



HAL
open science

Programme flux océaniques : fondements, objectifs, calendrier, moyens et organisation

- Programme Flux Océaniques

► **To cite this version:**

- Programme Flux Océaniques. Programme flux océaniques : fondements, objectifs, calendrier, moyens et organisation. [Rapport de recherche] CNRS. 1989. hal-02103741

HAL Id: hal-02103741

<https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-02103741>

Submitted on 18 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

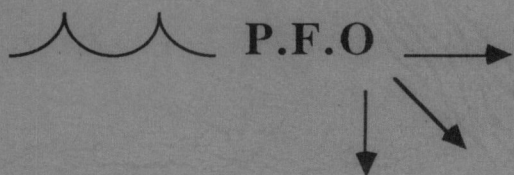
RP 246 (4)

Programme Flux Océaniques

FONDEMENTS, OBJECTIFS, CALENDRIER
MOYENS ET ORGANISATION



TOE



Rapport N° 4

Programme

Mars 1989

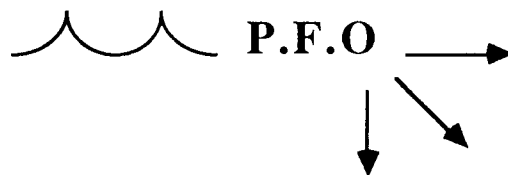
11 AOUT 1989

DB 111571

Programme Flux Océaniques



FONDEMENTS, OBJECTIFS, CALENDRIER
MOYENS ET ORGANISATION



Rapport N° 4

Programme

Mars 1989

Programme Flux Océaniques

Responsable exécutif	Guy JACQUES* Laboratoire Arago, Banyuls-sur-Mer
Président du Comité Scientifique	Jean-Claude DUPLESSY CFR, Gif-sur-Yvette
Président du Comité Inter-organismes	Roger CHESSELET Directeur-Adjoint de l'INSU

Documents PFO

Rapport n° 1	Journées Production Primaire en milieu oligotrophe 1988, 80 p. (co-édité avec le Groupe Mediprod)
Rapport n° 2	Opération Eumeli. Flux de matière dans l'Atlantique tropical en régime eutrophe, mésotrophe et oligotrophe 1989, 38 p.
Rapport n° 3	Opération Antares. Flux de matière dans l'Océan Austral 1989, 23 p.
Rapport n° 4	Programme Flux Océaniques. Fondements, objectifs, calendrier, moyens et organisation 1989, 20 p.

* Ceux qui souhaiteraient recevoir les documents cités et/ou être inscrits sur la liste d'envoi PFO doivent contacter Guy JACQUES au Laboratoire Arago:

Téléphone 68 88 00 40
Telex 50 50 20
Telefax 68 88 16 99

Fondements de l'étude des flux



Depuis sa naissance, il y a trois milliards d'années, l'océan est devenu une composante unique et essentielle de notre environnement. L'équilibre écologique de la planète dépend très étroitement des interactions physiques, chimiques et biologiques entre la mer, l'atmosphère et la terre. Ces interactions complexes et multiples se déroulent sur des échelles d'espace et de temps incroyablement variables qui vont de la seconde au million d'années et du mètre carré à plusieurs fois la superficie de la France. C'est pourquoi nous connaissons encore mal le fonctionnement de cette gigantesque machinerie océanique, les taux de renouvellement de ses ressources minérales et nutritives ainsi que son rôle dans les équilibres climatiques.

A ces variations naturelles se surimposent celles d'origine humaine. C'est ainsi que l'océan absorbe, chaque année, près de la moitié du gaz carbonique relâché dans l'atmosphère par les combustions industrielles. Le cycle d'un élément tel le plomb dans les eaux marines de tout l'hémisphère nord porte maintenant la marque de l'activité humaine. A une échelle plus fine, cette activité industrielle altère quotidiennement le milieu côtier vital pour l'économie mondiale puisque l'essentiel des ressources marines vivantes en est extrait.

Il n'est pas actuellement possible d'établir des modèles prédictifs permettant d'estimer l'impact à grande échelle des rejets industriels et d'évaluer l'ampleur de la perturbation à laquelle sont soumis les cycles naturels des principaux éléments. Cette lacune tient principalement à notre méconnaissance de la partie marine des cycles biogéochimiques, puisque nous n'avons même pas encore déterminé les constantes de temps associées aux réactions chimiques et aux réponses biologiques dominantes. Il est donc nécessaire de développer une paramétrisation puis une modélisation des processus majeurs qui gouvernent les cycles biogéochimiques afin d'évaluer l'impact sur l'équilibre global de l'océan des perturbations, qu'elles soient d'origine climatiques ou anthropiques.

Les récents développements de la géochimie marine, effectués notamment dans le cadre des programmes Geosecs (Geochemical Ocean Sections) et TTO (Transient Tracers in the Ocean) ont montré que le cycle de nombreux éléments était directement couplé à celui du carbone, lui-même sous la dépendance étroite de la vie marine. Nous aurons la preuve d'une bonne compréhension de ces cycles biogéochimiques quand nous serons à même de simuler (modèles) les flux de matière entre les différents réservoirs constituant le système couplé océan-atmosphère-continent-sédiment et de prédire les modifications de ces flux en réponse aux perturbations naturelles ou anthropiques du milieu.

