

Méthodologie d analyse des campagnes MOOGLI

LISTE DES EMBARQUANTS

RESUME

THEME SCIENTIFIQUE ET MOTIVATIONS

TRAITS GENERAUX DU GOLFE DU LION

OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE

STRATEGIE ET METHODES D ANALYSE

Hydrologie MOOGLI 1 - FETCH

Hydrologie MOOGLI 2 et 3

Sels nutritifs

Chlorophylle

Matière organique

Production primaire

Absorption de l azote

LISTE DES EMBARQUANTS

Institut National des Sciences de l'Univers
Division technique, 29280 Plouzané

Claudie Bournot (IE CNRS) bournot@ifrtp.ifremer.fr

Centre d'Océanologie de Marseille
Campus de Luminy, 13288 Marseille cedex 09

Gaëlle Coustillier (IE CNRS) coustillier@com.univ-mrs.fr

Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie
Campus de Luminy, 13288 Marseille cedex 09

Lionel Denis (Doctorant)	Lionel.Denis@univ-mrs.fr
Frédéric Diaz (doctorant)	diaz@com.univ-mrs.fr
Nicole Garcia (AI)	garcia@com.univ-mrs.fr
Christian Grenz (CR)	grenz@com.univ-mrs.fr
Raymond Gaudy (DR)	gaudy@com.univ-mrs.fr
Dominique Lefèvre (CR)	lefevre@com.univ-mrs.fr
Thierry Moutin (MC)	moutin@com.univ-mrs.fr
Anne Petrenko (MC)	petrenko@com.univ-mrs.fr
Patrick Raimbault (DR)	raimbault@com.univ-mrs.fr

DIMAR, Station Marine d'Endoume
Rue Batterie des Lions, 13003 Marseille

Françoise Cubizolles	
Wallid Younes (doctorant)	younes@com.univ-mrs.fr
Nathaniel Bensoussan (doct.)	bensoussan@com.univ-mrs.fr
Elisabeth Alliot (CR)	alliot@com.univ-mrs.fr

Laboratoire de Microbiologie Marine
Campus de Luminy, 13288 Marseille cedex 09

France Van Wambeke (CR) wambeke@com.univ-mrs.fr

Observatoire Océanologique de Banyuls
Laboratoire Arago, 66650, Banyuls/mer

Yvan Barbouty	
Francis de Bovée (DR)	fdebovee@obs-banyuls.fr
François lantoine (MC)	lantoine@obs-banyuls.fr
Laurence Medernach (doctorant)	
Jean-François Verleene (Doctorant)	
Gilles Vétion (Tech.)	vetion@arago.obs-banyuls.fr

Centre National de Recherche Marine (NCMR) - Athènes

Urania Kristaki	urania@erato.fl.ariadne-t.gr
-----------------	--

Institut des Sciences de la mer et du littoral (ISMAL) - Alger

Benyahia Boudjellal	boudjben@yahoo.fr
---------------------	--

Institut de Recherche et de Développement (IRD)

Martine Rodier (CR)	rodier@com.univ-mrs.fr
---------------------	--

Remerciements: *Les campagnes MOGLI ont pu être réalisées grâce aux soutiens du PNEC, de l'INSU, de l'IFREMER et du programme européen Metro-Med. L'équipe scientifique tient à remercier les équipages de l'Atalante et du Suroît pour l'aide apportée lors des opérations à la mer. Un salut amical est adressé aux équipes du programme FETCH avec lesquelles nous avons collaboré lors de la campagne couplée FETCH-MOGLI 1.*

RESUME

L'opération MOOGLI (**MO**délisation et **O**bservation du **G**olfe du **L**ion) a pour objectif général l'étude de l'évolution saisonnière de la structure et du fonctionnement de l'écosystème du golfe du Lion (Méditerranée nord-occidentale). Cette région côtière est physiquement gouvernée par une structure hydrodynamique puissante, le Courant Nord Méditerranéen, et est soumise aux apports telluriques et anthropiques du Rhône. Le but est d'établir un bilan annuel à méso-échelle du carbone et des éléments biogènes.

La démarche adoptée pour atteindre cet objectif est la suivante:

- 1. Observation et description des systèmes hydrodynamiques, des structures chimiques et biologiques des systèmes pélagiques et benthiques.
- 2. L'utilisation des données pour la modélisation hydrodynamique et le couplage physique-biologie. Le but ultime est de réaliser un modèle couplé 3D à méso-échelle sur l'ensemble du golfe du Lion.

Les campagnes, fondamentalement pluridisciplinaires (physique, chimie, biologie pélagique et benthique, biogéochimie), ont mis en oeuvre des opérations variées telles que profils hydrologiques, prélèvements d'eau à la bouteille, mesures de la production primaire (^{14}C , ^{15}N et ^{33}P), de la production secondaire et de l'activité bactérienne, échantillonnage du benthos (carottage) et mesures des flux d'échanges à l'interface eau/sédiment (chambre benthique).

La stratégie retenue est une série de 3 campagnes réalisées avec les navires de l'IFREMER, Le Suroît et L Atalante, à trois périodes clé du cycle annuel:

- MOOGLI 1(-FECTH) en début de printemps (10 mars au 15 avril 98) avec L Atalante
- MOOGLI 2 en fin de printemps (2 -19 juin 98) avec Le Suroît
- MOOGLI 3 en hiver (10 -21 janvier 99) avec Le Suroît

L'opération MOOGLI relève du Programme National Environnement Côtier (PNEC) et s'inscrit dans les principales thématiques du programme européen METRO-MED (financé par MAST III).

ABSTRACT

The aim of the experiment MOOGLI (**M**odelization and **O**bservation of the **G**ulf of **L**ions) is to study the seasonal evolution of the marine system of the Gulf of Lions (Northwestern Mediterranean) which is physically controlled by a strong and permanent hydrodynamical feature, the North Mediterranean Current, and is influenced by the terrestrial and anthropic inputs from the Rhone river. The main goal is to establish an annual budget of carbon and of biogenic elements at meso-scale in the gulf of Lions.

To reach this objective, the specific approach is the following:

- 1. Observation and description of the hydrodynamical, chemical and biological structures of pelagic and benthic systems during seasonal cruises.
- 2. The use of these *in situ* data for hydrodynamical modelization and for a coupling with the biogeochemical model. The research tool is to develop a three-dimensional model of the gulf of Lions describing the hydrodynamics and the biogeochemical cycles.

The cruises are basically multidisciplinary (physics, chemistry, biology, biogeochemistry). Very diverse operations at sea have been planned, such hydrodynamical profiles, water and particles sampling, primary production using radioactive and stable isotopes (^{15}N , ^{14}C and ^{33}P), secondary production, bacterial activity, sampling of benthic fauna and measurements of water-sediment exchanges with an automatic incubation chamber (Lander).

A serie of 3 cruises have been conducted at different seasons:

- MOOGLI1-FETCH during early spring (10 March–15 April 98) the R/V L Atalante
- MOOGLI 2 during end of spring (2 – 19 june 98) with the R/V Le SUROÏT
- MOOGLI 3 during winter (10 -21 January 99) with the R/V Le SUROÏT

The MOOGLI experiment is a part of the National Programm of Coastal Environment (PNEC) and enters the scope of the European Programm METRO-MED (funded by MAST III).

THEME SCIENTIFIQUE ET MOTIVATIONS

Le domaine côtier est une partie spécifique du système océanique global, possédant son originalité liée aux échanges entre 3 grands compartiments: continent, océan, atmosphère. Lieu où interagissent les apports des bassins versants avec les eaux océaniques, il est également directement soumis à la pression de l'activité humaine. En terme de superficie, le domaine côtier ne représente que 8% de la surface des océans, mais c'est une zone productive responsable du quart selon Mann (1982) ou du tiers selon Wollast (1991) de la production de carbone organique océanique. Son rôle en tant que récepteur et transformateur des apports continentaux est fondamental dans l'équilibre du cycle global de la matière. D'un point de vue biogéochimique, cette interaction relève en particulier des processus de production et de transformation de matière, de piègeage dans la zone côtière et d'exportation vers le large. Selon l'hypothèse de Smith et Mc Kenzie (1987), l'écosystème océanique utiliserait un apport de matière issu des zones côtières, conférant à ces dernières le statut de source de carbone. Cette théorie est controversée (Peng et Broecker, 1984; Rowe *et al.*, 1986) et se voit opposer l'idée que la plus grande part de la matière organique produite ou importée serait piégée sur place. Pour réduire les incertitudes liées à l'identification du rôle joué par les zones côtières dans le fonctionnement du système océanique, il est nécessaire de bien comprendre plusieurs processus fondamentaux: apports, production, transformation et devenir de la matière. Compréhension qui seule permettra la prise en compte des évolutions futures liées à l'activité humaine.

Le domaine côtier réunit donc des préoccupations fondamentales propres au fonctionnement du système biosphère-géosphère et relevant de la gestion du milieu. Il détient aussi une place importante pour la compréhension du système marin et la quantification des cycles et des flux biogéochimiques à l'échelle globale.

