

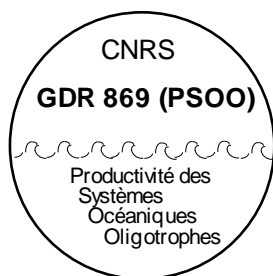
**Campagne océanographique MINOS  
à bord du N.O. le Suroît  
21 mai-29 juin 1996**

**RECUEIL DES DONNEES**

**Janvier 1996**

Edité par Thierry Moutin et Patrick Raimbault

Chef de Mission : Patrick Raimbault



**INSU**

**MATER**

## INTRODUCTION

La campagne MINOS (*Mediterranean INvestigation in Oligotrophic Systems*), dont ce fascicule présente les principales données, est la dernière menée par le Groupe De Recherche *Production des Systèmes Océaniques Oligotrophes* (GDR 869) qui avait pour objectif essentiel l'étude du système biologique et de la productivité des milieux oligotrophes. Après des études menées dans l'Atlantique tropical (Campagnes EUMELI) et le Pacifique Equatorial (OLIPAC), l'action de MINOS s'est portée sur le système méditerranéen qui présente, sur une superficie réduite, différents degrés d'oligotrophie.

Les objectifs prioritaires de cette campagne étaient les suivants:

- 1) Obtenir des données sur le cycle du carbone dans ces milieux océaniques, les plus pauvres au monde, en étudiant en détail la répartition de la biomasse et de l'assimilation du carbone.
- 2) Quantifier les flux des différentes formes d'azote dans la couche euphotique et affiner la liaison avec le flux de carbone (améliorer l'estimation du facteur f).
- 3) Paramétriser les propriétés optiques et physiologiques du phytoplancton en tenant compte des variations nyctémérales afin d'améliorer les modèles prédictifs de la production primaire.
- 4) Caractériser la boucle microbienne et les populations picoplanctoniques en fonction du degré d'oligotrophie.

Ce programme a offert pour la première fois l'occasion de cerner l'identité et l'activité des systèmes oligotrophes à l'aide d'approches multiples: chimie fine, utilisation de traceurs ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ), cytométrie en flux, HPLC, optique, pièges à particules...). L'ambition est de réussir à quantifier précisément la production nouvelle et la quantité de matière effectivement exportée dans ces écosystèmes océaniques fortement dominés par la régénération.

## DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

Cette campagne transméditerranéenne s'est déroulée du 21 mai au 29 juin sur le navire océanographique Le Suroît. Deux radiales comprenant en tout 20 stations ont permis d'échantillonner la partie centrale des deux Bassins (occidental et oriental) et la mer Thyrrénienne, selon des axes ouest-est et nord-sud (voir carte).

Sur chaque site des prélèvements d'eau ont été effectués sur la colonne d'eau 0-200m pour les paramètres chimiques et biologiques. Seules les mesures chimiques (oxygène, sels nutritifs et la matière organique) ont été effectuées aux profondeurs supérieures. Une ligne de production a été mouillée à chaque station pour les mesures *in situ* de l'assimilation du carbone et de l'azote. Des pièges à particules de type PPS4 étaient placés sur la même ligne au bas de la couche euphotique. L'éclairement descendant et ascendant ainsi que les profils d'atténuation ont été réalisés chaque jour autour du midi solaire pour la caractérisation optique des masses d'eau.

*Cette campagne a été financièrement soutenue par le GDR 869, L'INSU-CNRS et le programme européen MATER (MAST III) et a bénéficié de l'aide amicale de F. Van Wambeke (LMM Marseille), de L. Prieur (LPCM Villefranche), de S. Charmasson et M. Arnaud (CEA La Seyne sur Mer).*

## PRESENTATION DU FASCICULE

Le fascicule, dont le sommaire est détaillé en page suivante, comprend deux parties. La première partie présente les données générales obtenues pour chaque station lors des CTD "core parameters" et "production". La deuxième partie correspond à différentes contributions des participants à la campagne.

Les données générales, correspondant à la première partie du fascicule, seront accessibles sur le serveur WWW du Centre d'Océanologie de Marseille par : <http://com.univ-mrs.fr> ou bien par FTP anonyme sur [com.univ-mrs.fr](ftp://com.univ-mrs.fr) dans le répertoire /pub/missions. Attention, l'accès à ces répertoires sera soumis à une authentification par mot de passe; prière de contacter [raimbaul@com.univ-mrs.fr](mailto:raimbaul@com.univ-mrs.fr) pour obtenir ce mot de passe.

Toute utilisation des données relatives à cette campagne ne peut s'effectuer sans l'autorisation préalable de (des) l'auteur (s)

## LISTE DES PARTICIPANTS

Durant cette campagne, les travaux ont été menés par des chercheurs, techniciens, doctorants appartenant à 5 laboratoires français et 4 laboratoires étrangers.

### CENTRE D'OCEANOLOGIE DE MARSEILLE (COM)

Campus de Luminy, case 901  
13288 Marseille Cedex 9, FRANCE  
Tél.: (33) 91 26 91 07  
Fax: (33) 91 82 19 91  
e-mail: nom@com.univ-mrs.fr

Thierry MOUTIN  
Patrick RAIMBAULT  
Gerd SLAWYK

Maître de Conférences  
CR CNRS  
DR CNRS

### LAB. HYDROSPHERIC PROCESSES/SEAWIFS

NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER

CODE 970.2

GREENBELT, MD 20771, USA

Tel: (301) 286 99 75

Fax:(301) 286 17 75

e-mail : STEPHANE@CALVAL.GSFC.NASA.GOV

Stéphane MARITORENA

Chercheur

### LABORATOIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE MARINES (LPCM)

Observatoire Océanologique de Villefranche (I.N.S.U.- C.N.R.S. et Université Paris 6)

B.P. 08, 06230 Villefranche-sur-mer, FRANCE

Tel: (33) 93 76 37 20

Fax: (33) 93 76 37 39

e-mail : nom@ccrv.obs-vlfr.fr

Karima ALLALI  
Marcel BABIN  
Annick BRICAUD  
Hervé CLAUSTRE  
Jean RAUNET  
Nora SADOUDI  
Francesca VIDUSSI

Doctorant  
Chercheur  
CR CNRS  
CR CNRS  
IE CNRS  
Doctorant  
Doctorant

### INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES DE L'UNIVERS (INSU)

Antenne de Brest, BP 74

29280 Plouzané, FRANCE

Tél : (33) 98 05 65 34

Fax : (33) 98 05 65 30

e-mail : bournot@ifrtp.ifremer.fr

Claudie BOURNOT

IE CNRS

### INSTITUT DE BIOLOGIE MARINE DE CRETE

BP 2214

71003 Iraklio, Crete

GRECE

Tel: (30) 81 243612? 242022

e-mai: spsara@poseidon.imbc.gr

Stella PSARRA

Doctorant

### INSTITUT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL

Laboratoire de Chimie Marine

BP 90, 1<sup>er</sup> Novembre - Alger.

