixe (GYRE1, GYRE2, GYRE3), chacune occupée pendant un minimum de 3 jours
- 2 études sur zone (UPW et MARQ) où des transects seront réalisées (1 station par jour) sur des structures océaniques particulières, identifiées par imagerie couleur (filament d'upwelling, panache des îles Marquises).
- Des transits valorisés entre les différentes stations.

III.1 Les stations "courtes" : de st1 à st 21.

Ces stations sont placées sur le transit longitudinal (17 stations sur 27°S) et latitudinal (5 stations sur 140°W). Ces stations sont partitionnées en sous-stations #a et #b séparées par un transit de 40 milles. Les mesures de production doivent être réalisées grâce à des incubations démarrées avant le lever du jour. Les mesures optiques doivent être réalisées autour du midi solaire lorsque le satellite (MERIS, SeaWiFS et peut-être POLDER2) est à la verticale du point considéré.

HEURE	OPERATION	REMARQUES
4h00	Arrivée en station St#a	~ 2 heures avant le lever du jour
4h00-4h30	Filet zooplancton	
4h30-5h00	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	CTD "production /nutritifs/stocks"
5h00-5h30	PVM	
5h30-6h00	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	CTD "Biologie Moléculaire & autres"
6h00	Départ vers station St#b	
10h00	Arrivée en station St#b	~ 2 heures avant le midi solaire
10-10h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	CTD "Bio-optique"
10h30-12h30	Optique profileurs <i>in situ</i>	
12h30-13h00	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	CTD "Biologie Moléculaire & autres"
13h00-13h30	PVM & pompage Fer	
13h30-14h00	Filet zooplancton	
14h00	Départ vers la station suivante #a	

Remarques :

- Par autre on entend notamment les filtrations pour l'exercice d'intercomparaison des méthodes HPLC.
- Si la version « monotube » du PVM est opérationnelle, les profils PVM seront couplés à ceux de la CTD rosette. L'heure gagnée sera utilisée pour des compléments de prélèvement ou pour la mise à l'eau de profileurs optiques.
- Aux stations 1 et 17 (et en plus des stations GYRE 1, GYRE 2 et GYRE 3), une station profonde (surface - fond) sera réalisée. Elle permettra de réaliser des mesure de référence pour un certain nombre de paramètres de base (e.g. : TCO₂, O₂, DOC, nutritifs). Il est vraisemblable que certaines opérations listées dans le tableau ci-dessous seront alors raccourcies ou annulées afin de respecter les contraintes de temps.

III.2 Les stations longues en point fixe : GYRE1, GYRE, GYRE3

Ces stations sont occupées pendant 3 jours plein. La journée est "rythmée" par deux types d'opérations:

- (1) les opération de mise à l'eau et de relevé des lignes de production (et/ou de pièges) avant le lever du soleil
- (2) la mise à l'eau de la "CTD rosette-grappe optique" toute les 3 heures environ afin de réaliser des séries temporelles permettant d'étudier la rythmicité diurne des propriétés optiques, biologiques et biogéochimiques

HEURE	OPERATION	REMARQUES
0h00-0h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	
0h30-1h00	PVM	
1h30-1h30	Filet zooplancton	
2h30-3h00	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	Pour mesures de production
3h00-4h00	Récupération mouillage production /piège	A partir du jour 2 simplement

4h00-5h00	Mise à l'eau mouillage production / piège	
5h00-6h00		1 heure de "sécurité" sur les opérations mouillage
6h00-6h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	
6h30-7h00	PVM	
9h00-9h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	Pour biologie moléculaire
9h30-10h00	PVM	
10h00-12h00	Optique profileurs <i>in situ</i>	
12h00-12h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	Pour bio-optique
12h30-14h30	Optique profileurs <i>in situ</i>	
14h30-15h00	PVM	
15h00-15h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	Pour biologie moléculaire
15h30-16h00	Filet zooplancton	
16h00-16h30	PVM	
18h00-18h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	
18h30-21h00	Pompes <i>in situ</i>	Pour mesure thorium
21h00-21h30	CTD-rosette- grappe optique 0-500 m	
21h00-22h00	PVM	

Remarques :

- Pour les stations GYRE1 et GYRE 2, dès l'arrivée sur le site, un système de profilage autonome (0-600 m) TRAMP sera mouillé pour les trois jours. Ce système possède une bouée de surface qui sera suivie durant l'occupation du site. Il sera relevé juste avant le départ du site.
- En fin de station GYRE1, GYRE 2 et GYRE 3 (et en plus des stations 1 et 17) une station profonde (surface - fond) sera réalisée.
- Si la version « monotube » du PVM est opérationnelle, les profils PVM seront couplés à ceux de la CTD rosette. Le temps gagné sera utilisé pour des compléments de prélèvement ou pour la mise à l'eau de profileurs optiques.

III.3 Les stations longues Upwelling et Marquises

Bien que s'adressant à deux zones très différentes, la stratégie d'étude sera identique : il s'agira de réaliser 3 stations permettant d'étudier les caractéristiques bio-logiques, bio-géochimiques et bio-optiques selon un gradient partant de la source (cœur de l'upwelling, zone « côtière » pour l'archipel des Marquises) vers le large. Dans les deux cas, l'imagerie satellitale (couleur de l'eau et IR) servira à localiser la zone de départ et le gradient à explorer. Des études préliminaires ont montré que le panache des Marquises a une extension de l'ordre de 300 ~ 400 km. C'est également la longueur moyenne des filaments. Les stations seront donc espacées de 55 à 70 milles (5 - 7 heures de transit). Globalement, les opérations réalisées sur ces stations seront de même type que celle menées sur le gyre (voir tableau précédent).

Les stations placées aux extrêmes des gradients étudiés seront occupées pendant deux jours complets, dans le but, notamment, de caractériser la variabilité diurne des différentes propriétés étudiées et de répliquer les mesures de production et de flux à partir des mouillages. Ces opérations de mouillage doivent débiter avant le lever du soleil. La station "intermédiaire", commencera très certainement après le lever du soleil et ne pourra donc être étudiée de la même façon. Une seule opération de relever mouillage y sera donc effectuée.

III.4 Les transit valorisés

- Des analyses en continu (température, salinité, pCO₂, N₂O, fluorescence *in vivo* de la chlorophylle *a*, fluorescence *in vivo* de la matière organique dissoute coloré, transmission à 660 nm, spectre de taille de la matière particulaire) et des mesures discrètes (cytométrie en flux, pigments) seront effectuées à partir de l'eau de surface pompée par le navire.
- Des prélèvements atmosphériques seront effectués à l'avant du navire, de même que des mesure d'épaisseur optique des aérosols.

EQUIPE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

I. Equipe demanderesse rattachement - chef de projet - chefs de missions - équipe embarquée - quels (quelles) spécialistes ? - équipe d'exploitation, à terre, des résultats

➤ **Equipe demanderesse** : BIOSOPE, opération de PROOF-France soutenue par la NASA et l'ESA.
Un avant projet de la présente demande a été évalué par le comité scientifique de PROOF-France en décembre 2002.

➤ **Chef de projet** : Hervé Claustre directeur de recherche CNRS, coordinateur de l'opération BIOSOPE

➤ **Chef de mission** : Hervé Claustre
Antoine Sciandra, directeur de recherche au CNRS

➤ **Equipe embarquée par poste scientifique** :

Le travail prévu sera organisé autour de différents poste de travail, fonctionnant généralement par quarts. Eu égard aux souhaits des différentes équipes embarquantes, le nombre total de participants potentiels (32) est actuellement plus élevé que le nombre maximum de places disponibles sur l'Atalante. Des scientifiques devront éventuellement occuper deux postes de travail. Cette organisation sera discutée lors des réunions préparatoires.

Poste de travail	Nombre
Acquisition centralisée, CTD-rosette, mouillage, pompes in situ	2
Fer / aérosols	3
Photosynthèse - fluorescence	2
Cycle azote / carbone	3
Mesures propriétés optique in situ	3
Mesures propriétés optiques discrètes	3
Cycle Phosphore	2
Cycle silice	1
Pigments HPLC et intercomparaison / UV protectants / fluorométrie	2
Comptage petites particules : HIAC & Coulter	1
Matière organique dissoute / régénération bactérienne	2
Gaz : O ₂ , CO ₂ , N ₂ O	2
Biodiversité / biologie moléculaire	4
Zooplancton / grosse particules	2
Total	32

➤ **Liste nominative des personnes ayant donné leur accord pour participer à la campagne BIOSOPE :**

Nom	Lab.	Fonction	Thématique
Antoine D.	LOV	CR CNRS	Caméra, télédétection
Babin, M.	LOV	CR CNRS	IOP, Fluorescence
Blain S.	LEMAR	MC	Fer
Bonnet S.	LOV	Thésitif	Fer, atmosphère
Bricaud, A.	LOV	DR CNRS	Bio-optique
Claustre, H.	LOV	DR CNRS	Chef Projet/pigments/biooptique
Garcia N.	LOB_M	IE2	Cycle C, N
Garczarek L.	SBR	Post doc	Biology moléculaire
Gasser, B.	AIEA	Chercheur	Flux de particules
Gorsky, G.	LOV	CR CNRS	PVM, zooscan
Goyet C.	CEFREM	Prof.	TCO2
Guigue C.	LMM	AI CNRS	Bacteriology
Guieu C.	LOV	CR CNRS	Fe, atmosphere
Guillou L.	SBR	CR CNRS	Hétérotrophes
Loisel H.	LOA	Post-doc	télédétection
Marie D.	SBR	IE CNRS	Cytométrie e flux
Miquel, J.C.	AIEA	Chercheur	Flux de particules
Morel, A.	LOV	Pr.	Optique
Moutin, T.	LOB_M	MC	Cycle phosphore
Partensky F.	SBR	DR2 CNRS	Cyanos marines
Picheral, M.	LOV	IE	PVM, zooscan
Raimbault P.	LOB_M	DR CNRS	Cycle C, N
Ras, J.	LOV	IE	Pigments,
Rimelin P.	LOB_M	IE	Cycle P, Si
Sarthou G.	LEMAR	CR CNRS	Cycle du fer
Sciandra, A.	LOV	DR CNRS	Chef mission/ Particules
Sempéré, R.	LMM	CR CNRS	DOC, UV
Tailliez, D.	LOV	IR	CTD, traitement données
Tedetti M.	LMM	Thésitif	UV, DOC
Uitz J.	LOV	Thésitif	pigments
Van Wambeke F.	LMM	CR CNRS	Prod. Bact, bioessais
Vaulot D.	SBR	DR CNRS	Picoplancton
Falkowski P.	Rudgers	Professeur	Photosynthèse et biogéochimie
Farias, L	Unviv. Concep.	Professeur associé	CO ₂ et N ₂ O
Hooker, S.	NASA	Chercheur	Cal/Val SeaWiFS
Lewis, M.	Dalahousie	Professeur	Optique et biogéochimie
Repeta D.	WHOI	Chercheur	Chimie du CDOM
Stramski D	Scripps	Chercheur	optique
Twardowski, M.	Wetlabs	Chercheur	optique
Ulloa, O	Unviv. Concep.	Professeur associé	Production primaire et biogéochimie

Les personnes citées ci-dessus sont majoritairement statutaires. Néanmoins, il est évident qu'un certain nombre d'étudiants (pour les quels des demandes de bourses seront effectuées pour les rentrées 2003 et 2004) seront invités à participer à cette campagne.

Des personnes interviendront à terre, notamment dans le cadre des mesures qui seront effectuées au retour de la mission. Ces personnes travaillent dans les laboratoires mentionnés dans le tableau précédent ainsi qu'au LISA qui assurera l'analyse des échantillons atmosphériques collectés.