Ayant pris conscience à la fois de la spécificité du milieu et de la convergence des intérêts scientifiques qu'il suscite, l'IFREMER et l'INSU ont décidé en décembre 1990 de créer un programme national d'océanographie côtière: **PNOC** (devenu Programme National Environnement Côtier, **PNEC** en 1999). Cette initiative est une contribution du domaine côtier au Programme International Géosphère-Biosphère (**PIGB**), qui depuis 1993 consacre à l'océanographie côtière un thème scientifique **LOICZ** (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone). Face au besoin d'établir des bilans à méso-échelle du carbone, des éléments biogènes et des contaminants, le PNEC a retenu plusieurs chantiers sur le littoral français: la Manche, la façade atlantique et le golfe du Lion en Méditerranée. Sur cette organisation géographique, les recherches se déroulent selon deux thèmes principaux:

Les cycles biogéochimiques, la gestion et la qualité du milieu.

L'objectif du chantier Golfe du lion se résume comme suit :

Etablissement du bilan annuel de carbone et des éléments biogènes associés (azote et phosphore) transitant dans le golfe du Lion; aspect descriptif et modélisation.

TRAITS GENERAUX DU GOLFE DU LION

Le golfe du Lion est une rare zone méditerranéenne où la plate-forme continentale atteint un important développement. Située entre l'arc de cercle du rivage et l'isobathe 200 m entre le cap de Creux (CCR) et le cap Croisette (CR), cette plate-forme présente une forme de croissant dont la largeur maximale est de 40 milles et est creusée de nombreux canyons. Le golfe du Lion montre un schéma d'organisation et de fonctionnement apparemment assez simple comprenant des apports continentaux massifs localisés au Rhône et un moteur hydrodynamique puissant constitué par le courant liguro-provençal, appelé généralement courant nord-méditerranéen s'écoulant d'est en ouest (CNM). La réalité est en fait plus complexe en raison des forçages atmosphériques agissant sur l'hydrodynamisme du système. Le golfe du Lion est, en effet, bordé par 3 massifs montagneux séparés par d'étroits couloirs au niveau desquels la circulation des masses d'air est accélérée. Cette complexité de l'orographie sur le pourtour donne naissance à des vents locaux aux caractéristiques bien définies.

Le mistral et la tramontane (froids et secs) de direction N-NW représentent 45% du total d'après Fieux (1972). En hiver, leur conjonction au centre du golfe provoque un refroidissement intense des masses d'eau, cause de mélanges importants. Le mistral provoque un départ d'eau superficielle vers le large compensé par des remontées d'eau froide riche en sels nutritifs sur le plateau. Les vents d'est (plus de 20% des observations) provoquent un tassement de l'eau de surface contre la côte. Les vents de sud-sud-ouest, plus chauds, correspondent à 20% des observations et auraient une influence limitée sur les eaux du golfe (Fieux, 1972). Les vents soufflent plus fort et plus longtemps en hiver.

Le golfe du Lion est le "réceptacle" du Rhône, fleuve principal qui se jette dans le bassin occidental et possède un bassin versant de 96000 km². Le débit moyen est de 1690 m³.s⁻¹ (Martin et Saliot, 1992), mais il montre d'importantes variations saisonnières.

D'un point de vue hydrodynamique, la région concernée est très schématiquement soumise à l'action du courant nord méditerranéen (CNM) et du "courant du Rhône". Ce dernier, issu de l'embouchure du fleuve avec une direction nord-sud, est rapidement dévié vers le sud-ouest sous l'effet de la force de Coriolis et de la circulation générale. L'imagerie satellitaire a révélé que la direction de ce panache est fortement influencée par les vents (Demarq, 1983; Arfi, 1983). Par contre son extension est directement reliée au débit du fleuve (Morel *et al.*, 1990). Son extension peut atteindre, non seulement la zone littorale languedocienne, mais également le large du Roussillon (Tournier, 1969). La circulation générale est bien documentée malgré l'absence de données de longue série (Millot, 1990). Le CNM s'écoule le long de la pente continentale. Il est caractérisé par un flux de 1 à 2 Sv et des vitesses de quelques dizaines de mètre par seconde. Le coeur est localisé à environ 20 km au large. Le courant présente annuellement 2 structures différentes (Millot, 1987). En hiver, le courant est plus étroit, plus profond et plus proche du talus continental qu'en période estivale. A l'entrée du golfe, le CNM se divise en 2 veines d'importance variable : une coulant sur le plateau (Millot et Wald, 1980), l'autre à forte composante barotrope s'écoule le long de la pente. Ces structures peuvent être modifiées de façon importante par les coups de vent, avec notamment l'apparition d'upwellings côtiers sous l'effet des vents de nord. Ces remontées d'eau le long de la pente continentale ont été décrites (Minas, 1968 ; Tounier, 1969) conséquence des vents de Nord-Ouest. De l'eau dense est formée en hiver près de la côte et s'écoule vers les eaux profondes par l'intermédiaire des canyons (cascading). De l'eau profonde peut également se former au large lors des refroidissements hivernaux (Furnestin, 1960; Lacombe et Tchernia, 1972).

OBJECTIFS DES CAMPAGNES

Lors du premier mandat de 4 ans (92-96) l'action du Chantier Golfe du Lion a été caractérisée par une intense activité de terrain à l'aide de campagnes "légères" réalisées uniquement sur les navires de façade (G. Petit, Téthys, Europe). Cet effort dans le domaine maritime a été complété par une étude intensive des apports rhodaniens et par la mise en place d'un outil de modélisation. Les campagnes **MOOGLI (MOdélisation et Observation du Golfe du LION)** s'inscrivent dans l'action du 2^{ème} mandat (97-2000) dans le but de fournir l'approche à méso-échelle qui a fait défaut au cours de la phase 1. MOOGLI est une approche pluridisciplinaire de la structure et du fonctionnement de l'écosystème du golfe du Lion. Il s'agit d'étudier *in situ* les caractéristiques saisonnières de ce site afin de fournir des données cohérentes et des informations de base nécessaires à la modélisation à méso-échelle des cycles biogéochimiques permettant l'établissement d'un bilan annuel réaliste de carbone et des éléments biogènes.

Dans un premier temps, il s'agit d'obtenir, après chaque campagne, l'équivalent d'une "photographie" de la **situation hydrologique et biogéochimique du golfe du Lion à différentes périodes caractéristiques**, à l'aide d'un maximum de paramètres de base et de mesures des principaux flux biologiques intéressant à la fois la colonne d'eau et le sédiment.

Dans un deuxième temps, les expérimentations effectuées à bord devront permettre **d'améliorer la paramétrisation des différents flux biologiques** nécessaires à l'affinement des modèles biologiques.

Il apparaît évident que la compréhension de l'écosystème du Golfe du Lion, dont la complexité a été précédemment décrite, ne peut être envisagée que par une approche pluridisciplinaire. MOOGLI a représenté l'opportunité d'étudier la variabilité saisonnière de la structure hydrologique à méso-échelle du golfe du Lion et de mieux définir les termes du bilan biogéochimique ainsi que les paramètres de base des modèles hydrodynamiques et du couplage physique-biologie. De plus, le cadrage thématique implique un effort de prospection intégrant les structures fortes du chantier (panache, zone de dilution, CNM) qui nécessite une couverture large du plateau continental et de ses abords. Ceci permettra d'avoir des références, non seulement par rapport au CNM, mais aussi vis-à-vis des phénomènes de grande ampleur qui affectent les eaux du large (front, formation d'eau profonde). La formule retenue pour MOOGLI est de réaliser une série de campagnes lourdes (14 embarquants) à plusieurs saisons, mais avec un maillage de stations relativement lâche mais ajusté aux connaissances actuelles de la circulation.

Les impératifs pour remplir ces objectifs sont les suivants:

- + Investigation complète du site adaptée à une description quasi-synoptique
- + Prise en compte de l'hydrodynamisme
- + Prise en considération de l'évolution saisonnière
- + Couplage des études pélagiques et benthiques
- + Fournir les variables d'état et les paramètres physiologiques nécessaires à la modélisation biogéochimique (Stocks des éléments biogènes C, N, P; biomasses phyto- et zooplanctoniques; taux de production primaire, taux de régénération; taux de broutage).

