

PROPOSITION DE CAMPAGNE A LA MER
IFREMER - IPEV - IRD

Formulaire version du 20 octobre 2002

RECAPITULATIF -1-	DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2 DATE : 15 JANVIER 2003
--------------------------	---

TITRE DE LA CAMPAGNE : DYNAPROC 2 (DYNAmique des PROCessus rapides dans la colonne d'eau)

Année : 2004 Durée (sur zone) : 35 jours Escale éventuelle (à justifier) : 2 jours Campagne en 2 parties avec escale à Nice Mise à disposition du navire un jour avant le départ (de Toulon) - 38 jours au total Période (si impératif) : mi-septembre à fin octobre Zone : zone centrale de la mer Ligure (Méditerranée nord-occidentale) Pays dont les eaux territoriales sont concernées : France Pays dont la zone économique est concernée :	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;"></th> <th style="width: 40%;">Chef de projet</th> <th style="width: 40%;">Chef de mission</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nom Prénom :</td> <td>ANDERSEN Valérie GOUTX Madeleine</td> <td>ANDERSEN Valérie</td> </tr> <tr> <td>Organisme :</td> <td>CNRS</td> <td>CNRS</td> </tr> <tr> <td>Laboratoire :</td> <td>UMR 6117, Laboratoire de Microbiologie Marine (LMM)</td> <td>UMR 7093, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV)</td> </tr> <tr> <td>Adresse :</td> <td>Campus de Luminy Case 907 13288 Marseille cedex 9</td> <td>Observatoire Océanologique, BP 28 06234 Villefranche-sur-Mer cedex</td> </tr> <tr> <td>Tél. :</td> <td>04.91.82.90.62</td> <td>04.93.76.38.12</td> </tr> <tr> <td>Fax :</td> <td>04.91.82.90.51</td> <td>04.93.76.38.34</td> </tr> <tr> <td>E-mail :</td> <td>goutx@com.univ-mrs.fr</td> <td>andersen@obs-vlfr.fr</td> </tr> </tbody> </table>		Chef de projet	Chef de mission	Nom Prénom :	ANDERSEN Valérie GOUTX Madeleine	ANDERSEN Valérie	Organisme :	CNRS	CNRS	Laboratoire :	UMR 6117, Laboratoire de Microbiologie Marine (LMM)	UMR 7093, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV)	Adresse :	Campus de Luminy Case 907 13288 Marseille cedex 9	Observatoire Océanologique, BP 28 06234 Villefranche-sur-Mer cedex	Tél. :	04.91.82.90.62	04.93.76.38.12	Fax :	04.91.82.90.51	04.93.76.38.34	E-mail :	goutx@com.univ-mrs.fr	andersen@obs-vlfr.fr
	Chef de projet	Chef de mission																							
Nom Prénom :	ANDERSEN Valérie GOUTX Madeleine	ANDERSEN Valérie																							
Organisme :	CNRS	CNRS																							
Laboratoire :	UMR 6117, Laboratoire de Microbiologie Marine (LMM)	UMR 7093, Laboratoire d'Océanographie de Villefranche (LOV)																							
Adresse :	Campus de Luminy Case 907 13288 Marseille cedex 9	Observatoire Océanologique, BP 28 06234 Villefranche-sur-Mer cedex																							
Tél. :	04.91.82.90.62	04.93.76.38.12																							
Fax :	04.91.82.90.51	04.93.76.38.34																							
E-mail :	goutx@com.univ-mrs.fr	andersen@obs-vlfr.fr																							

Travaux : Physique, Chimie, Biologie Traitement des données et Besoins informatiques : route GPS, données ADCP, paramètres météorologiques, thermosalinographe Navire : THALASSA Engin(s) : ADCP 75 et 150 kHz, CTD-rosette, Filet à nappes Bioness, mouillages dérivants (piège à sédiment, lignes de production) Gros équipements : conteneur radioactivité, conteneur laboratoire Nécessité d'une campagne pour récupération d'engin ? non	Equipe scientifique embarquée Au moins 25 postes nécessaires * LOV (UMR 7093), Villefranche : V. Andersen, J. Dolan, R. Lemée, J.-C. Marty, L. Mousseau, P. Nival, M. Picheral, L. Prieur * LMM (UMR 6117), Marseille : M. Goutx, C. Guigue, F. van Wambeke * LOB (UMR 6535), Marseille : M. Denis, N. Garcia, D. Lefèvre, P. Raimbault * LBCM (UMR 7094), Paris : G. Gondry, A. Momzikoff * LOBB (UMR 7621), Banyuls : J.F. Ghiglione, L. Oriol, M. Pujopay * CEOBM (UMR 7127), Roscoff : G. Mével, M. Vernet * LSCE (UMR 1572) Gif/Yvette : S. Schmidt * UGMM, Bruxelles : G. Lacroix * IBSS, Sébastopol, Ukraine : D. Altukhov, A. Gubanova A terre : E. Bricchet (LSCE), V. Garçon (LEGOS), B. Gasser et J.C. Miquel (AIEA), P. Lebaron (LOBB), C. Provost (LODYC), A. Saliot (LBCM), S. Tsarin (IBSS)
---	--

Cette proposition se rattache au(x) programme(s) (nationaux ou internationaux) avec comité scientifique : (L'avis des comités scientifiques sera sollicité) Programme PROOF "PROcessus biogéochimiques dans l'Océan et Flux"

Thème scientifique : Production et exportation du carbone dans la colonne d'eau : étude du contrôle par les organismes hétérotrophes et des réponses du système aux perturbations impulsives en période de transition saisonnière
--

Responsable d'unité : Louis LEGENDRE (LOV), Micheline BIANCHI (LMM) <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> DATE : 14 JANVIER 2003 SIGNATURE : </div>
Nombre de dossiers présentés pour 2004 au sein de l'Unité :

RECAPITULATIF -2-

DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2

DATE : 15 JANVIER 2003

RESUME

- Texte synthétique résumant l'ensemble des documents 1 à 6, lisible par un non spécialiste
(ne pas dépasser 15 lignes)

Le carbone organique, synthétisé dans la couche superficielle de l'océan, subit des transformations biologiques tout au long de son exportation vers l'océan profond où le CO₂ est séquestré. L'intensité et la qualité de ce flux sont étroitement liées à la diversité fonctionnelle des communautés bactériennes et zooplanctoniques et aux variations rapides des forçages physiques dans la couche productive. La campagne DYNAPROC 2 (DYNAMique des PROCessus rapides dans la colonne d'eau) vise donc à une estimation du contrôle de la production et de l'exportation du carbone en profondeur par les organismes hétérotrophes et par les perturbations impulsionnelles en période de transition saisonnière. Cette étude, opération pluridisciplinaire du projet PECHÉ et soutenue par le programme PROOF, s'intègre au programme international OCEANS.

Les principales observations se feront en un point fixe dans la zone centrale de la mer Ligure (Méditerranée NO). Elles seront réalisées à une fréquence de 3 à 12 h pendant des cycles de 5 jours dans la colonne d'eau 0- 1000 m (CTD-rosette, lignes de production, filets, pièges,...) : structure hydrologique, réservoirs minéraux et organiques, biomasse et composition du phytoplancton, structure des communautés hétérotrophes et processus qui leur sont liés, flux vertical de matière. Le N/O Thalassa est demandé pour un temps sur zone de 35 jours en septembre-octobre 2004, seule période appropriée à notre étude.

RECAPITULATIF -3-

DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2

DATE : 15 JANVIER 2003

ABSTRACT

Traduction en Anglais du récapitulatif -2-

Organic carbon, synthesized in the surface ocean, is submitted to biological transformations throughout its exportation to the deep ocean where CO_2 is sequestered. The intensity and quality of this flux are closely related to the functional diversity of the bacteria and zooplankton communities and to rapid changes in physical forcings in the productive layers. The cruise DYNAPROC 2 (DYNAMics of rapid PROCesses in the water column) is designed to examine the control of carbon production and export by heterotrophic organisms and episodic events during seasonal transition periods. This study, multidisciplinary operation of the PECHE project and supported by the PROOF program, falls within the research context of the OCEANS international program.

The main observations will be done at a fixed station in the central zone of the Ligurian Sea (NW Mediterranean), They will be conducted during 5-day cycles at 3 to 12-h intervals in the 0-1000 m water column (CTD and 24-bottle rosette, moored production systems, zooplankton nets, traps,...): hydrological structures, mineral and organic stocks, phytoplankton biomass and composition, structures of heterotrophic communities and related processes, vertical flux of matter. The research vessel Thalassa is requested for 35 days during the September-October 2004 period, the only appropriate period to conduct the study.

DOCUMENT N° 1

DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2

DATE : 15 JANVIER 2003

PROGRAMME GÉNÉRAL DE RECHERCHES

(Ce document peut être rédigé en anglais)

- Thème scientifique et zone d'étude
- Campagnes antérieures et bibliographie sommaire sur le sujet
- Situation au niveau national et international
- Rattachement aux grands programmes
- Cela s'intègre-t-il dans un programme plus large à la mer ? (plusieurs campagnes, récupération de mouillage)
- Résultats escomptés

*Les documents 1 et 2 ne doivent pas dépasser **10 pages maximum** avec les illustrations et la bibliographie et une carte de localisation*

I. Thème scientifique et zone d'étude

I.1. Thème général

Le CO_2 est assimilé et transformé en carbone organique par le phytoplancton via la photosynthèse dans la couche superficielle de l'océan. Le flux particulaire (COP) quittant cette couche représente 2 à 50% de la matière synthétisée (Burd et al., 2002). Tout au long de la colonne d'eau, un réseau complexe d'organismes hétérotrophes (bactéries, zooplancton) recycle une partie de ce matériel sous forme inorganique (e.g. minéralisation, excrétion) ou l'agrège en particules à sédimentation rapide. Selon la profondeur à laquelle ces processus interviennent, le carbone pourra être séquestré pour un long moment dans l'océan profond ou retourner rapidement dans les couches de surface. Les profondeurs auxquelles les transformations biologiques du COP se produisent jouent donc un rôle crucial dans le cycle du carbone océanique et sont encore mal évaluées.

Une faible fraction (quelques %) de la matière organique qui quitte la couche euphotique atteint 1000 m de profondeur (Ittekkott et al., 1996). La paramétrisation classique (loi puissance) de la décroissance du flux vertical de matière organique en fonction de la profondeur ne rend pas compte des variabilités temporelles et spatiales observées (e.g. Schlitzer, 2000; Antia et al., 2001) car elle ne tient pas compte des processus biologiques qui modifient le flux de particules. Par exemple, les valeurs de flux de COP à 100 m collectées pendant le programme JGOFS varient selon 2 ordres de grandeur, alors qu'une telle variabilité n'est pas observée à 2000 m, indiquant une forte variabilité de la capacité des organismes mésoplanctoniques à transformer le matériel (Burd et al., 2002).

L'intensité et la composition du flux exporté dépendent donc non seulement de la dynamique du système dans la couche euphotique (variations rapides des forçages physiques, changements de la structure de l'écosystème liés aux changements de communauté phytoplanctonique), mais aussi des transformations qui se produisent aussi au-delà de cette zone éclairée, à tous les niveaux, dans la zone crépusculaire ('twilight zone' des anglo-saxons) entre 100 et 1000 m de profondeur, et qui sont étroitement liées à la composition des communautés zooplanctoniques et bactériennes (e.g. Jackson & Burd, 2002).

L'influence de ces processus sur le cycle du carbone a généralement été plus ou moins bien estimée, mais de façon indépendante, et il est essentiel de poursuivre des programmes qui combinent des mesures de zooplancton, de communautés bactériennes, de flux particulaire et de matières dissoutes pour obtenir une compréhension globale de l'influence des changements des communautés biologiques sur le flux particulaire.

La campagne DYNAPROC 2 (DYNAMique des PROCessus rapides dans la colonne d'eau), opération pluridisciplinaire du projet PÉCHE (Production et Exportation du Carbone : contrôle par les organismes HÉTérotrophes à petite échelle de temps), répond à cette nécessité.

I.2 Contrôle de la production du carbone organique

Les caractéristiques du flux exporté en profondeur sont étroitement liées à la dynamique de l'écosystème dans la couche euphotique et, en particulier, aux variations de biomasse et de composition de la communauté phytoplanctonique qui se traduisent par des changements de structure des communautés hétérotrophes. Le rôle pivot du broutage du zooplancton sur la dynamique du phytoplancton et l'importance du contrôle par la prédation, tant des herbivores que des carnivores, n'ont été soulignés que depuis quelques années, pour l'océan ouvert en particulier (e.g. Banse, 1994, 1995; Verity & Smetacek, 1996).

Or, la communauté méso- et macrozooplanctonique présente une grande diversité structurelle et fonctionnelle. Il existe une très grande variabilité dans le rapport de taille entre prédateur et proie (Longhurst, 1991; Fortier et al., 1994). Par exemple, des crustacés (copépodes, euphausiacés) sont capables de se nourrir sur les grandes cellules phytoplanctoniques (diatomées), alors que certains organismes gélatineux (salpes, appendiculaires, mollusques ptéropodes,...) exploitent efficacement le nanophytoplancton. Il a aussi été montré que le niveau de fermeture (prédation) dans les modèles de réseau trophique conditionnait le comportement de toutes les variables (formulation de ce terme au niveau des herbivores; Steele & Henderson, 1992) et l'ajustement de la simulation de l'écosystème aux observations (prise en compte de un ou deux niveaux de carnivores; Frost & Franzen, 1992; Krivtsov et al., 2001). Le fonctionnement du réseau trophique dépend donc de l'équilibre entre le contrôle par les ressources et le contrôle par la prédation; l'importance relative de ces contrôles est encore une question débattue (par exemple Longhurst, 1991; Banse, 1995; Franks, 2001; Marine Zooplankton Colloquium 2, 2001).

I.3. Organismes hétérotrophes et flux exporté

La matière organique ingérée par les organismes zooplanctoniques peut contribuer à leur croissance ou être excrétée sous forme dissoute ou particulaire. La communauté méso- et macroplanctonique est à l'origine de la majorité des grandes particules (pelotes fécales, agrégats, coquilles calcifiées,...) exportées en profondeur. L'intensité de ce flux est largement déterminée par la composition de la communauté. Ainsi, les pelotes fécales des salpes, à vitesse de sédimentation élevée, sont relativement peu affectées par la reminéralisation lors de leur chute, alors que les pelotes fécales de copépodes sont généralement recyclées dans la couche de surface (e.g. Fowler & Knauer, 1986).

Une fraction de la matière produite en surface est également transportée en profondeur de manière active, sous forme dissoute et particulaire, par les migrants nyctéméraux. Cette exportation peut représenter 4 à 34% en moyenne (et plus de 70% localement) du flux de COP mesuré dans des pièges à sédiments (Ducklow et al., 2001). Cependant, l'effet de cette

migration du zooplancton sur la dynamique de l'écosystème et le flux exporté est encore mal quantifié, bien que son importance soit largement reconnue (e.g. Angel, 1989; Longhurst, 1991; Banse, 1995; Marine Zooplankton Colloquium 2, 2001).

Lors de son transport vers l'océan profond, la matière organique va être en partie assimilée et reminéralisée par les bactéries. Les bactéries sont, en effet, les rares organismes capables de récupérer des concentrations extrêmement faibles de molécules organiques (biopolymères détritiques, colloïdales ou dissoutes) dispersées dans le milieu. Des travaux récents montrent que la concentration et la composition élémentaire des substrats sont des paramètres importants dans la régulation de la dynamique bactérienne (cf. Touratier et al., 2001). Mais de nombreuses incertitudes demeurent quant à la transformation des biopolymères en monomères, étape nécessaire en préalable à leur assimilation par les bactéries. Quelles vitesses, quelles enzymes, quelle fraction de la communauté bactérienne contribuent à l'hydrolyse des biopolymères sont des questions encore non résolues. De plus, différents processus, tels que condensations chimiques, protection physique par une fraction minérale ou agrégations biologiques, rendent la matière organique plus ou moins accessible aux enzymes bactériennes (e.g. Armstrong et al., 2002). L'efficacité de la minéralisation ne peut donc être comprise et estimée qu'à partir d'une approche pluridisciplinaire tenant compte à la fois de la variabilité des caractéristiques chimiques de la matière organique et de la diversité des espèces bactériennes et de leurs fonctionnalités (Cottrell & Kirchman, 2000).