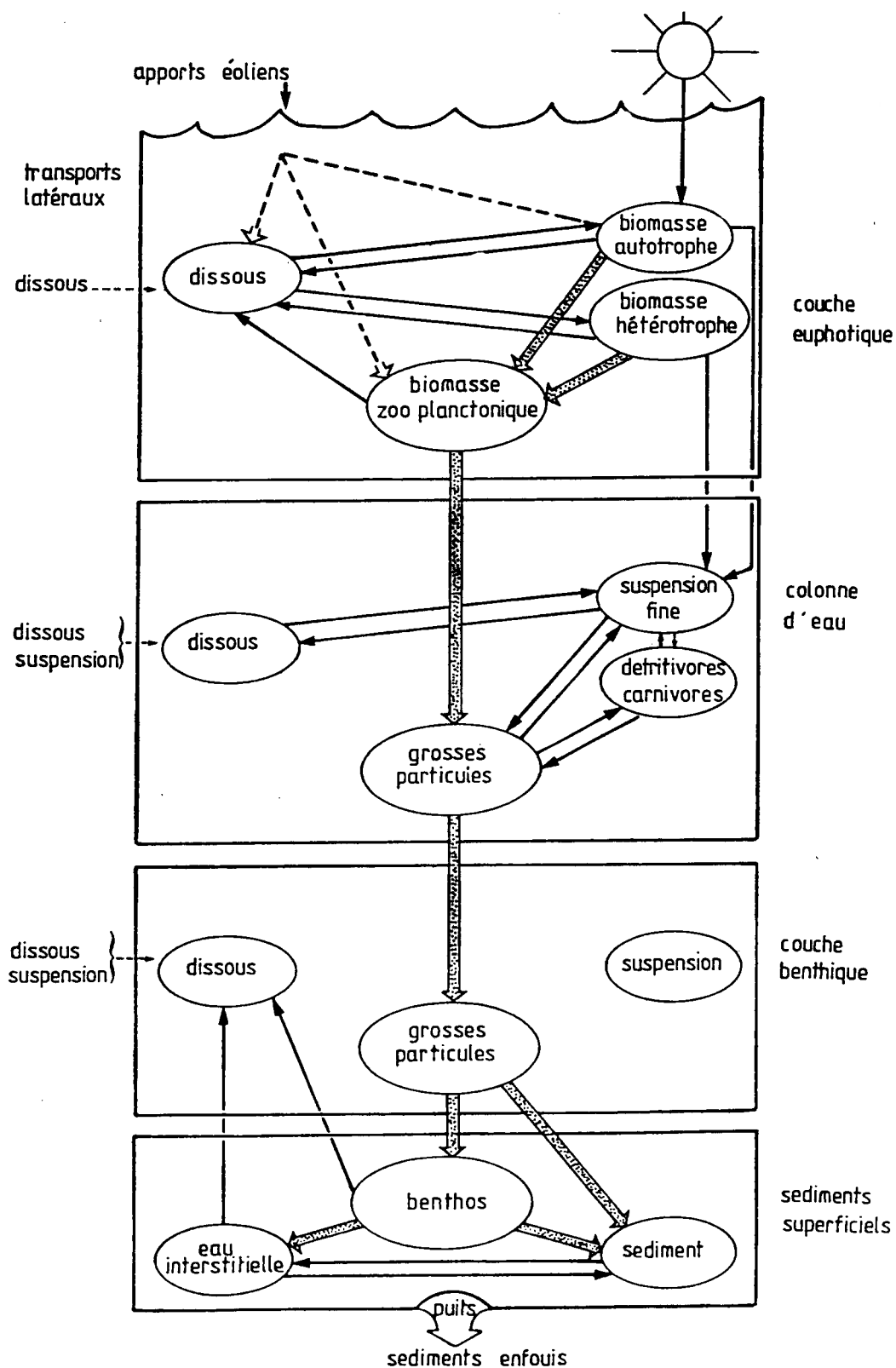


Fig. 1 Schéma-type de la colonne d'eau montrant les quatre principaux niveaux et la quinzaine de compartiments entre lesquels il conviendra de définir les équations de transfert (opération EUMELI)

Etudier les flux de matière dans l'océan, c'est tout d'abord apporter des réponses à une série de questions concernant le cycle du carbone:

- sa production en surface: quelles sont les parts de ce qui est produit sur place et importé de l'atmosphère ou des continents? quelle est l'intensité, quelles sont les variations saisonnières et géographiques de la production primaire? quelles sont les tailles dominantes des organismes phytoplanctoniques, que sont leurs taux d'utilisation par les herbivores?
- son évolution dans la colonne d'eau: à quelle vitesse et avec quelle efficacité s'effectue la chute des particules? quel est le rôle des pelotes fécales et des migrations du zooplancton dans ce transfert vertical? quelles transformations chimiques subissent les matières organiques et à quelle vitesse s'effectue leur recyclage?
- son devenir à l'interface eau-sédiment: pour chaque élément chimique quelle part est oxydée ou utilisée par les faunes bathyale et abyssale? quelle fraction est-elle définitivement enfouie?