CALENDRIER

MOOGLI 1 – FETCH :	10 mars au 15 avril 1998 sur l Atalante
MOOGLI 2 :	2 au 20 juin 1998 sur le Suroît
MOOGLI 3 :	10 au 21 janvier 1999

REFERENCES

- Arfi R., 1983. *Dynamique structurelle et fonctionnelle du plancton en aires perturbées (secteur de Cortiou, darses de Fos). Traitement des données*. Thèse Doct. Sci., Univ. Aix-Marseille II, 357 pp.
- Demarq H., 1984. Etude par télédétection infra-rouge thermique du débouché du Rhône en Méditerranée et ses variations spatio-temporelles. Rapport de stage de DEA, Centre d'Océanologie de Marseille, 44 pp.
- Fieux M., 1972. *Contribution à l'étude hydrologique et dynamique du golfe du Lion en période hivernale*. Thèse 3ème cycle, Univ. Paris VI, 90 pp.
- Furnestin J., 1960. Hydrologie de la Méditerranée occidentale (golfe du Lion, mer catalane, mer d'Alboran, Corse orientale. 14 juin-20 juillet 1957). Rec. Trav. Inst. Pêches Maritimes, 24: 5-120.
- Lacombe H., Tchernia P., 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. D.J. Stanley (ed.) *The Mediterranean Sea*, Dowden, Hutchison & Ross Inc. Strasburg, 25-36
- Mann K.H., 1982. *Ecology of coastal waters. A system approach*. Studies in Ecology, Univ. California Press, Los Angeles, 322 pp.
- Martin J.M., Saliot, 1992. Bilan des apports fluviaux et atmosphériques d'éléments et composés chimiques en méditerranée occidentale. 3ème rencontre de l'agence Régionale pour l'environnement Provence-Alpes-Côte d'azur, 24-27 septembre 1991, pp. 61-66
- Millot C., 1987. Circulation in the western Mediterranean sea. *Oceanologica Acta*, 10: 143-149.
- Millot C., 1990. The Gulf of Lions's hydrodynamics. *Cont. Shelf Res.*, 10: 885-894.
- Millot C., Wald L., 1980. The effects of Mistral wind on the Ligurian Current near Provence. *Oceanologica Acta*, 4: 399-402.
- Minas H.J., 1968. *Recherche sur la production organique primaire dans le bassin méditerranéen nord-occidental. Rapport avec les phénomènes hydrologiques*. Thèse Doct. Sci., Univ. Aix-Marseille, 250 pp.
- Morel A., Bricaud A., André J.M., Pelaez-Hudlet J., 1990. Spatial-temporal evolution of the Rhone plume as seen by CZCS imagery. Consequences upon the primary production in the Gulf of Lions. pp. 45-62, in: *Water Pollution Research Reports 20, "EROS 2000"*, J.M. Martin & H. Barth eds,
- Peng Broecker , 1984.
- Rowe G.T., Smith S., Falkowski P., Whitedge T., Theroux R., Phoel W., Ducklow H., 1986. Do continental shelves export organic matter? *Nature*, 324: 544-561.
- Tournier H., 1969. Hydrologie saisonnière du Golfe du Lion (travaux de l'Ichtys, 1966-1967). Rec. trav. inst. Pêches Mar., 33: 265-300.

STRATEGIE

ET

METHODES D ANALYSE

HYDROLOGIE MOGLI 1 - FETCH

Dominique TAILLEZ

Laboratoire de Physique et Chimie Marines, Observatoire Océanologique, Quai de la Darse, B.P. 8, F-06230 Villefranche-sur-Mer
E-mail : taillez@obs-vlfr.fr

Matériel utilisé

Pour la campagne FETCH / MOGLI, on a utilisé une sonde CTD SeaBird, du service des moyens à la mer de l'Insu, à laquelle était associé un carrousel de 12 bouteilles de prélèvement de 12 litres.

Outre les capteurs classiquement installés sur cette sonde (Pression, Température, Conductivité, Oxygène dissous), on a rajouté deux capteurs pour la mesure de paramètres optiques : fluorimètre et transmissomètre.

Un capteur d'éclairement (PAR - Photosynthetically Available Radiation) a permis, quant à lui, de mesurer la profondeur de la couche euphotique.

Enfin, un altimètre acoustique a été utilisé pour mesurer la distance de la sonde par rapport au fond, ce qui a permis d'effectuer des profils jusqu'à moins de 1 m du fond.

Les références de ces différents instruments sont données par la liste suivante :

- | | |
|---|-------------------------------|
| - sonde CTD SEABIRD SBE 911plus, | numéro de série : 0423 |
| - capteur de pression DIGIQUARTZ, | numéro de série 63488 |
| - capteur de température SBE-3, | numéro de série : 1327 |
| - capteur de conductivité SBE-4, | numéro de série : 1075 |
| - capteur d'oxygène dissous SBE-13B, | numéro de série : 130407 |
| - transmissomètre SEA-TECH 25 cm, | numéro de série : 202 D |
| - fluorimètre CHELSEA Acquatracka, | numéro de série : 88/1002/056 |
| - capteur PAR BIOSPHERICAL Instr. QSP-200L/4S, | numéro de série : 4356 |
| - capteur éclaircissement BIOSPHERICAL Instr. QSR-240, | numéro de série : 6298 |
| - altimètre DATASONICS PSA-900D, | numéro de série : 464 |
| - carrousel SEABIRD SBE 32 (12 bouteilles de 12 litres) | |

Acquisition des données et traitements

Classiquement, les profils hydrologiques sont effectués lors de la descente de la sonde pour éviter que les capteurs, situés sous la sonde, ne soient perturbés par le sillage du carrousel. En fonction du profil visualisé en temps réel pendant la descente, on peut alors déterminer les profondeurs de fermeture des bouteilles lors de la remontée. On ne fournit donc ici que les profils de descente.

Les données ont été acquises et traitées par le logiciel SEASOFT, fourni en standard avec la sonde. Les diverses étapes du traitement sont les suivantes :

- 1) SEASAVE : acquisition des données en temps réel
- 2) DATCNV : conversion des données en unités utilisateur

3) ALIGNCTD : alignement des données par rapport à la mesure de la pression.

En raison des différentes constantes de temps des capteurs, il importe d'effectuer un recalage en temps, de telle sorte que tous les paramètres soient bien mesurés à la même profondeur. C'est essentiellement le cas de l'oxygène dissous et de la fluorescence dont la constante de temps est de l'ordre de 3 secondes. Pour la conductivité et la température, dont la simultanéité est primordiale pour le calcul de la salinité, le décalage est rattrapé automatiquement par l'unité de contrôle de la sonde.

4) FILTER : filtrage des données erronées ;

5) LOOPEDIT : constitution d'un profil à vitesse constante

Pour une bonne efficacité, la sonde doit descendre à une vitesse relativement constante, de l'ordre de 1 m par seconde, de façon à ce que le flux d'eau dans les capteurs soit le plus régulier possible. Le programme LOOPEDIT permet d'éliminer les mesures faites lorsque la sonde descend à moins de 15 cm par seconde, est à l'arrêt pour une raison quelconque (treuil) ou même remonte en raison du roulis ou du tangage.

6) DERIVE : après avoir "nettoyé" les données par les programmes précédents, on peut alors calculer les paramètres dérivés que sont la salinité ou l'oxygène.

7) WFILTER : lissage des données par la méthode des points médians ;

8) SPLIT : séparation des descentes et des montées ;

9) Vérification des données : visuellement pour éliminer ou rectifier les valeurs mauvaises qui auraient pu échapper aux traitements précédents ; par programme, en recherchant par exemple des inversions de densité. Celles-ci n'ont d'ailleurs pas pu être éliminées en totalité, en particulier à la station fet169, par suite d'un mauvais fonctionnement de la sonde.

9) INTERPOL : réduction des données suivant un pas de pression constant. Ici, 1 dbar.

Il convient de noter que la profondeur est toujours fournie en dbars, jamais en mètres. Le programme d'interpolation utilisé ne fait pas partie de la chaîne fournie par SEABIRD mais utilise une méthode de "spline function" de la bibliothèque mathématique IMSL.

D'autre part, on a adopté le principe d'extrapoler les données depuis la profondeur minimum de mesure (toujours indiquée dans le fichier final), jusqu'à la surface en considérant que les données étaient constantes : les mesures à 0 m sont donc égales aux mesures à la profondeur minimale, qui varie suivant l'état de la mer (entre 2 et 5 m).

Calibration des données

1) pression

La sonde de pression a été calibrée par le service de calibration de l'Ifremer à Brest, qui dispose d'une balance de pression. Classiquement, on observe une dérive du zéro de la sonde.

Pour la campagne, on a adopté la correction :

$$P = 0.99973 \times P_{\text{mesuré}} - 0.5531$$

C'est-à-dire qu'en première approximation, le zéro est décalé d'un demi décibar.

Les sondes Digiquartz utilisées sur les sondes SEA-BIRD sont données pour avoir une exactitude de l'ordre de 0,015 % de la pleine échelle, soit pour le capteur utilisé ici, dont la pleine échelle est de 6800 dbars, une exactitude de 1 dbar. Elles sont en principe dénuées d'hysteresys.

2) température

Les sondes de températures SEA-BIRD sont données pour une exactitude initiale de 0,002 °C et une stabilité typique de 0,0003 °C par mois.

Le capteur utilisé a été calibré par SEABIRD, qui dispose d'un centre de calibration agréé par le National Bureau of Standard, avant et après la campagne. La dérive constatée est de 0,00003 °C (voir feuilles de calibration).

La température fournie est donnée dans la nouvelle échelle pratique de mesure de la température, adoptée en 1990 comme standard et désignée par ITS-90. Elle diffère de la précédente (1968) par la relation :

$$T_{[ITS-90]} = 0,99976 \times T_{[ITS-68]}$$

Il convient de noter qu'il faut repasser dans l'échelle de 1968 pour le calcul de la salinité dont les formules n'ont pas changé.

3) conductivité

Les capteurs de conductivité sont en général soumis à des dérives plus importantes, compte tenu des salissures (fouling) qui peuvent en modifier la géométrie.

Typiquement, un capteur de conductivité SEA-BIRD est exact à 0,0003 S/m (ce qui correspond à peu près à 3 millièmes en salinité et est stable à 0,0002 S/m et par mois (2 millièmes).

Les calibrations faites par SEA-BIRD avant et après la campagne ont montré une dérive de 0,4 millièmes en salinité.