I.4. Importance des processus à petite échelle temporelle

Dans l'océan, les structures physiques et les structures biologiques varient dans une large gamme d'échelles temporelles et spatiales (e.g. Haury et al., 1978). L'importance des processus se déroulant aux petites échelles de temps a été mise en avant il y a une quinzaine d'années (Marine Zooplankton Colloquium 1, 1989; Platt et al., 1989; Longhurst, 1991) et il est fondamental de comprendre le couplage entre les échelles, des plus petites aux plus grandes, et d'en quantifier les conséquences.

Les forçages périodiques et impulsionnels en particulier joueraient un rôle non négligeable. D'une part, les métabolismes et les comportements des hétérotrophes sont largement inféodés au cycle journalier (taux de croissance bactérienne, migration nyctémérale du zooplancton). D'autre part, en régime océanique, les augmentations épisodiques de la biomasse phytoplanctonique représentent une fraction importante de la production primaire annuelle (Platt et al., 1989). Par exemple, les mélanges turbulents induits par le vent peuvent conduire à des transports impulsionnels de sels nutritifs profonds vers la couche euphotique, suivis d'une réponse très rapide du phytoplancton (en termes de biomasse et de composition) qui se répercute sur la dynamique des hétérotrophes et le flux vertical de particules biogéniques.

Les réponses du système aux perturbations transitoires sont souvent complexes et non-linéaires. Des bilans fiables sur le long terme ne peuvent être calculés si l'on manque de données sur les variances et covariances à petite échelle de temps, en particulier aux échelles de quelques heures à quelques jours.

Les périodes de transition saisonnière, caractéristiques des régions tempérées, apparaissent particulièrement critiques car elles conditionnent la variabilité interannuelle. Ces périodes sont elles-mêmes gouvernées par la combinaison et la succession de processus rapides, de l'ordre de quelques heures à quelques jours.

I.5. Zone d'étude

La campagne DYNAPROC 2, axée sur les processus verticaux, doit être réalisée dans une zone où les transferts latéraux sont négligeables. La zone centrale de la mer Ligure, en particulier la station permanente DYFAMED (à 28 milles au large du cap Ferrat; 43°25N, 7°52E), apparaît comme un site-atelier approprié (voir la carte dans le Document 2).

En effet, les résultats de diverses campagnes, telles que les radiales PROS VI-FRONTAL de 1981 à 1989 et la campagne DYNAPROC en mai 1995, montrent que la station DYFAMED est dans une zone en dehors du courant et en général à plus de 5 milles du front Liguro-Provençal. On sait également que les méandres du jet frontal n'ont guère plus de 5 milles d'amplitude.

Le site principal d'observations sera donc la station DYFAMED ou un site plus au large, si cette station se révélait sous l'influence du front lors de la campagne.

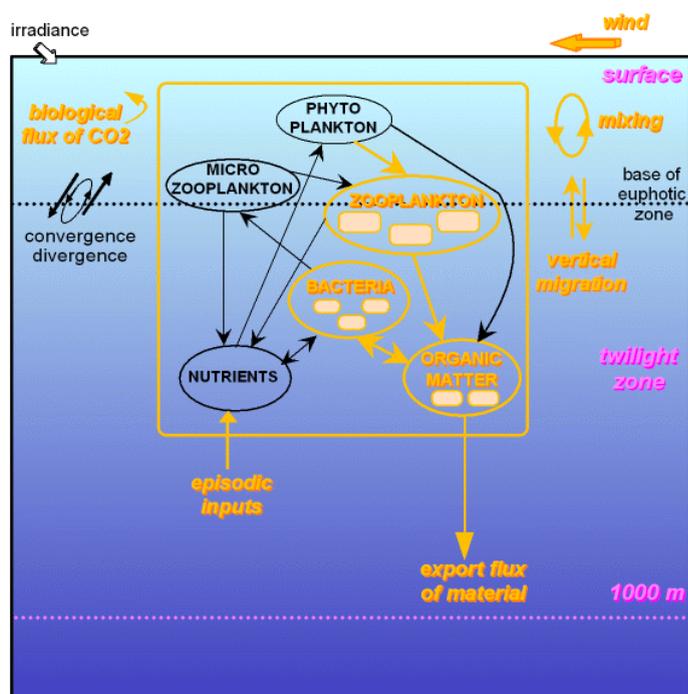
II. Objectifs généraux et problèmes abordés - Résultats escomptés - Intégration dans un programme à la mer plus large

La campagne DYNAPROC 2 vise à une meilleure appréciation du contrôle de la production primaire et de l'exportation du carbone en profondeur par les organismes hétérotrophes (des bactéries aux organismes macrozooplanctoniques) et par les perturbations impulsionnelles. Les processus seront étudiés à petite échelle de temps, de quelques heures à quelques jours, pendant la période de transition entre le système oligotrophe estival et le système automnal.

Les objectifs de la campagne concernent :

- 1 - les facteurs de contrôle de la floraison phytoplanctonique automnale (disponibilité en sels nutritifs et broutage du zooplancton),
- 2 - l'influence de la diversité structurelle et fonctionnelle du réseau hétérotrophe sur le flux exporté en profondeur et le rôle du cycle jour/nuit,
- 3 - l'impact des forçages physiques épisodiques, tels que les coups de vent, sur la dynamique du système biologique,
- 4 - l'effet de la transition saisonnière sur l'évolution de l'écosystème à plus long terme.

Les données en termes de stocks et de flux qui seront fournies par cette étude pluridisciplinaire et leur intégration dans l'étude des cycles biogéochimiques et du cycle du carbone en particulier sont présentées schématiquement sur la figure ci-contre. Les paramètres et processus biologiques liés aux hétérotrophes et les forçages physiques qui seront plus particulièrement étudiés sont représentés en couleur. Les principales observations seront faites dans la colonne d'eau 0-1000 m.



La période de transition entre le système oligotrophe estival et le système automnal soulève plusieurs questions majeures concernant le contrôle de la production primaire et de l'exportation en profondeur et la dynamique des processus rapides.

Dans cette région, l'océan perd de la chaleur à partir de mi-septembre généralement (Astraldi et al., 1995) et on observe alors un refroidissement des eaux de surface (Fig. 2) et une déstratification avec un approfondissement de la couche mélangée dans les 50-100 premiers mètres. Ces phénomènes, liés à des coups de vent, peuvent engendrer des apports impulsionsnels de sels nutritifs profonds vers les couches superficielles appauvries en sels nutritifs en fin d'été. Les séries temporelles acquises à la station DYFAMED montrent des remontées des isolignes de nitrate certaines années, mais cet échantillonnage mensuel est insuffisant pour saisir les enrichissements transitoires et leurs effets sur la communauté phytoplanctonique (cf. Fig. 2). D'autre part, à cette époque, le phytoplancton présente une forte proportion de cellules de petite taille, prochlorophytes essentiellement (Marty et al., 2002) et le zooplancton est caractérisé par une abondance d'organismes gélatineux microphages, tels que des mollusques ptéropodes et thaliacés (cf. Fig. 2 et Franqueville, 1971). La dynamique du phytoplancton dépend alors à la fois du contrôle par les ressources et du contrôle par la prédation.

Divers paramètres mesurés mensuellement montrent de nettes variations entre septembre et octobre et indiquent une transition saisonnière : changement de l'élément nutritif limitant la croissance du phytoplancton, phosphates puis nitrates (Marty et al., 2002), variations d'abondance de différentes espèces zooplanctoniques (Sardou et al., 1996), augmentation relative du flux particulaire exporté, après un minimum estival (cf. Fig. 2). La matière organique dissoute continue à s'accumuler dans les couches superficielles jusqu'à la fin de l'automne, mais sur une couche mélangée plus épaisse (Avril, 2002).

L'échantillonnage à haute fréquence et sur plusieurs semaines consécutives que nous comptons réaliser pendant DYNAPROC 2 permettra de bien saisir les effets des phénomènes transitoires et l'évolution progressive du système biologique pendant cette période peu étudiée jusqu'à présent.

Les résultats escomptés par la réalisation des objectifs de notre campagne sont les suivants :

- l'obtention d'un schéma cohérent de la relation entre production biologique de surface et flux exporté en profondeur avec, en particulier, une meilleure appréciation du contrôle de la transformation du carbone organique par les communautés hétérotrophes le long de la colonne d'eau,
- une identification des échelles de temps importantes pour les différents mécanismes étudiés,
- l'acquisition d'un corps de données pluridisciplinaires pour paramétrer, contraindre et valider des modèles de processus et des modèles couplés physique-biologique,
- l'interprétation de certaines situations observées lors des suivis mensuels à la station permanente DYFAMED.

Les résultats pluridisciplinaires de cette étude pourront être extrapolés à d'autres régions océaniques, en zone tempérée en particulier.

Cette campagne fait suite à la première campagne DYNAPROC réalisée en période post-floraison printanière (mai 1995). Dans le cadre du projet PECHE, les processus de minéralisation de la matière organique seront également étudiés en détails et à l'échelle du

cycle jour/nuit dans deux autres situations trophiques, au cours de campagnes à la mer sur navire côtier (N/O Téthys-II) : (1) abondance simultanée de différents groupes fonctionnels de zooplancton, tels que copépodes, salpes et mollusques ptéropodes (24-31 mars 2003), (2) décroissance saisonnière du flux particulaire (18-24 juin 2003).

Deux modèles 1-D couplés physique-biologie, déjà appliqués à la zone d'étude (Lacroix & Nival, 1998; Chifflet et al., 2001), sont disponibles dans notre groupe. Ces modèles distinguent plusieurs formes d'azote dissous et plusieurs types trophiques ou classes de taille pour le phytoplancton, les hétérotrophes et les détritus.

III. Campagnes antérieures et études réalisées en mer Ligure

La mer Ligure a fait l'objet, depuis plus de trente ans, de nombreuses études, campagnes à la mer (par exemple, Mediproduct I et II en 1969 et 1972, Prolig en 1985, Tomofront en 1990 et Dynaproc en 1995) et suivis in situ sur des navires côtiers. Ces études portaient non seulement sur les structures hydrologiques et hydrodynamiques (Coste et al., 1972; Béthoux & Prieur, 1983), les communautés phyto- et zooplanctoniques (Jacques et al., 1973; Nival et al., 1975; Laval et al., 1992), mais aussi sur les relations physique-biologie (voir le bilan de Sournia et al., 1990).

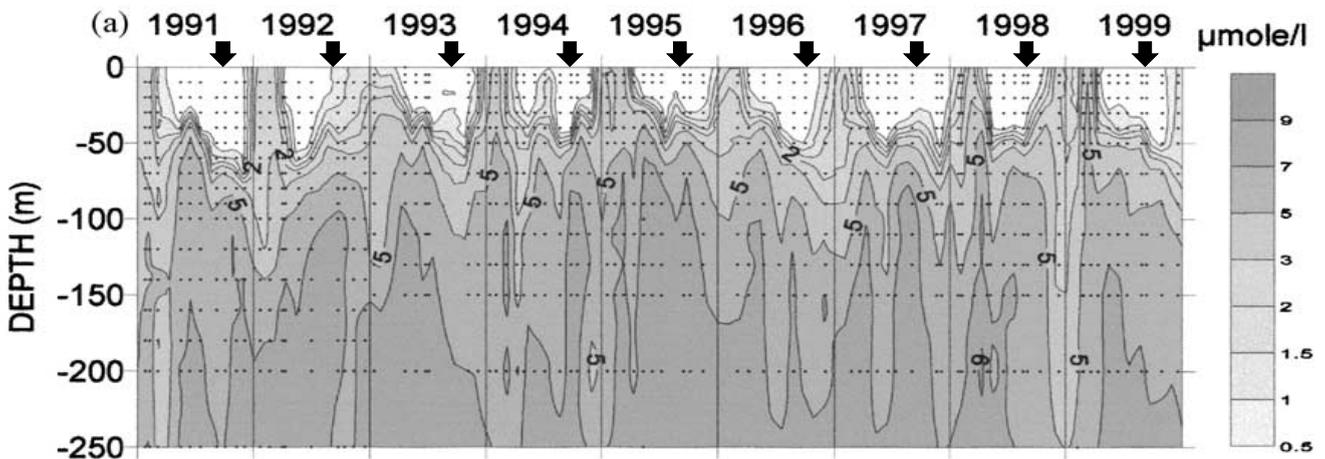
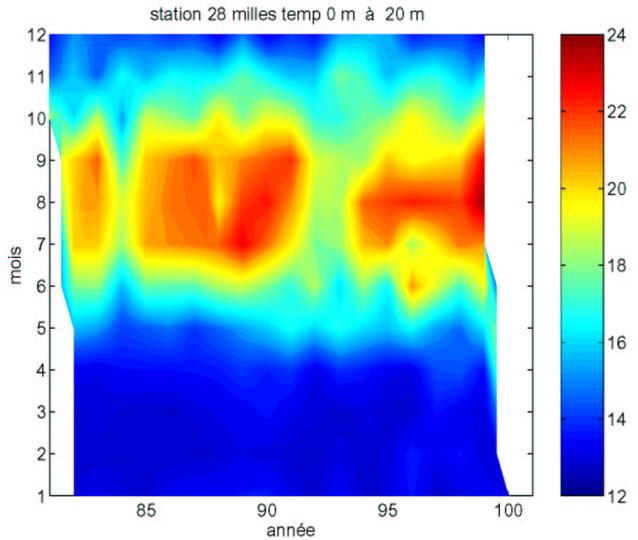
Nous ne résumons ici que les études qui nous ont particulièrement guidés pour la stratégie de mesures, la détermination du site et de la période d'étude.

Les observations acquises à haute fréquence pendant la campagne DYNAPROC (28 avril-2 juin 1995) ont permis de saisir l'impact de coups de vent sur la dynamique de l'écosystème à l'échelle de quelques heures à quelques jours pendant la période post-floraison printanière, mais aussi leur répercussion sur la transition saisonnière de la mésotrophie à l'oligotrophie. Les perturbations transitoires qui ont eu lieu pendant la campagne ont d'abord retardé la diminution de la biomasse phytoplanctonique et donc l'évolution du système vers l'oligotrophie, puis cette diminution a été accélérée sous l'effet d'interactions complexes entre la disponibilité en sels nutritifs, la composition de la communauté phytoplanctonique et le broutage du zooplancton. La réponse du système et son évolution ont été observées pour divers paramètres et processus : structure hydrologique et chimique dans la couche euphotique, biomasses, compositions et distributions verticales du phytoplancton et du zooplancton, activités bactériennes, amplitude et composition du flux vertical de matière... (voir la liste des publications dans le document 4). Le modèle 1-D couplé physique-biologie appliqué aux données de la campagne a montré que les contributions des processus physiques et des processus biologiques à la variation locale de la biomasse du phytoplancton étaient du même ordre de grandeur (Chifflet et al., 2001).

En ce qui concerne les séries mensuelles, on dispose (1) des données acquises lors des radiales PROS VI-FRONTAL de 1981 à 1989 (hydrologie, sels nutritifs, chlorophylle; cf. Fig. 2), qui ont été utilisées en particulier pour la calibration et la validation d'un modèle 1-D couplé physique-biologie (Lacroix & Nival, 1998) et (2), plus récemment, des suivis mensuels à la station DYFAMED (station permanente CNRS-INSUE depuis 1991). Des séries de 10 ans et plus ont été acquises pour les paramètres de base, les pigments phytoplanctoniques, la production primaire et les flux de masse et de COP (Miquel et al., 1995; Marty & Chiavérini, 2002; Marty et al., 2002). Sur des périodes plus courtes (1 à 4 ans), un suivi mensuel a été réalisé, entre autres, pour la $p\text{CO}_2$ (Bégovic & Copin-Montégut), le COD (Avril, 2002), la distribution verticale du réseau microbien (Tanaka & Rassoulzadegan, 2002) et des particules en suspension (Stemmann et al., 2002).

Figure 2. Exemples de séries temporelles acquises dans la zone d'étude.