Pour comprendre de quelle manière l'océan régule le cycle des principaux éléments, il est indispensable d'étudier en détail les phénomènes à l'échelle locale tout en essayant d'acquérir une vision globale du système océanique. Ceci entraîne un renouvellement de notre stratégie, le navire océanographique ne constituant qu'un élément dans un ensemble qui va:

- de l'observation synoptique et répétitive par satellite qui permet d'accéder à la température de surface de l'eau de mer, aux champs de vents et de courant et à la concentration en pigments chlorophylliens. Lorsque le lien entre cette teneur en chlorophylle superficielle et la production primaire de la couche euphotique sera établi, la réponse des processus biologiques aux forçages physiques déterminants vis-à-vis de la production primaire (irradiation, mouvements verticaux, degré de stabilité de la colonne d'eau) pourra être prédite.
- à la collecte, sur une durée de quelques jours à quelques semaines, des particules en voie de sédimentation. Ces trappes à sédiment ont révolutionné notre vision des taux de transport des particules dans l'océan profond, mettant en évidence des variations saisonnières jusqu'alors insoupçonnées.
- aux mesures physiologiques obtenues en quelques heures *in situ* sur des organismes vivants, par exemple, en grande profondeur grâce à des chambres benthiques. Celles-ci donnent accès au flux de matière organique ou à l'intensité du métabolisme des organismes benthiques.
- à la modélisation, les modèles de boîtes imbriquées représentant les niveaux d'intégration successifs s'avèrent particulièrement bien adaptés (Fig. 1). D'un type de système à l'autre, ces modèles évolueront pour s'adapter aux processus et aux échelles spatio-temporelles dominants: un modèle décrivant le fonctionnement du front de dilution du Rhône est évidemment différent de celui adapté à l'océan tropical profond. La difficulté vient de ce qu'il faut :
 - décrire finement et quantifier les processus élémentaires à l'intérieur de chaque boîte. Ceci explique pourquoi l'expérimentation *in situ* et en laboratoire sont partie intégrante de ce programme.

- imbriquer, dans un schéma global, des mécanismes qui diffèrent par leurs constantes spatio-temporelles. Les flux quittant chaque compartiment contrôlent en effet les entrées des compartiments dépendants, d'où la nécessaire compatibilité numérique des équations décrivant l'évolution des variables.
- choisir des modèles pouvant inclure des contraintes dynamiques et permettre aux termes de forçage et aux coefficients d'échange de dépendre du facteur temps. A terme, les physiciens devront d'ailleurs intervenir plus nettement dans ce programme.

Enfin, une fois achevée la phase intensive d'étude des quelques sites retenus, le suivi de séries chronologiques à l'échelle de la décennie constituerait un prolongement logique. Ces "observatoires" du changement de systèmes s'inscrirait dans la logique du programme Géosphère-Biosphère qui vise à prévoir l'état de la planète d'ici le prochain siècle, résultant de la superposition de causes naturelles et de perturbations liées à l'activité humaine. L'installation de telles stations fixes instrumentées et la réalisation de radiales régulières de la côte jusqu'à ces sites ne saurait être généralisée, les navires côtiers et les stations marines ayant un rôle-clef à jouer dans ce projet: les sites de Mer Ligure (Dyfamed, Tomofront), du Golfe du Lion (Ecomarge) et de Kerguelen (Antares) s'inscriraient parfaitement dans cette perspective.

Pourquoi mener une action française sur ce thème ?

La reconnaissance du rôle majeur des océans dans le cycle du carbone et des autres éléments importants sur le plan biologique explique la mobilisation des chimistes, géochimistes et biologistes autour de l'étude des flux océaniques:

The Joint Global Ocean Flux Study
Déterminer, quantifier, modéliser à l'échelle globale (le bassin océanique; de la saison à la décennie) les variations des flux du carbone et des éléments biogènes associés en évaluant la production propre de l'océan et les échanges avec le continent (fleuves), l'atmosphère (aérosols) et les fonds sous-marins (sédiments, hydrothermalisme)

La plupart des grandes nations en matière d'océanographie s'engagent dans des programmes flux de matière (Tabl. 1), ce qui a donné naissance au programme international "Joint Global Ocean Flux Study" qui aura des liaisons avec "World Ocean Circulation Experiment" consacré aux flux de chaleur. Le Programme Flux Océaniques constituera le volet français de JGOFS et permettre ainsi une participation marquée des océanographes français à la conception et à la réalisation d'opérations communes lors de la phase principale qui débute en 1990. PFO devrait aussi constituer le volet océanique du Programme International Géosphère-Biosphère "A study of Global Change".

Tabl. 1 Les grandes nations océanographiques et les programmes "Flux"

Participation ± marquée au programme international JGOFS

Pays-Bas, Canada
 Chine, Inde, Japon, Pays-Bas, Suède...