16003 ALGERIE

Tel : (213) 2 39 19 14

Fax: (213) 2 39 35 38

Benyahia BOUDJELLAL Technicien

OBSERVATOIRE OCEANOLOGIQUE DE BANYULS

Laboratoire ARAGO

Université P. et M. Curie (Paris VI)

66 650 Banyuls sur mer, FRANCE

Tél : (33) 68 88 73 05

Fax : (33) 68 88 16 99

e-mail : mpanouse@arago.univ-perp.fr

Michel PANOUSE

IE CNRS

STATION BIOLOGIQUE

BP 74

29682 Roscoff, FRANCE

Tel : (33) 98 29 23 34

Fax : (33) 98 29 23 24

e-mail: nom@sb-roscoff.fr

Stéphane LHELGUEN

Dominique MARIE

Frédéric PARTENSKY

Daniel VAULOT

CR CNRS

A.I. CNRS

CR CNRS

CR CNRS

WOODS HOLE INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY

Woods Hole

Mass. (USA)

Julian SACHS

Doctorant

# SOMMAIRE

- Carte
- Position des stations

## **PREMIERE PARTIE      DONNEES GENERALES**

### METHODOLOGIE

- |                                             |                              |
|---------------------------------------------|------------------------------|
| -Données hydrologiques                      | J. RAUNET & C. BOURNOT       |
| -Dosage de l'oxygène dissous                | T. MOUTIN                    |
| -Analyse des sels nutritifs                 | P. RAIMBAULT & B. BOUDJELLAL |
| -Dosage de la chlorophylle par fluorimétrie | P. RAIMBAULT & B. BOUDJELLAL |

### RESULTATS

- 1er LEG : stations 1 à 11
- 2ème LEG : stations 12 à 20

## **DEUXIEME PARTIE      CONTRIBUTIONS**

- |                                            |                                         |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| -Mesure de la production primaire          | T. MOUTIN                               |
| -Populations picoplanctoniques             | D. VAULOT, F. PARTENSKY &<br>D. MARIE   |
| -Pigments phytoplanctoniques               | F. VIDUSSI & H. CLAUSTRE                |
| -Dénombrement du microzooplancton (Ciliés) | J. DOLAN                                |
| -Flux vertical de particules               | P. RAIMBAULT, N. GARCIA &<br>C. BOURNOT |
| -Optique (1er LEG)                         | M. PANOUSE                              |
| (2ème LEG)                                 | S. MARITORENA                           |

Date	n° station	Temps en station	Position
23 mai 96	1	matinée	6° 10 E - 42° 20 N
24 mai 96	2	matinée	6° 10 E - 41° 00 N
25 mai 96	3		
26 mai 96	3	3 jours	6° 10 E - 39° 10 N
27 mai 96	3		
28 mai 96	4	matinée	6° 10 E - 38° 00 N
29 mai 96	5	matinée	9° 00 E - 38° 00 N
30 mai 96	6	matinée	11° 20 E - 38° 00 N
30 mai 96	6'	matinée	12° 10 E - 37° 14 N
31 mai 96	7	matinée	13° 15 E - 36° 30 N
1 juin 96	8	matinée	15° 45 E - 36° 00 N
2 juin 96	9	matinée	18° 45 E - 36° 00 N
3 juin 96	10	matinée	20° 20 E - 36° 00 N
4 juin 96	11	matinée	22° 15 E - 36° 00 N
7 juin 96	12	(8h - 12h)	29° 12 E - 34° 40 N
9 juin 96	13	journée	32° 00 E - 34° 00 N
10 juin 96	14	journée	30° 00 E - 34° 00 N
13 juin 96	15	journée	26° 00 E - 34° 00 N
15 juin 96	16	journée	22° 00 E - 34° 00 N
17 juin 96	17		
18 juin 96	17	3 jours	18° 00 E - 34° 00 N
19 juin 96	17		
20 juin 96	18	journée	16° 52 E - 37° 05 N
22 juin 96	19	journée	13° 20 N - 39° 10 N
24 juin 96	20	journée	10° 40 E - 41° 30 N

**PREMIERE PARTIE**

**DONNEES GENERALES**

# **METHODOLOGIE**



## DONNEES HYDROLOGIQUES

Jean RAUNET & Claudie BOURNOT  
LPCM Villefranche sur mer, INSU/ Division Technique de Brest

La sonde CTD utilisée durant la campagne MINOS est une sonde SEABIRD de type SBE911+ équipée des capteurs suivants:

- sonde SBE911+ numéro de série: 92388
- capteur de pression DIGIQUARTZ numéro de série 29760
- capteur de température de type SBE3-02F numéro de série 970
- capteur de conductivité de type SBE4-02/0 numéro de série 606
- capteur d'oxygène polarographique SBE13 numéro de série 13188 et 13262
- transmissiomètre Seatech (trajet optique 25cm) numéro de série 144D puis 146D
- fluorimètre Seatech, numéro de série 38S
- capteur PAR Biospherical QSP200L/4S numéro de série 4339
- capteur de référence PAR Biospherical QSR240 numéro de série 6287

La sonde était couplée à un carrousel Seabird de type SBE32 équipé de 12 bouteilles Niskin de 12 litres.

### Remarques:

L'acquisition des données en temps réel a été effectuée à la cadence de 1 séquence par seconde, avec moyenne interne de 24 échantillons par seconde.

Le fluorimètre Seatech sert à visualiser la concentration en phytoplancton à partir de la mesure de la fluorescence stimulée de la chlorophylle *a*. Il était réglé en gamme " haute " soit 0-3mg/m<sup>3</sup>, avec un temps de réponse de 3 secondes.

Le transmissiomètre Seatech mesure sur un trajet optique de 25cm, l'atténuation d'un pinceau lumineux collimaté, de longueur d'onde 660nm. Un dysfonctionnement de la compensation en température (défaut malheureusement chronique sur ce type d'appareil) a été constaté sur les deux transmissiomètres embarqués lors de la mission et affecte les profils aux heures "chaudes " de la journée .