Cette très faible dérive est confirmée par la mesure des échantillons de salinité prélevés à bord, ce qui permet d'affirmer que les valeurs de salinités fournies sont correctes à 1 millième près, au moins en profondeur. En surface, compte tenu d'une plus grande variation de la salinité avec la profondeur, il est toujours difficile d'avoir une précision analogue. On l'estime néanmoins ici de l'ordre de 2 millièmes.

Précisons que la salinité est sans unité. Par abus de langage, on parle encore de millième, en se référant à l'ancienne définition. Par exemple 37,385 millièmes. Les précisions indiquées ici concernent bien évidemment le troisième chiffre après la virgule.

4) oxygène dissous

Bien que calibré avant la campagne, un capteur d'oxygène est toujours recalibré en mer par une méthode chimique (Winkler) sur des échantillons, si possibles prélevés à chaque profil. Cette règle n'ayant pas été respectée au cours de la campagne, faute de temps disponible, mais seulement à quelques profils et principalement pour la bouteille de surface, il n'est pas possible de donner une précision rigoureuse à l'ensemble des mesures. On l'estime cependant à 0,02 ml/l.

La méthode de calcul utilisée pour le calcul de l'oxygène dissous est la méthode décrite par Owens et Millard. Les valeurs sont données sous deux formes : en ml/l et en $\mu\text{mole/kg}$ qui est l'unité standard.

5) fluorimètre

Le fluorimètre utilisé permet de visualiser la concentration en phytoplancton à partir de la fluorescence stimulée de la chlorophylle *a*. Les cellules qui possèdent de la chlorophylle *a* ont en effet la propriété, lorsqu'elles sont excitées par une lumière appropriée (ici une lumière bleue émise par une lampe flash), de rémettre une lumière rouge autour de 685 nm. En première approximation,

l'énergie mesurée est proportionnelle à la quantité de chlorophylle *a* par une relation linéaire du type :

$$\text{chl}a \text{ (mg.m}^{-3}\text{)} = A \times V_{\text{mesuré}} + B$$

Les valeurs de A et B peuvent donc être calculées par régression par des mesures discrètes de chlorophylle *a* effectuées par d'autres méthodes (spectrophotométrie ou HPLC), comme cela a été fait à bord.

Cependant, compte tenu de la difficulté d'avoir une relation parfaitement linéaire, en raison du fait que la fluorescence varie tout aussi bien avec les espèces rencontrées, les conditions d'éclairement locales, la charge en particules autres que phytoplanctoniques, etc. , on donne les valeurs de fluorescence en "unités relatives", sachant que ce qui importe le plus au biologiste est la profondeur du maximum de fluorescence.

6) transmission

Le transmissomètre Sea-Tech mesure, sur un trajet optique direct de 25 cm, l'atténuation d'un pinceau lumineux collimaté, de longueur d'onde 660 nm. Le signal mesuré dans l'air correspondant à une transmission de 100 %, le signal mesuré dans l'eau permettra donc de calculer un coefficient de transmission, exprimé en % ; ce coefficient est d'autant plus élevé que l'eau est claire. Pour le de mer optiquement pure et pour un trajet optique de 25 cm, on doit avoir $T = 91,3 \%$

Ici, on a exprimé cette mesure par le coefficient d'atténuation *c*, lié à la transmission par la relation

$$T = e^{-cz} \text{ soit } c = -(\text{Ln}T) / z$$

où $T = T\%/100$ et où *z* est le chemin optique. Soit, puisque $z = 25 \text{ cm}$:

$$c = -4 \times (\text{Ln}T)$$

Le coefficient *c* s'exprime en m^{-1} . Sa valeur, pour l'eau optiquement pure est $0,364 \text{ m}^{-1}$ (toujours avec un trajet optique de 25 cm).

Pour s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil (stabilité du signal), on a coutume de considérer qu'à partir d'une certaine profondeur (200 m, pour les eaux du large), l'eau est optiquement pure. On effectue alors une normalisation des données, de telle sorte qu'en dessous de cette profondeur, la valeur de *c* soit égale à $0,364 \text{ m}^{-1}$. Durant la campagne Fetch, où l'ensemble des stations ont été effectuées dans des eaux turbides et à des profondeurs inférieures à 200 m, cette normalisation n'a pu être effectuée.

On observera enfin que l'adjonction de l'altimètre a permis de se rapprocher au plus près du fond et de mettre en évidence une couche néphéloïde profonde, donc très turbide.

Constitution de la base de données

On a effectué 169 stations, répertoriées fet001 à fet169. La table d'inventaire permet de retrouver le numéro de station et sa position. Chaque fichier se présente de la façon suivante, avec un en-tête fournissant la position, l'heure et la météorologie. On l'espère suffisamment explicite pour ne pas avoir à le décrire ici. Noter cependant que les heures sont données en heures locales, avec le décalage par rapport à l'heure TU. Theta désigne la température potentielle et Gamma l'excès de masse volumique potentielle.

Les valeurs rejetées sont mises par convention à une valeur constante négative complètement hors échelle de mesure. C'est le cas de l'oxygène pour un certain nombre de stations de la deuxième partie et pour des profondeurs supérieures à 400 m : -99.999 pour les valeurs en ml/l et -999.999 pour les valeurs en $\mu\text{moles/kg}$.

```

*****
#
# Unites: Pression = [dbar]
#   Temperature = ITS-90 [deg C]
#   Salinite = PSS-78
#   Exces de masse volumique (Gamma) = [kg/m3]
#   Oxygene = [ml/l] et [micromole/kg]
#   Attenuation = [m-1]
#   Fluorescence = unite relative
#
*****
#
# Campagne = Fetch / Moogli
# Navire = L'Atalante
# Station = I
# Date = 17/03/98
# Heure debut = 22:05
# Heure fin = 22:25
# Heure / TU = +1
# Latitude = N42 30.005
# Longitude = E004 22.021
# Sonde [m] = 1676
# Heure meteo = 22:05
# T air sec [deg C] = 14.5
# T mer [deg C] = 13.36
# Pression atm [hpa] = 1022.8
# Vent (vitesse [noeuds] , direction [deg]) = 21, 330
# Nebulosite [octas] = 9
# Hygrometrie [%] = 77
# Eclairement thermopile [W/m2] = 0
# Etat de la mer [Code S] = 3
#
# Pmin, Pmax [dbar] = 2.63, 403.27
#
*****
#
P T[ITS-90]  Theta  Sal  Gamma Ox[ml/l] Ox[um/kg] Transm Fluo
0 13.2995 13.2995 38.1086 28.7412 6.110 265.248 .519 .3026
1 13.2995 13.2994 38.1086 28.7413 6.110 265.248 .519 .3026
2 13.2995 13.2992 38.1086 28.7413 6.110 265.248 .519 .3026
3 13.3113 13.3109 38.1077 28.7382 6.029 261.729 .514 .2885
4 13.3115 13.3109 38.1078 28.7382 6.037 262.064 .514 .2885
5 13.3115 13.3108 38.1078 28.7382 6.047 262.504 .514 .2885

```

.....

Les données ont été acquises par : Xavier Durrieu de Madron, Jean-Luc Devenon, Agnès Lapouyade et Dominique Tailliez

La sonde CTD et le carrousel associé ont été préparés par Claudie Bournot, De la Division Technique de l'INSU (Brest).

HYDROLOGIE - MOOGLI 2 et 3

Gaëlle Coustillier

Centre d'Océanologie de Marseille, Campus de Luminy, Case 901, F-13288 Marseille Cedex 09
Tel : 33 (0)4 91 82 91 17 / fax : 33 (0)4 91 82 91 18 / email : coustillier@com.univ-mrs.fr

Les mesures à la bathysonde ont été assurées par Gaëlle Coustillier (Moogli2 et Moogli3), Claudie Bournot (1^{er} leg de Moogli2, Division technique de l'INSU) et Anne Petrenko (Moogli3, Laboratoire d'Océanologie et de Bio Géo chimie).

Le traitement des données a été réalisé à l'aide du logiciel Seasoft et des macros mis au point sous Excel.

Les sondes utilisées étaient des sondes Sea-Bird, modèle SBE 911 plus équipée des capteurs suivants :

Moogli2

- ◆ Capteur de température SBE 3, n° de série : 1016, date d'étalonnage : 14/08/98
- ◆ Capteur de conductivité SBE 4, n° de série : 702, date d'étalonnage : 31/03/98
- ◆ Capteur de pression Digiquartz, n° de série : 50047, date d'étalonnage : 03/05/92
- ◆ Capteur d'oxygène SBE 13, n° de série : 130262, date d'étalonnage : 18/05/98
- ◆ Fluorimètre Chelsea, n° de série : 88/2050/081, date d'étalonnage : 25/10/93
- ◆ Capteur d'irradiance (PAR) Biospherical, n° de série : 4356, date d'étalonnage : 10/01/93
- ◆ Capteur d'irradiance de surface (SPAR) Biospherical.

La sonde était associée à un carrousel Sea-Bird SBE 32, équipé de 12 bouteilles Niskin de 12 litres.