Le support satellitaire (couleur de l'océan, AVHRR) de cette campagne sera assuré grâce à des intervenants à terre du LOV Villefranche et de la NASA.

II. Collaborations prévues (à ne mentionner que si l'accord est acquis) - parts respectives des participations nationales ou internationales à terre et en mer. Y a-t-il un protocole ?

Des collaborations avec des chercheurs Chiliens de l'université de Concepcion sont en cours de développement. Elles incluent la participation de deux chercheurs à la campagne BIOSOPE et la possibilité pour des étudiants chiliens de réaliser leur doctorat sur des thématiques de BIOSOPE dans des laboratoires français.

Des collaborations avec plusieurs équipes Nord-Américaine sont programmées (les chercheurs ont déjà donné leur accord). En outre, et depuis la dernière évaluation positive de BIOSOPE par le comité scientifique PROOF, des chercheurs Nord américains impliqués dans la campagne (Dr. Lewis et Dr. Falkowski,) projettent de soumettre avec D. Karl (responsable de la station HOTS au large d'Hawaï) un proposal pour mener une étude comparative des gyres tropicaux du Pacifique Sud (BIOSOPE) et Nord (HOTS).

Voir également le document 6 pour d'autres précisions relatives aux collaborations internationales.

III. Présentation des références scientifiques récentes (1999-2002) de l'équipe demanderesse et, en particulier, état du traitement des données, de l'interprétation et des publications correspondantes de la dernière campagne menée par les équipes participantes.

Seuls les articles parus dans des revues à comité de lecture sont référencés ci-après. Les deux dernières campagnes auxquelles un certain nombre de scientifiques de l'opération BIOSOPE ont participé sont les campagnes PROSOPE (septembre 1999) et POMME (2001). Dans la liste qui suit, les publications actuellement issues de la campagne PROSOPE (15) sont identifiées par une astérisque rouge (une dizaine d'articles relatifs à cette campagne sont également en cours de finition).

- Aiken, J., N. Rees, **S. Hooker**, P. Holligan, A. Bale, D. Robins, G. Moore, R. Harris, and D. Pilgrim (2000). The Atlantic Meridional Transect: Overview and Synthesis of Data. *Prog. Oceanogr.*, 45, 257-312.
- Alleman, L.Y., Hamelin, B., Véron, A.J., **Miquel, J.-C.** and S. Heussner (2000). Lead sources and transfer in the coastal Mediterranean: evidence from stable lead isotopes in marine particles. *Deep Sea Research II* 47, 2257-2279.
- Antoine, D.** and **A. Morel** (1999). A multiple scattering algorithm for atmospheric correction of remotely-sensed ocean colour (MERIS instrument) : principle and implementation for atmospheres carrying various aerosols including absorbing ones, *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1875-1916.
- Arin, L., Berdalet, E., Marrasé, C., Estrada, M., Guixa-Boixereu, and **J.R. Dolan** (1999). Particulate DNA and protein relative to microorganism biomass and detritus in the Catalano-Balearic Sea (NW Mediterranean) during stratification. *Journal of Plankton Research* 21:1299-1316.
- Asensi A, Ar Gall E, **Marie D**, Billot C, Dion P and B. Kloareg (2001). Clonal propagation of *Laminaria digitata* (Phaeophyceae) sporophytes through a diploid cell-filament suspension. *Journal of Phycology* 37, 411-417
- Ayo, B., Unanue, M., Azua, I., **Gorsky, G.**, Turley, C. and J. Iriberri (2001). Kinetics of glucose and amino acid uptake by attached and free-living marine bacteria in oligotrophic waters. *Marine Biology*, 138, 1071-1076.
- Babin, M., A. Morel**, V. Fournier-Sicre, F. Fell, and **D. Stramski**. (2003). Light scattering properties of marine particles in coastal and open ocean waters as related to the particle mass concentration. *Limnology and Oceanography*, in press.
- Babin, M.**, and **D. Stramski**. (2002). Light absorption by aquatic particles in the near-infrared spectral region. *Limnology and Oceanography*, 47, 911-915.
- Babin, M., Stramski, D.** Ferrari, G.M., **Claustre, H., Bricaud, A.**, Obolensky, G., and N. Hoepffner (2002). Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, non-algal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe. *Journal of Geophysical Research*, in press.
- Barlow, R.G., J. Aiken, P.M. Holligan, D.G. Cummings, S. Maritorena, and **S. Hooker**. 2002. Phytoplankton pigment and absorption characteristics along meridional transects in the Atlantic Ocean. *Deep Sea Res. I*, 47, 637-660.
- Bayona, J.M., Monjonell, A., **Miquel, J.-C.**, Fowler, S.W. and J. Albaiges (2003). Biogeochemical characterization of particulate organic matter from a coastal hydrothermal vent zone in the Aegean Sea. *Organic Geochemistry*, in press.
- Behrenfeld, M.J., E. Maranon, D.A. Siegel, and **S.B. Hooker** (2002). A photoacclimation and nutrient based model of light-saturated photosynthesis for quantifying oceanic primary production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 228, 103-117.
- *Belviso, S., **Claustre, H.** et J.C. Marty (2001). Evaluation of the utility of chemo-taxonomic pigments as a surrogate for particulate DMSP, *Limnology and Oceanography*, 46, 989-995.
- *Belviso S., **Sciandra, A.** and C. Copin-Montégut (2003) : Mesoscale features of surface water DMSP and DMS concentrations in the Atlantic Ocean off Morocco and in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research I*, in press.
- Bhaya D., **Dufresne A., Vault D.**, and Grossman A.R. (2002). Analysis of the *hli* gene family in marine and freshwater cyanobacteria. *FEMS Microbiology Letters* 215, 209-219
- Berthon, J-F., G. Zibordi, and **S.B. Hooker**. (2000). Marine Optical Measurements of a "Mucilage" Event in the Northern Adriatic Sea. *Limnol. Oceanogr.*, 45, 322-327.
- *Béthoux, J.P., Durieux de Madron, X., Nyffeler, F and **D. Tailliez** (2001). Deep water in the western Mediterranean: peculiar 1999 and 2000 characteristics, shelf formation hypothesis, variability since 1970 and geochemical inferences. *Journal of Marine Systems* 33/34, 117-131.
- Betteral, Y., **Dolan, J.R.**, Hornak, M., Lemée, R., Masin, K., Pedrotti, M.-L., Rochelle-Newall, E., Simek, K., Sime-Ngando, T. (2002). Hot, cold and missing links in a planktonic microbial community. *FEMS Microbiology Ecology*, 42, 451-462.
- Bhaya D., **Vault D.**, Amin P, Takahashi A and A.R. Grossman (2000). Isolation of regulated genes of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 by differential display. *Journal of Bacteriology* 182, 5692-5699.
- Biegala I, Kennaway G, Alverca E, Lennon J-F, **Vault D** and Simon N. (2002). Identification of bacteria associated with dinoflagellates (*Alexandrium* spp.) using TSA-FISH (Tyramide signal amplification - fluorescent in situ hybridization) and confocal microscopy. *Journal of Phycology* 3, 404-411
- Bibby T.S., Nield J., **Partensky F.** and J. Barber (2001). Cyanobacteria: antenna ring around photosystem I. *Nature* 413, 590.
- Blain S.**, Tréguer P. and M. Rodier (1999). Stocks and fluxes of biogenic silica in the western oligotrophic equatorial Pacific. *Journal of Geophysical research*, 104 C2, 3357-3367.
- Blain S.**, P. Tréguer, S. Belviso, E. Bucciarelli, M. Denis, S. Desabre, M. Fiala, J. Le Fèvre., V. Martin Jézéquel, J. C. Marty, P. Mayzaud, S. Razouls. (2001) Biogeochemical study of an island mass effect in the context of the iron hypothesis in the Southern Ocean. *Deep Sea Research I*, 48, 163-187.
- Blain S.**, Sedwick, P. N., Griffiths, F. B., Quéguiner, B., Bucciarelli, E., Fiala, M., Pondaven, P. and P. Tréguer Quantification of algal iron requirements in the Subantarctic Southern Ocean. *Deep Sea Research II*, sous presse.