### Etalonnages

Le capteur de pression (numéro de série 29760) a été étalonné en usine en 88, puis ré-étalonné régulièrement, soit au NRCC (janvier 92), soit au centre IFREMER (juin 94 et mars 95). Ces étalonnages successifs ont confirmé la grande stabilité du capteur de pression; la faible dérive constatée depuis la sortie usine est corrigée par une pente M et un offset B introduits dans le fichier de configuration de la sonde avec les coefficients usine. Cette correction (confirmée par les étalonnages successifs) se traduit par une erreur inférieure au psi, donc bien inférieure au dbar. Aucune correction post campagne n'est donc apportée aux valeurs de pression.

Le capteur de température SN970 a été étalonné avant la campagne MINOS (coefficients pré- croise du 29/02/96 et étalonné en retour de campagne MINOS (coefficients post-croise du 26/07/96 ). La dérive calculée est de 0,00048 degré C°/an (voir rapport de calibration du 26/07/96).

Si l'on compare les valeurs de température calculées avec les coefficients de pré et post croise, cette dérive se traduit par une différence systématique de 0,0002 °C, ce qui est négligeable. On n'apporte donc aucune correction aux données acquises avec les coefficients de pré-campagne étant donné le faible écart.

Conformément aux recommandations, la température est fournie dans la nouvelle échelle internationale de température définie en 90 (ITS90), liée à celle précédemment définie en 1968 (ITPS68) par la relation linéaire suivante:

$$t_{68} = 1.00024 \times t_{90}$$

Le capteur de conductivité SN606 a été étalonné avant la campagne MINOS (coefficients pré-croise du 22/02/96) et étalonné en retour de campagne MINOS (coefficients post-croise du 26/07/96) présentant une dérive de 0,0002

psu/mois (voir rapport de calibration du 31/07/96), on peut considérer que la dérive moyenne est de 0,001 psu sur la période écoulée entre les 2 calibrations.

D'après la note d'application SEABIRD numéro 31, on calcule la pente islope (interpolated slope) qui permet de corriger les données de conductivité à partir des coefficients de pré et post calibration:

$$\text{islope} = 1 + (b/n) \left( \frac{1}{\text{postslope}} - 1 \right)$$

où

n= le nombre de jours entre pré et post calibrations

b= le nombre de jours entre la calibration de pré-campagne et la campagne

postslope= pente estimée à partir des deux calibrations

Postslope étant donnée pour 0.999969, on calcule une pente islope interpolée de 1.000018.

Dans le logiciel de configuration SEACON, on entre donc les coefficients de pré campagne et la valeur islope comme pente.

COND corrigée= COND mesurée\* X 1,000018

\* avec les coefficients pré-campagne

L'introduction de cette pente dans les calculs se traduit par l'augmentation des données salinité de 0,0008 psu .

Quelques échantillons de salinité ont été prélevés en fin de second leg, mais étant donné le manque de répartition sur la durée de la campagne et leur faible nombre, ne permettent pas de calculer une droite de régression linéaire. Les mesures effectuées sur un Portasal Guildline concordent avec la calibration précédente.

## DOSAGE DE L'OXYGENE DISSOUS

Thierry MOUTIN

Centre d'Océanologie de Marseille, Campus de Luminy, 13288 Marseille cédex 9

### Introduction :

La méthode utilisée pour le dosage de l'oxygène dissous est la méthode de Winkler, modifiée par Carpenter (1965) et Carritt & Carpenter (1966). Le principe du dosage est de former un précipité de manganèse (Mn II) et de l'oxyder par l'oxygène dissous (Mn III et Mn IV). En milieu acide et en présence d'iodure, le manganèse est réduit, ce qui libère de l'iode. L'iode est alors titré par le thiosulfate. Le protocole expérimental suivi est décrit par Culberson (1991).

### Mode opératoire :

Pour chaque série de dosages, une détermination du blanc et deux étalonnages de la solution de thiosulfate ont été réalisés. L'iodate utilisé pour l'étalonnage du thiosulfate a été calibré par rapport à l'iodate CSK (Wako Chemicals GmbH).

Remarque : Les flacons et burettes utilisés ont été calibrés. Il a été pris en compte l'effet du facteur de poussée (différence de pesée à l'air et sous vide) et l'effet de la température (expansion du verre avec la température) sur le volume des flacons d'échantillonnage.

### Variabilité :

La variabilité intra-bouteille a été évaluée en effectuant sur trois bouteilles Niskin plusieurs prélèvements suivis d'autant d'analyses. Les intervalles de confiance (moyenne  $\pm t_{S_m}$ ) obtenus avec  $\alpha = 0.01$  sont les suivants :

5.495  $\pm 0.027$  ml.l<sup>-1</sup> (N=5)                      5.460  $\pm 0.014$  ml.l<sup>-1</sup> (N=6)                      6.034  $\pm 0.023$  ml.l<sup>-1</sup> (N=5)

### Expression des résultats :

$$[O_2] \text{ (moles.l}^{-1}\text{)} = C_{\text{thio}}(V_{\text{thio}} - b)/(4*(V_{f(t)} - (v_1 + v_2))) - (10^3 * 5,3 \cdot 10^{-8})/(V_{f(t)} - (v_1 + v_2))$$

avec :

-V<sub>thio</sub> : volume de thiosulfate utilisé pour doser un échantillon (ml)

-V<sub>f(t)</sub> : volume d'eau de mer prélevé (ml) à la température de prélèvement.

V<sub>f(t)</sub> = (V<sub>f</sub>(20°C) \* (1 +  $\alpha_v$ \*(t - 20))) \* f avec  $\alpha_v = 1,0 \cdot 10^{-5}$  (facteur d'expansion thermique pour du verre borosilicaté) et f=1.00105 (facteur de "poussée").

-C<sub>thio</sub> : concentration du thiosulfate (mol.l<sup>-1</sup>)

-b : volume du blanc réactifs (ml)

-v<sub>1</sub> + v<sub>2</sub> : volume des réactifs 1 et 2 (1,4 ml) déplaçant un volume équivalent d'eau de mer lors de la fermeture des flacons. L'addition ultérieure d'acide ne produit pas de dilution car il remplace un volume équivalent d'eau exempte d'oxygène.

-5,3  $\cdot 10^{-8}$  : moles d'oxygène apportées par les réactifs. D'après Murray *et al.* (1968), la solubilité de l'oxygène dans une atmosphère de pression partielle d'O<sub>2</sub> égale à 0,2080 est égale à :

1,67 ml d'O<sub>2</sub> à STP.l<sup>-1</sup> pour MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O 600 g.l<sup>-1</sup>

0,040 ml d'O<sub>2</sub> à STP.l<sup>-1</sup> pour NaI 600 g.l<sup>-1</sup> et NaOH 320 g.l<sup>-1</sup>.