Moogli3

- ◆ Capteur de température SBE 3, n° de série : 1315, date d'étalonnage : 06/11/98
- ◆ Capteur de conductivité SBE 4, n° de série : 1065, date d'étalonnage : 06/11/98
- ◆ Capteur de pression Digiquartz, n° de série : 62216, date d'étalonnage : 21/08/95
- ◆ Capteur d'oxygène SBE 13, n° de série : 130259, date d'étalonnage : 17/09/92
- ◆ Transmissomètre Sea-Tech (trajet optique 25 cm), n° de série : 176D, date d'étalonnage : Fev 99 (GC)
- ◆ Capteur d'irradiance (PAR) Biospherical, n° de série : 4328, date d'étalonnage : 14/07/98
- ◆ Fluorimètre Chelsea, n° de série : 88/1002/046, date d'étalonnage : 01/09/92

La sonde était associée à un carrousel Sea-Bird SBE 32, équipé de 12 bouteilles Niskin de 8 litres.

Étalonnages :

Température et conductivité

A la suite de la campagne Moogli2, les capteurs de température et de conductivité ont été ré étalonnés. De plus, 12 échantillons d'eau avaient été prélevés pour mesurer leur salinité en laboratoire à l'aide d'un salinomètre PortaSal.

Afin de faire correspondre au mieux la salinité calculée par les programmes Sea-bird et la salinité mesurée par le PortaSal, nous avons appliqué les coefficients d'étalonnage post-campagne pour la température et un facteur correctif de 1.00003 sur les coefficients d'étalonnage pré-campagne pour la conductivité à tous les fichiers Moogli2.

Aucun ajustement n'a été fait pour les fichiers Moogli3.

Pression

Les capteurs de pression Digiquartz présentent une dérive très faible qui permet de ne pas devoir les ré étalonner régulièrement.

Oxygène

Pour Moogli2, le zéro et la pente du capteur d'oxygène ont été déterminés suivant les recommandations de la note d'application Sea-bird n° 13-1. On ne peut pas, à proprement parler, d'étalonnage mais plutôt de correction de dérive.

Fluorimètre

En première approximation, on peut considérer que le signal de fluorescence varie de façon linéaire avec la quantité de chlorophylle a présente dans l'eau. Cependant, in situ, on ne peut pas en déduire une concentration

en phytoplancton car celui-ci n'est pas composé que de chlorophylle a et sa capacité à fluorescer va dépendre de l'état physiologique des cellules. Cependant, en relatif, les spectres de fluorescence reflètent bien la concentration en phytoplancton.

Il est à noter qu'au-delà de 200 m, le phytoplancton étant quasiment absent, le rapport signal sur bruit du fluorimètre devient si mauvais que le signal de fluorescence est très "bruiteux" et non significatif.

Transmissomètre

A intervalle régulier et en laboratoire, on mesure la tension délivrée par l'appareil sans transmission de la lumière (détecteur obstrué) et celle lors du passage à l'air libre. En suivant les recommandations de la note d'application Sea-Bird n° 7. Comme pour le capteur d'oxygène, on ne peut pas parler d'étalonnage mais de "maîtrise de la dérive".

PAR

Pour Moogli3, le capteur avait subi une réparation et un ré étalonnage en usine chez Biospherical avant la campagne.

Pour Moogli2, un capteur de surface a été rajouté permettant ainsi de corriger les données d'irradiance en fonction de l'éclairement à l'air libre (données d'irradiance corrigées, $CPAR = PAR - SPAR$).

Présentation des profils

Les profils CTD sont présentés par 6 sur une même page,.

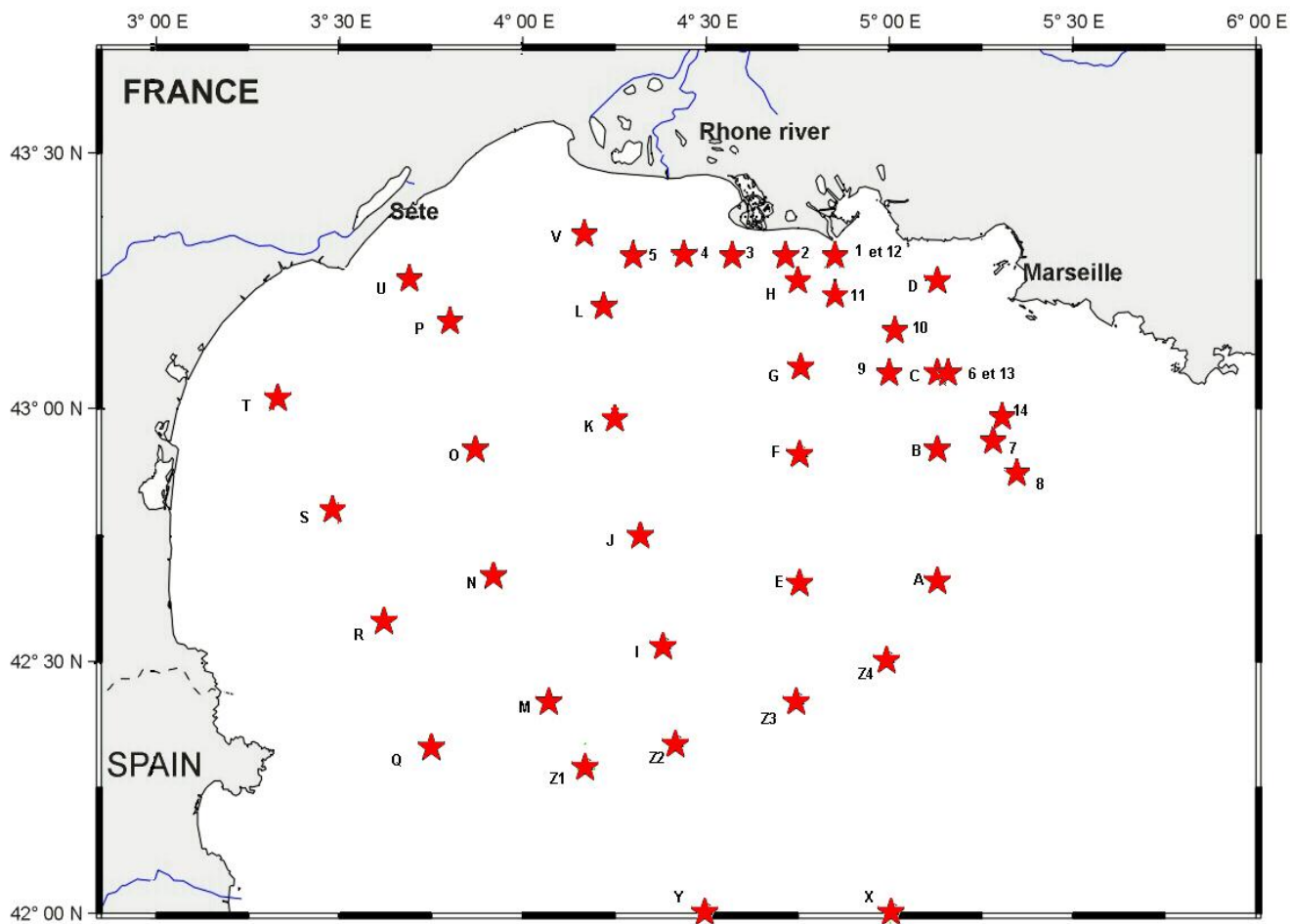
A chaque fois, on a essayé de faire figurer ensembles des profils de profondeur similaire. Ce découpage correspond sensiblement à des stations se trouvant sur des radiales parallèles à la côte (carte des stations) ou des stations très proches les unes des autres (cas des stations C, 6, 9 et 13, par exemple).

Moogli2 et Moogli3 correspondant chacune à une période de l'année différente, pour plus de clarté dans les graphiques, les échelles des paramètres physico-chimiques sont différentes entre les deux missions.