Programmes nationaux sur les flux de matière

USA	US GOFS (US Global Ocean Flux Study) Atlantique nord et Pacifique nord
RFA	COFS (Coastal and Ocean Flux Studies) Accent sur variabilité spatiale et temporelle Baltique, Mer du Nord, Mer de Norvège, Arctique, Secteur atlantique de l'Antarctique, Mer d'Arabie
UK	BOFS (Biogeochemical Ocean Flux Study) Accent sur zones à forts apports anthropogéniques Atlantique nord notamment dans sa partie NE
France	Programme Flux Océaniques Zones océaniques oligotrophes, Marges, Fronts Fonctionnement de systèmes, processus, modélisation

Actuellement, les opérations Ecomarge sur les marges continentales françaises du Golfe du Lion et du Golfe de Gascogne, Eumeli sur l'Atlantique tropical au large du Cap Blanc,

Antares sur le système austral et Frontal sur les fronts océaniques constituent les piliers du Programme Flux Océaniques. Ce vaste champ n'est pas excessif, car, pour chaque opération, il y aura regroupement de l'effort sur un nombre limité de sites-ateliers et focalisation sur les traits dominants de chacun des systèmes: sur certains processus (Tabl. 2), certaines interfaces, certaines échelles de temps, certaines disciplines.

Tabl. 2 Processus étudiés dans les opérations du Programme Flux Océaniques et par les groupes interdisciplinaires "Production Pélagique et Phénomènes Physiques" (P4) et "Ecoprophyce" qui constituent des supports de PFO

	Frontal	Ecomarge	Eumell	Antares	P4	Ecoprophyce
Echanges avec l'atmosphère	X		X	X		X
Production primaire	X		X	X	X	
Assimilation C, N, Si	X		X	X	X	
Structure taille réseau trophique	X		X	X	X	
Microbiologie pleine eau	X	X	X	X		
Advection de sels nutritifs	X		X	X	X	
Pelotes fécales	X	X	X	X		
Transport par le zooplancton	X	X	X	X	X	
Interactions dissous-particulaire	X	X	X			
Dépôts sédimentaires		X	X	X		
Bioturbation		X	X			X
Recyclage M.O par faune benthique		X	X			X
Expérimentation profonde		X	X			X
Production chimiosynthétique benthique						X
Diagenèse précoce		X				

Seul un "Programme Flux Océaniques", calqué sur le Programme National d' Etude de la Dynamique du Climat, pourra tirer la quintessence d' actions de la même ligne scientifique, constituer un ensemble cohérent, l'aider à évoluer et à formuler des propositions d'ensemble à la communauté nationale (CNES, INSU, IFREMER, ORSTOM, TAAF) et internationale. Des lacunes apparaissent en effet dans l'aspect opérationnel actuel:

- mobilisation insuffisante de certaines disciplines et équipes scientifiques.
- calendrier des opérations, notamment à propos des campagnes à la mer.
- aspects techniques.
- aspects financiers.
- insertion internationale.