L'addition de v<sub>1</sub> ml de réactif 1 et v<sub>2</sub> ml de réactif 2 conduit à un apport d'O<sub>2</sub> égal à (v<sub>1</sub>.1,67 + v<sub>2</sub>.0,04)/1000 ml d'O<sub>2</sub> à STP, c'est à dire (v<sub>1</sub>.1,67 + v<sub>2</sub>.0,04)/(1000.22391) moles d'oxygène. Dans notre cas, v<sub>1</sub> = v<sub>2</sub> = 0,7 ml, la quantité d'oxygène apportée par les réactifs est de 5,3  $\cdot 10^{-8}$  moles.

### Conversion en d'autres unités :

$$[O_2] \text{ (ml.l}^{-1}\text{)} = [O_2] \text{ (moles.l}^{-1}\text{)} * 22391$$

$$[O_2] \text{ (}\mu\text{mol.kg}^{-1}\text{)} = [O_2] \text{ (ml.l}^{-1}\text{)} * 44,660/\rho(S,\theta(S,t,p),0)$$

$$[O_2] \text{ (}\mu\text{mol.kg}^{-1}\text{)} = [O_2] \text{ (mol.l}^{-1}\text{)} . 10^6/\rho(S,\theta(S,t,p),0)$$

-22391 : Dans les conditions normales de température et de pression ( $t=0$  °C et  $p=1\text{atm}$ ), la masse volumique de l'oxygène est de  $1,429 \text{ g.l}^{-1}$  (Handbook of chemistry and physics). Une mole d'oxygène pèse 31,997 g et occupe donc un volume de 22391 ml.

$$-44,660 = 1000/(31,997/1,429)$$

$-\rho(S,\theta(S,t,p,0),0)$  est la masse volumique de l'eau de mer à la pression atmosphérique. Elle dépend de la salinité  $S$  et de la température potentielle  $\theta$ .

L'unité utilisée dans les tableaux de résultats est l'unité recommandée internationalement : le  $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ . Pour vérifier que la conversion d'unité de  $\text{ml.l}^{-1}$  à  $\mu\text{mol.kg}^{-1}$  est correctement effectuée, il est possible d'utiliser le tableau suivant extrait de Culberson (1991) après modification.

$\theta(S,t,p,0)$ (°C)	Salinité	$\rho(S,\theta(S,t,p,0),0)$	Oxygène dissous	
			$\text{ml.l}^{-1}$	$\mu\text{mol.kg}^{-1}$
10.78	35.398	1.02712595	3.3738	146.69
2.19	34.915	1.02788823	6.1839	268.68

### Détermination de la valeur à saturation :

Le calcul de la valeur à saturation ( $[\text{O}_2]_S$  en  $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ ) est effectué à partir de la valeur de la température potentielle ( $\theta$  en degré Kelvin) et de la salinité ( $S$ ) selon l'équation empirique de Benson & Krause (1984) comme le recommande Millero (in UNESCO, 1986).

$$[\text{O}_2]_S = \exp \{ -135.29996 + 1.572288 * (10^5 / \theta) - 6.637149 * (10^7 / \theta^2) + 1.243678 * (10^{10} / \theta^3) - 8.621061 * (10^{11} / \theta^4) - S * (0.020573 - 12.142 / \theta + 2363.1 / \theta^2) \}$$

### Références :

- Benson, B.B., & D. Krause, Jr. 1984. The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in fresh water and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnol. Oceanogr.*, 29, 620-632.
- Carpenter, J.H. 1965. The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 135-140.
- Carpenter, J.H. 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10, 141-143.
- Carritt, D.E. & J.H. Carpenter. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea-water; a NASCO report. *J. Mar. Res.* 24, 286-318.
- Culberson, C.H. 1991. WHP Operations and Methods, Dissolved Oxygen. WHP Office Report WHPO 91-1. WOCE Report No. 68/91. Woods Hole, Mass., USA.
- Murray, C.N., Riley J.P. & T.R.S. Wilson. 1968. The solubility of oxygen in Winkler reagents used for the determination of dissolved oxygen. *Deep-Sea Res.* 15, 237-238.
- UNESCO, 1986. Progress on oceanographic tables and standards 1983-1986 : work and recommendations of the UNESCO/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel. *Unesco Technical papers in marine science*, n° 50, 59 p.

## ANALYSE DES SELS NUTRITIFS

Patrick RAIMBAULT et Benyahia BOUDJELLAL\*

Centre d'Océanologie de Marseille, Faculté de Luminy, 13288 Marseille cédex 9

\* ISMAL, BP 90, Alger. Algérie

Le dosage des sels nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium et phosphate) a été effectué par des méthodes colorimétriques classiques automatisées sur des chaînes AutoAnalyseur Technicon selon les protocoles définis par Tréguer et Le Corre (1975). Les très faibles concentrations de nitrate et de nitrite rencontrées dans la couche superficielle (<100 nM) sont déterminées à l'aide d'une méthode sensible (Raimbault *et al.*, 1990).

Les échantillons sont directement prélevés à la rosette dans des flacons en polyéthylène pour les nitrate, nitrite et phosphate, et en verre pour l'ammonium. Pour éviter tout risque de pollution l'aiguille de pompage du système analytique plonge directement dans ces flacons de prélèvement. Les analyses sont effectuées immédiatement après le prélèvement dans un délai inférieur à une heure.

La ligne de base est réglée en analysant de l'eau déionisée MilliQ Plus. Une correction de l'effet de sel est donc appliquée aux hauteurs de pic pour le calcul des concentrations. Pour le dosage de l'ammonium, la ligne de base est réalisée avec de l'eau de mer profonde (2000 m).

La calibration de chaque voie d'analyse est effectuée à chaque station à l'aide de 4 solutions standard couvrant la gamme des concentrations rencontrées pour chaque élément. Ces solutions ont été préparées à partir de produits ultra purs (Merck) et ont été comparées avec des solutions standard CSK WAKO (Sagami Research Center). Les résultats sont donnés en  $\mu\text{M}$  pour les mesures classiques et en nM pour les procédures sensibles.

### Références

Raimbault P., Slawyk G., Coste B., Fry J., 1990. Feasibility of using an automated procedure for the determination of seawater nitrate in the 0-100 nM range: examples from field and cultures. *Mar. Biol.*, 104: 347-351.

Tréguer P. et Le Corre P., 1975. *Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoAnalyseur II Technicon)*. Laboratoire d'Océanographie chimique, Université de Bretagne occidentale, 110 pp.

## DOSAGE DE LA CHLOROPHYLLE PAR FLUORIMETRIE

Patrick RAIMBAULT & Benyahia BOUDJELLAL

Centre d'Océanologie de Marseille, Faculté de Luminy, 13288 Marseille cédex 9

La concentration en chlorophylle *a* a été déterminée selon la méthode fluorimétrique de Yentsch et Menzel (1963) adaptée par Holm-Hansen et Rieman (1978) pour l'extraction des pigments à l'aide du méthanol. Le protocole utilisé au cours de la campagne a été décrit par Herbland *et al.* (1985).