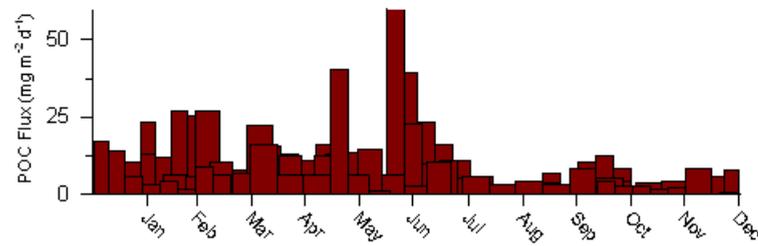
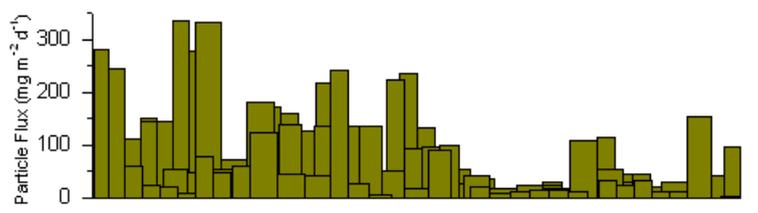
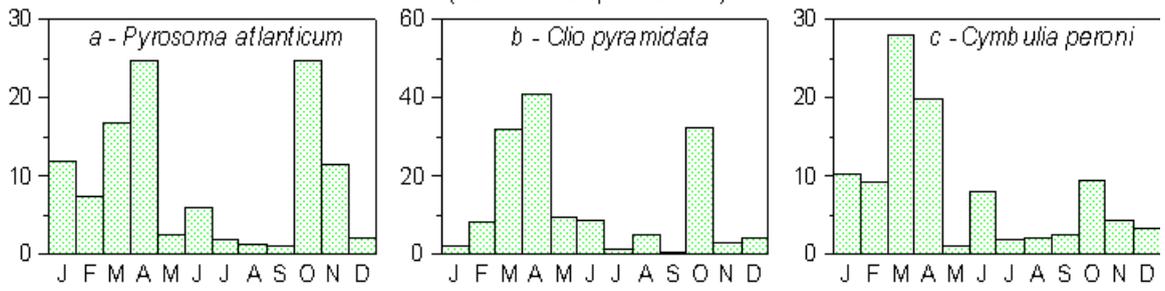
- Diagramme mois-année de la température mensuelle moyenne de la couche 0-20 m de 1981 à 1999 (L. Prieur, comm. pers.)
- Concentrations en nitrate dans la colonne d'eau 0-250 m (d'après Marty et al., 2002)
- Abondance de différentes espèces de filtreurs gélatineux microphages : thaliacés (a), mollusques ptéropodes (b,c) (d'après Sardou et al., 1996)
- Flux particulaire et flux de COP à 200 m (données de pièges à sédiments sur 4 années) (J.C. Miquel, comm. pers.)



Nitrates ($\mu\text{mol/l}$)

Macrozooplancton gélatineux

(Nb. individus par 100 m²)



IV. Situation au niveau national et international - Rattachement aux grands programmes

Au niveau national, la campagne DYNAPROC 2 fait partie du projet PECHE qui a débuté en 2002. Ce projet et les études in situ qu'il comporte sont soutenues par le programme PROOF (PROcessus biogéochimiques dans l'Océan et Flux), contribution française au programme JGOFS. L'avis du Comité Scientifique de PROOF pour 2003 est donné en annexe.

Cette campagne s'intègre dans un programme à la mer national et international plus large destiné à améliorer la connaissance du fonctionnement de l'écosystème méditerranéen : projets français PROOF (ACTION, MELISSA, ...), projet NSF MEDPROJECT (C. Lee, S. Wakeham, R. Armstrong). Le projet MELISSA, axé sur les échanges océan-atmosphère et les processus dans la couche euphotique, aborde certains aspects de la production primaire, tels que limitation par le fer et diazotrophie, qui ne sont pas intégrés aux objectifs spécifiques de PECHE. Des discussions entre les responsables de ces deux projets sont en cours afin que ces études se déroulent dans les meilleures conditions, avec le maximum d'interactions et de bénéfices de part et d'autre (certains chercheurs sont déjà impliqués dans les deux projets).

Les objectifs du projet PECHE et, en particulier de l'étude DYNAPROC 2, sont dans la direction d'orientations proposées par le nouveau programme international SCOR/IGBP OCEANS (Océan biogéochimie et Ecosystème ANALYSIS) qui fait suite à JGOFS. Ce programme a fait l'objet d'une conférence inaugurale les 7-10 janvier 2003 à Paris où les objectifs de PECHE ont été présentés (Andersen & Goutx, 2003).

Références bibliographiques

- Andersen, V. & M. Goutx, 2003. Production and Exportation of Carbon: control by Heterotrophic organisms at small time scales (PECHE). Ocean biogeochemistry and Ecosystem Analysis - International Open Science Conference, Paris 7-10 janvier 2003, Program and Abstracts, p. 56.
- Angel, M.V., 1989. Does mesopelagic biology affect the vertical flux? In, Productivity of the Ocean: Present and Past, Berger, W. H., Smetacek, V. S. & Wefer, G. (eds.). John Wiley & Sons Limited, pp. 155-173.
- Antia, A.N., W. Koeve, G. Fischer, T. Blanz, D. Schulz-Bull, J. Scholten, S. Neuer, K. Kremling, J. Kuss, R. Peinert, D. Hebbeln, U. Bathmann, M. Conte, U. Fehner, B. Zeitzschel 2001. Basin-wide particulate carbon flux in the Atlantic Ocean: Regional export patterns and potential for atmospheric CO₂ sequestration. *Global Biogeochem. Cycles* 15, 845-862.
- Armstrong, R. A., Lee, C., Hedges, J. I., Honjo, S. & S. Wakeham, 2002. Mineral ballast fluxes determine organic carbon fluxes to the deep ocean and sediments. *Deep-Sea Res. II* 49, 219-236.
- Astraldi, M., Bianchi, C.N., Gasparini, G.P. & C. Morri, 1995. Climatic fluctuations, current variability and marine species distribution: a case study in the Ligurian Sea (north-west Mediterranean). *Oceanol. Acta* 18, 139-149.
- Avril, B., 2002. DOC dynamics in the northwestern Mediterranean Sea (DYFAMED site). *Deep-Sea Res. II* 49, 2163-2182.
- Banse, K., 1994. Grazing and zooplankton production as key controls of phytoplankton production in the open ocean. *Oceanography* 7, 13-20.
- Banse, K., 1995. Zooplankton: Pivotal role in the control of ocean production. *ICES J. mar. Sci.* 52, 265-277.
- Bégovic, M. & C. Copin-Montégut, 2002. Processes controlling annual variations in the partial pressure of CO₂ in surface waters of the central northwestern Mediterranean Sea (Dyfamed site). *Deep-Sea Res. II* 49, 2031-2047.
- Béthoux, J.P. & L. Prieur, 1983. Hydrologie et circulation en Méditerranée Nord-Occidentale. *Pétroles et Techniques* 299, 25-34.
- Burd, A.B., Jackson, G.A., Lampitt, R.S. & M. Follows, 2002. Shining a light on the Ocean's twilight zone. *EOS, Transactions, AGU* 83, 573-580.
- Chifflet, M., Andersen, V., Prieur, L. & I. Dekeyser, 2001. One-dimensional model of short-term dynamics of the pelagic ecosystem in the NW Mediterranean Sea: effects of wind events. *J. mar. Systems* 30, 89-114.
- Coste, B., Gostan, J. & H.J. Minas, 1972. Influence des conditions hivernales sur les productions phyto- et

- zooplanctoniques en Méditerranée Nord-Occidentale. I. Structures hydrologiques et distribution des sels nutritifs. *Mar. Biol.* 16, 320-348.
- Cottrell, M. & D. Kirchman, 2000. Natural assemblages of marine proteobacteria and members of the Cytophaga - Flavobacter cluster consuming low- and high molecular weight dissolved organic matter, *Appl. Environ. Microbiol.* 66 : 4, 1692-1697.
- Ducklow, H.W., Steinberg, D.K. & K.O. Buesseler, 2001. Upper ocean carbon export and the biological pump. *Oceanography* 14, 50-58.
- Fortier, L., Le Fèvre, J. & Legendre, L., 1994. Export of biogenic carbon to fish and to the deep ocean: the role of large planktonic microphages. *J. Plankton Res.* 16, 809-839.
- Fowler, S.W. & G.A. Knauer, 1986. Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. *Prog. Oceanogr.* 16, 147-194.
- Franks, P.J.S., 2001. Phytoplankton blooms in fluctuating environment: the roles of plankton response time scales and grazing. *J. Plankton Res.* 23, 1433-1441.
- Franqueville, C., 1971. Macroplancton profond (invertébrés) de la Méditerranée nord-occidentale. *Tethys* 3, 11-56.
- Frost, B.W. & Franzen, N.C., 1992. Grazing and iron limitation in the control of phytoplankton stock and nutrient concentration: a chemostat analogue of the Pacific equatorial upwelling zone. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 83, 291-303.
- Haury, L.R., McGowan, J.A. & Wiebe, P.H., 1978. Patterns and processes in time-space scales of plankton distributions. In, *Spatial pattern in plankton communities*, Steele, J. H. (ed.). Plenum Press, New York, pp. 277-327.
- Ittekkott, V., Schöfer, P. Honjo, S., Depetris, P.J. (eds), 1996. *Particule flux in the ocean*, Scope 57. Wiley, New York.
- Jackson, G. and A. B. Burd. 2002. A model for the distribution of particle flux in the mid-water column controlled by subsurface biotic interactions. *Deep Sea Res.* 49, 193-217.
- Jacques, G., Minas, H.J., Minas, M. & P. Nival, 1973. Influence des conditions hivernales sur les productions phyto- et zooplanctoniques en Méditerranée Nord-Occidentale. II. Biomasse et production phytoplanktonique. *Mar. Biol.* 23, 251-265.
- Krivtsov, V., Goldspink, C., Sigee, D.C. & E.G. Bellinger, 2001. Expansion of the model 'Rostherne' for fish and zooplankton: role of top-down effects in modifying the prevailing pattern of ecosystem functioning. *Ecol. Model.* 138, 153-171.
- Lacroix, G. & P. Nival, 1998. Influence of meteorological variability on primary production dynamics in the Ligurian Sea (NW Med Sea) with a 1D hydrodynamic/biological model. *J. mar. Systems* 16, 23-50.
- Laval, Ph., Braconnot, J.C. & N. Lins da Silva, 1992. Deep planktonic filter-feeders found in the aphotic zone with the CYANA submersible in the Ligurian Sea (N.W. Mediterranean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 79, 235-241.
- Longhurst, A.R., 1991. Role of the marine biosphere in the global carbon cycle. *Limnol. Oceanogr.* 36, 1057-1526.
- Marine Zooplankton Colloquium 1, 1989. Future marine zooplankton research - a perspective. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 55, 197-206.
- Marine Zooplankton Colloquium 2, 2001. Future marine zooplankton research - a perspective. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 222, 297-308.
- Marty, J.C. & J. Chiavérini, 2002. Seasonal and interannual variations in phytoplankton production at DYFAMED time-series station, north-western Mediterranean sea. *Deep Sea Res.* II 49, 2017-2030.
- Marty, J.C., Chiavérini, J., Pizay, M.D. & B. Avril, 2002. Seasonal and interannual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the Western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991-1999). *Deep Sea Res.* II 49, 1965-1985.
- Miquel, J.C., Fowler, S.W., Mostajir, B. & J. La Rosa, 1995. Long term study of particulate carbon flux in the open NW Mediterranean Sea. In, *Global Fluxes of Carbon and its Related Substances in the Coastal Sea-Ocean-Atmosphere System*, Tsunogai, S., Iseki, K., Koike, I. & Oba, T. (eds). M&J International, Yokohama, Japan, pp. 353-359.
- Nival, P., Nival, S. & A. Thiriot, 1975. Influence des conditions hivernales sur les productions phyto- et zooplanctoniques en Méditerranée nord-occidentale. V. Biomasse et production zooplanctonique - relations phyto-zooplankton. *Mar. Biol.* 31, 249-270.
- Platt, T., Harrison, W.G., Lewis, M.R., Li, W.K.W., Sathyendranath, S., Smith, R.E. & Vézina, A.F., 1989. Biological production of the oceans : the case for a consensus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 52, 77-88.
- Sardou, J., Etienne, M. & Andersen, V., 1996. Seasonal abundance and vertical distributions of macroplankton and micronekton in the Northwestern Mediterranean Sea. *Oc. Acta* 19, 645-656.
- Schlitzer, R., 2000. Applying the adjoint method for biogeochemical modelling: Export of particulate organic matter in the world ocean. In, *Inverse Methods in Global Biogeochemical Cycles*, Kasibhatla, P. R., Heimann, M., Rayner, P., Mahowald, N., Prinn, R. G. & D.E. Hartley (eds). AGU, Washington D.C., pp. 107-124.
- Sournia, A., Brylinski, J.-M., Dallot, S., Le Corre, P., Leveau, M., Prieur, L. & C. Froget, 1990. Fronts hydrologiques au large des côtes françaises : Les sites-ateliers du programme Frontal. *Oceanol. Acta*, 13, 413-438.

- Steele, J.H. & Henderson, E.W., 1992. The role of predation in plankton models. *J. Plankton Res.* 14, 157-172.
- Stemmann, L., Gorsky, G., Marty, J.C. & J.C. Miquel, 2002. Four year survey of large particulate matter in the upper kilometre of the oligotrophic NW Mediterranean. *Deep-Sea Res. II* 11, 2143-2162.
- Tanaka, T. & F. Rassoulzadegan, 2002. Full-depth profile (0-2000 m) of bacteria, heterotrophic nanoflagellates and ciliates in the NW Mediterranean Sea: Vertical partitioning of microbial trophic structures. *Deep-Sea Res. II* 49, 2093-2107.
- Touratier, F., Field, J. & C. Moloney, 2001. A stoichiometric model relating growth substrate quality (C:N:P ratios) to N:P ratios in the products of heterotrophic release and excretion. *Ecol. Model.* 139, 265 - 291.
- Verity, P.G. & Smetacek, V., 1996. Organism lifecycles, predation, and the structure of marine pelagic ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 130, 277-293.

DOCUMENT N° 2

DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2

DATE : 15 JANVIER 2003

STRATEGIE D'APPROCHE ET METHODES

(Ce document peut être rédigé en anglais)

- Méthodologie détaillée et liste précise des travaux pour atteindre les résultats escomptés - stratégie,
- Déroulement général de la mission, durée totale, temps sur zone, période souhaitée, escale éventuelle et raisons de ce souhait, carte de situation générale
- **Calendrier journalier prévisionnel des travaux (tableau J1 à Jx) précisant** : travaux, trajets, stations, profils, les différentes zones d'études, ... documents cartographiques obligatoires. Pour les études de sismique et les levés sonars il est indispensable d'indiquer le nombre de milles nautiques des profils.
- **Pour les trajets, estimer les durées avec les vitesses suivantes : 10 nœuds pour le Suroît et Nadir, 11 nœuds pour Thalassa et L'Atalante)**

I. Stratégie générale et objectifs

La campagne DYNAPROC 2 vise à l'étude de la période de transition entre le système oligotrophe estival et le système automnal et ses objectifs généraux concernent :

- 1 - les facteurs de contrôle de la floraison phytoplanctonique automnale (disponibilité en sels nutritifs et broutage du zooplancton),
- 2 - l'influence de la diversité structurelle et fonctionnelle du réseau hétérotrophe sur le flux exporté en profondeur et le rôle du cycle jour/nuit,
- 3 - l'impact des forçages physiques épisodiques, tels que les coups de vent, sur la dynamique du système biologique,
- 4 - l'effet de la transition saisonnière sur l'évolution de l'écosystème à plus long terme.

Pour atteindre ces objectifs, il est indispensable de considérer les processus à une **échelle de temps de quelques heures à quelques jours** et de les étudier **pendant plusieurs semaines consécutives**, ces objectifs, en particulier les (3) et (4), dépendant aussi des conditions météorologiques et de la variabilité interannuelle.