- Boisson, F., **Miquel, J.-C.**, Cotret, O. and S.W. Fowler (2001). ^{210}Po and ^{210}Pb cycling in a hydrothermal vent zone in the coastal Aegean Sea. *The Science of the Total Environment* 281, 111-119.
- Bonnet, D. and **F. Carlotti** (2001). Laboratory study on development and egg production of *Centropages typicus* Krøyer Copepoda Calanoida fed by different food types. *Marine Ecology progress Series*, in press
- Bricaud, A.**, Allali, K., **Morel, A.**, Marie, D., Veldhuis, M.J.W., Partensky, F., and D. Vault (1999). Chlorophyll-specific absorption coefficients and associated efficiency factors for *Prochlorococcus* sp. : kinetics of photoacclimation. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 21-32.
- Bricaud, A.**, **Morel, A.**, and V. Barale (1999). MERIS potential for ocean colour studies in the open ocean. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 1757-1769.
- ***Bricaud, A.**, E. Bosc and D. Antoine (2001). Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean Basin : intercomparison of data from various satellite sensors, and implications for primary production estimates. *Remote Sensing of Environment*, 81, 163-178.
- Bricaud, A.**, Roesler, C., Parslow, J. and J. Ishizaka (2002). Bio-optical studies during the JGOFS-equatorial Pacific program : A contribution to the knowledge of the equatorial system. *Deep-Sea Research II*, 49, 2583-2599.
- Brussaard C.P.D., **Marie D.** and Bratbak (2000). Flow cytometric detection of viruses. *Journal of Virological Methods*, 85, 175-182
- Brussaard C.P.D., Thyraug R., **Marie D.** and G. Bratbak (1999). Flow cytometric analyses of virus infection in two marine phytoplankton species, *Micromonas pusilla* (Prasinophyceae) and *Phaeocystis pouchetii* (Prymnesiophyceae). *Journal of Phycology* 35, 941-948
- Brussaard CPD, **Marie D.**, Thyraug R, and G. Bratbak (2001). Flow cytometric analysis of phytoplankton viability following viral infection. *Aquatic Microbial Ecology*, in press
- Bruyant, F., **Babin, M.**, **Sciandra, A.**, **Marie, D.**, Genty, B., **Claustre, H.**, Blanchot, J., **Bricaud, A.**, Rippka, R., Boulben, S. and **F. Partensky** (2001). An axenic turbidostat of *Prochlorococcus* strain PCC 9511 with a simulator of natural light regimes. *Journal of Applied Phycology*, 13, 135-142.
- Bucciarelli, E., **S. Blain** and P. Tréguer (2001) Distributions of iron and manganese in the wake of the Kerguelen islands, southern ocean. *Marine Chemistry*, 73, 21-36.
- Cariou, J.-B., **Dolan, J. R.** and S. Dallot (1999). A preliminary study of tintinnid diversity in the N. W. Mediterranean. *Journal of Plankton Research*, 21, 1065-1075.
- Christaki U, Giannakourou A, **Van Wambeke F** and G. Gregori (2001). Nanoflagellate predation on auto- and heterotrophic picoplankton in the oligotrophic Mediterranean Sea. *Journal of Plankton Research*, 23, 1297-1310.
- Christaki, U., Jaquet, S., **Dolan, J. R.**, **Vault, D.**, Rassoulzadegan, F. 1999. Growth and grazing on *Prochlorococcus* and *Synechococcus* by two marine ciliates. *Limnology and Oceanography*, 44, 52-61.
- Christaki, U., **Van Wambeke, F.** and **J.R. Dolan** (1999). Nanoflagellates (mixotrophs, heterotrophs autotrophs) in the oligotrophic eastern Mediterranean: standing stocks, bacterivory and relationships with bacterial production. *Marine Ecology Progress Series*, 181, 297-307.
- Ciotti, A., Cullen, J.J., and **M.R. Lewis** (1999). A semi-analytical model of the influence of phytoplankton community structure on the relationship between light attenuation and ocean color. *Journal of Geophysical Research*, 104: 1559-1578.
- Ciotti, A.M., Cullen J.J., and **M.R. Lewis** (2002). Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. *Limnology and Oceanography* 47: 404-417.
- Claustre, H.**, **Bricaud, A.**, **Babin, M.**, Bruyant, F., Guillou, L., Le Gall, F, and **F. Partensky** (2002). Diel variations in *Prochlorococcus* optical properties. *Limnology and Oceanography*, 47, 1637-1647.
- Claustre, H.**, Fell, F., Oubelkheir, K., Prieur, L. Sciandra, A., Gentili, B. and M. Babin (2000). Continuous monitoring of surface optical properties across a geostrophic front: biogeochemical inferences. *Limnology and Oceanography*, 45, 309-321.
- Claustre, H.**, Morel, A., Babin, M., Cailliau, C., Marie, D., Marty, J.-C., and D. Vault (1999). Variability in particle attenuation and stimulated fluorescence in the tropical and equatorial Pacific : scales, patterns and some biogeochemical implications. *Journal of Geophysical Research*, 104, 3401-3422.
- ***Claustre, H.**, **Morel, A.**, **Hooker, S.B.**, **Babin, M.**, **Antoine, D.**, Oubelkheir, K., **Bricaud, A.**, Leblanc, K., **Quéguiner, B.** and S. Maritorena (2002). Is desert dust making oligotrophic waters greener? *Geophysical Research Letters*, 29, 10, 10.1029/2001GL014056.
- ***Claustre, H.**, **Hooker, S.B.**, Van Heukelem, Berthon, J.-F., Barlow, R. **Ras, J.**, Sessions, H., Targa, C., Thomas, C.S., van der Linde, D. et J.-C. Marty (2003). An intercomparison of HPLC phytoplankton methods using in situ samples: Application to remote sensing and database activities. *Marine Chemistry*, submitted.
- Coatanoan C., **C. Goyet**, N. Gruber, C. L. Sabine, and M. Warner (2001). Comparison of the two approaches to quantify anthropogenic CO₂ in the ocean: Results from the northern Indian Ocean. *Global Biogeochemical Cycle*, vol.15, No.1, 11-25.
- Collos, J. Y., F. Mornet, **A. Sciandra**, N. Waser, A. Larson, and P. J. Harrison. 1999. An optical method for the rapid measurement of micromolar concentrations of nitrate in marine phytoplankton cultures. *J. Applied Phycol.* 11: 189-194
- Cotté M.H., **Guieu C.**, Thomas A.J. and J.-M. Martin (2000). Sources of Cd, Cu, Ni and Zn in Portuguese coastal waters, *Marine Chemistry*, 71, 199-214
- Dafner, E., **Sempéré, R.** and H. Bryden (2001). Total organic carbon distribution through the Strait of Gibraltar in September 1997. *Marine Chemistry*, 73 : 233-252.
- Damiens E, Baratte B, **Marie D.**, Eisenbrand G and L. Meijer (2001). Anti-mitotic properties of indirubin-3'-monoxime, a CDK/GSK-3 inhibitor: induction of endoreplication following prophase arrest. *Oncogene* 20, 3786-3797 .
- Dando, P.R., Aliani, S., Arab, H., Bianchi, C.N., Brehmer, M., Cocito, S., Fowler, S.W., Gundersen, J., Hooper, L.E., Kölbl, R., Kuever, J., Linke, P., Makropoulos, K.C., Meloni, R., **Miquel, J.-C.**, Morri, C., Müller, S., Robinson, C., Schlesner, H., Sievert, S., Stöhr, R., Stüben, D., Thomm, M., Varnavas, S.P. and W. Ziebis (2000). Hydrothermal studies in the Aegean Sea. *Physics and Chemistry of the Earth (B)* 25(1), 1-8.
- Diaz F. and P. **Raimbault** (2000). Nitrogen regeneration and DON release during ^{15}N experiments during spring in a northwestern Mediterranean coastal zone (Gulf of Lions): implications on the estimations of *f* ratio and new production. *Marine Ecology Progress Series*, 197, 53-66.
- Diaz F., **Raimbault P.** and P. Conan (2000). Carbon and nitrogen utilization by phytoplankton during spring in a Mediterranean coastal zone (Gulf of Lions): evidence of small-scale variability. *Cont. shelf. Res.*, 20(9) : 975-996
- Diaz F., **Raimbault P.**, **Garcia N.** and **T. Moutin** (2001). Early phosphorus limitation during spring in the gulf of Lions. *Marine Ecology Progress Series*, 211, 51-62
- Dolan, J. R.** and K. Simek (1999). Diel periodicity in *Synechococcus* and grazing by heterotrophic nanoflagellates: analysis of food vacuole contents. *Limnology and Oceanography*, 44, 1565-1570.
- Dolan, J. R.**, **Claustre, H.** and F. Vidussi (1999). Planktonic ciliates in the Mediterranean Sea: longitudinal trends. *Deep-Sea Research I*, 46, 2025-2039.
- ***Dolan, J.R.**, **Claustre, H.**, **Carlotti, F.**, Plounevez, S. and **T. Moutin** (2002). Microzooplankton (Tintinnid Ciliate) diversity: Relationships with resources, competitors and predators from the Atlantic Coast of Morocco to the Eastern Mediterranean. *Deep Sea Research I*, 49, 1217-1232
- Dolan, J.R.** (2000). Tintinnid ciliate diversity in the Mediterranean Sea: longitudinal patterns related to water column structure in late spring-early summer. *Aquatic Microbial Ecology*, 22:69-78.
- Dolan, J.R.** and C.L. Gallegos (2001). Estuarine diversity of tintinnids (planktonic ciliates). *Journal of Plankton Research*, 23, 1009-1027.
- Dolan, J.R.** and M.T. Pérez (2000). Costs and benefits of mixotrophy: the case of marine oligotrichs. *Freshwater Biology*, 45: 227-238.
- Dolan, J.R.**, Gallegos, C.L. and A. Moigis, (2000). Dilution effects on microzooplankton in dilution grazing experiments. *Marine Ecology Progress Series*, 200:127-139.
- Dolan, J.R.**, Sall, N., Metcalfe, A. and **B. Gasser** (2003). The effects of turbulence on the feeding and growth of a marine oligotrich ciliate. *Aquatic Microbial Ecology*, in press.
- Dufour P., Andreoufouet S., Charpy L, and **N. Garcia** (2001). Down regulation of phytoplankton by nutrients in atoll lagoons: morphology does matter. *Limnology and Oceanography*, sous presse.
- Dufour P., Charpy L., Berland B., Bonnet S., **Garcia N.** (1999) Phytoplankton nutrient control in oceanic water of the Tuamotu Archipelago. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*
- Dunne J., J. W. Murray, A. Aufdenkampe, **S. Blain** and M. Rodier. (1999) Silicon-nitrogen coupling in the equatorial Pacific upwelling. *Global biogeochemical cycles*, 13(3), 715.
- El Alaoui S., Diez J., Humanes L., Toribio F., **Partensky F.** and J.M. García-Fernández (2001). *In vivo* regulation of glutamine synthetase activity in the marine cyanobacterium *Prochlorococcus* PCC 9511 (Oxyphotobacteria). *Applied and Environmental Microbiology* 67, 2202-2207
- Elbaz-Poulichet F., **Guieu C.** and N. Morley (2001). A reassessment of trace metal budgets in the Western Mediterranean Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 42, 623-627.