Les échantillons d'eau de mer (250 ml) prélevés sur les bouteilles Niskin de la rosette sont filtrés sur un filtre en fibre de verre Whatman GF/F de diamètre 25 mm. La dépression utilisée est toujours inférieure à 100 mmHg. Immédiatement après la filtration, le filtre est placé dans un tube contenant 5 ml de méthanol pur. La teneur en eau résiduelle du filtre étant de 0.19 ml, l'extraction s'effectue dans 5.2 ml de méthanol à 97%. Le tube est ensuite bouché et placé dans un réfrigérateur (5°C) pour une période d'extraction de 30 minutes. Après ce délai la fluorescence de l'échantillon est mesurée sur un fluorimètre Turner designs 10.005R équipé d'un Kit pour la détermination de la chlorophylle *a* (lampe F4T4BL, Filtre primaire Corning 5-60, filtre secondaire Corning 2-60).

La technique d'acidification permettant de déterminer la part des phaeopigments a été utilisée. Mais en présence de chlorophylle *b* dans l'échantillon cette technique entraîne une sous-estimation des teneurs en chlorophylle *a*. Les résultats fournis ne concernent donc que la chlorophylle *a* calculée d'après la formule suivante qui néglige la présence des phaeopigments:

$$\text{Chl} = F_0/K_0 \times v/V$$

$F_0$  = valeur de fluorescence

$K_0$  est le coefficient d'étalonnage établie avec de la chlorophylle *a* pure (Sigma C5753)

$v$  est le volume d'extraction (5.2 ml) et  $V$  le volume filtré (250 ml).

### Références

- Herbland A., LeBouteiller A., Raimbault P., 1985. Size structure of phytoplankton in the Equatorial Atlantic Ocean. *Deep Sea Res.*, 32: 819-836.
- Holm-Hansen O; et Rieman B., 1978. Chlorophyll *a* determination: improvements in methodology. *Oikos*, 30, 438-447.
- Yentsch C.S. et Menzel D.W., 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep Sea Res.*, 10: 221-231.

# MESURE DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Thierry MOUTIN

Centre d'Océanologie de Marseille, Campus de Luminy, 13288 Marseille cédex 9

L'essentiel des opérations a été réalisé selon les recommandations de France-JGOFS PFO (Protocoles recommandés : qualité chimique des prélèvements. Mesure de la production primaire. 1 Production primaire. Bermuda Time series study (février 1991)).

## Matériel utilisé :

-flacon en polycarbonate de volume 320 ml.

-solution de travail RA préparée à partir de 2 ampoules de  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  (12.5 ml, 25 mCi, 50-60 mCi/mme) Amersham CFA3 identifiée sous les n° DD5572 et DD5573.

1-Dissolution de 0.18 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Aldrich 20,442-0) dans 600 ml d'eau milliQ préalablement autoclavée dans des flacons en téflon.

2-Ajout des deux ampoules de  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  à la solution précédente.

3-Préparation de 54 mini-flacons (préalablement autoclavés) contenant 11.5 ml de solution de travail RA et sertis sous flamme.

## Protocole suivi à chaque station :

1-Prélèvement à la rosette de 4h du matin à différents niveaux prédéterminés par le profil de fluorescence.

-à chaque niveau, prélèvement de 3 flacons clairs (C) pour mesurer l'assimilation de carbone à la lumière et d'1 flacon sombre (N) pour mesurer l'assimilation de carbone à l'obscurité.

-à 3 niveaux, prélèvement d'1 flacon ( $t_0$ ) pour mesurer la fixation de carbone immédiate non liée à l'assimilation biologique.

2-Introduction du traceur : ouverture d'un mini-flacon de solution de travail RA et introduction de 250  $\mu\text{l}$  dans tous les flacons puis maintien au noir des flacons.

3-Filtration immédiate des ( $t_0$ ) et ajout de 500  $\mu\text{l}$  d'HCl 0.5 M sur les filtres, mis à l'étuve 12 h puis stockés.

4-Mise à l'eau du mouillage avant le lever du soleil

5-Récupération du mouillage au midi solaire ou le lendemain après 24h.

6-Filtration immédiate de la totalité des flacons et ajout de 500  $\mu\text{l}$  d'HCl 0.5 M sur les filtres mis à l'étuve 12 h pour élimination totale du  $^{14}\text{C}$  minéral non fixé puis stockage à la température ambiante. Prélèvement de 250  $\mu\text{l}$  dans trois flacons pris au hasard auxquels sont ajoutés 250  $\mu\text{l}$  d'éthanolamine dans le but de déterminer la quantité de traceur introduite ( $Q_i$ ).

## Comptage :

Ajout de 10 ml de scintillant Aquasol-2 (Packard) sur les filtres secs puis comptage au scintillateur (Packard Tri carb 2100 TR) après 24h. Dans les fioles de mesure de la radioactivité totale ( $Q_i$ ), ajout supplémentaire de 1 ml d'eau milli-Q après l'ajout des 10 ml de scintillant.

## Calculs :

La production journalière est estimée en utilisant l'équation suivante :

$$PP (\text{mg C.m}^{-3}.\text{j}^{-1}) = A_C * k - (A_N/T) * 24$$

avec :

-  $A_C$  ( $\text{mg C.m}^{-3}$ ) = assimilation de carbone à la lumière :

$A_C$  est égale à la fraction de carbone assimilée dans les flacons clairs ( $F_C$ ) que multiplie la concentration en carbone minéral total de l'eau de mer ( $\text{TCO}_2$ ).

$$A_C = F_C * \text{TCO}_2$$

$$F_C = (\text{dpm}_{(C)} - \text{dpm}_{(t_0)}) / (\text{dpm}_{(Q_i)} * 1280)$$

$\text{TCO}_2$  ( $\text{mg C.m}^{-3}$ ) a été déterminé pour chaque niveau selon la formule proposée par Copin-Montégut (1993).

-  $k$  : facteur déterminé expérimentalement égal à 1.4 si la mesure de production est réalisée sur la matinée et égal à 1 si elle est déterminée sur la journée.

-  $A_N$  ( $\text{mg C.m}^{-3}$ ) = assimilation de carbone à l'obscurité :

$A_N$  est égale à la fraction de carbone assimilée dans le flacon sombre ( $F_N$ ) que multiplie la concentration en carbone minéral total de l'eau de mer ( $TCO_2$ ).

$$A_N = F_N * TCO_2$$

$$F_N = (dpm_{(N)} - dpm_{(to)}) / (dpm_{(Qi)} * 1280)$$

-T (h) : durée de l'incubation.