La succession des phénomènes de déstratification, d'enrichissement en nitrate des couches de surface, puis la réponse du phytoplancton, en termes de biomasse et de composition, et l'intensification des flux verticaux de particules biogéniques se fait en deux à quatre jours, impliquant des processus variant à l'échelle de quelques heures, comme observé lors de la campagne DYNAPROC en mai 1995. D'autre part, divers paramètres et processus sont connus pour présenter des variations nyctémérales, tels que les stocks de phytoplancton, la distribution verticale des organismes zooplanctoniques, les activités bactériennes et les flux verticaux de matière organique. Notre étude doit donc être réalisée avec un pas de temps de quelques heures et sur une période de plusieurs jours. En tenant compte des contraintes de la plus haute cadence de mesure, de la pluridisciplinarité qui met en oeuvre plusieurs engins, et du temps nécessaire aux prélèvements et expérimentations avant de pouvoir répéter la mesure, nous avons fixé un pas de temps de 6 heures pour les mesures dans la colonne d'eau. Ce pas de temps nous permettra de suivre les réponses rapides du système aux phénomènes transitoires et la variation jour/nuit. Pour avoir le maximum de cycles jour/nuit compatible avec le nombre de personnes embarquées par poste et avec la fatigue, cet échantillonnage sera fait pendant 5 jours.

Pour pouvoir saisir l'impact des coups de vent et du refroidissement de l'océan et pour pouvoir suivre les variations de la structure physique et de l'écosystème pendant cette période de transition, les cycles de 5 jours doivent être réalisés à plusieurs reprises. Par exemple, la réponse du zooplancton à une variation de biomasse ou de composition de la communauté phytoplanctonique peut être très rapide en terme de processus physiologiques (taux d'ingestion par exemple), mais de l'ordre de quelques jours à une quinzaine de jours en termes de variations de biomasse et de successions d'espèces. Enfin, les séries mensuelles d'échantillonnage de la colonne d'eau à la station DYFAMED, qui soulignent la variabilité interannuelle, ne permettent pas de définir une période d'étude inférieure à un mois pour la réalisation de la campagne DYNAPROC 2 et de ses objectifs; cette période se situe entre mi-septembre et fin octobre (voir les exemples de séries annuelles présentées dans le Document 1).

Notre stratégie générale est donc basée sur la **réalisation de 4 cycles de 5 jours au site principal d'observations entre mi-septembre et fin octobre avec un pas de temps de base de 6 heures** pour les mesures dans la colonne d'eau. Ces observations fourniront, à l'échelle du cycle jour-nuit (fréquence de 6 à 12 heures selon les processus), les distributions verticales des sels nutritifs, des pigments phytoplanctoniques, de la matière organique, et des biomasses et activités hétérotrophes (relatives aux communautés bactériennes et zooplanctoniques) qui peuvent influencer le flux vertical de matière dont la composition et la qualité seront fournies par des pièges à sédiments (dérivants et fixes).

II. Méthodes d'approche des différents paramètres et processus

II.1. Détermination du site et contexte hydrologique

Les résultats de diverses campagnes montrent que la station DYFAMED est dans une zone où les transferts latéraux sont négligeables (cf. Document 1, SI.5). Néanmoins, l'examen des masses d'eau montre que ce site peut, à certaines périodes de l'année, être influencé par la proximité du front. Pour déterminer la position définitive du site principal d'observations, on réalisera donc **en début de campagne, une radiale de 8 stations**, espacées de 5 milles, entre 3 et 38 milles au large du cap Ferrat. Ces stations consisteront en profils bathysonde 0-1000 m (CTD-O₂-fluorescence).

Afin de situer le site principal dans le contexte hydrologique et le recalcr avec les structures profondes, et afin d'apprécier les gradients horizontaux supposés faibles, **un réseau de 16 stations satellites, centré sur la station principale, sera exploré à 3 reprises au cours de la campagne**. L'exploration de ces 16 stations satellites, espacées de 3 milles, comprendra des bathysondes (CTD-O₂-fluorescence) dans la colonne 0-1000 m et des prélèvements avec la rosette pour le dosage des sels nutritifs; cette exploration durera 30 heures.

La position définitive du site principal et du réseau sera arrêtée à l'issue de la radiale.

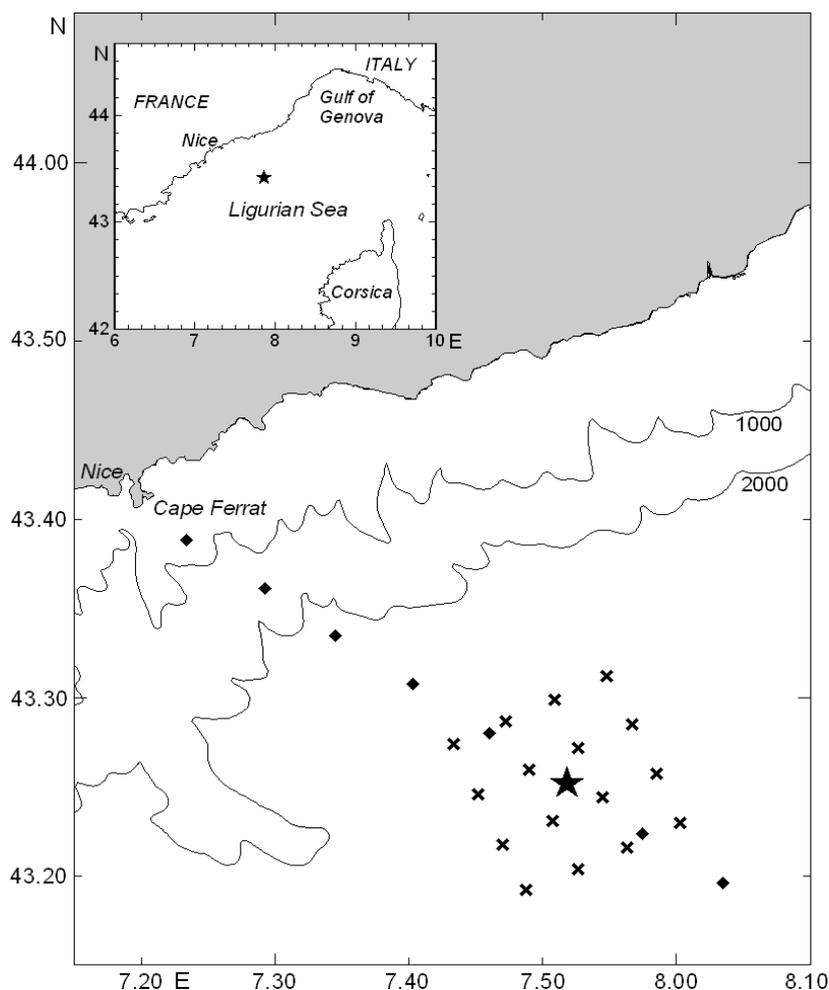


Figure 3. Carte générale de la zone d'étude
Positions du site principal (★, ici la station DYFAMED), de la radiale
de 8 stations (◆) et du réseau de 16 stations satellites (✕)

II.2. Dynamique du système biologique en station de longue durée

La stratégie est basée sur la réalisation de 4 cycles de 5 jours, avec un pas de temps de base de 6 heures pour les mesures dans la colonne d'eau. Les processus liés à la production primaire seront explorés dans la colonne 0-200 m (avec une discrétisation fine des 100 premiers mètres), ceux liés aux organismes hétérotrophes (bactéries, zooplancton) dans la colonne 0-1000 m; 6 à 12 niveaux seront échantillonnés dans la colonne d'eau selon les processus et paramètres.

Au cours de deux des quatre cycles, certains paramètres (sels nutritifs, pigments, biomasse et production bactérienne,...) seront mesurés à une fréquence de 3 heures pendant 36 heures afin de bien apprécier les cycles nycthémeraux et l'influence des facteurs physiques sur la disponibilité des sels nutritifs et le contrôle de la dynamique du phytoplancton. Ces périodes de 36 heures seront fixées à bord en fonction des conditions hydrologiques et météorologiques.

A deux reprises au cours de la campagne, entre 2 cycles de 5 jours successifs, on testera l'hypothèse du train d'ondes entretenues (détaillée après); cette opération durera 36 heures.

L'encadré, à la fin de cette partie, donne un récapitulatif des opérations qui seront réalisées pendant les cycles.

Tous les profils bathysonde seront réalisés jusqu'à au moins 1000 m de profondeur afin de recalibrer le site principal avec les structures profondes pendant toute la campagne, et ceci même si les prélèvements d'eau avec la rosette ne sont effectués que dans les 200 premiers mètres.

a - Structure hydrologique et chimique

- profil bathysonde (CTD-O₂-fluorescence) dans la colonne d'eau 0-1000 m
- réservoirs minéraux et organiques des éléments majeurs (rosettes)
 - * sels nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, silicate)
 - 0-200 m : toutes les 6 h (toutes les 3 h pendant 36 h pour 2 des 4 cycles)
 - 0-1000 m : fréquence journalière
 - * matières organiques dissoutes et particulaires
 - COD : 0-1000 m, dt = 6 h
 - MOP (C, N, P; 0-200 m), NOD et POD (0-1000 m) à une fréquence journalière
 - * O₂ : 0-1000 m, calibrage du capteur oxygène de la CTD
- profil PAR : un capteur PAR sera fixé sur la CTD-rosette (au moins pour tous les profils ne dépassant pas 1000 m)

b - Biomasse et communauté phytoplanctoniques, production primaire

Plusieurs méthodes complémentaires seront utilisées pour quantifier la biomasse phytoplanctonique et déterminer sa composition sur la verticale : (1) analyse des pigments (chlorophylles et caroténoïdes) par HPLC, (2) cytométrie en flux (ultraphytoplancton en particulier) et (3) analyse microscopique du microphytoplancton (diatomées et dinoflagellés). L'échantillonnage sera réalisé par rosette toutes les 6 heures, avec une fréquence de 3 heures pour les pigments à certaines périodes (comme pour les sels nutritifs).

La production nouvelle, la fixation d'azote moléculaire, la production régénérée et les principaux flux de régénération et d'excrétion de l'azote (régénération NH₄, nitrification, excrétion NOD) seront estimés à une fréquence journalière à partir de prélèvements avec la rosette (0-100 m) et d'incubations à bord. Des mesures in situ seront également faites à partir du mouillage de la ligne de production servant à la mesure des flux biologiques de CO₂.

c - Flux biologiques de CO₂

Des mesures de production communautaire nette (PCN) seront réalisées in vitro, à partir de prélèvements rosette dans la colonne d'eau et d'incubations en flaconnage. Les incubations seront effectuées à 6 profondeurs entre 0 et 100 m sur une ligne de mouillages in situ (ligne de production), mouillée pendant 24 heures une fois par cycle de 5 jours.

En parallèle, il est envisagé de déterminer les variations de PCN in situ à l'aide d'un système de mouillage muni d'une chambre d'incubation de 2 litres, d'une électrode O₂, d'un capteur PAR et de capteurs température et salinité (ligne APO, Auto-échantillonneur pour la Production Oxygène). Cette ligne, équipée de 6 mouillages dans la couche euphotique, sera immergée pour toute la durée du cycle de 5 jours, avec une fréquence de mesures de 15 minutes et un remplacement automatique de l'échantillon toutes les 24 heures.

L'utilisation couplée de ces méthodologies permet d'appréhender différentes échelles de temps quant à l'évolution des signaux, échelle du jour avec les incubations et échelle de l'heure avec les mouillages in situ.

d - Communauté et processus bactériens, minéralisation et composition de la matière organique

Des profils verticaux dans la colonne d'eau 0-1000 m, à partir de la rosette (0-200 m essentiellement et à 500 et 1000 m), seront établis pour :

- la production et la biomasse bactériennes avec distinction des bactéries libres et attachées (cytométrie en flux), la structure de la communauté (biologie moléculaire), et les activités exoenzymatiques (fréquence de 6 h pendant au moins 3 jours pour chaque cycle, puis fréquence journalière),
- la matière organique labile/semi-labile qui sera caractérisée par sa composition en protéines (spectrophotométrie avant et après hydrolyse) et en lipides (chromatographie sur couche mince, analyseur Iastroscan) (fréquence de 6 h),
- la matière organique réfractaire qui sera identifiée par sa composition en matière dissoute colorée (fréquence de 6 h).

Des études de processus seront également réalisées pendant les 4 cycles :

- La production et la biomasse bactériennes seront mesurées en surface à une fréquence de 3 h pendant 36 heures afin de bien en apprécier les variations nycthémérales.
- Les processus de minéralisation de la matière organique seront étudiés :
 - * dans les particules : par le suivi des caractéristiques chimiques, biochimiques et microbiologiques de pelotes fécales fraîches de zooplancton et de matériel de pièges à sédiment mis en incubation. On utilisera les pelotes fécales produites par différentes classes de taille de zooplancton ou par différents groupes pour les organismes de grande taille (salpes, mollusques ptéropodes, euphausiacés,...). Ces processus seront suivis une fois par cycle de 5 jours.
 - * dans la matière dissoute : par le suivi de la biodégradation bactérienne du COD à partir de prélèvements dans la zone d'accumulation du COD et à 1000 m (2 à 4 fois pendant la campagne).

e - Microzooplancton

Plusieurs processus et paramètres seront étudiés pour estimer la contribution des ciliés à la dynamique du réseau trophique : (1) leur distribution verticale (2 à 3 fois par cycle), (2) la stabilité de leur diversité (taxonomique et morphologique) et (3) leur taux de production et le taux de prédation du mésozooplancton (copépodes essentiellement), à partir d'échantillons mis en incubation pendant 24 heures.

Le nano- et le microzooplancton (ciliés, flagellés hétérotrophes) participent essentiellement au stockage et à la régénération de la matière dans la couche superficielle et n'ont pas d'influence significative sur la transformation du carbone organique exporté au-delà de cette zone, un des points-clefs de notre étude. Cependant, à la fin de l'été, le phytoplancton présente une forte proportion de petites cellules et les petits hétérotrophes, en compétition avec le macroplancton microphage, pourraient jouer un rôle non négligeable sur la dynamique du phytoplancton. Pour aborder cet aspect (et suivant les recommandations du 18/12/2002 du CS PROOF), des contacts ont été récemment pris et des discussions sont en cours avec des spécialistes français et étrangers.

f Méso- et macrozooplancton, micronecton

La biomasse, la composition et la distribution verticale du zooplancton et du micronecton seront estimées, de jour et de nuit, par diverses méthodes afin d'avoir une vue de l'ensemble de la communauté et un spectre de tailles représentatif.

- Prélèvements avec la rosette dans les 200 premiers mètres (filtration sur soie de 50 µm),

afin d'avoir une distribution fine des jeunes stades de crustacés,

- Pêches de mésozooplancton avec un filet WP-2 (maille 200 μm) chaque jour dans la colonne d'eau 0-200 m (standards internationaux) et, occasionnellement, 0-500 m,

- Pêches de zooplancton au filet à nappes (Bioness, maille de 500 μm) qui fournira la distribution verticale des organismes dans la colonne d'eau découpée en 9 tranches : (1) pêches 0-250 m, afin de déterminer la structure verticale fine de la biomasse dans la couche productive (6 pêches par cycle), (2) pêches jusqu'à 1000 m de profondeur, en relation avec le flux particulaire et les autres processus hétérotrophes qui seront mesurés jusqu'à cette profondeur (4 pêches par cycle).

Certaines des pêches dans la colonne 0-1000 m, coûteuses en temps, seront réalisées avant et après chaque cycle de 5 jours.

L'autre volet de cette étude des hétérotrophes macrobiens concernera l'estimation des taux physiologiques (ingestion, excrétion ammoniacale, respiration), des contenus stomacaux et de la production de pelotes fécales. Ces paramètres seront mesurés pour divers types d'organismes, selon leur taille et groupe trophique. La combinaison des mesures de taux physiologiques avec les données de stock et de diversité spécifique du phytoplancton et du zooplancton permettra une bonne appréciation des relations prédateurs/proies et des flux de matière au sein de l'écosystème.

Les organismes vivants seront échantillonnés de nuit, à partir de traits de filets Bongo (133 μm) et Bioness (500 μm) dans les 250 premiers mètres (2 fois par cycle pour chaque filet). Une partie des organismes sera utilisée pour les études de minéralisation de pelotes fécales et de prédation sur les ciliés.

g - Flux particulaire

Durant chaque cycle de 5 jours, nous utiliserons un piège dérivant (PPS-5, 24 godets), avec un pas de temps de 6 h et situé sous la couche euphotique (à 200 m). Le contenu du piège sera utilisé pour les mesures de flux (C, N, P) et le dosage des pigments phytoplanctoniques, des marqueurs lipidiques, de la MOD colorée et du Thorium. Le contenu du 21^e godet, non empoisonné, servira à l'étude de processus bactériens.