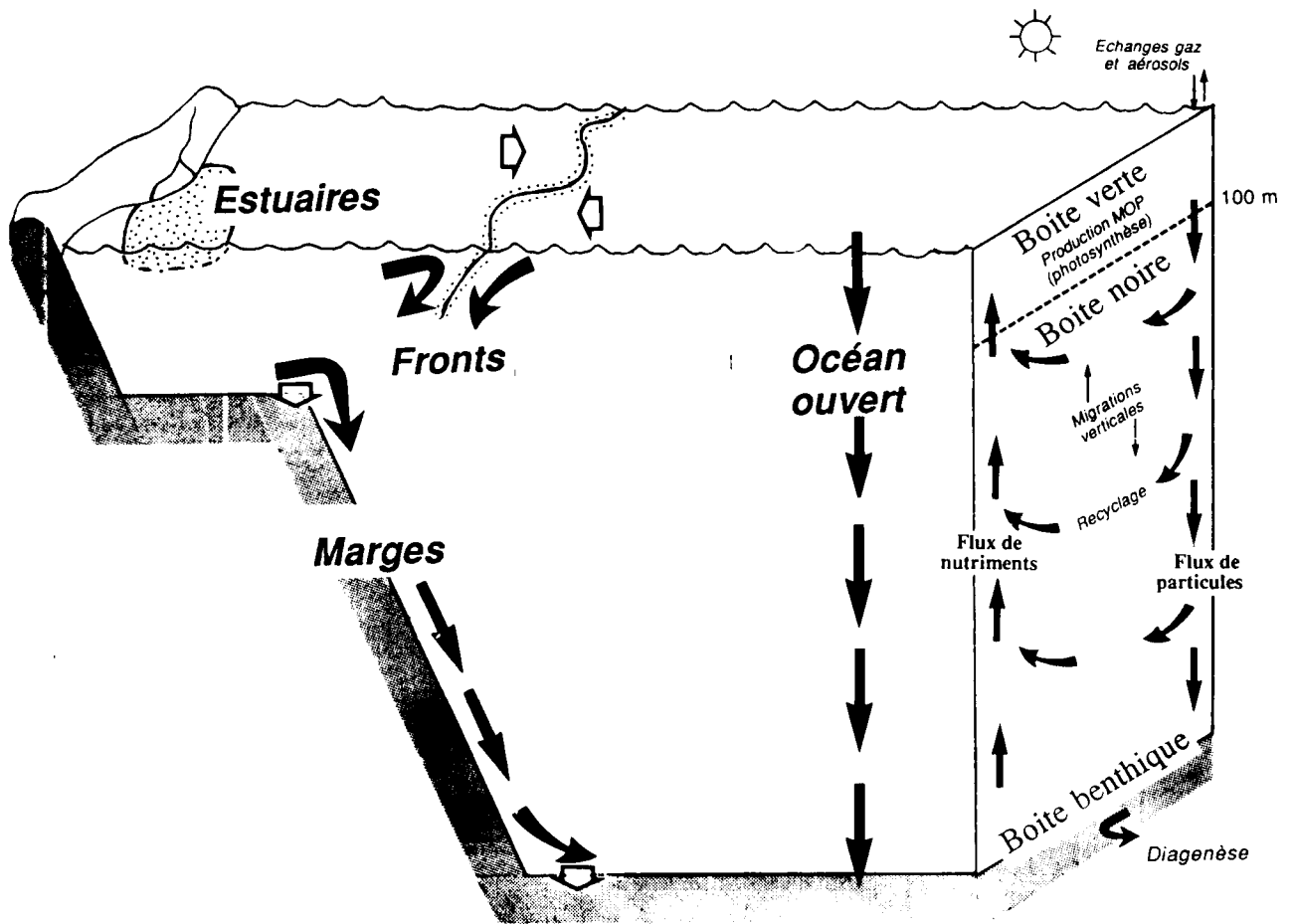


Fig. 2 Systèmes océaniques pouvant être pris en compte par Flux Océaniques

<i>actuellement</i>	→	Zones océaniques à faibles (Eumeli) ou fortes variations saisonnières (Antares). Marges continentales (Ecomarge). Fronts océaniques (Frontal).
<i>éventuellement</i>	→	Estuaires

Stratégie et calendrier

Le Programme Flux Océaniques permettra:

- de dégager dans les différentes opérations, ce qui relève d' une approche similaire et ce qui est complémentaire.
- de déclencher des recherches de laboratoire, actuellement insuffisantes, sur les processus et les techniques dont la connaissance est indispensable à l'élaboration des modèles.
- d' assurer, par des tables rondes et ateliers, par une lettre d'information et par la publication de documents, les échanges scientifiques.
- de définir les priorités et les moyens nécessaires à chaque opération.
- de planifier les opérations pour une utilisation optimale des moyens humains, des équipements et des navires.
- de rechercher le financement sans lequel ce programme ne pourrait se dérouler.

La densité des actions et la variété des techniques et moyens à mettre en oeuvre dans un programme comme PFO suppose une mobilisation sans précédent de la communauté océanographique française. Tel est bien le cas pour le CNRS avec près de 60% des chercheurs de la section "Océan et Atmosphère" engagés, pour une part significative de leur temps. Ceci masque quelques inégalités en fonction des disciplines. Si l'engagement est total pour les chimistes-géochimistes, il se situe autour de 50% pour les biologistes (ce nombre devrait augmenter dès que seront précisés les processus à étudier au laboratoire) et pour les géologues-sédimentologues. Il est encore insuffisant pour les physiciens, pratiquement aucun dynamicien ne s'investissant dans ce type de recherche, sauf dans le cadre de la modélisation couplée couche de mélange - couche de photosynthèse.

Techniques mises en oeuvre

L'étude des flux aura recours à un certain nombre de techniques modernes:

- télédétection de la couleur de la mer pour suivre les fluctuations de la production primaire, parallèlement à l'utilisation de la thermographie, de l'altimétrie et du champ de vent (scattéromètre).
- bouées océanographiques multiparamètres à télé-transmission.
- mouillages instrumentés à base de pièges à particules.
- pratique de méthodes ultra-propres en chimie et en productivité primaire.
- obtention de mesures multiparamétriques en continu.
- méthodes bio-optiques dont la cytofluorimétrie.
- filet à nappes et détection acoustique pour l'étude des migrations du zooplancton.
- caméra pour étude de la "neige" marine.

Campagnes à la mer

La répartition géographique des opérations à la mer et leur échéancier sont tels (Tabl. 3) qu'il faut adopter une planification rigoureuse jusque vers 1995 pour une utilisation optimale des moyens humains et matériels. La réalisation des campagnes sur les moyens nationaux est préoccupante, surtout si le Jean-Charcot est désarmé, d'autant que d'autres programmes, s'insérant également dans un contexte international, tel WOCE, arriveront aussi à leur phase de pleine activité.