La production intégrée  $mgC.m^{-2}.j^{-1}$  est calculée par la méthode des trapèzes à partir des mesures par niveau. Le taux le plus proche de la surface est présumé être constant jusqu'à 0 m, et celui à 20 m en-dessous de la dernière profondeur échantillonnée être égal à zéro.

#### **Détermination expérimentale du facteur k :**

Le facteur k a été déterminé à partir de deux expériences de cinétique : il permet d'extrapoler les valeurs de production établie sur la matinée à des valeurs journalières. Il a été considéré en particulier comme indépendant de la zone géographique et de la profondeur. Il est évident qu'un plus grand nombre d'expériences permettrait d'améliorer la précision de ce facteur et ceci peut être réalisé à posteriori : les tableaux suivant présentent donc les valeurs de production journalière mais également les valeurs d'assimilation  $A_C$  et  $A_N$  indépendantes de ce facteur.



## PIGMENTS PHYTOPLANCTONIQUES

F. VIDUSSI et H. CLAUSTRE

Laboratoire de Physique et Chimie Marines, quai de la Darse B.P. 08  
06238 Villefranche-sur-mer

Les pigments phytoplanctoniques ont été analysés à bord, exceptés les échantillons des stations 13 et 20 qui ont été stockés dans l'azote liquide et analysés au retour de la mission.

### *Protocole d'échantillonnage et d'analyse*

L'eau de mer (2 litres) a été prélevé avec le système CTD-Rosette et filtré sur filtres GF/F de 25 mm de diamètre. Les filtres ont été ensuite extraits dans 3 ml de méthanol contenant une quantité connue de Standard Interne (Zn-pyropheophorbide *a* alkyl esters, Mantoura et Repeta, 1997) et gardés au congélateur pendant une journée. Les filtres ont été ensuite broyés avec une sonde à ultrason pendant 10-15 secondes, congelés pendant 20 minutes et filtrés sur filtres GF/C afin d'obtenir des extraits pigmentaires limpides. Les échantillons ont été analysés par HPLC par la méthode de Vidussi *et al.* (1996). Par rapport au système HPLC décrit dans cette méthode, la préparation de l'extrait pigmentaire (mélange échantillon : acétate d'ammonium, 2:1) et l'injection ont été effectués en mode automatique, grâce à un préparateur-injecteur d'échantillons (Thermo Separation Products).

Mantoura, R.F.C., et Repeta, D.J. (1997). Calibration methods for HPLC. In: Jeffrey et al. (eds), *Phytoplankton pigments in Oceanography*, UNESCO publishing, p 407-428.

Vidussi, F., Claustre, H., Bustillos-Guzmán, J., Cailliau, C. and Marty, J.C. (1996). Determination of chlorophylls and carotenoids: separation of chlorophyll *a* from divinyl-chlorophyll *a* and zeaxanthin from lutein. *Journal of Plankton Res.*, 18, 2377-2382.

LEGENDE du tableau des données pigments (**la concentration des pigments est en ng/l**)

COLONNE	ABREVIATION	SIGNIFICATION
1	ST	station
2	SITE	site visité (1-20)
3	PROF	profondeur (dbar)
4	chl c3	chlorophylle <i>c</i> <sub>3</sub>
5	chlc 12	chlorophylle <i>c</i> <sub>1</sub> + chlorophylle <i>c</i> <sub>2</sub>
6	peri	péridinine
7	19'BF	19'-butanoyloxyfucoxanthine
8	fuco	fucoxanthine
9	19'HF	19'-hexanoyloxyfucoxanthine
10	prasi	prasincoxanthine
11	diadi	diadinoxanthine
12	allo	alloxanthine
13	diato	diatoxanthine
14	zea	zéaxanthine
15	dvchlb	divinyl-chlorophylle <i>b</i>
16	chl b	chlorophylle <i>b</i>
17	achla	allomère de chlorophylle <i>a</i>
18	dvchla	divinyl-chlorophylle <i>a</i>
19	chl a	chlorophylle <i>a</i>
20	chl a'	epimère de chlorophylle <i>a</i>
21	β-car	α carotene +β-carotene
22	Tchla	chlorophylle <i>a</i> totale (chlorophylle <i>a</i> + divinyl-chlorophylle <i>a</i> )

# POPULATIONS PICOPLANCTONIQUES

Daniel VAULOT, Frédéric PARTENSKY, Dominique MARIE  
Station Biologique, BP 74 29682 Roscoff France

## METHODES

Les différentes populations du picoplancton ont été caractérisées à bord par cytométrie en flux à l'aide d'un FACSort (Becton Dickinson) installé dans le container de la Station Biologique. En ce qui concerne la fraction autotrophe, les échantillons ont été analysés frais et les trois populations (*Prochlorococcus*, *Synechococcus*, picoeucaryotes) discriminées par leurs caractéristiques de taille et de fluorescence (Partensky et al. 1996). A la plupart des stations les *Prochlorococcus* étaient trop peu fluorescents pour être détectés dans la couche 0-50m. En ce qui concerne la fraction hétérotrophe, les bactéries ont été analysées après fixation et marquage par le colorant de l'ADN SYBR-I Green (Marie et al. 1997).

## DONNEES : FICHIER MINOCELL.XLS

Colonne	Signification	Unités
<b>Cruise</b>	Campagne	
<b>Station</b>	Station	
<b>CTD</b>	CTD	
<b>Depth</b>	Profondeur	m
<b>Bottle</b>	Bouteille	
<b>PromL</b>	Concentration <i>Prochlorococcus</i>	cell ml <sup>-1</sup>
<b>SynmL</b>	Concentration <i>Synechococcus</i>	cell ml <sup>-1</sup>
<b>PEukmL</b>	Concentration Picoeucaryotes	cell ml <sup>-1</sup>
<b>BactmL</b>	Concentration Bactéries	cell ml <sup>-1</sup>
<b>RemarkPico</b>	Remarques éventuelles	

## RESULTATS

A toutes les stations (excepté la Station 1 située près des côtes), nous avons trouvé les 3 populations caractéristiques du picoplancton photosynthétique: *Prochlorococcus*, *Synechococcus*, picoeucaryotes. Un des grands intérêts de la campagne MINOS a été de pouvoir échantillonner une grande variété de conditions trophiques, allant des situations oligotrophes du bassin oriental caractérisées par de faibles concentrations de *Synechococcus* et un maximum profond de *Prochlorococcus* (Stn 17, Fig. 1), à des situations mésotrophes dans le bassin occidental avec des concentrations dix fois plus élevées de *Synechococcus* et des profils verticaux de *Prochlorococcus* et de *Synechococcus* très similaires (Stn 6, Fig. 1). Nous disposons aussi à toutes les stations des concentrations de bactéries mesurées par cytométrie en flux, ce qui devrait nous permettre d'établir les liens existant entre biomasses auto- et hétéro-trophes.