- Garczarek L., Hess W.R., Holtzendorff J., van der Staay G.W.M. and **F. Partensky** (2000). Multiplication of antenna genes as a major adaptation to low light in a marine prokaryote. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 97, 4098-4101
- Garczarek L., **Partensky F.**, Holtzendorff J., **Babin M.**, Mary I., Thomas J.-C. and W.R. Hess W.R (2001). Differential expression of antenna and core genes in *Prochlorococcus* PCC 9511 (Oxyphotobacteria) grown under light-dark cycles. *Environmental Microbiology* 3, 168-175
- Garczarek L., van der Staay G.W.M, le Gall F., Hess W.R. and **F. Partensky** (2001). Expression and phylogeny of the multiple antenna genes of the low-light adapted strain *Prochlorococcus marinus* SS120 (Oxyphotobacteria). *Plant Molecular Biology* 46, 683-693
- Garczarek L., **Partensky F.**, Irlbacher, H., Holtzendorff J., **Babin, M.**, Mary, I., Thomas, J.-C., and W. R. Hess (2001) Differential expression of antenna and core genes in *Prochlorococcus* PCC 9511 (Oxyphotobacteria) grown under a modulated light-dark cycle. *Environmental Microbiology*, 3, 168-175.
- Garnier J-M and **C. Guieu** (2003). Release of Cadmium in estuaries: contribution of physical and chemical processes as determined by an in vitro approach, *Marine Environmental Research*, 55(1), 5-25.
- Gaudy R., Youssara F., Diaz F., and **P. Raimbault** (2003). Biomass, metabolism and nutrition of zooplankton in the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, N° Sp Chantier Golfe du Lion, sous presse.
- Gitai Y., Sharp J, **Marie D.**, Häse C. Genin A. (2003). In situ feeding and element removal in the coral-reef sponge *Theonella swinhoei*: bulk DOC is the major source for carbon. *Limnology and Oceanography* 48, 141-149
- Gomez, F., **Gorsky, G.**, Striby, L., Vargas, J. M. Gonzalez, N., Picheral, M., Garcia-Lafuente J., Varela, M. and M. Goutx (2001). Small-scale temporal variations in biogeochemical features in the Strait of Gibraltar, Mediterranean side - the role of NACW and the interface oscillation. *Journal of Marine Systems*, 30, 207-220.
- *Gómez, F. and **H. Claustre** (2002). The genus *Asterodinium* (Dinophyceae) as a possible biological indicator of warming in the western Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 82, 4195/1-2
- Gorsky G.**, Chrétiennot-Dinet MJ., Blanchot J. and I. Palazzoli (1999). Pico- and nanoplankton aggregation by appendicularians : fecal pellet contents of *Megalocercus huxleyi* in the equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 104, 3381-3390.
- Gorsky G.**, **Picheral, M.** and L. Stemmann (2000). Use of the Underwater Video Profiler for the Study of Aggregate Dynamics in the North Mediterranean. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 50, 121-128.
- Gorsky, G.**, Flood, P.R., Youngbluth, M.J., **Picheral, M.** and J.-M. Grisoni (2000). Zooplankton Distribution in Four Western Norwegian Fjords. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 50, 135-141.
- ***Gorsky, G.**, Prieur, L., Taupier-Letage, I., Stemmann L. and **M. Picheral** (2001). Large Particulate Matter (LPM) in the Western Mediterranean. I - LPM distribution related to hydrodynamics. *Journal of Marine System* 33/34, 289-311.
- Goyet C.**, C. Coatanoan, G. Eischeid, T. Amaoka, K. Okuda, R. Healy et S. Tsunogai (1999). Spatial variation of total CO₂ and total alkalinity in the northern Indian Ocean: A novel approach for the quantification of anthropogenic CO₂ in seawater. *Journal of Marine Research*, 57, 135-163.
- Grout, H., **Sempéré, R.**, Thill, A., Calafat, A., Prieur, L. and M. Canals, 2001. Morphological and chemical variability of colloids in the Almeria-Oran Front in the eastern Alboran Sea (SW Mediterranean Sea) : evidence by means of analytical electron microscopy. *Limnology and Oceanography*. 46 : 1347-1357.
- Guieu C.**, Loye-Pilot M-D, Ridame C. and C. Thomas (2002). Chemical characterization of the Saharan dust end-member; some biological implications for the western Mediterranean, *Journal of Geophysical Research*, in press.
- Guieu, C.** and J.M. Martin (2002). Level and fate of metals in the Danube delta plume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, in press.
- ***Guieu, C.**, Bozec Y., **Blain, S.**, Ridame, C., Sarthou, G. and Leblond, N (2002). Impact of high Saharan dust inputs on dissolved iron concentrations in the Mediterranean Sea, *Geophysical Research Letters*, 10.1029/2001GL014454
- Guillou L., Chrétiennot-Dinet M-J, Moon-van der Staay S.Y., Boulben S. and **D. Vault** (1999). *Symbiomonas scintillans* gen. and sp. nov. and *Picophagus flagellatus* gen et sp. nov. (Heterokonta): two new heterotrophic flagellates with picoplanktonic size. *Protist* 150: 383-398
- Guillou L., Jacquet S., Chrétiennot-Dinet M-J and **D. Vault** (2001). Grazing impact of two picoplanktonic heterotrophic flagellates on *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Aquatic Microbial Ecology* 26: 201-207
- Guillou, L., Chrétiennot-Dinet, M.-J., Medlin, L., **Claustre, H.**, de Goër, S. and **D. Vault** (1999). *Bolidomonas*, a new genus with two species belonging to a new algal class : the bolidophyceae. *Journal of Phycology*, 35, 368-381.
- Guillou, L., Moon-Van der Staay, S. Y., **Claustre, H.**, Partensky, F. and D. Vault (1999). Diversity and abundance of Bolidophyceae (Heterokonta) in oceanic waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 4528-4536.
- Halsband, C., Nival, S., **Carlotti, F.** and H.J. Hirche (2001). Seasonal cycle of egg production of two co-dominant copepods *Centropages typicus* and *Temora stylifera* in the north-western Mediterranean Sea. *Journal of Plankton Research*, 23, 597-609
- Halsband-Lenk C., Hirche H.J. and **F. Carlotti** (2002). Temperature effects on reproduction and development of congener copepod populations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, in press.
- Havskum, H., Thingstad, T.F., Scharek, R., Peters, C., Berdalet, E., Sala, M., Alcazar, M., Bangsholt J.C., Zweifel, U.-L., Hagström, A., Perez, M., **Dolan, J.** (2003). Silicate and labile DOC interfere in structuring the microbial food web via algal-bacterial competition for mineral nutrients. Results of a mesocosm experiment. *Limnology & Oceanography*, 48, 129-140.
- Heath, M., **Carlotti, F.**, de Young, B., Fiksen, O. and F. Werner (2001). Secondary Production in the Oceans and the Response to Climate Change. *Global Change Newsletter*, 47, 9-12.
- Hess W.R., Steglich C., Lichtlé C. and **F. Partensky** (1999). Phycoerythrins of the oxyphotobacterium *Prochlorococcus marinus* are associated to the thylakoid membrane and are encoded by a single large gene cluster. *Plant Molecular Biology* 40, 507-521
- Holtzendorff J., **D. Marie**, A. Rivlin, A. F. Post, **F. Partensky**, and W. R. Hess. (2002). Expression of *ftsZ* in natural *Prochlorococcus* populations of the Red Sea, analyzed by real-time RT-PCR. *Environmental Microbiology*. 4, 644-653.
- Holtzendorff J., **Partensky F.**, Jacquet S., Bruyant F., Marie D., Garczarek L., **Mary I.**, **Vault D.**, Zhang C.C. and W.R. Hess (2001). Diel expression of cell cycle-related genes in synchronized cultures of *Prochlorococcus* sp. strain PCC 9511. *Journal of Bacteriology*, 183, 915-920.
- Holtzendorff, J., **Partensky, F.**, Jaquet, S., Bruyant, F., Marie, D., Garczarek, L., Mary, I., Vault, D. and W.R. Hess (2001). Diel expression of cell cycle-related genes in synchronized culture of *Prochlorococcus* sp strain PC 9511. *Journal of Bacteriology*, 183, 915-920.
- ***Hooker, S.B.** and **A. Morel** (2002). Platform and environmental effects on above- and in-water determinations of water-leaving radiances. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20, 187-205.
- Hooker, S.B.**, and C.R. McClain (2000). The Calibration and Validation of SeaWiFS Data. *Prog. Oceanogr.*, 45, 427-465.
- Hooker, S.B.**, N.W. Rees and J. Aiken (2000). An Objective Methodology for Identifying Oceanic Provinces. *Prog. Oceanogr.*, 45, 313-338.
- Hooker, S.B.**, and S. Maritorena (2000). An Evaluation of Oceanographic Radiometers and Deployment Methodologies. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 17, 811-830.
- Hooker, S.B.**, G. Lazin, G. Zibordi, and S. McLean. 2002. An Evaluation of Above- and In-Water Methods for Determining Water-Leaving Radiances. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 19, 486-515.
- Hutchins D.A., Boyd, P.W., Crossley, A.C., Ditullio, G.R., Griffiths, F.B., **Quéguiner, B.**, Sedwick, P.N. and T.W. Trull (2002). Limitation of Subantarctic phytoplankton growth by iron and silicic acid availability. *Journal of Geophysical Research* (sous presse).
- Jacquet S., Havskum H., T.F. Thingstad, **D. Vault**. (2002). Effects of inorganic and organic nutrient addition on a coastal microbial community (Isefjord, Denmark). *Marine Ecology-Progress Series* 228: 3-14.
- Jacquet S., L. Prieur, C. Avois-Jacquet, J.-F. Lennon and **D. Vault**. (2002). Short-time-scale variability of picophytoplankton abundance and cellular parameters in surface waters of the Alboran Sea (W Mediterranean Sea). *Journal of Plankton Research* 24:635-651.
- Jacquet S., **Partensky F.**, Lennon J.-F., **Vault D.** (2001). Diel patterns of growth and division in marine picoplankton in culture. *Journal of Phycology* 37, 357-369
- Jacquet S., Partensky F., Marie D., Casotti R. and D. Vault (2001). Cell cycle regulation by light in *Prochlorococcus*. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 782-790.