Tabl. 3 Campagnes à la mer du Programme Flux Océaniques jusqu'en 1993

Année	<i>Ecomarge</i>	<i>Eumeli</i>	<i>Frontal</i>	<i>Antares</i>
1989	Cyaneco+ Cyaflex Ecosar + Biogeflux Méditerranée occidentale <i>Sondeur latéral</i> <i>Cyana+Noroit</i>	Medatlante 1 et 2 Atlantique large Gibraltar <i>Jean-Charcot</i>		Epos 2 Weddell - Scotia <i>Polarstem</i>
	Ecofer 1 Atlantique Gascogne <i>Noroit</i>	Eumeli 1 Atlantique tropical NE <i>Jean-Charcot</i>	Tomofront 2 Mer Ligure <i>Navires côtiers</i>	
1990	Ecofer 2 et 3 Atlantique Gascogne	Eumeli 2 et 3 Atlantique tropical NE <i>Jean-Charcot</i>	Tomofront 3 Mer Ligure <i>Noroit</i>	
	Eurecomarge 1 Méditerranée <i>Aegeio</i>			
	Cyaneco +Cyaflex 2 Méditerranée <i>Cyana</i>			
1991	Eurecomarge 2 Méditerranée	Eumeli 4 et 5 Atlantique tropical NE <i>Jean-Charcot</i>	Almofront 1 Méditerranée SO <i>Jean-Charcot</i>	
	Ecofer 4 et 5 Atlantique Gascogne			
1992	Eurecomarge 3 Méditerranée	Eumeli 6 Atlantique tropical NE <i>Jean-Charcot</i>	Almofront 2 Méditerranée SO <i>Jean-Charcot</i>	Antares 1 et 2 Antarctique Indien <i>Marion Dufresne</i>
1993				Antares 3 Antarctique Indien <i>Marion Dufresne</i>

Ce calendrier pourra être complété par des opérations sur d'autres systèmes que les marges, la zone océanique et les systèmes frontaux. Le calendrier doit également prendre en considération l'expérimentation, l'exploitation et les réunions scientifiques.

Ateliers et tables rondes

Pour conduire à bien le Programme Flux Océaniques, ont été réalisés ou sont prévus des "ateliers", tables rondes, ou colloques dont le but est de déboucher sur des propositions réalistes, matérialisées par des documents largement diffusés:

Techniques, équipement, stratégie dans les études de flux
(Octobre 1988, Banyuls) (Laboratoire Arago, Banyuls)

Eumeli - Programme interface océan sédiment
(PFO-GDR Ecoprophyce - Novembre 1988, Paris)

Modélisation dans les cycles biogéochimiques
(Décembre 1988, Toulouse)

Flux dans la colonne d'eau
(Printemps 1989, Villefranche)

Cet aspect serait incomplet si l'on n'y incluait les tables rondes dans la logique de PFO mais organisées par les opérations, généralement avant le lancement officiel du Programme:

Réunions spécialisées Ecomarge: Chimie (Février 1988 - Perpignan): Sédimentologie
(Septembre 1988 - Perpignan)

Exercice d'intercomparaison de deux trappes à sédiments en Méditerranée
(Rapport technique FMO - Dyfamed - Mai 1988)

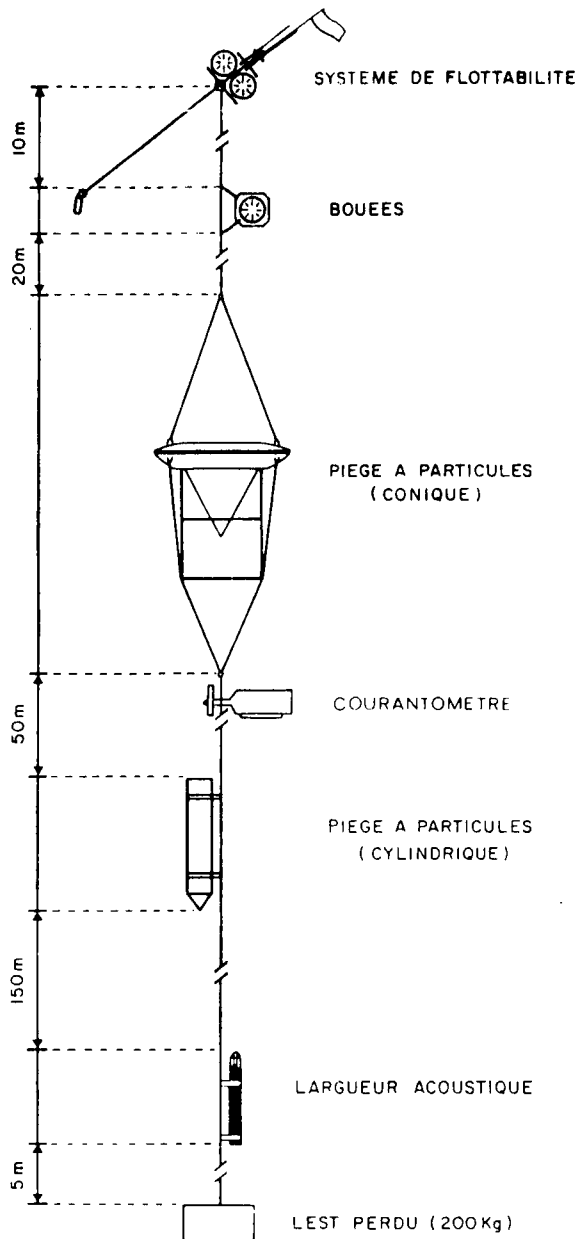
**Echelles spatio-temporelles pour les phénomènes physiques, chimiques
et biologiques dans les zones frontales**
(Frontal - Mars 1988, Paris)

Production primaire en zone oligotrophe
(PFO-GDR Mediproduct - Juin 1988, Marseille)

Techniques et stratégie d'échantillonnage dans les zones frontales
(Frontal - Septembre 1988, Marseille)

Les moyens pour réussir

Des mouillages instrumentés de pièges à particules



L'échantillonnage de la matière particulaire sédimentant vers les profondeurs, permet d'apprécier la variation qualitative et quantitative du flux. Cette technique implique l'utilisation de pièges à sédiment. Conduits dans le cadre d'Ecomarge et de Dyfamed, réflexions et tests ont permis de définir un piège conique de 0.125 m^2 puis un de 1 m^2 à 24 godets qui constitueront les modèles de base pour PFO. Il faut plutôt parler de lignes instrumentées comportant différents pièges, des courantomètres, les appareils de largage, de flottaison et de repérage (Fig. 3). La réussite de l'étude des flux passe par la constitution rapide d'un parc d'une dizaine de lignes instrumentées qui doivent être considérées comme l'équivalent, pour l'océanographie, d'un "grand instrument".