Inventaire des fichiers CTD pour MOOGLI 2								
Fichier	Station	Date	Heure début	Heure fin	Prof. profil	Latitude Nord	Longitude Est	Sonde
CTD000	Essai	03/06/98	16:09	17:52	1000	42° 59	5° 46	1310
CTD001	A	03/06/98	22:18	23:01	1000	42° 40	5° 08	1660
CTD002	B	04/06/98	01:18	01:35	200	42° 55	5° 08	1185
CTD003	C	04/06/98	03:05	03:20	150	43° 04	5° 08	165
CTD004	D	04/06/98	04:48	04:52	75	43° 15	5° 08	85
CTD005	C	04/06/98	09:39	09:50	150	43° 04	5° 08	160
CTD006	E	04/06/98	21:44	21:52	200	42° 40	4° 45	1375
CTD007	F	05/06/98	23:49	00:13	250	42° 55	4° 45	255
CTD008	G	05/06/98	01:34	01:48	80	43° 04	4° 45	95
CTD009	H	05/06/98	03:15	03:30	60	43° 15	4° 45	75
CTD010	I	05/06/98	21:09	21:42	1000	42° 30	4° 22	1655
CTD011	J	05/06/98	23:47	23:56	310	42° 45	4° 19	320
CTD012	K	06/06/98	02:07	02:18	80	42° 59	4° 15	95
CTD013	L	06/06/98	03:41	03:57	70	43° 12	4° 13	85
CTD014	M	06/06/98	21:04	21:49	1000	42° 25	4° 04	1320
CTD015	N	06/06/98	23:42	00:06	360	42° 40	3° 55	375
CTD016	O	07/06/98	01:40	01:48	80	42° 55	3° 52	95
CTD017	P	07/06/98	03:16	03:26	80	43° 07	3° 48	90
CTD018	Q	07/06/98	21:00	21:40	870	42° 20	3° 45	877
CTD019	R	07/06/98	23:50	00:08	170	42° 35	3° 37	175
CTD020	S	08/06/98	02:08	02:19	80	42° 48	3° 29	95
CTD021	T	08/06/98	04:01	04:12	50	43° 01	3° 20	61
CTD022	U	08/06/98	19:25	19:33	60	43° 14,5	3° 42	71
CTD023	V	08/06/98	21:37	21:45	40	43° 20	4° 10	55
CTD024	D	13/06/98	13:41	13:51	75	43° 15	5° 08	88
CTD025	C	13/06/98	15:26	15:45	260	43° 04	5° 08	280
CTD026	F	13/06/98	18:00	18:18	260	42° 55	4° 45	277
CTD027	G	13/06/98	19:36	19:44	80	43° 04	4° 45	97
CTD028	H	13/06/98	21:11	21:20	60	43° 15	4° 45	75
CTD029	1	13/06/98	22:53	23:02	40	43° 18	4° 51	51
CTD030	2	14/06/98	00:01	00:10	40	43° 18	4° 43	49
CTD031	3	14/06/98	01:01	01:09	40	43° 18	4° 34	47
CTD032	4	14/06/98	02:11	02:23	40	43° 18	4° 26	47
CTD033	5	14/06/98	03:14	03:23	40	43° 18	4° 18	48
CTD034	L	14/06/98	04:14	04:25	70	43° 12	4° 13	86
CTD035	P	14/06/98	08:11	08:19	80	43° 07	3° 48	92
CTD036	K	14/06/98	16:38	16:50	80	42° 59	4° 15	92
CTD037	6	15/06/98	01:15	01:38	200	43° 03,5	5° 10	735
CTD038	A	15/06/98	15:49	16:32	1000	42° 40	5° 08	1660
CTD039	7	15/06/98	20:33	20:49	200	42° 56	5° 17	1390
CTD040	8	16/06/98	20:57	21:15	200	42° 52	5° 19	1800
CTD041	9	16/06/98	23:10	23:21	120	43° 04	5° 05	137
CTD042	10	17/06/98	00:18	00:29	100	43° 09	5° 01	111
CTD043	11	17/06/98	01:19	01:29	90	43° 13	4° 57	100
CTD044	12	17/06/98	02:35	02:44	50	43° 18	4° 51	61
CTD045	G	17/06/98	05:38	05:48	80	43° 04	4° 45	97
CTD046	13	18/06/98	03:23	03:37	160	43° 04,5	5° 08	180
CTD047	14	18/06/98	21:46	22:07	200	42° 59	5° 18,5	700

Inventaire des fichiers CTD pour MOOGLI 3

Fichier	Station	Date	Heure début	Heure fin	Prof. profil	Latitude Nord	Longitude Est	Sonde
CTD001	D	11/01/99	13:33	13:40	80	43° 15	5° 08	90
CTD002	C	11/01/99	16:54	17:03	150	43° 04	5° 08	165
CTD003	A	11/01/99	19:46	20:24	1000	42° 40	5° 08	1600
CTD004	A	11/01/99	21:01	21:22	200	42° 40	5° 08	1600
CTD005	B	11/01/99	23:14	23:32	200	42° 55	5° 08	1000
CTD006	C	12/01/99	01:37	01:55	225	43° 04	5° 08	240
CTD007	D	12/01/99	04:02	04:16	80	43° 15	5° 08	95
CTD008	B	12/01/99	14:02	14:13	200	42° 55	5° 08	1000
CTD009	E	12/01/99	20:36	21:15	1000	42° 40	4° 45	1600
CTD010	F	12/01/99	23:25	23:42	200	42° 55	4° 45	275
CTD011	G	13/01/99	01:39	01:49	80	43° 04	4° 45	97
CTD012	H	13/01/99	03:42	03:54	75	43° 15	4° 45	85
CTD013	G	13/01/99	10:02	10:11	80	43° 04	4° 45	90
CTD014	L	13/01/99	20:44	20:56	70	43° 12	4° 13	88
CTD015	K	13/01/99	22:50	22:58	80	42° 59	4° 15	91
CTD016	J	14/01/99	01:09	01:23	200	42° 45	4° 19	266
CTD017	I	14/01/99	03:39	04:27	1000	42° 30	4° 22	1650
CTD018	I	14/01/99	05:14	05:21	30	42° 30	4° 22	1650
CTD019	I	14/01/99	13:31	13:42	200	42° 30	4° 22	1660
CTD020	T	14/01/99	20:41	20:50	50	43° 01	3° 20	60
CTD021	S	14/01/99	22:52	23:01	80	42° 48	3° 29	98
CTD022	R	15/01/99	01:05	01:19	160	42° 35	3° 37	170
CTD023	Q	15/01/99	04:00	04:44	865	42° 20	3° 45	920
CTD024	S	15/01/99	13:00	13:07	80	42° 48	3° 29	98
CTD025	U	15/01/99	20:39	20:46	50	43° 14,5	3° 42	62
CTD026	P	15/01/99	22:02	22:07	80	43° 07	3° 48	92
CTD027	O	15/01/99	23:44	23:55	80	42° 55	3° 52	91
CTD028	N	16/01/99	02:01	02:21	350	42° 40	3° 55	374
CTD029	M	16/01/99	04:34	05:18	1000	42° 25	4° 04	1320
CTD030	M	16/01/99	05:57	06:07	100	42° 25	4° 04	1320
CTD031	L	17/01/99	13:41	13:47	70	43° 12	4° 13	87
CTD032	K	17/01/99	15:41	15:49	80	42° 59	4° 15	92
CTD033	1	17/01/99	20:27	20:34	40	43° 18	4° 51	56
CTD034	2	17/01/99	22:23	22:25	15	43° 18	4° 43	20
CTD035	3	17/01/99	23:26	23:30	30	43° 18	4° 34	36
CTD036	4	18/01/99	00:47	00:51	30	43° 18	4° 26	40
CTD037	5	18/01/99	02:01	02:05	40	43° 18	4° 18	48
CTD038	V	18/01/99	03:06	03:11	40	43° 20	4° 10	55
CTD039	E	18/01/99	16:19	16:24	30	42° 40	4° 45	1000
CTD040	1	19/01/99	08:38	08:40	15	43° 18	4° 51	20
CTD041	E	19/01/99	13:21	13:54	1360	42° 40	4° 45	1375
CTD042	X	19/01/99	17:46	18:29	1000	42° 00	5° 00	2210
CTD043	Y	19/01/99	20:43	21:24	1000	42° 00	4° 30	2000
CTD044	Z1	19/01/99	23:23	00:02	1000	42° 13	4° 10	2000
CTD045	Z2	20/01/99	01:38	02:18	1000	42° 20	4° 25	2000
CTD046	Z3	20/01/99	04:06	04:50	1000	42° 25	4° 45	1775
CTD047	A	20/01/99	12:11	12:49	1000	42° 40	5° 08	1650
CTD048	Z4	20/01/99	14:19	15:14	1500	42° 30	5° 00	1875



Carte du golfe du Lion indiquant les sites d'études des campagnes MOOGLI 2 et 3.

ANALYSES DES SELS NUTRITIFS

Patrick RAIMBAULT, Nicole GARCIA

raimbaul@com.univ-mrs.fr garcia@com.univ-mrs.fr

*Laboratoire d Océanographie et de Biogéochimie, Centre d Océanologie de Marseille Faculté de Luminy,
132888 Marseille Cédex 09*

Les dosages des sels nutritifs (nitrate, nitrite, phosphate, ammonium) ont été effectués par des méthodes colorimétriques classiques automatisées sur des chaînes de type AutoAnalyseur Technicon selon les protocoles définis par Tréguer et le Corre. Les échantillons sont directement prélevés à la rosette dans des flacons en polyéthylène ou en polycarbonate préalablement rincés à l'acide chlorhydrique 10% puis 3 fois avec l'eau de prélèvement. Pour éviter tout risque de pollution l'aiguille de pompage du système d'analyse plonge directement dans ces flacons de prélèvement. Les analyses sont effectuées à bord immédiatement après le prélèvement (délai inférieur à une heure).

La ligne de base est réglée en analysant de l'eau déionisée MilliQ-plus préparé à bord. Une correction de l'effet de turbidité due à la teneur en sel de l'eau de mer 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 (1000-2000 m). La calibration de chaque voie d'analyse est réalisée à chaque station à l'aide de 4 solutions standard couvrant la gamme des concentrations rencontrées pour chaque élément. Ces solutions sont préparées à partir de produits ultra-purs (Merck). Les protocoles analytiques et les solutions d'étalonnage utilisées ont été validées par la participation à l'exercice d'intercalibration annuel européen Quasimene.