- Kortzinger A., L. Mintrop, D.W.R. Wallace, K.M. Johnson, C. Neill, B. Tilbrook, P. Towler, H.Y. Inoue, M. Ishii, G. Shaffer, R.F. Torres Saavedra, E. Ohtaki, E. Yamashita, A. Poisson, C. Brunet, B. Schauer, **C. Goyet**, and G. Eischeid (2000). The international at-sea intercomparison of fCO₂ systems during the R/V Meteor cruise 36/1 in the North Atlantic Ocean. *Marine Chemistry* 72, 171-192.
- Laloui W., Palinska K.A., Rippka R., **Partensky F.**, Tandeau de Marsac M., Herdman M., and Iteman I. 2001. Genotyping of axenic and non-axenic isolates of the genus *Prochlorococcus* and the "OMF-*Synechococcus* clade" by size, sequence analyses or RFLP of the Internal Transcribed Spacer (ITS) of the ribosomal operon. *Microbiology*, 148, 453-4654.
- Lamb M. F., C. L. Sabine, R. A. Feely, R. Wanninkhof, R. M. Key, G.C. Johnson, F. J. Millero, K. Lee, T.-H. Peng, A. Kozyr, J. L. Bullister, D. Greely, R. H. Byrne, D. W. Chipman, A. G. Dickson, **C. Goyet**, P. R. Guenther, M. Ishii, K. M. Johnson, C. D. Keeling, T. Ono, K. Shitashima, B. Tilbrook, T. Takahashi, D. W. R. Wallace, Y. W. Watanabe, C. Winn, C. S. Wong (2002). Consistency and syntheses of Pacific Ocean CO₂ survey data. *Deep-Sea Research II*, 21-58
- Lampert L., **Quéguiner, B.**, Labasque, T., Pichon, A. and N. Lebreton (2002). Spatial variability of phytoplankton composition and biomass on the eastern continental shelf of the Bay of Biscay (north-east Atlantic Ocean). Evidence for a spring bloom of *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae) in April 1998. *Continental Shelf Research*, in press.
- Leblanc K., **Quéguiner, B.**, Fiala, M., **Blain, S.** and J. Morvan (2002). Biogenic silica distribution and production rate measurements using the ³²Si method in the Indian sector of the Subantarctic region of the Southern Ocean in summer (January-February 1999). *Deep-Sea Research II*, sous presse.
- Le Floch, E., G. Malara, and **A. Sciandra** (2003) An automatic device for in vivo absorption spectra acquisition in phytoplanktonic cultures: application to the study of photoadaptation to light and nutrient variations. *J. Applied Phycol*, sous presse.
- Lindell, D. Erdner, **D. Marie**, O. Prásil, M. Koblížek, F. Le Gall, R. Rippka, **F. Partensky**, D. J. Scanlan, and A. F. Post. (2002). The nitrogen stress response of *Prochlorococcus* strain PCC 9511 (Oxyphotobacteria) involves contrasting regulation of *ntcA* and *amt1*. *Journal of Phycology* 38, 1113-1124
- Liu H.B., Landry M., Vault D. and L. Campbell (1999). *Prochlorococcus* growth rates in the central equatorial Pacific: an application of the f_{max} approach. *Journal of Geophysical Research*, 104, 3391-3399.
- Lee, M., and **M.R. Lewis**. (2003) A new method for the measurement of the optical volume scattering function in the upper ocean. *J. Atmos. Oceanic Tech.*, in press.
- Lemée R., Rochelle-Newall E., **Van Wambeke F.**, Pizay M-D., Rinaldi P. and J-P. Gattuso (2002). Seasonal variation of bacterial production, respiration and growth efficiency in the open NW Mediterranean Sea. *Aquatic Microbial Ecology*, 29,227-237.
- Lewis, M.R.**, and S.D. McLean. (1999). Optical observations for operational oceanography. *Backscatter* 10: 22-25
- Lewis, M.R.** (2002). Variability of plankton and plankton processes on the mesoscale. In, *Phytoplankton Productivity: Carbon Assimilation in Marine and Freshwater Ecosystems*. [P. J. le B. Williams, D. N. Thomas and C. S. Reynolds (eds.)]. Blackwell, London, 141-156.
- Loisel, H.**, and **D. Stramski**. (2000). Estimation of the inherent optical properties of natural waters from irradiance attenuation coefficient and reflectance in the presence of Raman scattering. *Applied Optics*. 39: 3001-3011
- Loisel, H.** and **A. Morel** (2001). Non-isotropy of the upward-radiance field in typical coastal case 2 waters. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 275-295. (Get PDF Reprint)
- Loisel, H.**, **Stramski, D.**, Mitchell, B.G., Fell, F., Fournier-Sicre, V., Lemasle, B. and **M. Babin** (2001) Comparison of the ocean inherent optical properties obtained from measurements and inverse modeling. *Applied Optics*, 36, 769-777.
- ***Loisel H.**, E. Bosc **D. Stramski** K. Oubelkheir and P.-Y. Deschamps, 2001. Seasonal variability of the backscattering coefficient in the Mediterranean Sea based on Satellite SeaWiFS imagery. *Geophysical Research Letters*, 28, 4203-4206.
- Loisel, H.**, J.M. Nicolas, P.Y.Deschamps, and R. Frouin. (2002). Seasonal and inter-annual variability of the particulate matter in the global ocean. *Geophysical Research letters*. 29(24) 2196.
- Lykousis V., Chronis G., Tselepidis A., Price B., Theocharis A., Siokou-Frangou I, **Van Wambeke F.**, Danovaro R, Stavrakakis S, Duineveld G, Georgopoulos D, Ignatiades L, Souvermezoglou K and F. Voutsinou-Taliadouri. (2002). Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea, *Journal of Marine Systems*, 33-34,313-334.
- Marie D.**, Brussaard C.P.D., Thyrhaug R., Bratbak G., and **D. Vault** (1999). Enumeration of viruses in marine samples by flow cytometry. *Applied and Environmental Microbiology* 65, 45-52 .
- Marie D.**, **Partensky, F.**, Simon N., Guillou L. and Vault D. Flow cytometry analysis of marine picoplankton. In: *Diamond R.A., DeMaggio S. (ed.). In Living Colors: Protocols in Flow Cytometry and Cell sorting*. Springer Verlag. p. 421-454.
- Marie D.**, Simon N., Guillou, L., **Partensky F.** and D. Vault (2000). DNA, RNA analysis of phytoplankton by flow cytometry. In: *Current Protocols in Cytometry*. John Wiley & Sons, Inc.11.12.1-18
- Maritorea, S.**, **Morel, A.** and B. Gentili (2000). Determination of the fluorescence quantum yield by oceanic phytoplankton in their natural habitat *Applied Optics*, 39, 6725-6737.
- Marteinsson, V. T., Birrien, J.-L., Reysenbach, A.-L., Vernet, M., **Marie, D.**, Gambacorta, A., Messner, P., Sleytr, U. B. and Prieur, D.1999. *Thermococcus barophilus* sp. nov., a new barophilic and hyperthermophilic archaeon isolated under high hydrostatic pressure from a deep-sea hydrothermal vent. *International Journal of Systematic Bacteriology* 49, 351-359.
- McClain, C.R., Christian, J.R., Signorini, S.R, **Lewis, M.R.**, Asanuma, I, Turk D. and C. Dupouy-Douchement (2002). Satellite ocean color observations of the tropical Pacific Ocean. *Deep Sea Res. II* 49: 2533-2560.
- Migon, Ch., Sandroni, V., Marty, J.C., **Gasser, B.** and **J.-C. Miquel** (2002). Transfer of atmospheric matter through the euphotic layer in the northwestern Mediterranean: seasonal pattern and driving forces. *Deep-Sea Research II* 49, 2125-2141
- Miller, A.J., Alexander, M.A., Boer, G.J., Chai, F., Denman, K., Erickson III, D.J., Frouin, R., Gabric, A.J., Laws, E.A., **Lewis, M.R.**, Liu, Z., Murtugudde, R., Nakamoto, S., Neilson, D.J., Norris, J.R., Ohlmann, J.C., Perry, R.L., Schneider, N., Shell, K. M and A. Timmermann. (2003). Potential feedbacks between Pacific Ocean ecosystems and interdecadal climate variations. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, in press
- Miquel, J.C.** (2001). Environment and biology of the Kara Sea: a general view for contamination studies. *Marine Pollution Bulletin* 43(1-6), 19-27.
- Moon-van der Staay S.Y., van der Staay G.W.M., **Guillou L.**, **Vault D.**, **Claustre H.**, Medlin L.K. 2000. Abundance and diversity of prymnesiophytes in picoplankton community from the equatorial Pacific Ocean inferred from 18S rDNA sequences. *Limnology and Oceanography* 45, 98-109
- Moon-van der Staay S.Y., De Wachter R. and **D.Vault** (2001). Oceanic 18S rDNA sequences from picoplankton reveal new eukaryotic lineages. *Nature* 409, 607-610
- Moran X.A.G., Taupier-Letage I, Dominguez E.V., Ruiz S., Arin L., **Raimbault P.**, Estrada M, 2001. Physical-biological coupling in the algerian Basin (SW Mediterranean) : Influence of mesoscale instabilities on the biomass and production of phytoplankton and bacterioplankton. *Deep-Sea Research*, 48, 405-437.
- Morel, A.**, and S. Maritorea (2001). Bio-optical properties of oceanic waters: A reappraisal. *Journal of Geophysical research*, 106, 7763-7780.
- Moutin T.** and **P. Raimbault** (2002). Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer 1996. MATER Special Issue. *J. Mar. Syst.* 33/34, 273-288.
- Moutin T., **Raimbault P.**, and J.C. Poggiale (1999). Primary production in surface waters of the western Mediterranean Sea: calculation of daily production. *C.R. Acad. Sci.*, 322: 651-659.
- ***Moutin, T.**, Thingstad, F., **Van Wambeke, F.**, **Marie, D.**, Slawyc, G., **Raimbault, P.** and **H. Claustre** (2002). Does competition for nano-molar phosphate supply explain the predominance of the cyanobacterium *Synechococcus*? *Limnology and Oceanography*, 47, 1562-1567
- Murtugudde, R., Beauchamp, J., McClain, C.R., **Lewis, M.R.** and A. Busalacchi (2002) Effects of penetrative radiation on the upper tropical ocean circulation. *J. Climate*. 15: 470-486.
- Neveux J., Lantoine F., **Marie D.**, **Vault D.** and J. Blanchot (1999). Phycoerythrins in the southern tropical and equatorial Pacific Ocean: evidences for new cyanobacterial types. *Journal of Geophysical Research*, 10, 3311-3321
- Not F, Simon N, Biegala I, **Vault D.** (2002). Application of fluorescent *in situ* hybridization coupled with tyramide signal amplification (FISH-TSA) to assess eukaryotic picoplankton composition. *Aquatic Microbial Ecology* 28: 157-166.
- Obernosterer, I., **Sempéré, R.** and G. J. Herndl. 2001. Ultraviolet radiation a reversal of the bioavailability of DOM to marine bacterioplankton. *Aquatic Microbial*

- Ecology*, 24 :61-68.
- Panagiotopoulos, C., **Sempéré, R.**, Lafont, R. and P. Kerhervé (2001). Effects of temperature in the determination of monosaccharides by using an anion-exchange column. *Journal of Chromatography A*, 920: 13-22.
- Panagiotopoulos C, **Sempéré R**, Obernosterer I, Striby, L, Goutx, M, **Van Wambeke F**, Gautier, S. and R. Lafont. (2002). Degradation of large organic particles in Southern Indian Ocean by using in vitro incubation experiments. *Organic Geochemistry*, 33,985-1000.
- *Pantoja, S., **Repeta, D.J.**, Sachs, J.P. and D.M. Sigman (2002). Stable isotope constraints on the nitrogen cycle of the Mediterranean Sea water column. *Deep-Sea Research I*, 49, 1609-1621.
- Partensky F**, Hess WR and **D. Vault** (1999). *Prochlorococcus*, a marine photosynthetic prokaryote of global significance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63, 106-127
- Pelgri, S., **Dolan, J.R.** and F. Rassoulzadegan (1999). Use of high temperature catalytic oxidation (HTCO) to measure carbon content of microorganisms. *Aquatic Microbial Ecology*, 16, 273-280.
- Peligré, S., Christaki, U., **Dolan, J.R.**, Rassoulzadegan, F. 1999. Particulate and dissolved organic carbon production by a heterotrophic nanoflagellate. *Microbial Ecology*, 37, 276-284.
- Pérez, M. T., **Dolan, J. R.**, Vidussi, F. and E. Fukai (2000). Diel vertical distribution of planktonic ciliates within the surface layer of the NW Mediterranean (May 1995). *Deep-Sea Research I*, 47:479-503.
- Peters, F., Marassé, C., Havskum, H., Rassoulzadegan, F., **Dolan, J.R.**, Alcazar, M., and J.M. Gasol, (2002). Turbulence and the microbial food web: effects on bacterial losses to predation and on community structure. *Journal of Plankton Research*, in press.
- Pondaven P., Fravallo, C., Ruiz-Pino, D., Tréguer, P., **Quéguiner, B.** and C. Jeandel (1998). Modelling the silica pump in the Permanently Open Ocean Zone in the Southern Ocean (South-West of Kerguelen Islands). *Journal of Marine System*, 17: 587-619.
- Quéguiner B.** & M.A. Brezinski, 2002. Biogenic silica production rates and particulate matter distribution in the Polar Frontal Zone of the Southern Ocean (Atlantic Sector) during austral spring 1992. *Deep-Sea Research II*, in press.
- Quéguiner B.**, 2002. Biogenic silica production in the Australian sector of the Sub-Antarctic Zone of the Southern Ocean at the end of summer (March 1998). *Journal of Geophysical Research*, in press.
- Ragueneau, O., Tréguer, P., Leynaert, A., Anderson, R.F., Brzansinski, M.A., Demaster, D.J., R.C. Dugdale, Dymond, J., Fisher, G., François, R., Hinze, C., Maier-Reimer, E., Martin-Jézéquel, V., Nelson D.M. and **B. Quéguiner** (2000). A review of the Si cycle in the modern ocean: recent progress and missing gaps in the application of biogenic opal as a paleoproductivity proxy. *Global and Planetary Change*, 26, 317-365
- Raimbault P.**, Diaz F., Boudjellal B., 1999b. Simultaneous determination of particulate forms of carbon, nitrogen and phosphorus collected on filters using a semi-automatic wet-oxidation procedure. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 180: 289-295.
- Raimbault P.**, Pouvesle W., Sempéré R., Diaz F., **Garcia N.**, 1999a. A simple procedure for simultaneous analysis of total and dissolved organic forms of carbon, nitrogen and phosphorus in seawater using the wet-oxidation technic. *Mar. Chem.*, 66 : 161-169.
- Raimbault P.**, Slawyk G., Boudjellal B., Coatanoan C., Conan P., Coste B., **Garcia N.**, Moutin T., Pujo-Pay M, 1999c. Biomass, new production and export in the equatorial Pacific at 150°W: Evidence for intense nitrogen recycling. *J. Geophys. Res.* 104, 3341-3356.
- Raimbault P.**, Slawyk G., **Garcia N.**, 2000. Comparison between chemical and isotopic measurements of biological nitrate utilization: further evidence of low new production levels in the equatorial Pacific. *Mar. Biol.*, 136 :1147-115
- Raoux, C., Bayona, J.M., **Miquel, J.C.**, Fowler, S.W., Teysse, J.L. and J. Albaiges (1999). Particulate fluxes of aliphatic and aromatic hydrocarbons in nearshore waters of the northwestern Mediterranean Sea, and the effect of continental runoff. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 48, 605-616.
- Reynolds, R. A., **D. Stramski**, and B. G. Mitchell. 2001. A chlorophyll-dependent semianalytical reflectance model derived from field measurements of absorption and backscattering coefficients within the Southern Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 106 (C4), 7125-7138.
- Ridame C. and **C. Guieu** (2002). Saharan input of phosphorus to the oligotrophic water of the open western Mediterranean, *Limnology and Oceanography*, 47(3), 856-869
- Ridame C., **Guieu C.** and M.D. Loye-Pilot (1999). Trend in total atmospheric deposition fluxes of aluminium, iron and trace metals in the north-western Mediterranean, over the past decade (1985-1997), *Journal of Geophysical Research*, 104, 30127-30138
- Rippka, R, Coursin T, Hess WR, Lichtlé C, Scanlan D J, Palinska KA, Itean I, **Partensky F**, Tandeau de Marsac N, Houmard J and M. Herdman (2000). *Prochlorococcus marinus* Chisholm et al. 1992, subsp. nov. *pastoris*, strain PCC 9511, the first axenic chlorophyll a₂/b₂-containing cyanobacterium (Oxyphotobacteria). *International Journal of Systematic Bacteriology* 50, 1833-1847.
- Sabine C.L., R. Wanninkhof, R.M. Key, **C. Goyet**, F. Millero, G. Eiseheid, and D. O'Sullivan (2000). Seasonal CO₂ fluxes in the Tropical and Subtropical Indian Ocean. *Marine Chemistry*, 72, 33-53.
- Sciandra, A.**, Lazzara, **Claustre, H.**, and **M. Babin** (2000) Responses of the growth rate, pigment composition and optical properties of *Cryptomonas* sp. to light and nitrogen stresses. *Marine Ecology progress Series*, 201, 107-120.
- Sedwick P.N., **S. Blain, B. Quéguiner**, F.B. Griffiths, M. Fiala, E. Bucciarelli & M. Denis (2002). Chemical limitations on phytoplankton growth in the Crozet Basin, Subantarctic Southern Ocean. *Deep-Sea Research II*, in press.
- Sedwick P.N., Ditullio, G.R., Hutchins, D.A., Boyd, P.W., Griffiths, F.B., Crossley, A.C., Trull, T.W. and **B. Quéguiner** (1999). Limitation of algal production by iron and silicic acid deficiency in the Australian Subantarctic region. *Geophysical Research Letters*, 26: 2865-2868.
- Sempéré, R.**, B. Charrière, **F. Van Wambeke**, and G. Cauwet (2000). Carbon inputs of the Rhône River to the Mediterranean Sea : Biogeochemical implications. *Global Biogeochemical Cycles* 14 : 669-681.
- Sempéré, R.**, Lafont, R., Marroni, B., Panagiotopoulos, C., and **F. Van Wambeke** (2002). Dynamic of Total organic carbon in Aegean Sea (Mediterranean Sea). *Journal of Marine System*, 33/34, 355-364.
- Sempéré, R.**, Yoro, S. C. , **F. Van Wambeke**, and B. Charrière (2000). Microbial decomposition of large organic particles in northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 198 : 61-72.
- Seo H.C., Kube M., Edvardsen R.B., Jensen M.F., Beck A., Spriet E., **Gorsky G.**, Thompson E., Lehrach H., Reinhardt R. and D. Chourrout, 2001. Miniature Genome in the Marine Chordate *Oikopleura dioica*. *Science*, 294, 2506.
- Sicre, M.A., Ternois, Y., **Miquel, J.C.** and J.C. Marty (1999). Alkenones in the Mediterranean sea: interannual variability and vertical transfer of U^K₃₇. *Geophysical Research Letters* 26(12), 1735-1738.
- Simek, K., Hartman, P., Kojecka, P., Nedoma, J., Vrba and **J.R. Dolan** (1999). Shifts in bacterial community composition associated with different microzooplankton size fractions in a eutrophic reservoir. *Limnology and Oceanography*, 44, 1634-1644.
- Simek, K., Pernthaler, J., Weinbauer, M.G., Hornak, K., **Dolan, J.R.**, Nedoma, J., Masin, M. and R. Amann (2001). Changes in bacterial community composition, dynamics and viral mortality rates associated with enhanced flagellate grazing in a meso-eutrophic reservoir. *Applied and Environmental Microbiology*, 67:2723-2733.
- Simek, K., Hornak, K., Masin, M., Christaki, U., Nedoma, J., Weinbauer, M.G., **Dolan, J.R.** (2003). Effect of resource enrichment on grazed and ungrazed bacterioplankton communities of a meso-eutrophic reservoir. *Aquatic Microbial Ecology*, sous presse.
- Simek, K., Nedoma, J., Pernthaler, J., Posch, T., **Dolan, J.R.** (2002). Altering the balance between bacterial production and protistan bacterivory triggers shifts in freshwater bacterial community composition. *Autonie van Leeuwenhoek*, 81:453-463.
- Simon N, Biegala I, Smith EA and **Vault D.** (2002). Kinetics of attachment of phycotoxin-producing bacterial strains to *Alexandrium tamarensis* (Dinophyceae). *Aquatic Microbial Ecology* 28: 249-256
- Siokou-Frangou I, Bianchi M, Christaki U, Christou E, Giannakourou A, Gotsis O, Ignatiades L, Pagou K, Pitta P, Psarra S, Souvermezoglou E, **Van Wambeke F** and V. Zervakis. (2002) Carbon flow in the planktonic food web along a gradient of oligotrophy in the Aegean Sea (Mediterranean Sea). *Journal of Marine Systems*, 33/34,335-353.