## REFERENCES

- Marie, D., Partensky, F., Jacquet S., Vaulot, D. 1997. Enumeration and cell cycle analysis of natural populations of marine picoplankton by flow cytometry using the nucleic acid stain SYBR Green I. **Applied and Environmental Microbiology** 63: 186-193
- Partensky, F., Blanchot, J., Lantoine, F., Neveux, J., Marie, D. 1996. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the subtropical northeastern Atlantic ocean. **Deep-Sea Res.** 43: 1191-1213

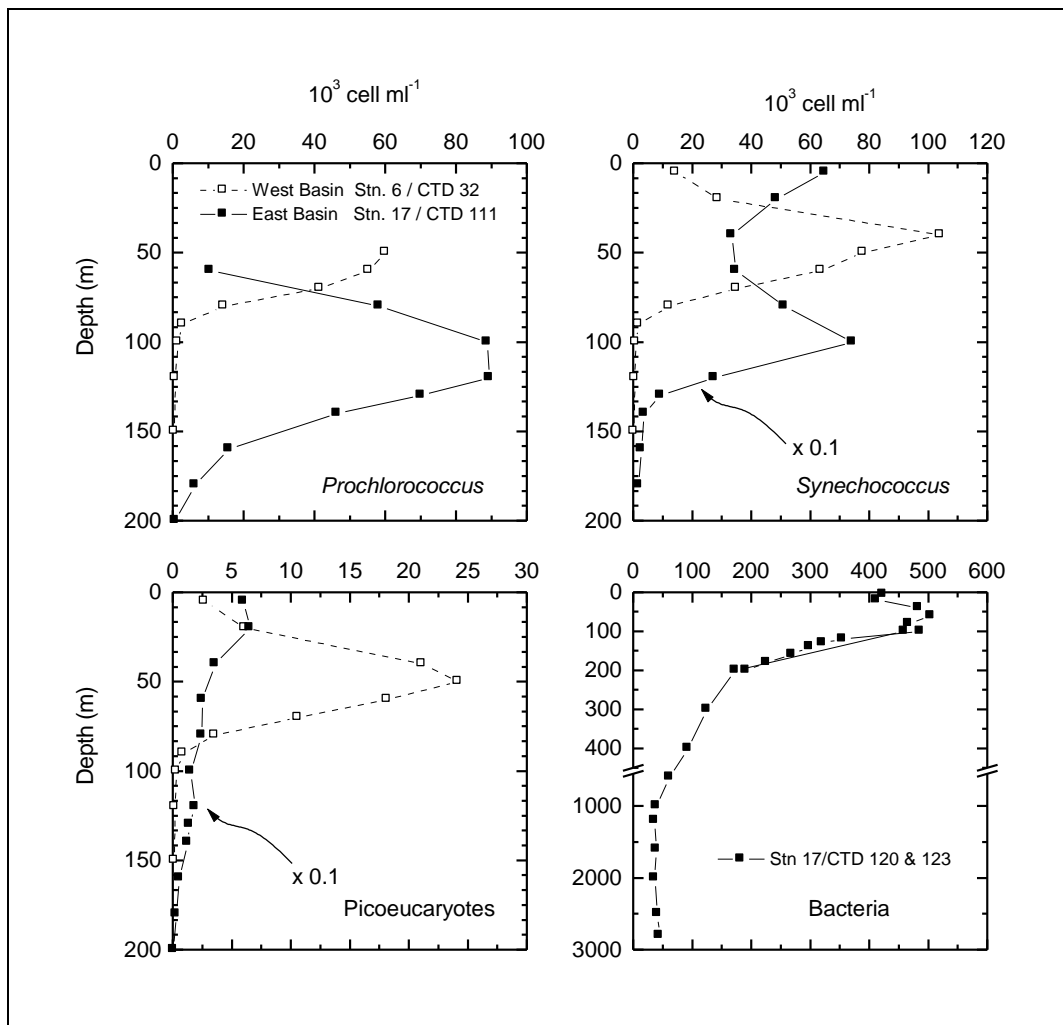


Fig. 1 : Abondances des populations de picoplancton mesurées par cytométrie en flux à deux stations de la campagne MINOS (données Partensky, Marie et Vaultot). Noter que pour la station 17, les concentrations de *Synechococcus* et de picoeucaryotes doivent être divisées par 10.

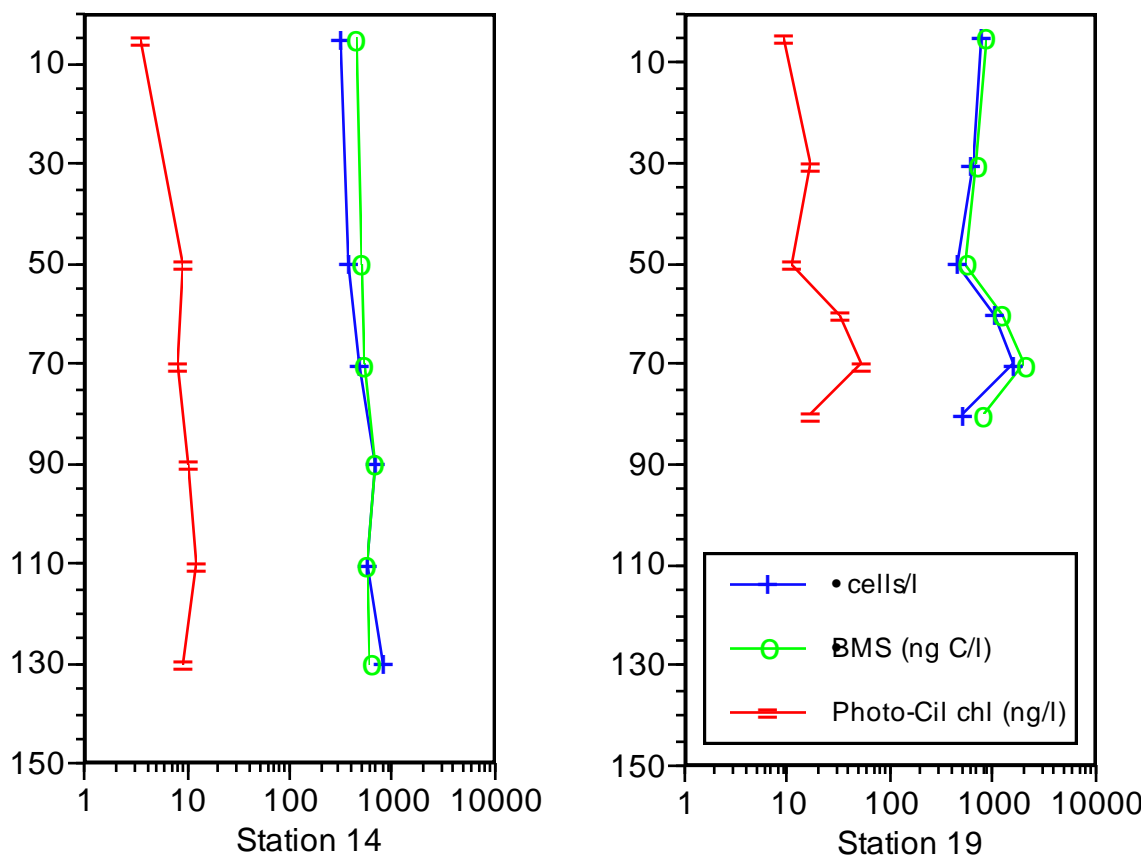
## DENOMBREMENT DU MICROZOOPLANCTON (CILIES)