La nouvelle version (bientôt disponible) du Profileur Vidéo Marin de G. Gorsky pourra être fixée sur la rosette, à la place d'une bouteille, et fournira la distribution des particules en suspension (0.1-50 mm) dans la colonne d'eau 0-1000 m.

L'évolution du ^{234}Th dans la couche de surface sera suivie à une échelle de temps de 4 jours; des profils de $^{234/228}\text{Th}$ seront également réalisés dans la couche d'eau intermédiaire (150-600 m) à deux reprises pendant la campagne.

h - Hypothèse du train d'ondes entretenues

L'interprétation des résultats obtenus lors de la campagne DYNAPROC en 1995 a conduit à formuler une hypothèse dite du train d'ondes entretenues (Denis et al., 2002). D'après cette hypothèse, les migrations verticales journalières des organismes zooplanctoniques induiraient une sédimentation récurrente de particules composées de pelotes fécales ou d'agrégats de matières en suspension, ces particules entraînant dans leur chute une grande partie des communautés bactériennes se développant en subsurface. La régénération de la population bactérienne serait assurée par les excréments de MOD très labile par les organismes zooplanctoniques migrants stationnant en subsurface pendant le jour.

La stratégie expérimentale consistera donc à réaliser des mesures d'activité ETS et de cytométrie en flux à 10 niveaux entre 500 et 1200 m (CTD-rosette) avec une fréquence de 3 h sur une période de 36 h et deux fois au cours de la campagne. L'objectif de cette approche

est de vérifier l'enfoncement récurrent d'un pic d'activité ETS comme le prévoit l'hypothèse citée et de déterminer l'abondance et la composition des assemblages et l'état physiologique des cellules. Afin de replacer la variabilité de ce flux de reminéralisation dans un contexte de fonctionnement océanique, un profil vertical sera également effectué de la surface jusqu'à 1200 m de profondeur deux fois (jour et nuit) par cycle de 5 jours.

II.3. Mesures en continu pendant toute la durée de la campagne

*** Paramètres météorologiques, courantométrie - Alternatives**

Outre l'enregistrement continu à bord des paramètres météorologiques, on disposera également des enregistrements de la bouée Météo-France mouillée au voisinage du site DYFAMED depuis avril 1999.

La courantométrie sera fournie par les courantomètres Doppler à bord. Ces enregistrements permettront de contrôler la position du site principal par rapport aux masses d'eau et d'évaluer l'advection horizontale. On compte aussi disposer des sorties du modèle opérationnel haute résolution MERCATOR qui fournit la circulation en Méditerranée.

On utilisera également le thermosalinographe du bord.

En cas de fort coup de vent, certaines opérations lourdes devront être différées et on mettra à profit ce temps pour faire des profils répétés de bathysonde dans la colonne 0-200 m. Ceci permettra de saisir l'évolution de la température, de la salinité, de la fluorescence et de la concentration en oxygène à haute fréquence (10 mn environ).

*** Ligne de pièges permanente**

La station DYFAMED est équipée en permanence d'une ligne de deux pièges de type PPS5 (24 godets) à 200 et 1000 m de profondeur et de deux courantomètres; le pas d'échantillonnage habituel des pièges est de 7 ou 15 jours.

Pour toute la durée de la campagne DYNAPROC 2, il est prévu d'équiper cette ligne de pièges supplémentaires de type PPS3 (12 godets) et de réduire le pas de temps d'échantillonnage. La configuration envisagée comprendrait des pièges à 100, 200, 400, 600 et 1000 m, avec une fréquence d'échantillonnage de 36 heures à 200 et 1000 m (PPS5) et de 3 jours à 100, 400 et 600 m (PPS3). Cette ligne de pièges sera placée au voisinage immédiat du site principal d'observation de DYNAPROC 2, même si un site plus au large que la station DYFAMED est choisi. Les opérations de mouillage et de relevage de cette ligne, en début et fin de campagne, se feront à partir d'un navire côtier.

Le contenu des pièges sera utilisé pour suivre l'évolution à courte échelle de temps (1) du flux de masse, des flux en C, N, P, pigments phytoplanctoniques totaux, ^{210}Po et ^{210}Pb , et du flux de pelotes fécales (pour les périodes les plus intéressantes), et (2) des flux des traceurs lipidiques et du Thorium à certaines profondeurs, en complément des mesures faites à 200 m à partir du piège dérivant.

*** Système YOYO/ANAIS**

Il est également prévu de déployer, pendant toute la durée de la campagne, le système YOYO/ANAIS bi-corps développé par C. Provost (LODYC) et V. Garçon (LEGOS). Ce système fournit 2 profils par jour depuis la surface jusqu'à 1000 m de profondeur pour la température, la salinité et deux types de sels nutritifs. Les profils en continu acquis pour les nitrates et phosphates constitueraient un complément très intéressant à notre étude, bien qu'ils ne soient pas indispensables à la réalisation de nos objectifs, et la stratégie de la campagne est bien adaptée au test de cet engin. Les opérations de mouillage et de relevage de ce système se feront à partir d'un navire côtier.

Récapitulatif des opérations réalisées en station de longue durée

◆ Cycles de 5 jours (4 cycles pendant la campagne)

Tous les profils bathysonde seront réalisés jusqu' à 1000 m de profondeur au moins.

* Fréquence de 6 heures (fréquence de base des cycles)

- profils bathysonde-rosette
 - * Echantillonnage 0-200 m :
 - sels nutritifs (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, silicate)
 - biomasse et composition du phytoplancton (pigments, cytométrie, taxonomie)
 - * Echantillonnage 0-1000 m :
 - carbone organique dissous
 - communauté bactérienne : biomasse, composition, production, activités exo-enzymatiques
 - minéralisation et composition de la matière organique (lipides, protéines, MOD colorée)
- piège dérivant sous la couche euphotique (vers 200 m)
 - flux C/N/P, pigments phytoplanctoniques, marqueurs lipidiques, MOD colorée, Thorium,

* Fréquence de 3 heures pendant 36 heures (pendant 2 des 4 cycles)

- profil bathysonde-rosette :
 - sels nutritifs, pigments phyto et cytométrie (0-200 m),
 - biomasse et production bactérienne en surface

* Fréquence de 12 heures

- profil bathysonde-rosette : échantillonnage du petit zooplancton, 0-200 m
- pêches de zooplancton au filet WP-2 : 0-200 m et, 4 fois par cycle, 0-500 m
- pêches de zooplancton au filet à nappes : 0-250 m et, 4 fois par cycle, 0-1000 m

* Fréquence journalière

- profil bathysonde-rosette pour :
 - sels nutritifs, COD, NOD, POD (0-1000 m)
 - production nouvelle et régénérée, flux de régénération et excrétion N (0-100 m)
 - réseau microbien (0-200 m)
 - matière organique particulaire (C, N, P) (0-200 m)
- profil PAR (capteur PAR sur la CTD-rosette)
- ligne de production (6 mouillages, 0-100 m, immersion pendant 24 h)
 - O₂, TCO₂, production primaire (1 fois par cycle)
- ligne APO (O₂) : (6 mouillages, 0-100 m, immersion pendant 5 jours)
 - un échantillon par 24 h, mesures toutes les 15 minutes
- pêches de zooplancton au filet à nappes et filet Bongo : études de physiologie (0-250 m, 4 fois par cycle)

* Fréquence de quelques jours

- profil bathysonde-rosette : activité ETS et assemblages microbiens, 0-1200 m, jour et nuit
- profils bathysonde-rosette : Thorium (0-600 m)

◆ Hypothèse du train d'ondes entretenues

Profils bathysonde-rosette 0-1200 m toutes les 3 heures pendant 36 heures (ETS, cytométrie)

III. Déroulement général de la mission, période souhaitée

Compte tenu de la déstratification de la colonne d'eau, de la répartition verticale des sels nutritifs, de l'évolution temporelle de la communauté zooplanctonique et des flux particulières (voir les séries annuelles présentées au Document 1), la seule période appropriée à notre étude s'étend de **mi-septembre à fin octobre**.

Le temps de travail sur zone (voir la carte à la Figure 3) se répartit comme suit :

- détermination du site : 1 jour
- réseau de stations n°1 : 2 jours
- dynamique du système biologique en station de longue durée : 13 jours
 - * cycles de 5 jours n°1 et 2
 - * train d'ondes n°1 (entre les deux cycles)
 Cette partie comprend des mises à l'eau et récupération de mouillages dérivants, des opérations lourdes (pêches avec le Bioness) qui seront faites entre les cycles.
- réseau de stations n°2 : 2 jours
- dynamique du système biologique en station de longue durée : 13 jours
 - * cycles de 5 jours n°3 et 4
 - * train d'ondes n°2 (entre les deux cycles)
- réseau de stations n°3 : 2 jours

A ceci s'ajoute les temps d'escale (2 jours), de chargement, déchargement et transit (3 jours si mise à disposition à Toulon), ce qui porte la durée totale de présence du N/O Thalassa en mer Ligure à 38 jours. L'escale permettra une rotation d'une partie de l'équipe scientifique et correspond aux contraintes de Genavir.

IV. Calendrier prévisionnel des travaux

J1	Mise à disposition du navire, chargement du matériel
J2	- transit de Toulon jusqu'à la zone de travail - détermination du site : Radiale (profils CTD 0-1000 m)
J3-J4	Réseau de stations n° 1 (profils CTD-rosette 0-1000 m)
J5-J17	Travaux sur station * Cycles de 5 jours n°1 et 2 * Train d'ondes entretenues n°1 Bathysondes intensives, mouillages dérivants (pièges, chambres O ₂), traits obliques et verticaux de filets à zooplancton (Bioness, WP-2, Bongo)
J18-J19	transit, escale à Nice, rotation de scientifiques
J20-J21	Réseau de stations n° 2 (profils CTD-rosette 0-1000 m)
J22-J34	Travaux sur station * Cycles de 5 jours n°3 et 4 * Train d'ondes entretenues n°2 Bathysondes intensives, mouillages dérivants (pièges, chambres O ₂), traits obliques et verticaux de filets à zooplancton (Bioness, WP-2, Bongo)
J35-J36	Réseau de stations n° 3 (profils CTD-rosette 0-1000 m)
J37-J38	transit jusqu'à Toulon et déchargement du matériel

DOCUMENT N° 3	DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2 DATE : 15 JANVIER 2003
---------------	---

MOYENS A METTRE EN OEUVRE

- Navire support, submersibles* et positionnement ;
- Équipements de base : matériel mis en oeuvre par GENAVIR, par l'IPEV ou par l'IRD et matériel propre de l'équipe demanderesse
- Installations du navire qui doivent être utilisées
- Personnel spécialisé
- Besoins en équipements ou matériels complémentaires : quels types ? Quelles spécifications ?
- Est-il prévu d'embarquer des produits chimiques ou radioactifs (lesquels) ?
- Matériel fournis par des organismes extérieurs
- Évaluation du coût de fonctionnement à la charge de l'équipe scientifique

**Pour l'installation de nouveaux équipements sur le Nautille il faut se conformer à la procédure " Qualité de l'intervention sous-marine : Procédure d'évolution du Nautille " Ref : DITI/LB/98-04 .*

Pour la qualification des conteneurs pour les travaux sous-marins les tests doivent être réalisés selon la spécification technique IFREMER d'intervention sous-marine Ref : N° 31 SE 06-B. Pour obtenir ces spécifications contacter la DMON.

I. Navire support, positionnement

La demande porte sur le navire **Thalassa** en raison de la diversité des mesures envisagées qui nécessite l'embarquement simultané d'au moins 25 scientifiques et une place laboratoire importante et diversifiée.

Pendant la campagne DYNAPROC (mai 1995), pour les observations pluridisciplinaires en station de longue durée, soit pendant la moitié de la campagne, nous avons dû utiliser le Surôit (14 scientifiques) et le Téthys-II (8 scientifiques). Ce couplage de deux navires n'est pas favorable à une simultanéité des mesures pluridisciplinaires, d'autant plus que les conditions météorologiques peuvent empêcher la réalisation des mesures sur un navire côtier.

La campagne DYNAPROC 2 est basée principalement sur la réalisation de mesures pluridisciplinaires à haute fréquence pendant 4 cycles de 5 jours et présente un renforcement du potentiel scientifique pour l'étude des organismes hétérotrophes par rapport à la première campagne. Un navire pouvant embarquer une équipe scientifique de 25 personnes pour travailler simultanément est donc indispensable.

Le suivi du piège dérivant subsuperficiel (200 m environ), de la ligne de mouillage de production, et de la ligne de mouillage APO (Auto-échantillonneur pour la Production Oxygène) équipés d'un radio-flash nécessite un positionnement précis du navire.

II. Equipements et matériel

II.1 Moyens GENAVIR

- Matériel météorologique classique
- ADCP de coque (75 kHz NB portée 750 m et 150 kHz BB); ces appareils doivent fonctionner en permanence.

- Thermosalinographe
- GPS et cap précis (pour ADCP); le meilleur cap est à coupler sur les ADCP.
- Conteneur radioactivité
- Conteneur laboratoire
- Pièce thermostatée 4°C (pour microbiologie)
- Pièce thermostatée/climatisée (pour processus zooplancton)
- Labo propre
- Chambre froide
- Congélateur (-70°C) (stockage échantillons phyto- et zooplancton)
- Etuve à 40°C
- Approvisionnement en azote liquide à Toulon (à l'embarquement et au débarquement)
- Câble bathysonde
- Treuil avec câble électroporteur pour le filet à nappes Bioness
- Système d'eau de mer propre avec un débit suffisant et sans bulle pour les appareils fonctionnant en continu de surface. Débit au moins 10 l/min

II.2 Matériel INSUE

- CTD Seabird 911 plus Rosette 24 bouteilles 12 litres, avec O₂ (capteur SBE 43), Fluorescence, Atténuation, capteur PAR Biospherical (de préférence modèle immergeable jusqu'à 2000 m) + CTD et bouteilles de recharge
- Une ligne avec un piège à particules PPS5 dérivant durant les stations longues (5 jours, environ 126 heures)
- Matériel bouée, Gonio, Flash et Système de repérage pour équiper les trois lignes (piège, APO et production)
- Compteur à scintillation (comptage radio isotopes 3H) (INSUE, LMM)
- Système de production d'eau milliQ et distillée (INSUE, LMM)
- Filet à nappes Bioness (INSUE, LOV)
- Cadre de filet BONGO (INSUE, LOV)

II.3 Matériel de l'équipe demanderesse

- Ligne de mouillage de production, ligne APO (LOB)
- Chaînes d'analyse colorimétrique automatique (sels nutritifs) (LOB)
- Coulomètre (carbone inorganique dissous) (LOB)
- ETS (activité respiratoire) (LOB)
- Incubateurs divers (production nette - DIC, O₂; totale - 13 C; nouvelle et régénérée - 15N; bactérienne - 3H; minéralisation MO) (LMM, LOB, LOBB)
- Incubateurs divers (production des ciliés; égestion zooplancton) (LOV)
- Compteur à scintillation (comptage radio isotopes 3H pour activité bactérienne) (LMM)
- Filets à plancton de différentes mailles (WP-2, Bongo, recharge pour le Bioness) (LOV)
- Bouteilles d'azote liquide (CEOBM, LOB)
- Bouteilles de gaz oxygène (LOBB)
- Analyseur de COD Shimazu TOC-V (LOBB)
- Cytomètre en flux (LOB)
- Systèmes de filtration et ultrafiltration (CEOBM, LBCM, LOB, LOV, LSCE)
- Congélateur -20°C (CEOBM)
- Centrifugeuse (LMM)

- Conteneurs de grand volume (LOV, LSCE)
- Récipient cryogénique de 600 l (à stocker sur le pont à l'abri des intempéries)

II.4. Principaux produits chimiques ou radioactifs

- acétone, acide ascorbique, acide chlorhydrique, acide phosphorique, acide sulfurique, ammoniac, azote liquide, chlorure d'ammonium, chlorure mercurique, dichlorométhane, DMSO, ethanolamine, formol, glutaraldéhyde, heptane, lugol, méthanol, naphthyl, soude, sulfanilamide, TCA
- Radioélément : ³H

III. Installations du navire, besoins en équipements complémentaires

Pendant toute la durée de la campagne, les données de navigation, de la station météo, du thermosalinographe et des ADCP devront être enregistrées quelle que soit l'opération.