- Slagstad, D., Downing, K., Carlotti, F. and H.J. Hirche, H.J. (1999). Modelling the carbon export and air-sea fluxes of CO₂ in the Greenland Sea. *Deep Sea Research II*, 46, 1511-1530.
- Slawyk G., **Raimbault P**, **Garcia N.**, 2000. Use of ¹⁵N to measure dissolved organic nitrogen release by marine phytoplankton (reply to comment by Bronk and ward). *Limnol. Oceanogr.*, 45 :1884-1886.
- Steglich C., Behrenfeld M., Koblizek M., **Claustre H.**, Penno S., Prasil O., **Partensky F.** and Hess W.R. (2001) Nitrogen deprivation strongly affects Photosystem II but not phycoerythrin level in the divinyl-chlorophyll b-containing cyanobacterium *Prochlorococcus marinus*. *Biochimica Biophysica Acta*, 1503, 343-349.
- Stemman, L., **Gorsky, G.**, Marty, J.-C., Picheral, M. and **J.-C. Miquel** (2002). Four years survey of large Particles (>0.15 mm) vertical distribution (0-1000 m) in the NW Mediterranean. *Deep Sea Research II* 49, 2143-2162.
- Stemmann L., **Picheral, M.** and **G. Gorsky**, 2000. Diel changes in the vertical distribution of suspended particulate matter in the NW Mediterranean Sea investigated with the Underwater Video Profiler. *Deep Sea Research I*, 47, 505-531.
- Stoens A., Menkes, C., Radenac, M.H., Dandonneau, Y., Coste, B., Grima, N, Eldin, G., Mémary, L., Navarette, C., **Moutin T.** and **P. Raimbault** (1998). The coupled physical-new production system in the equatorial Pacific Ocean during the 1992-1995 El Nino. *Journal of Geophysical Research*, 104,
- Stramska, M., **D. Stramski**, B. G. Mitchell, and C. D. Mobley. 2000. Estimation of the absorption and backscattering coefficients from in-water radiometric measurements. *Limnology and Oceanography*, 45, 628-641.
- Stramska, M., **D. Stramski**, R. Hapter, S. Kaczmarek, and J. Ston. Bio-optical relationships and ocean color algorithms for the north polar region of the Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, in press.
- Stramski, D.**, **Bricaud, A.** and **A. Morel** (2001). Modeling the inherent optical properties of the ocean based on the detailed composition of the planktonic community. *Applied Optics*, 40, 2929-2945.
- Stramski, D.**, **Sciandra, A.** and **H. Claustre** (2002). Variations in the optical properties of the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* induced by various sources of growth limitation. *Limnology and Oceanography*, 47, 392-403.
- Stramski, D.** (1999) Refractive index of planktonic cells as a measure of cellular carbon and chlorophyll *a* content. *Deep-Sea Research*, 46, 335-351.
- Stramski, D.** and J. Tegowski (2001). Effects of intermittent entrainment of air bubbles by breaking wind waves on ocean reflectance and underwater light field. *Journal of Geophysical Research*, 106(C12), 31345-31360.
- Stramski, D.**, R. A. Reynolds, M. Kahru, and B. G. Mitchell (1999). Estimation of particulate organic carbon in the ocean from satellite remote sensing. *Science*, 285, 239-242.
- Strehl B., Holtzendorff J., **Partensky F.** and W.R. Hess (1999). A small and compact genome in the marine cyanobacterium *Prochlorococcus marinus* CCMP1375: lack of an intron in the gene for tRNA(Leu)^{UAA} and a single copy of the rRNA operon. *FEMS Microbiology Letters* 181, 261-266.
- Tateda, Y., Carvalho, F.P., Fowler, S.W. and **J.-C. Miquel** (2003). Fractionation of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in coastal waters of the NW Mediterranean continental margin. *Continental Shelf Research*, in press.
- Tankere-Muller S.P.C., J.D. Burton, P.J. Statham, **C. Guieu** and J.-M. Martin (2001). Trace metal distributions in shelf waters of the northwestern Black Sea, *Continental Shelf Research*, 21, 1501-1532
- Tassan, S., Ferrari, G.M., **Bricaud, A.** and **M. Babin** (2000) Variability of the amplification factor of light absorption by filter-retained aquatic particles in the coastal environment. *Journal of Plankton Research*, 22, 659-668.
- Taupier-Letage I., Puillat, I., **Raimbault P.** and C. Millot (2001). Biological response to mesoscales eddies in the algerian Basin. *J. Geophys. Res.*, sous presse
- Terrill, E. J., Melville, W. K., and **D. Stramski**. 2001. Bubble entrainment by breaking waves and their influence on optical scattering in the upper ocean. *Journal of Geophysical Research*, 106 (C8), 16815-16823.
- Thingstad, T.F., Pérez, M.-T., Pelegri, S., **Dolan, J. R.** and F. Rassoulzadegan (1999). Trophic control of bacterial growth in microcosms containing a natural community from northwest Mediterranean surface waters. *Aquatic Microbial Ecology*, 18, 145-156.
- Torretón J.-P., Talbot V. and **N. Garcia** (2000). Nutrient limitation of bacterioplankton in Tuamotu atoll lagoons. *Aquatic Microbial Ecology*, 21 : 125-137.
- Turk, D., **Lewis, M.R.**, Harrison, G.W., Kawano, T. and I. Asanuma. (2001). Geographical distribution of new production in the western/central Equatorial Pacific during El Nino and non-El Nino conditions. *J. Geophys. Res.* 106: 4501-4515.
- Turk, D., M.J. McPhaden, A.J. Busalacchi and **M.R. Lewis**. (2001). Remotely-sensed biological production in the tropical Pacific during 1992-1999 El Nino and La Nina. *Science*, 293: 471-474.
- Turk, D., McPhaden, M.J., Asanuma, I., and **M.R. Lewis**. (2002). Heat, nitrate and carbon balances in the western Pacific Warm Pool under weak La Nina, and strong El Nino conditions. *J. Geophys. Res.*, in press .
- Ugur, A., **Miquel, J.-C.**, Fowler, S.W. and P. Appleby (2003). Radiometric dating of sediment cores from a hydrothermal vent zone off Milos Island in the Aegean Sea. *The Science of the Total Environment*, in press.
- van der Staay G.W.M., Moon-van der Staay S.Y., Garczarek L. and **F. Partensky** (2000). Rapid evolutionary divergence of photosystem I core subunits PsaA and PsaB in the marine prokaryote *Prochlorococcus*. *Photosynthesis Research* 65, 131-139
- van der Staay, G.W.M. and **F. Partensky** (1999) The 21 kDa protein associated with Photosystem I in *Prochlorococcus marinus* is the PsaF protein (AJ131438). *Plant Physiology* 120, 339.
- Van Wambeke F.**, Christaki U, Bianchi M, Psarra S and A. Tselepides (2001). Heterotrophic bacterial production in the Cretan Sea (NE Mediterranean). *Progress in Oceanography*, 46, 205-216.
- Van Wambeke F.**, Goutx M., Striby, L., **Sempéré, R.** and F. Vidussi (2001). Bacterial dynamics during the transition from spring bloom to oligotrophy in the Northwestern Mediterranean Sea. Relationships with particulate detritus and dissolved organic matter. *Marine Ecology Progress Series*, 212, 89-105.
- ***Van Wambeke, F.**, Christaki, U., Giannakourou, A., **Moutin, T.**, and K. Souvemerzoglou (2002). Longitudinal and vertical trends of bacterial limitation by phosphorus and carbon in the Mediterranean sea. *Microbial Ecology*, 43(1), 119-133.
- Van Wambeke F.**, Heussner S, Diaz F, **Raimbault P** and P Conan (2002) Small-scale variability in the coupling/uncoupling of bacteria, phytoplankton and organic carbon fluxes along the continental margin of the Gulf of Lions, Northwestern Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 33-34,411-429.
- Vaulot D.** (2001) Phytoplankton. Encyclopedia of Life Sciences, <http://www.els.net>, Nature Publishing Group. London
- Vaulot D.** and **D. Marie** (1999). Diel variability of photosynthetic picoplankton in the equatorial Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 104, 3297-3310.
- Vaulot D.**, Romari K, Not F. (2002). Are autotrophs less diverse than heterotrophs in marine picoplankton? *Trends in Microbiology* 10:266-26
- Vidussi F., **Claustre H.**, Manca B., Luchetta A., and J.-C. Marty (2001). Phytoplankton pigment distribution in relation to the upper thermocline circulation in the Eastern Mediterranean Sea during winter. *Journal of Geophysical Research*, 106, 19,939-19,956.
- Zhang, X., **Lewis, M.R.**, Li, M., Johnson, B., and G. Korotaev. 2002. The volume scattering function of natural bubble populations. *Limnol. Oceanogr.* 47: 1273-1282.
- Zibordi, G., J.P. Doyle, and **S.B. Hooker** (1999). Offshore Tower Shading Effects on In-Water Optical Measurements. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 16, 1,767-1,779.
- Zibordi, G., S.B. Hooker, J-F. Berthon, and D. D'Alimonte (2002). Autonomous above-water radiance measurements from an offshore platform: A field assessment experiment. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 19, 808-819.