Les résultats fournis dans les tableaux de données sont exprimés en $\mu\text{moles .l}^{-1}$. Les précisions analytiques (écart-type entre répliqués) sont les suivantes):

Nitrate:	$\pm 0.040 \mu\text{moles .l}^{-1}$	limite de détection	$0.050 \mu\text{moles .l}^{-1}$
Nitrite:	$\pm 0.025 \mu\text{moles .l}^{-1}$	limite de détection	$0.010 \mu\text{moles .l}^{-1}$
Phosphate:	$\pm 0.010 \mu\text{moles .l}^{-1}$	limite de détection	$0.015 \mu\text{moles .l}^{-1}$
Ammonium	$\pm 0.030 \mu\text{moles .l}^{-1}$	limite de détection	$0.020 \mu\text{moles .l}^{-1}$

Références

Tréguer P., LeCorre P, 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'AutoAnalyser II Technicon. 2nd ed., Univ. Bretagne Occidentale, Laboratoire de Chimie marine, Brest, France, pp. 1-110

DOSAGE DE LA CHLOROPHYLLE

Patrick RAIMBAULT

raimbaul@com.univ-mrs.fr

*Laboratoire d Océanographie et de Biogéochimie, Centre d Océanologie de Marseille Faculté de Luminy,
132888 Marseille Cédex 09*

La concentration en chlorophylle *a* est déterminée selon la méthode fluorimétrique mise au point par Yentsch et Menzel (1963) et adaptée par Holm-Hansen et Riemann (1978) pour l'extraction des pigments à l'aide du méthanol. Le protocole utilisé au cours des campagnes a été décrit par Raimbault *et al.* (1988).

Les échantillons d'eau de mer de 250 ml sont filtrés directement à bord sur un filtre en fibres de verre (Whatman® GF/F, Ø 25 mm, calcinés à 450°C pendant 24 heures) sous faible dépression (<100 mm Hg). Puis, le filtre est placé dans un tube contenant 5 ml de méthanol pur. Le tube est ensuite bouché et placé au réfrigérateur (5° C) pour une durée d'extraction de 30 min. Après ce délai, la fluorescence des échantillons est mesurée à l'aide d'un fluorimètre Turner Designs® 10.005R, équipé d'un kit pour la détermination de la chlorophylle *a* (lampe F4T4 BL, filtre primaire Corning® 5-60, filtre secondaire Corning® 2-60). La calibration du fluorimètre (détermination de K_0) est effectuée régulièrement au laboratoire et en particulier avant chaque campagne MoOGLi avec une solution de chlorophylle *a* pure (Sigma® C5753).

La technique d'acidification qui permet 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* et surtout, une forte surestimation des teneurs en phaeopigments (Herbland 1988). Les teneurs réelles en phaeopigments étant très faibles, toutes les concentrations en chlorophylle *a* sont déterminées selon l'équation ci-dessous qui néglige la présence de ces pigments de dégradation. Le paramètre mesuré est alors appelé chlorophylle totale (CHL_T) exprimé en $mg\ m^{-3}$.

$$CHL_T = \frac{F_0}{K_0} \times \frac{V_e}{V_f}$$

F_0 : fluorescence avant acidification,

K_0 : coefficient de calibration,

V_e : volume d'extraction (ml),

V_f : volume filtré (ml).

Compte-tenu du volume filtré et de la sensibilité du fluorimètre la limite de détection est estimée à 0.005 $mg\ m^{-3}$ et la précision est de l'ordre de $\pm 0.03\ mg\ m^{-3}$

Références

- Herbland, A., 1988. The deep phaeopigments maximum in the Ocean. Reality or illusion? In B.J. Rotschil ed., *Toward a theory on biological-physical interactions in the world ocean*, Kluwer Academic Publishers, pp. 157-172.
- Holm-Hansen, O. and B. Riemann, 1978. Chlorophyll *a* determination: improvements in methodology. *Oikos* 39: 438-447.
- Yentsch, C.S. and D.W. Menzel, 1963. A method for determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.* 10: 211-231.
- Herbland, A., 1988. The deep phaeopigments maximum in the Ocean. Reality or illusion? In B.J. Rotschil ed., *Toward a theory on biological-physical interactions in the world ocean*, Kluwer Academic Publishers, pp. 157-172.
- Raimbault P., Rodier M. Taupier-Letage I., 1988. Size fraction of phytoplankton in the Ligurian Sea and the Algerian Basin (Mediterranean sea : Size fraction versus total concentrations. *Mar. Microb. Food Web*, 3: 1-7.

DOSAGE DE LA MATIERE ORGANIQUE

Nicole GARCIA, Patrick RAIMBAULT

garcia@com.univ-mrs.fr

raimbault@com.univ-mrs.fr

Laboratoire d Océanographie et de Biogéochimie, Centre d Océanologie de Marseille Faculté de Luminy,
132888 Marseille Cédex 09

CARBONE, AZOTE ET PHOSPHORE ORGANIQUE PARTICULAIRES

Les échantillons pour la détermination de la matière organique particulaire (MOP) sont collectés dans des flacons en polycarbonate (Nalgène®) de 0.6-L préalablement rincés à l acide chlorhydrique (HCl, 0.5N). Ces échantillons sont immédiatement filtrés à bord sur des filtres Whatman® GF/F (calcinés à 450° C pendant 24-h). Les filtres sont stockés dans des flacons Schott® (25 ml) puis congelés à -20° C jusqu à analyse au laboratoire. Les fractions organiques particulières du carbone (COP), de l azote (NOP) ainsi que du phosphore (POP) sont déterminées simultanément selon la méthode d oxydation humide développée par Raimbault *et al.* (1999a).

CARBONE, AZOTE ET PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS

Des échantillons d eau de mer de 40 ml pour la détermination de la matière organique totale (MOT) sont directement collectés dans des flacons Schott® (50 ml) préalablement rincés à l acide chlorhydrique (0.5 N) avec bouchons spéciaux (joints en Teflon®). L empoisonnement au chlorure mercurique (20 µg ml⁻¹, Kirkwood 1992) permet la conservation des échantillons jusqu à analyse ultérieure au laboratoire. La procédure d analyse suivie au laboratoire permet la détermination simultanée des fraction organique totale du carbone (COT), de l azote total (NT) et du phosphore total (PT) selon la méthode mise au point par Raimbault *et al.* (1999b). Les fractions organiques dissoutes de la matière (MOD) pour chaque élément sont déduites par soustraction de la fraction particulaire à la fraction totale pour le carbone et de la fraction inorganique pour l azote et le phosphore.

Références

- Raimbault P., Pouvesle W., Sempéré R., Diaz F, Garcia N. 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., Diaz F., Boudjellal B., 1999 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.

MESURES DE LA PRODUCTION PRIMAIRE

Frédéric DIAZ

diaz@com.univ-mrs.fr

Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Centre d'Océanologie de Marseille Faculté de Luminy,
132888 Marseille Cédex 09

La fixation de dioxyde de carbone (CO₂) par les micro-organismes photosynthétiques (production primaire) est mesurée par la technique utilisant l'isotope radioactif carbone-14 (Steeman-Nielsen 1952) avec le protocole expérimental optimisé de Fitzwater *et al.* (1982).

Les échantillons destinés à la mesure de la production primaire sont récoltés dans des flacons translucides en polycarbonate (Nalgène®) de 0.32-L préalablement rincés à l'acide chlorhydrique (0.5 N). L'inoculation du traceur est toujours réalisée avant le lever du soleil et débute en ajoutant à l'échantillon 0.25 ml d'une solution de bicarbonate de sodium marqué (NaH¹⁴CO₃ d'activité spécifique=20 µCi ml⁻¹, Isotopchim®). Avant l'incubation, la quantité totale de radioactivité introduite (Qi) est contrôlée en prélevant 0.25 ml d'échantillon, placé dans un flacon à scintillation de 25 ml contenant 0.25 ml d'éthanolamine, 1 ml d'eau MilliQ® et 10 ml de liquide scintillant (UltimaGold®). Chaque jour, deux échantillons sont filtrés immédiatement après inoculation et subissent ensuite un traitement similaire aux autres échantillons. La quantité de radioactivité déterminée à partir de ces échantillons (T₀ ou Blancs) sert à quantifier la fixation abiotique de carbone (adsorption).

Remarques :

- Une mesure de fixation à l'obscurité a été systématiquement réalisée en surface (2 ou 5 m) ainsi qu'au dernier niveau de prélèvement (variant entre 50 et 100 m). Les flacons d'incubation servant à quantifier la prise de carbone-14 à l'obscurité sont des flacons Nalgène® recouverts dans leur totalité de bandes adhésives noires. Ces flacons sont traités de manière similaire aux flacons translucides. Les fixations mesurées à l'obscurité sont toujours très faibles et correspondent en moyenne à 2% de la fixation mesurée en surface.
- Au cours de ce travail, une attention particulière a été portée à la préparation des solutions isotopiques de travail. Des solutions « filles » de faible volume (~15 ml) ont été préparées sous conditions stériles avant chaque mission à partir d'une solution « mère » récente. Une nouvelle solution « fille » est utilisée chaque jour de mission limitant ainsi le développement des micro-organismes.

La stratégie d'échantillonnage choisie lors des campagnes MoOGLi a déterminé des incubations sur la photopériode (aube - coucher du soleil), c'est à dire d'une durée variable (9 à 15-h selon les campagnes). Toujours pour des choix de stratégie d'échantillonnage, les incubations sont de type *in situ* simulé. Les échantillons sont placés sur le pont du navire dans des incubateurs refroidis en permanence par de l'eau de surface pour les campagnes hivernale (MoOGLi 3) et printanière (MoOGLi 1). Pour la campagne MoOGLi 2, un système de refroidissement est intégré aux incubateurs permettant de maintenir une température proche de celle où l'échantillon a été prélevé. La lumière incidente est atténuée par des écrans de nickel permettant d'exposer chaque échantillon à un éclairage proche de celui mesuré à la profondeur du prélèvement.