Treuil avec câble électroporteur pour les traits de filet à nappes Bioness

Caractéristiques : câble de type CTD, c'est-à-dire avec 1 conducteur plus l'armature ou câble coaxial, résistance 10 tonnes à la rupture, régulation fine de la vitesse, affichage longueur filée, vitesse et, si possible, tension (par exemple du type du treuil mobile bathysonde ALMA avec câble électroporteur de diamètre 11).

L'utilisation d'un câble électroporteur permet de réduire la durée des pêches et d'optimiser la stratégie d'échantillonnage. Par exemple, sans câble électroporteur : (1) on est obligé de filer 1600 m de câble pour être sûr que le filet atteint bien 1000 m de profondeur lors des pêches programmées entre 1000 m et la surface, (2) on n'est assuré de la réussite de la pêche qu'à la remontée du filet à bord, soit 2h à 2h30 après la mise à l'eau, ce qui est une perte de temps en cas de mauvais fonctionnement de l'engin, (3) on peut intervenir directement sur la fermeture des filets au cours de la pêche.

IV. Evaluation du coût de fonctionnement à la charge de l'équipe scientifique

Ces coûts concernent les frais de voyage et de transport du matériel. Le soutien à la campagne DYNAPROC 2 sera demandé à l'INSUE, les frais associés aux chercheurs étrangers étant à la charge de leurs instituts respectifs. A la date de rédaction de ce document (15 janvier 2003), le soutien est évalué à environ 20 k€.

Cette estimation est basée sur une mise à disposition du navire à Toulon et tient compte de la localisation géographique des différents laboratoires impliqués (Nice, Marseille, Banyuls, Paris, Roscoff, Brest pour DT-INSUE) et de la rotation d'une partie des scientifiques entre les 2 legs (escale à Nice).

Le projet PECHÉ dont fait partie la campagne DYNAPROC 2 est financé par l'INSUE par l'intermédiaire du programme national PROOF. Le financement global demandé est de 99.5 k€ pour 2004 et 70.6 k€ pour 2005 (91.2 et 64.5 k€ respectivement pour le fonctionnement). La campagne étant demandée pour septembre-octobre 2004, l'analyse des échantillons sera faite fin 2004 et au cours du 1^{er} semestre 2005, d'où la répartition du coût du traitement des échantillons sur les budgets 2004 et 2005.

DOCUMENT N° 4	DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2 DATE : 15 JANVIER 2003
---------------	---

EQUIPE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

- Equipe demanderesse - rattachement - *chef de projet* - *chefs de missions* - équipe embarquée - quels (quelles) spécialistes ? - équipe d'exploitation, à terre, des résultats
- Collaborations prévues (à ne mentionner que si l'accord est acquis) - parts respectives des participations nationales ou internationales à terre et en mer. Y a-t-il un protocole ?
- Présentation des références scientifiques récentes (5 ans) de l'équipe demanderesse et, en particulier, état du traitement des données, de l'interprétation et des publications correspondantes de la dernière campagne menée par les équipes participantes.

Rappel important pour les chefs de mission

Le chef de mission devra veiller à faire respecter la réglementation :

- sur les horaires journaliers
- sur le port des équipements de sécurité dans les zones de travaux.

De plus,

- il ne doit accepter dans la mission scientifique que du personnel ayant un ordre de mission signé par l'organisme d'origine,
- il doit veiller à ce que tous les scientifiques de la mission soient aptes physiquement à un embarquement.

(toute information complémentaire pourra être demandée à la DMON).

I. Equipe demanderesse

PECHE (Production et Exportation du Carbone : contrôle par les organismes HÉtrotrophes à petite échelle de temps) : projet soutenu par le programme national PROOF

Chefs de projet :

- **Valérie Andersen**, CR 1 CNRS, LOV, Villefranche-sur-Mer
- **Madeleine Goutx**, DR 2 CNRS, LMM, Marseille

Chef de mission : **Valérie Andersen**

I.1 Equipe embarquée (par postes)

Le travail prévu est organisé en poste de travail, avec généralement une organisation par quart. Néanmoins, certains scientifiques occupent deux postes afin de limiter le nombre total d'embarquants à 25.

Poste de travail	Responsable	Nombre
Structures physiques, hydrologie	Louis Prieur	2
Sels nutritifs, production primaire	Patrick Raimbault	2
Phytoplancton (HPLC, diversité)	Jean-Claude Marty, Rodolphe Lemée	2
Assemblages microbiens	Michel Denis	1

Flux biologiques de CO_2 , O_2	Dominique Lefèvre	2
Microbiologie (biomasse, composition)	Geneviève Mével, Jean-François Ghiglione	2
Microbiologie (activités)	France van Wambeke	1
Biogéochimie des lipides	Madeleine Goutx	2
Matière humique colorée	André Momzikoff	1
Carbone organique total	Mireille Pujo-Pay	1
Microzooplancton	John Dolan	2
Zooplancton : stock, communauté	Valérie Andersen	2
Zooplancton : physiologie	Laure Mousseau	3
Thorium (et pièges dérivants)	Sabine Schmidt	1
Chef de mission	Valérie Andersen	1
Total		25

I.2 Equipe embarquée (liste nominative) : lieux d'origine et spécialité

Cette liste présente les membres statutaires des différentes équipes qui embarqueront. La répartition définitive en fonction des deux legs sera définie lors d'une réunion préparatoire en 2004. En outre, un certain nombre d'étudiants en thèse ou en stage participeront aussi à ces campagnes. Les responsables des mesures font partie de laboratoires qui ont largement la capacité d'accueil permettant d'assurer le nombre de participants nécessaires; ils ont en outre acquis une expérience certaine de ce type de campagne lors des différents projets PROOF, plus particulièrement Dynaproc, Almofront et Pomme.

V. Andersen	LOV, Villefranche/mer	Chef de mission, zooplancton, modélisation
D. Altukhov	IBSS, Sébastopol	Zooplancton (communauté)
M. Denis	LOB, Marseille	Assemblages microbiens
J. Dolan	LOV, Villefranche/mer	Microzooplancton
N. Garcia	LOB, Marseille	Sels nutritifs, production primaire
J. Ghiglione	LOBB, Banyuls/mer	Communauté bactérienne (structure)
G. Gondry	LBCM, Paris	Matière humique colorée
M. Goutx	LMM, Marseille	Biogéochimie des lipides
A. Gubanova	IBSS, Sébastopol	Zooplancton, copépodes (communauté)
C. Guigue	LMM, Marseille	Chimie organique
G. Lacroix	UGMM, Bruxelles	Structures physiques, modélisation
D. Lefèvre	LOB, Marseille	Flux biologiques de CO_2 , O_2
R. Lemée	LOV, Villefranche/mer	Phytoplancton (biodiversité)
J.-C. Marty	LOV, Villefranche/mer	Phytoplancton (pigments)
G. Mével	CEOBM, Roscoff	Bactériologie (bactéries libres/attachées)
A. Momzikoff	LBCM, Paris	Matière humique colorée
L. Mousseau	LOV, Villefranche/mer	Zooplancton, physiologie
P. Nival	LOV, Villefranche/mer	Zooplancton (écologie, physiologie)
L. Oriol	LOBB, Banyuls/mer	Matière organique (COT)
M. Picheral	LOV, Villefranche/mer	Filet à nappes, Profileur Vidéo
L. Prieur	LOV, Villefranche/mer	Physique, Dynamique

M. Pujo-Pay	LOBB, Banyuls/mer	Matière organique (COT)
P. Raimbault	LOB, Marseille	Sels nutritifs, production primaire
S. Schmidt	LSCE, Gif/Yvette	Géochimie marine (Thorium)
M. Vernet	CEOBM, Roscoff	Bactériologie
F. van Wambeke	LMM, Marseille	Activités bactériennes

Mouillages permanents

B. Gasser	AIEA, Monaco	Flux particulaire, 210Po/210Pb
J.C. Miquel	AIEA, Monaco	Pièges à sédiments, Flux (particules, C/N, COP)
V. Garçon	LEGOS, Toulouse	Système YOYO/ANAIS
C. Provost	LODYC, Paris	Système YOYO/ANAIS

Intervenants à terre

E. Brichet	LSCE, Gif/Yvette	Radiochimie
P. Lebaron	LOBB, Banyuls/mer	Communauté bactérienne (biologie moléculaire)
A. Rodriguez	AIEA, Monaco	Flux particulaire, 210Po/210Pb
A. Saliot	LBCM, Paris	Matière organique
S. Tsarin	IBSS, Sébastopol	Zooplankton, micronecton (communauté)

I.3 Collaborations internationales prévues

Les collaborations internationales concernent des participations individuelles. Plusieurs scientifiques ukrainiens, Denis Althukov, Alexandra Gubanova et Sergey Tsarin (Institute of Biology of the Southern Seas, IBSS, Sébastopol) participeront à l'analyse taxonomique des échantillons de zooplankton (embarquants et intervenants à terre); Geneviève Lacroix (UGMM, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles) participera aux mesures de physique à bord, en plus de ses activités de modélisation à terre.

D'autres collaborations sont envisagées et des contacts ont été pris avec Stéphane Pesant (Centre for Water Research, Crawley, Australie) qui propose d'identifier la qualité des agrégats phytoplanktoniques à l'aide d'un piège équipé de caméras, avec Meriem Khelefi (Université d'Annaba, Algérie) pour l'étude de la communauté mésozooplanktonique.

II. Références scientifiques récentes de l'équipe demanderesse

Les références suivantes sont réparties en deux groupes : (1) les publications relatives à la campagne DYNAPROC, (2) les autres publications spécifiques au projet (1998-2002). Les noms des participants de l'équipe demanderesse sont soulignés.

II. 1 Publications d'audience internationale relatives à la campagne DYNAPROC

Andersen, V. & L. Prieur, 2000. One-month study in the open NW Mediterranean Sea (DYNAPROC experiment, May 1995): Overview of hydrobiogeochemical structures and effects of wind events. Deep-Sea Res. I 47, 397-422.

Andersen, V., Nival, P., Capparo, P. & A. Gubanova, 2001. Zooplankton community during the transition from spring bloom to oligotrophy in the open NW Mediterranean and effects of wind events. 1 - Abundance and specific composition. J. Plankton Res. 23, 227-242.

Andersen, V., Gubanova, A., Nival, P. & T. Ruellet, 2001. Zooplankton community during the transition

- from spring bloom to oligotrophy in the open NW Mediterranean and effects of wind events. 2 - Vertical distributions and migrations. *J. Plankton Res.* 23, 243-261.
- Belviso, S., Christaki, U., Vidussi, F., Marty, J.-C., Vila Reig, M. and M. Delgado, 2000. Diel variations of the DMSP-to-chlorophyll a ratio in Northwestern Mediterranean surface waters. *J. Mar. Syst.* 25, 119-128.
- Bentaleb I, Grimalt J.O., Vidussi F., Marty J.-C., Martin V., Denis M., Hatté C. & M. Fontugne, 1999. The C37 alkenone record of seawater temperature during seasonal thermocline stratification. *Mar. Chem.* 64, 301-313.
- Bianchi, M., Fosset, C. and P. Conan, 1999. Nitrification rates in the NW Mediterranean sea. *Aquat. Microb. Ecol.* 17, 267-278.
- Chifflet, M., Andersen, V., Prieur, L. & I. Dekeyser, 2001. One-dimensional model of short-term dynamics of the pelagic ecosystem in the NW Mediterranean Sea: effects of wind events. *J. Mar. Systems* 30, 89-114.
- Christaki, U., Belviso, S., Dolan, J.R. & M. Corn, 1996. Assessment of the role of copepods and ciliates in the release to solution of particulate DMSP. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141, 119-127.
- Copin-Montégut, C., 2000. Consumption and production on scales of a few days of inorganic carbon, nitrate and oxygen by the planktonic community. Results of continuous measurements at the Dyfamed Station in the northwestern Mediterranean Sea (May 1995). *Deep-Sea Res. I* 47, 447-477.
- Denis, M., Martin, V. & V. Andersen, 2000. Short-term variations of the vertical distribution of cyanobacteria in the open Mediterranean Sea. *Scientia Marina* 64, 157-163.
- Denis, M., Martin, V., Momzikoff, A., Gondry, G., Stemmann, L., Demers, S., Gorsky, G. & V. Andersen, 2002. Water column remineralisation in the open northwestern Mediterranean Sea: can it be pulsed? *J. mar. Systems* (sous presse).
- Fouilland, E., Courties, C. and C. Descolas-Gros, 2001. Size-fractionated carboxylase activities during a 32 h cycle at 30 m depth in the north-western Mediterranean Sea after an episodic wind event. *J. Plankton Res.* 23, 623-632.
- Goutx, M., Momzikoff, A., Striby, L., Andersen, V., Marty, J.-C. & I. Vescovali, 2000. High frequency fluxes of labile compounds in the central Ligurian Sea, northwestern Mediterranean. *Deep-Sea Res. I* 47, 533-556.
- Leboulanger, C., Serve, L., Comellas, L. and H. Jupin, 1998. Determination of glycolic acid released from marine phytoplankton by post-derivatization gas chromatography-mass spectrometry. *Phytochemical Analysis* 9, 5-9.
- Pérez, M. T., Dolan, J. R. & E. Fukai, 1997. Planktonic oligotrich ciliates in the NW Mediterranean. Growth rates and consumption by copepods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 155, 89-101.
- Pérez, M.T., Dolan, J.R., Vidussi, F. & E. Fukai, 2000. Diel vertical distribution of planktonic ciliates within the surface layer of the NW Mediterranean (May 1995). *Deep-Sea Res. I* 47, 479-503.
- Schmidt, S., Andersen, V., Belviso, S. & J.-C. Marty, 2002. Strong seasonality in particle dynamics of north-western Mediterranean surface waters as revealed by ²³⁴Th/²³⁸U. *Deep-Sea Res. I* 49, 1507-1518.
- Sempéré, R., Yoro, S.C., Van Wambeke, F. & B. Charrière, 2000. Microbial decomposition of large organic particles in the northwestern Mediterranean Sea: an experimental approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 198, 61-72.
- Stemmann, L., Picheral, M. & G. Gorsky, 2000. Diel changes in the vertical distribution of suspended particulate matter in the NW Mediterranean Sea investigated with the Underwater Video Profiler. *Deep-Sea Res. I* 47, 505-531.
- Striby, L., Lafont, R. & M. Goutx, 1999. Improvement in the Iatroscan thin-layer chromatographic-flame ionisation detection analysis of marine lipids. Separation and quantitation of monoacylglycerols and diacylglycerols in standards and natural samples. *J. Chromatogr A*, 849, 371-380.
- Van Wambeke, F., Goutx, M., Striby, L., Sempéré, R. & F. Vidussi, 2001. Bacterial dynamics during the transition from spring bloom to oligotrophy in the northwestern Mediterranean Sea: relationships with particulate detritus and dissolved organic matter. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 212, 89-105.
- Vidussi, F., Marty, J.-C. and J. Chiavérini, 2000. Phytoplankton pigment variations during the transition from spring bloom to oligotrophy in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Res. I* 47, 423-445.

L'exploitation des résultats de la campagne DYNAPROC (28 avril - 2 juin 1995) a fait l'objet de 22 publications d'audience internationale, dont six dans le même fascicule de Deep-Sea Research I. Plusieurs DEA et une dizaine de thèses ont exploité les données de la campagne. Trois ateliers post-campagne ont eu lieu, avec édition d'un rapport détaillé à chaque fois. La liste des thèses, rapports, communications à des congrès, ... peut être consultée à <http://www.obs-vlfr.fr/~valerie/>.

Divers types de données pluridisciplinaires ont été transmis aux bases de données PROOF (<http://www.obs-vlfr.fr/jgofs/html/bdjgofs.html>) et SISMER/IFREMER.