Lors des campagnes, l'étude à court et moyen terme du flux quittant la couche euphotique s'appuiera sur le suivi de pièges dérivants type Vertex.

Fig. 3 Schéma d'une ligne de mouillage pour piéges à particules
Ces mouillages pourront également comporter : capteurs de température, fluorimètres etc...

Site-ateliers et suivis

Un peu à l'opposé des conceptions d'origine de Global Ocean Flux Study, privilégiant les systèmes oligotrophes tropicaux, le programme international JGOFS s'est tourné vers l'Atlantique nord, zone à forts apports anthropogènes de CO₂ et de matériel particulaire (aérosols, fleuves) et à variations saisonnières et géographiques accentuées; c'est dire que probablement un fort pourcentage du flux de carbone produit en surface en accompagnement de la "vague" de stratification thermique qui remonte vers le nord, rejoindra les sédiments.

Les opérations du Programme Flux Océaniques portant sur les aires océaniques (notamment Eumeli) se situent parfaitement dans la perspective initiale visant à déterminer le rôle des vastes étendues du large dans le cycle biogéochimique du carbone et des éléments associés. Depuis, le projet JGOFS a étendu son action à des régions plus côtières; aussi, les études sur les marges continentales et sur les fronts, telles qu'elles sont prévues dans PFO, complètent-elles harmonieusement cette palette.

A côté de ces recherches intensives de terrain, l'étude des fluctuations temporelles des flux remet sur la sellette l'intérêt du suivi de stations permanentes. Celles-ci se réaliseront seulement dans les régions où se concentrent déjà habituellement les recherches. C'est bien une des raisons du choix par JGOFS de l'Atlantique nord: "It was recognized that the North Atlantic is the best studied of the ocean basins and that this ocean is *a priori* the best possible place to develop process studies and document the variability of the carbon system. It was also recognized that several countries were already planning programmes in this basin".

Le secteur indien de l'Océan Austral, avec l'installation d'une station fixe proche de Kerguelen, les rotations du *Marion Dufresne*, la densité des observations passées et la variété des programmes prévus ("Suzan", "Hydrologie du Courant Circumpolaire", "Antares", WOCE-France) présente ces avantages. Mais que dire du site méditerranéen, où il conviendrait de définir un programme de suivi de séries chronologiques tant la densité des stations marines avec leurs navires de façade, la bonne accessibilité à la télédétection, la facilité de coopération internationale, les connaissances de fond, la variété des types de systèmes constituent d'atouts!

Des développements techniques

La nécessité d'obtention simultanée des principaux facteurs des écosystèmes, par exemple des profils continus en milieu pélagique, l'intérêt du suivi de stations permanentes, les contraintes liées aux techniques de mesures métaboliques *in situ* (notamment en benthos profond), font du développement d'équipements de terrain une priorité pour PFO.

Dans ce domaine, la communauté française manque d'ingénieurs et de techniciens. C'est pourtant un point essentiel de la réussite du programme: une coopération IFREMER - INSU, un renforcement du potentiel INSU constituent un minimum pour que soit créé, géré, amélioré et entretenu un parc national spécifique à l'étude des flux, par exemple:

- mouillages avec pièges à particules, courantomètres (10).
- bathysondes équipés de capteurs de fluorescence (2).
- bouées multiparamétriques à télétransmission.
- systèmes multiparamétriques en continu type SHET (2).
- néphélomètres type Prieur- COB (2).
- modules de marquages benthiques (2).
- modules autonomes multiparamétriques de fond (2).
- enceintes pressurisées pour l'expérimentation en microbiologie.
- chaîne de sondage acoustique multi-fréquence.
- sonde pour mesure de l'énergie cinétique turbulente.
- profileur courantométrique à effet Doppler.
- cytomètre de flux embarquable.