PLAN D'EXPLOITATION DES DONNEES

I Collecte archivage et mise à disposition des données

Le texte reproduit ci-dessous est celui qui a été transmis en réponse à une demande du comité scientifique PROOF relative à la stratégie de l'opération BIOSOPE vis-à-vis des données acquises pendant la campagne.

La politique de BIOSOPE en matière de gestion des données est la suivante: il s'agira de constituer le plus rapidement possible une base de fichiers pour toutes les données acquises.

La réalisation de cet objectif nécessite une stratégie générale dont les grandes lignes, mise en place lors de la campagne PROSOPE, pourront être ajustées à la nature des données.

Stratégie Générale

1. Avant de quitter le bord, chaque responsable aura l'obligation de fournir un bilan chiffré et exhaustif de son échantillonnage (prélèvements, profils, analyses....).
2. Un site Web "BIOSOPE", développé à Villefranche-sur-mer (BD-PROOF), constituera le lieu de centralisation des données.
3. Les tableaux résumant les acquisitions (Métadatas: type de mesure, quantité, responsable) seront mis "on-line" dans le mois suivant la campagne.
4. Les participants enverront leurs données dès que possible. A ce stade précoce, elles pourront être de deux types :
 - Les données en attente de validation définitive, mais néanmoins mises à disposition car potentiellement utiles aux autres membres de la communauté.
 - Les données validées. La validation peut être spécifique au paramètre (calibration), ou peut requérir une confrontation avec d'autres paramètres (validation croisée). Elles sont sensées être définitives et exploitables (publications)

L'accès aux données BIOSOPE suit la chronologie suivante:

1. Il est d'abord restreint à la communauté BIOSOPE pour une période de deux ans suivant la campagne. Toute personne du groupe BIOSOPE qui exploite les données (validées) doit en tenir informé leur auteur.
2. Au bout de ces deux années, les données sont en accès libre
3. Les données sont ensuite transmises à des bases internationales.

Cas particulier des données de biologie moléculaire

Notre communauté n'est pas encore habituée à les gérer dans le cadre opérationnel des acquisitions océanographique et biogéochimique. Une réflexion doit être entreprise pour optimiser leur intégration. La stratégie suivante est envisagée mais est susceptible de modifications :

1. Les données de séquençage (18S, gènes fonctionnels) sont sauvegardées localement par le laboratoire responsable, soit dans des bases de type Access ou bien dans des logiciels spécialisés comme ARB pour le 18S qui permettent d'aligner et de déterminer l'appartenance phylogénétique des séquences, de créer des arbres et des sondes. La destination finale de ces séquences sont les bases publiques de séquences (GenBank) car toute publication les utilisant doit mentionner le dépôt dans une de ces bases.

2. Les données d'expression de gènes ainsi que les données quantitatives de types FISH (comptage du taxon X lors de campagnes) sont de même nature que celles de cytométrie en flux ou de production primaire. Elles seront donc traitées suivant la stratégie générale.

Personnel impliqué dans la gestion des bases de données et missions de celui-ci.

Règle numéro un: tout le monde est concerné par l'achèvement des bases de données. Même si ce travail est coordonné par quelques personnes, toute la communauté engagée dans la mission doit y contribuer activement.

1. Le responsable du projet (Hervé Claustre) et les chefs de mission (Hervé Claustre et Antoine Sciandra) ont l'entière responsabilité de veiller à l'efficacité de la transmission des fichiers de données (en attente de validation ou validées) vers le site BIOSOPE-PROOF. Ils veilleront notamment à relancer d'éventuels "retardataires".

2. Marie-Paule Labaied (BD-PROOF) sera en charge de la constitution du site BIOSOPE, de la bonne réception et de l'archivage des fichiers de données. Elle inter-agira principalement avec les chefs de mission et le responsable de projet, notamment en cas de blocage du rapatriement des données, dont elle aura à établir régulièrement la mise à jour. Elle aura à développer une base de données intelligente alimentée par les fichiers délivrés sur le site. Sous le contrôle du responsable de projet et des chefs de mission, elle assurera le transfert des données vers des bases internationales (SOLAS, OCEAN, PANGAEA) une fois les données passées dans le domaine public.

3. Une personne supplémentaire, requise pour la "cross-validation" des données, vérifiera notamment la cohérence des fichiers bouteilles et des mesures réalisées à partir des prélèvements dans ces bouteilles. Nous utiliserons la méthodologie de cross-validation développée en ce moment à Villefranche par Louis Prieur pour les données POMME. Cette tâche nécessitera approximativement 6 mois de CDD. Le Chef de projet entamera les démarches nécessaires pour le financement de ce CDD au cours de l'année 2003.

II Publications

Plusieurs types de publications sont envisagés:

1. ***Des publications monothématiques*** relatives à un sujet spécifique (e.g. la fixation d'azote atmosphérique) et qui concernent prioritairement l'activité d'un scientifique ou d'un laboratoire. Ces publications peuvent être envisagées dans un délai relativement court (1 an, notamment dans le cas d'obtention de résultats particulièrement novateurs, ce que l'on peut espérer, étant donné la rareté d'informations dont la communauté scientifique dispose pour le tourbillon du Pacifique Sud.
2. ***Des publications multidisciplinaires*** qui intègrent l'activité de plusieurs groupes (e.g. relation entre stocks biogéochimiques et couleur de l'eau). Ces publications peuvent être envisagées dans un délai de deux ans.
3. ***Des publications de synthèse*** (limitation azote vs phosphore dans différentes zones de l'océan mondial) qui intègrent non seulement les données de la campagne BIOSOPE mais également les données d'autres campagnes. On peut notamment prévoir une intégration des données PROSOPE dans le cadre d'une synthèse comparative des systèmes soumis (PROSOPE) et non soumis (BIOSOPE) aux dépôts de poussières désertiques. On peut également développer une comparaison entre les gyres tropicaux du Pacifique Nord (programme américain HOTS) et Sud (zone BIOSOPE) [un proposal sera soumis par nos collègues Nord américains dans ce sens].

INTEGRATION AU NIVEAU NATIONAL ET INTERNATIONAL

- Une partie de la campagne se déroulera dans les eaux territoriales du Chili, non seulement lors de l'étude de l'upwelling mais également aux abords de l'île de Pâques.
- Des contacts ont été pris avec nos collègues Chiliens :
 1. Dr. Osvaldo Ulloa, Professeur à l'Université de Concepcion et également directeur du Programme Régional d'Océanographie Physique et d'étude du Climat (PROFC), sera le contact scientifique local.
 2. Deux collègues Chiliens ont dorénavant et déjà été formellement invités à participer au LEG qui reliera Concepcion à l'île de Pâques. D'une part, le Dr Ulloa lui-même qui mettra en œuvre le profileur TRAMP aux stations GYRE 1 et GYRE 2. Cette mise en œuvre intervient dans le cadre d'une collaboration plus spécifique avec le responsable du projet et rédacteur de cette demande. D'autre part Dr. Laura Farias (Université de Concepcion) qui sera responsable de l'acquisition des mesures de surface de CO₂ et de N₂O. Ces mesures se feront dans le cadre d'une collaboration avec Catherine Goyet (Université de Perpignan).
 3. Un certain nombre d'étudiants chiliens de l'Université de Concepción pourraient être impliqués dans le cadre du programme de bourses d'étude Alban (entre Amérique Latine et Europe) qui doit démarrer en Décembre 2002 (premières bourses accordées en septembre 2003). Le chef de projet a présenté 6 sujets de thèse à nos collègues Chiliens et il ressort dorénavant et déjà que deux étudiants pourraient être intéressés par des sujets liés à la biologie moléculaire (Laboratoire de Roscoff : Daniel Vaultot / Frédéric Partensky) et à la bio-optique (Laboratoire de Villefranche : Hervé Claustre/ Marcel Babin).
- Un certain nombre de collègues étrangers ont manifesté le désir de participer à BIOSOPE. Il n'est pas possible, bien évidemment de satisfaire toutes les demandes de participation dont le nombre particulièrement élevé est en partie lié à l'intérêt de la zone et la relative nouveauté des observations qui pourraient être conduites. A l'heure actuelle, les collaborations suivantes sont établies donc très probablement susceptible d'aboutir à la participation des scientifiques concernés.
 - Dr. O. Ulloa : Université de Concepcion : Profileur Tramp
 - Dr. L. Farias : Université de Concepcion : CO₂ et de N₂O
 - Dr. P. Falkowski : Rutgers University, New Jersey : N₂ fixation au niveau moléculaire et Fast Repetition fluorescence.
 - Dr. S. Hooker : NASA, Goddard, Greenbelt : SeaWiFS / MERIS Cal/Val
 - Dr. D. Stramski : SCRIPPS, San Diego : Optique et mesure de l'indicatrice de diffusion
 - Dr. M. Lewis : Dalhousie University , Halifax, Canada; PDG de Satlantic : Optique,
 - Dr. Twardowski : Université de Rhode Island et compagnie Wetlabs : Optique
 - Dr. D. Repeta : Woods Hole : CDOM chemistry

Il est à noter que les Drs Lewis et Twardowski interviendraient à la fois comme scientifiques mais également en tant que représentants de deux des compagnies majeures d'Amérique du Nord qui développent et commercialisent des profileurs *in situ* (optiques mais également chimiques). BIOSOPE offre un cadre idéal pour la mise en œuvre de nouveaux instruments et leur test dans des conditions extrêmes oligotrophie. En retour, la participation de ces deux chercheurs à BIOSOPE, outre l'aspect purement scientifique, devrait permettre de disposer d'instruments (parfois très coûteux) prêtés par ces compagnies.