John DOLAN  
 URA 2077  
 Station Zoologique  
 06230 Villefranche-Sur-Mer  
 tel 04-93-76-38-22, fax 04-93-76-38-34, email dolan@ccrv.obs-vlfr.fr

### Le dénombrement du microzooplancton (Ciliés)

A chaque station, six échantillons, repartis entre la surface et le fond du maximum de chlorophylle, ont été prélevés et fixés au Lugol's (2% conc. final). Les échantillons ont été examinés suivant un protocole détaillé ailleurs (Dolan & Marrasé 1995: Deep-Sea Res. 42: 1965-1987) En bref, les échantillons de 500 ml ont été concentrés jusqu'à 75 ml, et 50 ml de ce concentré (équivalent à 333 ml) été examiné avec un microscope inversé. Les Ciliés tintinnides été classés par espèce. Les autres ciliés étaient répartis en 25 catégories distinguées par taille et groupe fonctionnel (hétérotrophes, mixotrophes et autotrophes). Les biovolumes étaient convertis en carbone et chlorophylle pour les ciliés mixotrophes et autotrophes, basés sur les facteurs de conversions.

A l'heure actuelle (5 mai 1997) 50 % des échantillons ont été dépouillés. Les données complete seront disponible (format EXCEL Macintosh) sur demande après le 1er janvier 1998.



## MATIERES PARTICULAIRES RECUEILLIES DANS LES PIEGES DERIVANTS

Patrick RAIMBAULT, Nicole GARCIA, Claudie BOURNOT\*

Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Faculté de Luminy, 13288 Marseille.

\*INSU, Antenne de Brest, 29000 Plouzané

### Procédure utilisée

Quatre pièges dérivants de type PPS4 (ouverture de 0.05 m<sup>2</sup>) ont été mouillés à chaque station, placés au bas de la ligne de production primaire juste au dessous de la couche euphotique vers 150-200 m. La durée de collecte a été équivalente à celle des incubations avec les traceurs carbone-14 et azote-15: 7-8 heures au cours de la première partie et 22-23 heures au cours de la deuxième. Les échantillons n'ont pas été empoisonnés et ont été traités immédiatement à bord après la récupération des pièges. L'analyse du carbone et de l'azote particulaire a été réalisée sur au moins un piège à chaque station.

### Traitement des échantillons

Après avoir retiré les organismes nageurs, chaque échantillon est filtré sur un filtre GF/F (diamètre 25 mm) calciné à 450°C pendant 24 heures et préalablement pesé. En fin de filtration le filtre est rincé avec de l'eau déionisée, puis il est mis à sécher à l'étuve à 60°C pendant 24 heures. Après séchage les filtres sont conservés au sec dans une boîte étanche, en présence de silicagel.

Au laboratoire les filtres sont pesés, pour connaître par différence la quantité totale de matière recueillie (mg.m<sup>-2</sup>.j<sup>-1</sup>), puis analysés sur un CHN Leco 800 pour déterminer les teneurs en carbone et azote. Les résultats obtenus sont fournis dans le tableau suivant et sur la figure 1.

## OPTIQUE (2ème LEG)

Stéphane MARITORENA  
LAB. HYDROSPHERIC PROCESSES/SEAWIFS  
NASA/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER CODE 970.2  
GREENBELT, MD 20771, USA

Le Tableau 1 indique, pour les 2 radiomètres utilisés durant le second leg, les profondeurs auxquelles il ne subsiste qu'1% de l'énergie lumineuse visible (PAR : 400-700 nm) incidente en surface. Les positions du navire et les numeros de CTD, immédiatement avant et après les mesures d'optique *in situ*, sont également indiqués. Pour le spectroradiomètre LI-COR, les quantités d'énergie à chaque profondeur de mesure d'une station sont calculées par intégration du spectre entre 400 et 700 nm. Une régression polynomiale est ensuite effectuée sur les logarithmes du profil d'éclairements ainsi obtenu. La profondeur du 1% est alors déterminée par rapport à l'éclairement incident en surface (dans l'air) corrigé d'une perte de 4% par reflexion à l'interface air/eau.

Le radiomètre Satlantic effectue automatiquement l'intégration des spectres sous-marins et incidents. Les pourcentages d'énergie lumineuse visible sont également directement calculés durant un profil. Les profondeurs auxquelles il ne subsiste que 0,1% de l'éclairement incident sont aussi mentionnées pour cet appareil.

Les estimations dérivées des deux radiomètres sont très proches. Cependant, le spectroradiomètre LI-COR ayant une meilleure résolution spectrale, nous recommandons plutôt d'utiliser les résultats obtenus avec cet appareil.

Le tableau 2 indique, pour chaque station, les valeurs du PAR (Photosynthetic Available Radiation, 400-700nm) aux profondeurs de mesure du spectroradiomètre LI-COR. Ces valeurs sont obtenues, pour les éclairements ascendants,  $E_u$ , et pour les éclairements descendants,  $E_d$ , par intégration des valeurs spectrales entre 400 et 700 nm. Il convient de noter qu'à proximité de la surface différentes perturbations peuvent affecter les mesures (ombre du bateau, réflexion par la coque, effets de lentille dus aux vagues,...). Les protocoles de mesures utilisés minimisent ces effets sans cependant les éliminer complètement comme en témoignent les courbures apparaissant sur les profils dans la zone 0-20m.