II.2. Autres publications d'audience internationale spécifiques au projet (1998-2002)

- Alleman, L.Y., B. Hamelin, A.J. Véron, J.-C. Miquel & S. Heussner, 2000. Lead sources and transfer in the coastal Mediterranean: evidence from stable lead isotopes in marine particles. *Deep Sea Res. II* 47, 2257-2279.
- Andersen, V., 1998. Salp and pyrosomid blooms and their importance in biogeochemical cycles. In, *The Biology of Pelagic Tunicates*, Q. Bone (eds.). Oxford University Press., Oxford, pp. 125-137.
- Andersen, V., François, F., Sardou, J., Picheral, M., Scotto, M. & P. Nival, 1998. Vertical distributions of macroplankton and micronekton in the Ligurian and Tyrrhenian Seas (Northwestern Mediterranean). *Oceanol. Acta* 21, 655-676.
- Aristegui, J., Denis, M., Almunia, J. & M.F. Montero, 2002. Water-column remineralisation in the Indian sector of the Southern Ocean during early spring. *Deep-Sea Res. II* 49, 1707-1720.
- Bayona, J.M., Monjonell, A., Miquel, J.-C., Fowler, S.W. and J. Albaiges. Biogeochemical characterization of particulate organic matter from a coastal hydrothermal vent zone in the Aegean Sea. *Organic Geochemistry* (accepted).
- Betteral, Y., Dolan, J.R., Hornak, K., Lemée, R., Masin, M., Pedrotti, M.L., Rochelle-Newall, E., Simek, K. & T. Sime-Ngando, 2002. Strong, weak and missing links in a microbial community of the NW Mediterranean sea. *FEMS Microbial Ecology* 42, 451-462.
- Bianchi, M., Feliatra & D. Lefèvre, 1999. Regulation of nitrification in the land-ocean contact area of the Rhone River plume (NW Mediterranean). *Aquat. Microb. Ecol.* 18, 301-312.
- Blain, S., Tréguer, P., Belviso, S., Bucciarelli, E., Denis, M., Desabre, S., Fiala, M., Martin-Jézéquel, V., Le Fèvre, J., Mayzaud, P., Marty, J.-C., Razouls, S., 2001. A biogeochemical study of the island mass effect in the context of the iron hypothesis: Kerguelen Islands, Southern Ocean. *Deep-Sea Res. I* 48: 163-187.
- Boisson, F., Miquel, J.-C., Cotret, O. and S.W. Fowler, 2001. 210Po and 210Pb cycling in a hydrothermal vent zone in the coastal Aegean Sea. *The Science of the Total Environment* 281, 111-119.
- Caillaud, C., Belviso, S., Goutx, M. & A. Bedo, 1999. Particles flux in the Southern Ocean during Austral summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 190, 53-67.
- Caniaux, G., Giordani, H., Prieur, L. & F. Hernandez, 2001. Observations of an intense anticyclonic warm eddy in the Newfoundland Basin. *Geophys. Res. Lett.* 28, 2649-2652.
- Caniaux, G., Prieur, L., Giordani, H., Hernandez, F. & L. Eymard, 2001. Observation of the circulation in the Newfoundland Basin in winter 1997. *J. Phys. Oceanogr.* 31, 689-710.
- Cariou, J.-B., Dolan, J. R. & S. Dallot, 1999. A preliminary study of tintinnid diversity in the N. W. Mediterranean. *J. Plankton Res.* 21, 1065-1075.
- Cauwet G., Deliat G., Krastev A., Shtereva G., Becquevort S., Lancelot C., Momzikoff A., Cociasu A. and Popa L., 2002. Seasonal DOC accumulation in the Black Sea : a regional explanation for a general mechanism. *Mar. Chem.* 79, 193-205.
- Christaki, U., Dolan, J. R., Pelegri, S., Rassoulzadegan, F. 1998. Consumption of picoplankton -size particles by marine ciliates: effects of physiological state of the ciliate and particle quality. *Limnol. Oceanogr.* 43: 458-464.
- Christaki, U., Jaquet, S., Dolan, J. R., Vaultot, D., Rassoulzadegan, F. 1999. Growth and grazing on Prochlorococcus and Synechococcus by two marine ciliates. *Limnol. Oceanogr.* 44, 52-61.

- Christaki, U., Van Wambeke, F. & J.R. Dolan, 1999. Nanoflagellates (mixotrophs, heterotrophs & autotrophs) in the oligotrophic eastern Mediterranean: standing stocks, bacterivory and relationships with bacterial production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 181, 297-307.
- Christaki U, Giannakourou A, Van Wambeke F & Gregori G, 2001. Nanoflagellate predation on auto- and heterotrophic picoplankton in the oligotrophic Mediterranean Sea. *J. Plankton Res.* 23, 1297-1310.
- Claustre, H., Fell F., Oubelkheir, K., Prieur, L., Sciandra, A. & M. Babin 2000. Continuous monitoring of surface optical properties across a geostrophic front : biogeochemical inferences. *Limnol. Oceanogr.* 45, 309-321.
- Conan P., Pujo-Pay M., Raimbault P., Leveau M., 1998. Variabilité hydrologique et biologique du golfe du lion. I. Transports en azote et productivité potentielle. *Oceanol. Acta*, 21:751-765.
- Conan P, Pujo-Pay M., Raimbault P., Leveau M., 1998. Variabilité hydrologique et biologique du golfe du lion. II. Bilan de la productivité sur le bord interne du courant. *Oceanol. Acta*, 21:767-782
- Cuny, P., Marty, J.C., Chiaverini, J., Vescovali, I., Raphel, D. & J.F. Rontani, 2002. One-year seasonal survey of the chlorophyll photodegradation process in the north western Mediterranean sea. *Deep Sea Res. II*, 49/11, 1987-2005.
- Cussatlegras, A.-S., Geistdoerfer, P. & L. Prieur, 2001. Planktonic bioluminescence measurements in the frontal zone of Almeria-Oran (Mediterranean Sea). *Oceanol. Acta* 24, 239-250.
- Dadou, I., Lamy, F., Rabouille, C., Ruiz-Pino, D., Andersen, V., Bianchi, M. & V. Garçon, 2001. An integrated biological pump model from the euphotic zone to the sediment: application in the Northeast tropical Atlantic. *Deep-Sea Res. II* 48, 2345-2381.
- Dafner, E., Sempéré, R., Gonzales, N., Gomez, F., & Goutx, M., 1999. Cross-slope variations of dissolved organic in the Gulf of Cadiz, NE Atlantic Ocean (February 1998), *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 189: 301-306.
- Diaz F., Raimbault P., Conan P, 2000. Carbon and nitrogen utilization by phytoplankton during spring in a Mediterranean coastal zone (Gulf of Lions): evidence of small-scale variability. *Cont. shelf. Res.*, 20(9): 975-996
- Diaz F., Raimbault P., 2000. Nitrogen regeneration and DON release during 15N experiments during spring in a northwestern Mediterranean coastal zone (Gulf of Lions): implications on the estimations of f ratio and new production. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 197: 53-66.
- Diaz F., Raimbault P., García N., Moutin T, 2001. Early phosphorus limitation during spring in the Gulf of Lions. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 211: 51-62
- Dolan, J. R., Simek, K. 1998. Ingestion and digestion of an autotrophic picoplankton, *Synechococcus*, by a heterotrophic nanoflagellate, *Bodo saltans*. *Limnol. Ocean.* 43, 1740-1746.
- Dolan, J. R., Claustre, H. & F. Vidussi, 1999. Planktonic ciliates in the Mediterranean Sea: longitudinal trends. *Deep-Sea Res. I* 46, 2025-2039.
- Dolan, J. R., Simek, K. 1999. Diel periodicity in *Synechococcus* and grazing by heterotrophic nanoflagellates: analysis of food vacuole contents. *Limnol. Oceanogr.* 44, 1565-1570.
- Dolan, J. R., 2000. Tintinnid ciliate diversity in the Mediterranean Sea: longitudinal patterns related to water column structure in late spring-early summer. *Aquat. Microb. Ecol.* 22, 69-78.
- Dolan, J. R., Gallegos, C.L. & A. Moigis, 2000. Dilution effects on microzooplankton in dilution grazing experiments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 200, 127-139.
- Dolan, J. R., Pérez, M.T. 2000. Costs and benefits of mixotrophy: the case of marine oligotrichs. *Freshwater Biology*, 45: 227-238.
- Dolan, J. R. & C.L. Gallegos, 2001. Estuarine diversity of tintinnids (planktonic ciliates). *J. Plankton Res.* 23, 1009-1027.
- Dolan, J. R., Claustre H., Carlotti F., Plounevez S., Moutin, T. 2002. Microzooplankton diversity: relationships of tintinnid ciliates with resources, competitors & predators from the Atlantic Coast of Morocco to the Eastern Mediterranean. *Deep-Sea Research I*, 47: 1217-1234
- Dolan, J. R., Sall, N., Metcalfe, A., Gasser, B. 2003. The effects of turbulence on the feeding and growth of a marine oligotrich ciliate. *Aquatic Microbial Ecology* (sous presse).
- Echevarría F., García Lafuente, J., Bruno, M., Gorsky, G., Goutx, M., González, N., García, C.M., Gómez, F., Vargas, J.M., Picheral, M., Striby, L., Varela M., Alonso, J.J., Reul, A., Cózar, A., Prieto, L., Sarhan, T., Plaza, F. & F. Jiménez-Gómez, 2002. Physical-biological coupling in the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Res. I* 49, 4115-4130.
- Eymard, L., Caniaux, G., Dupuis, H., Prieur, L., Giordani, H., Troadec, R., Bourras, D., Guérin, C., Le

- Borgne, P., Brisson, A. & A. Marsoiun, 1999. Surface fluxes in the North Atlantic Current during the CATCH/FASTEX Experiment. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 125, 3563-3599.
- Ghiglione J.F., Philippot L., Normand P., Lensi R., & P. Potier, 1999. Disruption of *narG*, the gene encoding the catalytic subunit of the respiratory nitrate reductase A, also affects nitrite respiration in *Pseudomonas fluorescens* YT101. *J. Bacteriol.* 181, 5099-5102.
- Gasser, B., Payet, G., Sardou, J. & P. Nival, 1998. Community structure of mesopelagic copepods (> 500 μ m) in the Ligurian Sea (Western Mediterranean). *J. mar. Systems* 15, 511-522.
- Gomez, F., Gorsky, G., Striby, L., Vargas, J. M., Gonzales, N., Picheral M., Garcia-Lafuente, J., Varela, M. & M. Goutx, 2001. Small-scale temporal variations in physical and biogeochemical features in the Strait of Gibraltar, Eastern entrance - The role of NACW and the interface oscillation. *J. mar. Syst.* 30, 207-220.
- Gordillo, F., Goutx, M., Lopez-Figueroa, F. & Niell. X., 1998. Effects of Light Intensity, CO_2 and Nitrogen on Lipid Class Composition of the Halotolerant Green Alga *Dunaliella viridis* Teodoresco, *J. Appl. Phycol.*, 10:135-144.
- Gordillo F. Javier L., M. Goutx, Lopez-Figueroa, F. and F.X. Niell, 1998. Effects of Light Intensity, CO_2 and Nitrogen on Lipid Class Composition of the Halotolerant Green Alga *Dunaliella viridis* Teodoresco. *J. Appl. Phycol.* 10:135-144.
- Gordillo, F., Jimenez, C., Goutx, M. & F.X. Niell, 2001. Effect of CO_2 and nitrogen supply on the biochemical composition of *Ulva rigida*. *Journal of Plant Physiology*, 158 : 367-373.
- Gorsky, G., Flood, P.R., Youngbluth, M.J., Picheral, M. & J.-M. Grisoni, 2000. Zooplankton Distribution in Four Western Norwegian Fjords. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 50, 135-141.
- Gorsky G., Picheral, M. & L. Stemmann, 2000. Use of the Underwater Video Profiler for the Study of Aggregate Dynamics in the North Mediterranean. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 50, 121-128.
- Gorsky, G., Prieur, L., Taupier Letage, I., Stemman, L. & M. Picheral, 2002. Large particulate matter (LPM) in the Western Mediterranean. I - LPM distribution related to hydrodynamics. *J. mar. Systems* (accepté).
- Goutx, M., Guigue, C and Striby, L. 2003. A triacylglycerol biodegradation experiment in marine environmental conditions : definition of a new lipolysis index. *Organic geochemistry* (accepted).
- Grégoire M. & G. Lacroix, 2001. Study of the oxygen budget of the Black Sea waters using a 3D coupled hydrodynamical-biogeochemical model. *J. mar. Systems* 31, 175-202.
- Grégoire, M. & G. Lacroix. Exchange processes and nitrogen cycling on the shelf and continental slope of the Black Sea basin. *Global Biogeochemical Cycles* (accepté).
- Grégori, G., Colosimo, A. & M. Denis, 2001. A two year survey of ultraphytoplankton in the Bay of Marseilles. *Cytometry* 44, 247-256.
- Grégori G., Citterio S., Ghiani A., Labra M., Sgorbati S., Brown S. & M. Denis, 2001. Resolution of viable and membrane-compromised bacteria in freshwater and marine waters based on analytical flow cytometry and nucleic acid double staining. *Appl. Environ. Microbiol.* 67, 4662-4670.
- Grégori G., Denis M., Lefèvre D. & Becker B. 2002. A flow cytometric approach to assess phytoplankton respiration. *Methods in Cell Biology* (sous presse).
- Grégori G., M. Denis, S. Sgorbati, S. Citterio, 2002. Resolution of viable and compromised-membrane bacteria in aquatic environments by flow cytometry. *Current Protocols in Cytometry* (J.P. Robinson, Z. Darzynkiewicz, P.N. Dean, A. Orfao, P.S. Rabinovitch, C.C. Stewart, H.J. Tanke, and L.L. Wheelless, eds) pp 11.15.1-11.15.7. J. Wiley & Sons, inc., New York. (sous presse)
- Grout, H., Sempéré, R., Thill, A., Calafat, A., Prieur, L. & M. Canals, 2001. Morphological and chemical variability of colloids in the Almeria-Oran Front in the eastern Alboran Sea (SW Mediterranean Sea). *Limnol. Oceanogr.* 46, 1347-1357.
- Hall, I.R., Schmidt, S., McCave, I.N. & J.-L. Reyss, 2000 Particulate matter distribution and $^{234}Th/^{238}U$ disequilibrium along the Northern Iberian Margin: implication for particulate organic carbon export. *Deep-Sea Res I* 47, 557-582.
- Karl, D. M., Bates, N., Emerson, S., Harrison, P. J., Jeandel, C., Llinás, O., Liu, K. K., Marty, J.-C., Michaels, A. F., Miquel, J.C., Neuer, S., Nojiri, Y. and C. S. Wong, 2003. Temporal studies of biogeochemical processes determined from ocean time-series observations during the JGOFS era. In: Fasham, M., "JGOFS Benchmark book", Chapter 10, pp. 239-267 (sous presse).
- Lacroix, G. & P. Nival, 1998. Influence of meteorological variability on primary production dynamics in