A la fin de l'incubation, les échantillons sont rapidement filtrés sous faible dépression (<100 mm Hg) sur des filtres Whatman® GF/F (préalablement calcinés à 450° C pendant 24-h). Les filtres sont placés dans des flacons à scintillation et recouverts de 0.25 ml d'HCl (0.5 N) pour dégager l'excédent de carbone minéral marqué, puis mis à l'étuve pour séchage pendant 24-h. 10 ml de liquide scintillant (UltimaGold®) sont ajoutés dans chaque flacon, le comptage s'effectue 24-h plus tard au moyen d'un compteur à scintillation de marque Packard® (type: Tri-carb 2100TR). La quantité de carbone fixé au

cours de la période d incubation donnée est calculée à partir du nombre de désintégrations par minute (dpm) fournies par l appareil de mesure:

$$PP = \frac{DPM_{lb} - DPM_b - DPM_{bb}}{DPM_t} \times DIC \times 1.05 \times \frac{V_p}{V_f}$$

PP: production primaire pour la durée d incubation (en mg C m⁻³),

DPM_{lb}: dpm mesurées sur le filtre issu du flacon translucide,

DPM_b: dpm mesurées pour le blanc,

DPM_{bb}: dpm mesurées sur le filtre issu du flacon sombre,

DPM_t: dpm totales (quantité introduite),

V_p: volume prélevé dans l échantillon (0.25 ml),

V_f: volume filtré de l échantillon (en ml),

A: concentration des carbonates (~25 10³ mg C m⁻³ d après Robinson et Williams 1989),

1.05: fractionnement isotopique entre ¹²C et ¹⁴C.

Les taux de production primaire fournis dans les tableaux de données correspondent à la fixation de carbone mesurée sur la durée d incubation après soustraction de la fraction absorbé dans l échantillon placé à l obscurité.

Références

- Fitzwater S.E., Knauer G.A. and Martin J.M., 1982. Metal contamination and its effect on primary production measurements. *Limnol. Oceanogr.*, 24 : 465-475.
- Mingelbier M., Klein B., Claereboudt M.R., Legendre L., 1994. Measurement of daily primary production using 24 h incubations with the 14C method: a caveat. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 113 : 301-309.
- Steeman-Nielsen E., 1952. The use of radioactive carbon (¹⁴C) for measuring organic production in the sea. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 18 : 117-140.

MESURES DES FLUX D ABSORPTION DE L AZOTE A L AIDE DE L ISOTOPE STABLE AZOTE-15

Frédéric DIAZ, Patrick RAIMBAULT, Nicole GARCIA

diaz@com.univ-mrs.fr

Laboratoire d Océanographie et de Biogéochimie, Centre d Océanologie de Marseille Faculté de Luminy,
132888 Marseille Cédex 09

L échantillonnage est effectué à partir des bouteilles Niskin® dans des flacons Nalgène® en polycarbonate translucide d un volume de 0.6 litre préalablement nettoyés à l acide chlorhydrique 10% avant chaque station et ensuite rincés au moment du prélèvement avec une fraction de l échantillon. Les prélèvements sont toujours effectués avant le lever du jour. Dès la fin du prélèvement, les concentrations en azote inorganique dissous (NID, nitrite, nitrate et ammonium) sont estimées directement à partir du flacon d incubation par analyse automatique sur les chaînes analytiques Technicon®.

Les composés azotés utilisés pour le marquage sont le nitrate, l ammonium, et l urée sous les formes respectives de $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$, $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$ enrichis à 99.8% (produits Isotec Inc.-USA). En théorie, 10% de la concentration initialement présente dans l eau doit être ajoutée sous forme de traceur (Dugdale et Goering, 1967) pour éviter une surestimation des flux d azote (Harrison *et al.* 1996). En pratique, il en a été différemment pour les campagnes estivale et automnale où les couches supérieures de la zone euphotique étaient la plupart du temps dépourvues en NID. Dans ce cas, une quantité fixe de traceur a été ajoutée (50 nM-N). Immédiatement après l inoculation du traceur, les flacons sont placés dans les incubateurs installés sur le pont du navire et incubés dans les mêmes conditions que les flacons des expérimentations carbone-14.

En fin d incubation, les échantillons sont immédiatement analysés sur les chaînes automatiques Technicon® pour la détermination des concentrations finales en NID. Ensuite, les échantillons sont filtrés sur un filtre Whatman® GF/F (Ø 25 mm, calcinés pendant 24-h) sous faible dépression (<100 mm Hg). Les filtres, retenant la fraction particulaire, sont ensuite placés dans des cryotubes Nalgène® et stockés à l étuve pendant 24-h environ pour séchage. Les échantillons sont alors prêts pour l analyse de l enrichissement en ^{15}N ($^{15}\text{N}\%$) de la fraction particulaire.

L instrument utilisé pour les analyses isotopiques des échantillons est un spectromètre de masse de marque Europa Scientific® (type: Anca Ms TracerMass). Les mesures d enrichissement sont fondées sur la séparation des différentes masses de l azote moléculaire ($^{28,29,30}\text{N}_2$). Les flux d absorption de NID (exprimés en nM/par unité de temps) sont calculés à partir de l équation proposée par Dugdale et Wilkerson (1986):

$$\rho = \frac{R_{NOP}}{R_{O_{NID}} \times T} \times NOP \quad (1)$$

avec R_{NOP} , % ^{15}N en excès de la fraction NOP en fin d incubation ; $R_{O_{NID}}$, % ^{15}N en excès du NID à l instant $T_0 - i$. e. après inoculation - ; NOP, concentration en NOP (nM) en fin d incubation ; T, temps de l incubation (en heures).

Dans le détail,

- $R_{NOP} = {}^{15}\text{N}_{F_0} - R_N$, avec ${}^{15}\text{N}_{F_0}$, $^{15}\text{N}\%$ du filtre F_0 ; R_N , teneur isotopique naturelle en ^{15}N ,
- $R_{O_{NID}} = \frac{NID_I \times R_N + {}^{15}\text{NID}}{NID_I + {}^{15}\text{NID}} - R_N$, avec NID_I , concentration en substrat (nM) avant ajout de traceur mesurée par méthode chimique ; ${}^{15}\text{NID}$, concentration (nM) en ^{15}N -substrat inoculée à T_0

- $$NOP = \frac{NOP' \times 1000}{V \times 14}$$
, avec NOP, quantité d'azote particulaire (en µg) retenue sur le filtre Fo (donnée du spectromètre de masse); V, volume filtré d'échantillon (en litres).

Remarque : L'équation proposée par Dugdale et Wilkerson (1986) est fondée sur le principe selon lequel l'enrichissement de l'azote inorganique dissous ne varie pas au cours du temps d'incubation. Cet enrichissement est alors considéré comme égal à l'enrichissement en azote-15 dans la phase dissoute au temps T_0 . En pratique et grâce à l'examen des mesures des % ^{15}N finaux dans le filtrat, il apparaît que cette condition n'est pas vérifiée pour les échantillons enrichis initialement en $^{15}NH_4^+$.

En effet, le % $^{15}NH_4^+$ final (Rf_{NH_4}) est souvent significativement inférieur à l'enrichissement initial (Ro_{NH_4}) à cause d'un apport de NH_4^+ non marqué provenant de processus de régénération. Il faut donc tenir compte de cette dilution isotopique résultant pour éviter une sous-estimation des taux d'absorption d'ammonium. Les résultats fournis dans les tableaux de données tiennent compte de cette correction et sont exprimés en $\mu\text{moles N.l}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (j correspondant à la durée d'incubation).

Le facteur f (Eppely et Peterson, 1979) est calculé comme étant le rapport entre la production nouvelle (absorption de nitrate) et la production totale (absorption de nitrate + absorption d'ammonium) :

$$f = \frac{\rho_{NO_3}}{\rho_{NO_3} + \rho_{NH_4}}$$

Remarques

Les filtrats sont récupérés dans des flacons Duran Schott® préalablement rincés à l'acide chlorhydrique 10% pour la détermination de la régénération de l'ammonium, de la nitrification et de l'excrétion du NOD selon les protocoles décrits par (Slawyk et Raimbault, 1995 et Raimbault et al., 1999).

Références

- Dugdale R.C. and J.J. Goering, Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary production. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 196-206, 1967
- Dugdale R.C. and F.P. Wilkerson, The use of ^{15}N to measure nitrogen uptake in eutrophic oceans, experimental considerations. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 673-689, 1986
- Eppely R.W., Peterson. B.J., 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 282: 677-680
- Harrison W.G., L.R. Harris and B.D. Irwin, The kinetics of nitrogen utilization in the oceanic mixed layer: nitrate and ammonium interactions at nanomolar concentrations, *Limnol. Oceanogr.*, 41, 16-32, 1996
- Raimbault P., Slawyk G., Boudjellal B., Coatanoan C., Conan P., Coste B., Garcia N., Moutin T., Pujo-Pay M. Biomass, new production and export in the equatorial Pacific at 150°W: Evidence for intense nitrogen recycling. *J. Geophys. Res.* 104, 3341-3356
- Slawyk G., Raimbault P., 1995. A simple procedure for the simultaneous recovery of dissolved inorganic and organic nitrogen in ^{15}N -tracer experiments on oceanic waters improving the mass balance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 124: 289-299