- Des réunions entre les participants à BIOSOPE seront organisées (2 fois par an) durant la période post-campagne (2 ans) de traitement et de validation des données. Plus généralement, à l'issue de la campagne BIOSOPE, la communauté française disposera d'une connaissance (et d'une base de données) unique sur les systèmes oligotrophes. En effet, les études des grandes zones oligotrophes peuvent être considérées comme une "spécialité française". Les campagnes Chlmax (Mer des Sargasses), EUMELI 3 et 4 (Tourbillon subtropical Atlantique Nord), MINOS et PROSOPE (Méditerranée orientale), OLIPAC (Partie Nord occidentale du Tourbillon du Pacifique Sud) et BIOSOPE (cœur du Tourbillon Pacifique Subtropical Sud) ont (auront) toutes abordé et décrit les propriétés biologiques, biogéochimiques et optiques d'une variété de systèmes oligotrophes. Cette connaissance, et la synthèse qui devrait en résulter pourrait être diffusée, en particulier, dans le cadre d'une conférence qui ferait le point de nos acquis sur les systèmes oligotrophes. Cette conférence (qui aurait lieu en 2006 si la campagne BIOSOPE avait lieu en 2004) pourrait, notamment, intégrer l'aspect évolution décennales de ces systèmes oligotrophes en intégrant les connaissances récentes qui résultent d'observations longues durée dans les systèmes oligotrophes (HOTS, BATS & DYFAMED).
- Actuellement le projet BIOSOPE n'est adossé à aucun programme Européen (réseau d'excellence ou projet intégré). Néanmoins avant le début de la campagne, un certain nombre de programme soumis pourraient se concrétiser. L'opération BIOSOPE pourrait alors constituer une plate-forme importante d'observations et d'acquisitions de données de références utiles à un certain nombre de ces projets qu'il soient de nature biogéochimique (e.g. " EUROECAN) ou plus portés sur la biologie moléculaire et la génomique.

APPLICATION ABSTRACT

APPLICATION ABSTRACT PART -1- :
General Organization

DOSSIER DE DEMANDE : BIOSOPE
DATE : 15 JANVIER 2003

GENERAL ORGANIZATION

CADRE IFREMER/IFRTP/ORSTOM

NAME OF RESEARCH SHIP : ATALANTE DATES : Jan.-Feb. 04 or Nov 04 to Feb 05 (Austral summer is required)

GEOGRAPHICAL AREA IN WHICH SHIP WILL OPERATE :

South-East Pacific : From 37°S 73°W (Chile) to 17.7°S 149.3°W (Tahiti).

- A main transect will be performed along 27°S (from 74° to 140° W).
- Investigations also carried out in the vicinity of Marqueses Island (140°W, 8°S)

BRIEF DESCRIPTION OF PURPOSE OF CRUISE : The objective of the BIOSOPE project is to study, during the austral summer, the bio-geochemical, bio-diversity, bio-optical characteristics of different trophic regimes of the South East Pacific ocean, and especially the oligotrophic area associated to the central part of the South Pacific Gyre (SPG). This area is one of the less studied major oceanic entities of the world ocean and presents the interesting particularity of being far away from any desert dust (iron) source. The project will be based on observations conducted along a 27°S line between 70°W (coastal upwelling of Chile) and 140°W, and on the Marquise island plume (140°W, 8°S).

CHIEF SCIENTIST IN CHARGE :

Herve CLAUSTRE : Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, 06238 Villefranche-sur-mer
Claustre@obs-vlfr.fr ; Phone :33 4 93 76 37 29

Antoine SCIANDRA : Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, 06238 Villefranche-sur-mer
sciandra@obs-vlfr.fr ; 33 4 93 76 38 19

NB OF SCIENTISTS : 28-30

INSTITUTE SUPPORTING OPERATION :

INSU-CNRS :

3 RUE MICHEL ANGE

B.P. 287

75766 PARIS CEDEX 16

OPERATION AUTHORITY : IFREMER * Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer* Siège social :
155 rue Jean-Jacques Rousseau - 92138 Issy-Les-Moulineaux cedex - Tél.: (33) 1 46 48 21 00 - fax: (33) 1 46 48 22 24

OPERATION AUTHORITY : IPEV. *Institut Polaire Paul Emile Victor* Siège social :
Technopôle Brest Iroise B.P. 75 - 29280 Plouzané - Tél.: (33) 2 98 05 65 00 - fax: (33) 2 98 05 65 55

OPERATION AUTHORITY : IRD *Institut de Recherche en Développement* Siège social :
209-213 rue Lafayette - 75480 Paris Cedex 10 - Tél.: (33) 1 48 03 77 77 - fax: (33) 1 48 03 08 29

APPLICATION ABSTRACT

APPLICATION ABSTRACT PART -2- : Detail

DOSSIER DE DEMANDE : BIOSOPE

DATE : 15 JANVIER 2003

The **BIOSOPE** cruise is planned during austral summer of 2004 in the South East Pacific and will serve as a platform for ocean colour cal / val activities (SeaWiFS, MERIS) as well as for acquiring biogeochemical, molecular biology and biooptical data in one of the less studied environment. Using continuous profiling as well as discrete measurements, four main types of observations will be undertaken (see figure below).

- **3 fixed stations** in the highly oligotrophic waters of the South Pacific Gyre (**GYRE 1, 2 & 3**). These stations will be intensively studied for a 3-day period each, with the goal of describing their biological, biogeochemical and optical characteristic as well as of understanding the variability of these characteristics at the diurnal scale.
- **2 sites**, the eutrophic zone associated with **UPW**elling off the Chilean coast and the mesotrophic zone associated with the plume of the **MAR**quise Island. Both sites will be occupied through 3, 2-days stations, spaced by ~ 60 miles with the goal of investigating the evolution in their biological, biogeochemical and biooptical characteristic from the source (upwelling core or coastal zone for Marqueses) towards open ocean waters.
- **21 short stations** (6 hours) performed during the transect between long stations. These stations will be occupied around noon for measurement of core biological and biogeochemical parameters as well as for ocean colour cal/val activities.
- **Surface observations** will be conducted during transit time using either continuous (T, S, Chlorophyll fluorescence, particle attenuation, pCO₂ or discrete (pico-plankton biomass, particulate matter size spectra), to appreciate the gradient between the various stations. Aerosol samples will be also collected during these periods.

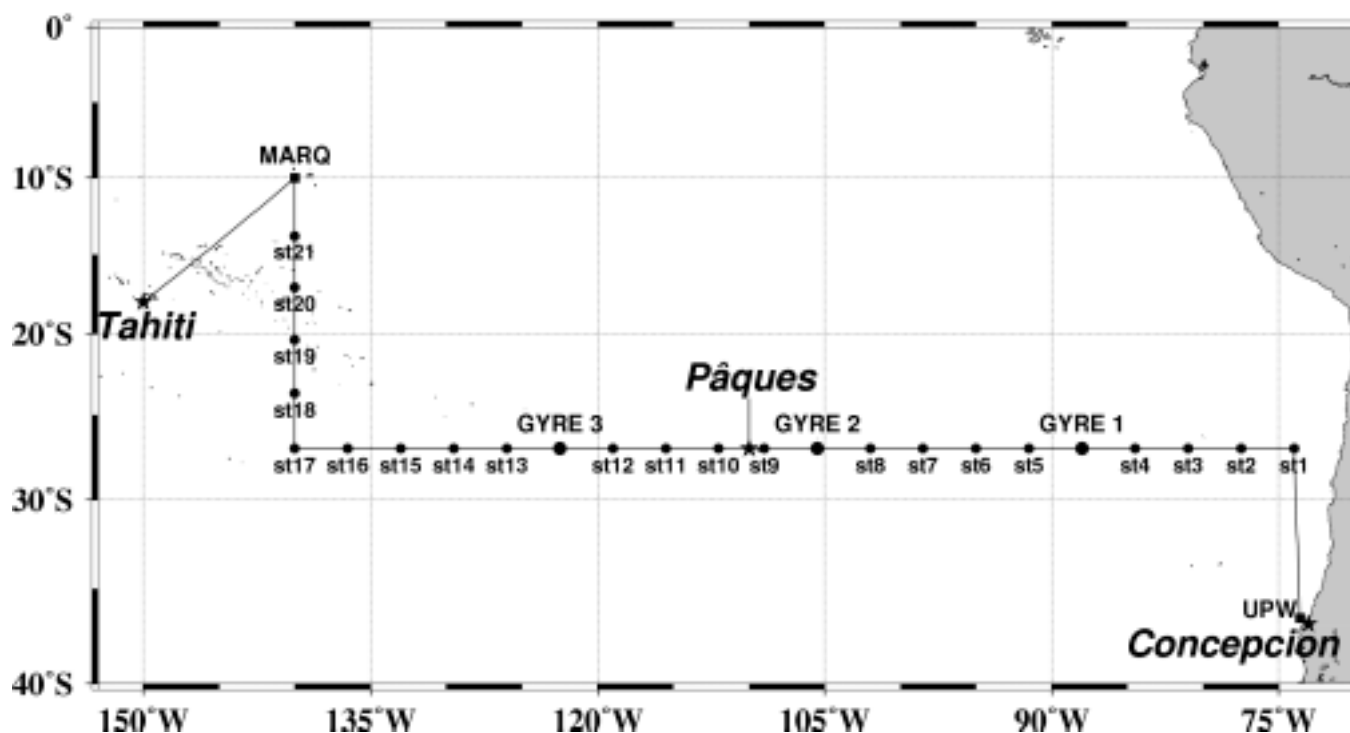


Figure 1 : Location of stations and transect during the BIOSOPE cruise

- short stations (6 hours)
- long stations at a fixed location (~ 3 days)
- studies of specific sites (~ 6 jours)

APPLICATION ABSTRACT

APPLICATION ABSTRACT PART -3- : International cooperation	DOSSIER DE DEMANDE : BIOSOPE DATE : 15 JANVIER 2003
--	--

INTERNATIONAL COOPERATION

The BIOSOPE team associates French scientists from 8 different institutions together with foreign scientists bringing their competencies in several fields.

1. Dr. Dan Repeta (Woods Hole Institution): CDOM chemistry
2. Dr. Dariuz Stramski (SCRIPPS institution) : bio-optics
3. Dr. Laura Farias (University of Concepcion, Chile). Greenhouse gases (CO₂, N₂O)
4. Dr. Marlon Lewis (Dalhousie University, Canada) : in situ Optic / biogeochemical and dynamical modeling studies in tropical Pacific
5. Dr. Mike Twardowski (Wet Labs Narragansett, Rhode Island, USA) In situ measurement of inherent optical properties
6. Dr. Osvaldo Ulloa (University of Concepcion, Chile) : Primary production and diel cycle of biogeochemical and optical properties
7. Dr. Paul Falkowski (Rutgers University, New Jersey, USA) : Iron limitation of nitrogen fixation / molecular diversity
8. Dr. Stanford Hooker (NASA Greenbelt, USA): Apparent optical properties / Cal/val activities for SeaWiFS/HPLC intercomparison exercise
9. International Atomic Energy Agency (Dr. Miquel and Gasser) : Flux of particles, thorium measurements.