- the Ligurian Sea (NW Med Sea) with a 1D hydrodynamic/biological model. *J. mar. Systems* 16, 23-50.
- Lacroix G. & M. Grégoire, 2002. Ecosystem model (MODECOGeL) of the Ligurian Sea revisited. Seasonal and interannual variability due to atmospheric forcing. *J. Mar. Systems* 37, 229-258.
- Lebaron, P., Servais P., Troussellier, M., Courties, C., Vives-Rego, J., Muyzer, G., Bernard, I., Guindulain, T., Schafer, H., Pukall, R. & E. Stackebrandt, 1999. Changes in bacterial community structure in seawater mesocosms differing in their nutrient status. *Aquatic Microbial. Ecol.* 19, 255 - 267.
- Lebaron, P., Bernard, L., Servais P., Troussellier, M., Courties, C., Muyzer, G., Guindulain, T., Schafer, H., Pukall, R., Stackebrandt, E. & J. Vives-Rego, 2001. Microbial community dynamics in Mediterranean nutrient enriched seawater mesocosms : changes in abundances, activity and composition. *FEMS Microbiol. Ecol.* 34, 255-266.
- Lemée, R., Rochelle-Newall, E., Van Wambeke, F., Pizay, M.D., Rinaldi, P. & J.P. Gattuso, 2002. Seasonal variation of bacterial production, respiration and growth efficiency in the open NW Mediterranean Sea. *Aquat. Microb. Ecol.* 29, 227-237.
- Lykousis V, Chronis G, Tselepides A, Price B, Theocharis A, Siokou-Frangou I, Van Wambeke F, Danovaro R, Stavrakakis S, Duineveld G, Georgopoulos D, Ignatiades L, Souvermezoglou K & Voutsinou-Taliadouri F. 2002. Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea, *J. Mar. Systems*, 33-34:313-334.
- Marty, J.C. & J. Chiavérini, 2002. Seasonal and interannual variations in phytoplankton production at DYFAMED time-series station, north-western Mediterranean sea. *Deep Sea Res. II* 49, 2017-2030.
- Marty, J.C., Chiavérini, J., Pizay, M.D. & B. Avril, 2002. Seasonal and interannual dynamics of nutrients and phytoplankton pigments in the Western Mediterranean Sea at the DYFAMED time-series station (1991-1999). *Deep Sea Res. II* 49, 1965-1985.
- Mével, G. & D. Prieur, 1998. Thermophilic heterotrophic nitrifiers isolated from Mid-Atlantic Ridge deep-sea hydrothermal vents. *Can. J. Microbiol.* 44, 723-733.
- Mével, G. & D. Prieur, 2002. Heterotrophic nitrification by a thermophilic *Bacillus* species as influenced by different cultural conditions. *Can. J. Microbiol.* 46, 465-473.
- Migon, C., V. Sandroni, J.-C. Marty, B. Gasser & J.-C. Miquel, 2002. Transfer of atmospheric matter through the euphotic layer in the northwestern Mediterranean: seasonal pattern and driving forces. *Deep Sea Res. II* 49, 2125-2141.
- Miquel, J.C., 2001. Environment and biology of the Kara Sea: a general view for contamination studies. *Mar. Pollution Bull.* 43, 19-27.
- Mousseau, L., Fortier, L. & L. Legendre, 1998. Annual production of fish larvae and their prey in relation to size-fractionated primary production (Scotia Shelf, NW Atlantic). *ICES J. Mar. Sci.* 55, 44-57.
- Mousseau, L., Klein, B., Legendre, L., Dauchez, S., Tamigneaux, E., Tremblay, J.-E. & R.G. Ingram, 2001. Assessing the trophic pathways that dominate planktonic food webs : an approach based on simple ecological ratios. *J. Plankton. Res.* 23, 765-777.
- Moutin T., Raimbault P., Poggiale J.C, 1999. Primary production in surface waters of the western Mediterranean Sea: calculation of daily production. *C.R. Acad. Sci.*, 322: 651-659
- Moutin T., P. Raimbault, 2002. Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer. *J. Mar. Systems*, 33-34: 273-288.
- Moutin T, Thingstad F, Van Wambeke F, Marie D, Slawick G, Raimbault P & Claustre H, 2002. Does competition for nano-molar phosphate supply explain the predominance of the cyanobacterium *Synechococcus* ? *Limnol. Ocean.* 47, 1562-1567
- Panagiotopoulos, C., Sempéré, R., Obernosterer, I., Striby, L., Goutx, M., Wambeke, F., Gautier, S. & R. Lafont, 2002. Bacterial degradation of large organic particles in the Southern Indian Ocean using in vitro degradation experiments. *Organic Geochemistry*, 33, 985-1000.
- Pedrotti, M.L. & R. Lemée, 1999. Effect of microalgae treated with natural toxins on the nutrition and development of filter-feeding sea-urchin larvae. *Mar. Environ. Res.* 48: 177-192.
- Pelegri, S., Dolan, J.R., Rassoulzadegan, F. 1999. Use of high temperature catalytic oxidation (HTCO) to measure carbon content of microorganisms. *Aquatic Microbial Ecology*, 16:273-280.
- Peligrì, S., Christaki, U., Dolan, J.R., Rassoulzadegan, F. 1999. Particulate and dissolved organic carbon production by a heterotrophic nanoflagellate. *Microbial Ecology*, 37:276-284.
- Pujo-Pay M., Conan P., 2003. Seasonal variability and export of dissolved organic nitrogen in the North Western Mediterranean Sea. *J. Geophys. Res.* (sous presse)

- 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.
- Raimbault P., Pouvesle W., Sempéré R., Diaz F., Garcia N., 1999. A simple procedure for simultaneous analysis of total and dissolved organic forms of carbon, nitrogen and phosphorus in seawater using the wet-oxidation technic. *Mar. Chem.* 66, 161-169.
- Raimbault P., Slawyk G., Boudjellal B., Coatanoean C., Conan P., Coste B., Garcia N., Moutin T., Pujol-Pay M., 1999c. Biomass, new production and export in the equatorial Pacific at 150°W: Evidence for intense nitrogen recycling. *J. Geophys. Res.* 104, 3341-3356.
- Raimbault P., Slawyk G., Garcia N., 2000. Comparison between chemical and isotopic measurements of biological nitrate utilization: further evidence of low new production levels in the equatorial Pacific. *Mar. Biol.* 136, 1147-115.
- Raoux, C., Bayona, J.M., Miquel, J.C., Fowler, S.W., Teyssie, J.L. and J. Albaiges (1999). Particulate fluxes of aliphatic and aromatic hydrocarbons in nearshore waters of the northwestern Mediterranean Sea, and the effect of continental runoff. *Est. Coast. Shelf Sci.* 48, 605-616.
- Salot A., Derieux S., Sadouni N., Bouloubassi I., Fillaux J., Momzikoff A., Gondry G., Guillou C., Breas O., Cauwet G. and Deliat G., 2002. Characterization of dissolved and particulate organic matter supplied by river inputs and biological processes in the Danube Delta and northwestern Black Sea mixing zone. *Estuarine Coast. Shelf Sci.*, 54, 355-367.
- Schmidt S., Reyss J.L., Landré F. & Boust D., 1998. Distribution and flux of ²²⁶Ra and ²²⁸Ra in the Irish Sea and in the English Channel, in relation with hydrological conditions and sediment interactions. *Radiation Protection Dosimetry*, 75, 1-4: 65-67.
- Schmidt S., Reyss J.L. & Herman P.M.J., 1999. Sedimentation patterns of a tidal flat in the Westerschelde estuary. *Proceedings of the 4th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes*, N.C. Kraus and W.G. McDougal Editors, vol. 3, 1927-1935.
- Schmidt, S. & J.-L. Reyss, 2000. Improvement in radiochemical and gamma-counting procedures for the determination of ²³⁴Th in seawater. *Radiochimica Acta* 88, 459-463.
- Schmidt, S., de Stigter, H.C. & Tj.C.E. van Weering, 2001. Enhanced short-term sediment deposition within the Nazare Canyon, North-East Atlantic. *Mar. Geol.* 173, 55-67.
- Schmidt, S., Chou, L. & Hall, I.R., 2002. Particle residence times in surface waters over the north-western Iberian Margin: comparison of pre-upwelling and winter periods. *J. Mar. Syst.* 32, 3-11.
- Schmidt, S., van Weering, Tj.C.E., Reyss, J-L & P. van Beek, 2002. Seasonal deposition and reworking at the sediment-water interface on the north-western Iberian Margin. *Prog. in Oceanogr.* (sous presse).
- Sciandra A., Gostan J., Collos Y., Descolas-Gros C., Le Boulanger C., Martin-Jezequel V., Denis, M. M., Lefèvre D., Copin C. & Avril B., 1998. "Growth compensating phenomena in continuous cultures of *Dunaliella tertiolecta* limited simultaneously by light and nitrate." *Limnol. Oceanogr.* 42, pp.1325-1339.
- Sempéré R, Panagiotopoulos C, Lafont R, Marroni B & Van Wambeke F., 2002. Total organic carbon in the Aegean Sea. *Journal of Marine Systems* 33-34:355-364.
- Sicre, M.A., Ternois, Y., Miquel, J.C. and J.C. Marty, 1999. Alkenones in the Mediterranean sea: interannual variability and vertical transfer of UK'37. *Geophysical Research Letters* 26, 1735-1738.
- Slawyk G., Raimbault P & N. Garcia, 2000. Use of ¹⁵N to measure dissolved organic nitrogen release by marine phytoplankton (reply to comment by Bronk and Ward). *Limnol. Oceanogr.*, 45, 1884-1886.
- Stemann, L., Gorsky, G., Marty, J.C., Miquel, J.C. & M. Picheral, 2002. Four years survey of Large Particles (>0.15 mm) vertical distribution (0-1000 m) in the NW Mediterranean. *Deep-Sea Res. II* 49, 2143-2162.
- Striaby, L., Lafont, R. & Goutx, M., 1999. Improvement in the Iatroscan thin-layer chromatography - flame ionisation detection analysis of marine lipids. Separation and quantitation of mono- and diacylglycerols in standards and natural samples, Jr. *Chromatogr. A*, 849: 371-380.
- Tateda, Y., Carvalho, F.P., Fowler, S.W. and J.-C. Miquel, 2003. Fractionation of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in coastal waters of the NW Mediterranean continental margin. *Continental Shelf Research.* (sous presse).

- Thingstad, T.F., H. Havskum, H. Kaas, D. Lefèvre, T.G. Nielsen, B. Riemann, & P.J. LeB. Williams, 1999. Bacteria-protist interactions and organic matter degradation under P-limited conditions. Comparison between enclosure experiments and a simple model. *Limnol. Oceanogr.* 44, 62-79.
- Turley C., Bianchi M, Christaki U, Conan P, Harris J, Psarra S, Ruddy G, Stutt E, Tselepides A & Van Wambeke F, 2000. Relationships between primary producers and bacteria in an oligotrophic sea-the Mediterranean and biogeochemical implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 193, 11-18.
- Ugur, A., Miquel, J.-C., Fowler, S.W. and P. Appleby. Radiometric dating of sediment cores from a hydrothermal vent zone off Milos Island in the Aegean Sea. *The Science of the Total Environment* (accepted).
- Van Wambeke F, Christaki U, Bianchi M, Psarra S & Tselepides A, 2001. Heterotrophic bacterial production in the Cretan Sea (NE Mediterranean). *Prog. Ocean.* 46: 205-216.
- Van Wambeke F., S. Heussner, F. Diaz, P. Raimbault and P. Conan, 2002. Small-scale variability in the coupling/uncoupling of bacteria, phytoplankton and organic carbon fluxes along the continental margin of the Gulf of Lions, Northwestern Mediterranean Sea. *J. mar. Systems* 33-34, 411-429.
- Van Wambeke F, Christaki U, Giannakourou A, Moutin T & Souvemerzoglou K., 2002. Longitudinal and vertical trends of bacterial limitation by phosphorus and carbon in the Mediterranean Sea. *Microb. Ecol.* 43, 119-133.
- Vidussi, F., Claustre, H., Manca, B.B., Luchetta, A. & J.C. Marty, 2001. Phytoplankton pigment distribution in relation to the upper thermocline circulation in the Eastern Mediterranean Sea during winter. *J. Geophys. Res.*, 106 (C9), 19939-19956.
- Zakardjian, B. & L. Prieur, 1998. Biological and chemical signs of upward motions in permanent geostrophic fronts of the Western Mediterranean. *J. Geophys. Res.* 103, 27,849-27,866.

DOCUMENT N° 5

DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2

DATE : 15 JANVIER 2003

PLAN D'EXPLOITATION DES DONNEES

- Calendrier
- Type de traitement des données à bord et à terre : informatique et laboratoire
- Coût et financement de l'exploitation des données à terre
- Moyens complémentaires demandés (budget, origine du financement, acquis ou envisagé)
- Prévision et calendrier de publication des résultats
- Problèmes particuliers

* Calendrier

Les profils principaux (CTD) seront tracés à bord; ils sont indispensables pour maîtriser la situation et adapter la stratégie d'échantillonnage.

Le traitement des données brutes CTD-rosette et le contrôle des dosages des nutrilites seront effectués dans les deux mois suivant la campagne.

Les premières observations et réflexions sur la campagne et la description détaillée des travaux effectivement réalisés feront l'objet d'un rapport qui sera diffusé dans les 6 mois qui suivront la campagne.

L'ensemble des analyses biogéochimiques (sels nutritifs, pigments, matières organiques dissoutes et particulaires,...), mesures de processus (production bactérienne, minéralisation de la matière organique, flux biologiques de CO_2 , physiologie du zooplancton...) ainsi que le dénombrement et l'identification des communautés zooplanctoniques seront traités dans les 18 mois qui suivront la campagne.

La gestion de ces données pluridisciplinaires se fera sous deux formes :

- Mise à disposition de la communauté DYNAPROC 2/PECHE des fichiers de données sur un site FTP à Villefranche/mer (site géré par le chef de mission)

Cette mise à disposition devra être faite le plus tôt possible après la campagne, même si les données ne sont pas encore entièrement validées.

- Intégration des différents types de données aux banques de données JGOFS-France/PROOF et SISMER/IFREMER. Ces données seront à la disposition générale deux ans après leur acquisition.

* Type de traitement des données à bord et à terre

Le traitement informatique à bord concernera principalement :

- la centralisation des données CTD-rosette

- les tracés des profils CTD pour la station principale et les stations satellites

- le traitement des caractéristiques des pêches (trajet, volumes filtrés,...) au filet à nappes.

Le traitement en laboratoire concernera, entre autres, les mesures de cytométrie, de production primaire nouvelle et régénérée, d'oxygène (production communautaire nette), d'activités bactériennes et de taux physiologiques du zooplancton.

Le nombre d'échantillons acquis pendant la campagne étant très important et tous les spécialistes des différents domaines et/ou matériels d'analyse spécifiques ne pouvant être embarqués, de nombreux échantillons seront fixés ou conservés à basse température pour être analysés à terre (par exemple pour le dosage des pigments HPLC, l'analyse taxonomique des communautés phyto- et zooplanctoniques, la détermination de la structure de la communauté bactérienne par biologie moléculaire,...).

*** Coût et financement de l'exploitation des données à terre**

Les crédits de fonctionnement seront demandés au programme PROOF dans le cadre du projet PECHE (voir Document 3, §IV4).

*** Prévision et calendrier de publication des résultats**

Nous distinguons plusieurs étapes de publications (les délais indiqués ici vont de la fin de la campagne à la soumission du manuscrit) :

- une série de publications décrivant la variation temporelle de la structure hydro-biogéochimique observée pendant tout le mois de campagne (1 an et demi),
- modèle physique-biologique 1-D simple (1 an et demi),
- des publications spécialisées sur la production dans la couche euphotique et la transformation de la matière le long de la colonne d'eau (2 ans),
- synthèses et modèles détaillés (2 à 3 ans).

Un effort particulier sera fourni pour exiger des participants le traitement prioritaire des données relevant de leur responsabilité, afin que le travail fourni puisse donner lieu en moins de 2 ans à des interprétations multiparamétriques.

DOCUMENT N° 6	DOSSIER DE DEMANDE : DYNAPROC 2 DATE : 15 JANVIER 2003
---------------	---

INTEGRATION AU NIVEAU NATIONAL ET INTERNATIONAL

- Distinction entre travaux Eaux internationales - ZEE - Eaux territoriales
- Contacts préliminaires éventuellement pris et interlocuteurs privilégiés des pays riverains
- Personnel étranger invité
- Manifestations éventuelles post-campagne (colloques, conférences, échanges de personnel)
- Dans l'hypothèse où la campagne est dans les eaux étrangères, nous vous demandons de remplir les formulaires en anglais " application abstract "
- Engagements contractuels dans le cadre de programmes européens, **financements européens**

Les travaux de DYNAPROC 2 se dérouleront la plupart du temps dans les eaux françaises et les eaux internationales (voir carte dans le Document 2).

Des collaborations avec plusieurs chercheurs étrangers sont prévues en ce qui concerne la composition spécifique de la communauté zooplanctonique et les travaux de modélisation (voir Equipe scientifique dans le Document 4). Des discussions sont en cours pour l'étude des agrégats phytoplanctoniques et de la pression de broutage du microzooplancton.

Dans les 6 mois qui suivront la campagne, une réunion de plusieurs jours permettra aux participants de ce projet d'échanger et de confronter leurs premières données et de se concerter pour la suite de l'exploitation.

Une seconde réunion, ouverte à des études abordant des thèmes proches, sera organisée à la fin de l'année suivante.

DYNAPROC 2 ne dépend d'aucun engagement contractuel dans le cadre de programmes européens soutenus par la Communauté Européenne.