Tabl. 4 Paramètres centraux du Programme Flux Océaniques

-
- *Caractéristiques physiques et chimiques de base* : température, salinité, O₂, système CO₂,
 - *Sels nutritifs* : nitrates et ammonium (N), phosphates (P), silicates (Si)
 - *Pigments photosynthétiques* : de la spectrofluorométrie à la Chromatographie Haute Précision
 - *Optique* : Profil d'irradiation (quantamètre)
Coefficient d'atténuation diffuse
 - *Acoustique appliquée au plancton*
 - *Flux de particules* : - à partir de pièges à particules fixes à plusieurs niveaux depuis la couche euphotique jusqu'au voisinage du fond.
- à partir de pièges dérivants type Vertex.
 - *Production primaire et biomasse* de plusieurs catégories d'organismes (classes de taille).
 - *Taux d'utilisation et de production d'autres éléments biogènes importants*
(par exemple la silice dans l'Océan Austral)
 - *Production secondaire et migrations du zooplancton*
 - *Matière organique*
Carbone organique dissous et particulaire
Carbone inorganique particulaire
Azote organique dissous et particulaire
Phosphore
 - *Ecosystème benthique et flux*
Vitesse de colonisation de substrats
Métabolisme respiratoire
Assimilation de substrats marqués
 - *Flux de carbone* et éléments associés à partir de carottes sédimentaires.
-

Des actions spécifiques pour l'étude des processus

A l'échelle des bassins océaniques, le suivi des fluctuations du cycle du carbone en relation avec les changements climatiques passe par l'observation satellitaire: état de surface de la mer et champ de vent, radiation incidente, température de surface, couleur de l'océan. Cette approche et ce but impliquent une accentuation des recherches sur les processus qui permettent de définir les équations des modèles.

Les opérations, telle Ecomarge, Eumeli ou Antares permettent difficilement une étude, par de petites équipes de chercheurs, des processus qui constitueront des goulots d'étranglement dans PFO. Pour pallier cette difficulté, nous proposons, dès 1989, une action spécifique portant sur quelques uns des paramètres centraux (Tabl. 4). On peut d'ores et déjà songer, pour 1989, à quelques aspects techniques à résoudre en priorité:

- la mesure du COD.
- "méthode propre" pour l'estimation de la production - ^{14}C .
- approche haute précision dans l'estimation des sels nutritifs.
- spectrofluorométrie et HPLC pour la cartographie pigmentaire.
- bio-acoustique et migrations du zooplancton.
- comparaison des méthodes d'étude des bactéries dans la colonne d'eau

Un budget adapté

La réalisation de PFO nécessite un budget qui représente la contribution de plusieurs organismes: CNES, INSU, IFREMER, ORSTOM, TAAF, Ministère de la Recherche (Tabl. 5).

Tabl. 5 Budget prévisionnel du Programme Flux Océaniques

Rubriques	1988	1989 (en MF)	1990
• <i>Très grands équipements</i> 5 mouillages avec pièges à particules, courantographes	0	← 10 →	
• <i>Equipements moyens</i> Cytofluorimètres (2), HPLC (2), conteneurs ultra-propres (2) analyseurs COD-NOD (2), spectrofluorimètre, automate biochimique, module autonome de colonisation, chambres benthiques (2) etc.....	1.5	← 4 →	
• <i>Soutien aux 5 opérations</i> (Antares, Ecomarge, Dyfamed , Eumeli, Frontal)	1.4	1.8	1.8
• <i>Action incitative "Processus" et ateliers techniques</i>	0	0.8	0.8
• <i>Fonctionnement du Programme Flux Océaniques</i>	0.04	0.15	0.15
Total	3 MF	← 20 MF →	

Annexe 1

Composantes du Programme Flux Océaniques

Trois points méritent d' être soulignés:

- toute éventuelles action sur les estuaires impliquera un appel à des chercheurs engagés actuellement dans le programme européen Eros 2000.

- l'évolution du Programme "Hydrothermalisme" sera suivie avec attention car, si les systèmes hydrothermaux durent seulement quelques décennies, leur pérennité à l'échelle régionale nécessite leur prise en compte dans l'étude des flux.

Si, sur le plan quantitatif, la production de carbone au niveau des dorsales représente seulement 1/1000^e de la production océanique, l'apport de l' hydrothermalisme au cycle de certains éléments (manganèse?, métaux?, silicium?) pourrait être notable.

- le maintien de groupes de recherches dépendant du Comité National (GDR "Production Pélagique et Phénomènes Physiques" et GDR "Ecoprophyce"), assurés d'une bonne pérennité et composés d'équipes soudées apparaît important pour la réussite de PFO dans les domaines suivants:
mobilisation rapide pour des opérations de terrain, développements et tests techniques, études expérimentales de processus.

Antares

Responsable ⇒⇒ P. Tréguer

Type de milieu ⇒⇒ Océan Antarctique.

Problématique ⇒⇒ Modélisation de la circulation de la matière dans les principaux sous-systèmes de l'Océan Austral: eaux du large influencée par la Divergence Antarctique et ses tourbillons, zones frontales, zone marginale de la glace.

Dominantes

- ⇒⇒ Disciplines-clefs: Biogéochimie, production primaire, océanographie chimique.
- ⇒⇒ Accent porté à coté du cycle du carbone, sur celui de l'azote, du silicium et des métaux.
- ⇒⇒ Etude spécifique des systèmes de régénération rapide par boucle microbienne.
- ⇒⇒ Couplage du programme de campagnes en mer avec le suivi d'une station permanente au sud-est de Kerguelen (Antarfix).
- ⇒⇒ Ouverture internationale.
- ⇒⇒ Liaison la plus étroite possible avec le programme WOCE-Océan Indien.

Sites et calendrier

- ⇒⇒ Etude préliminaire de la MIZ lors de la campagne EPOS du *Polarstern*. 1989
- ⇒⇒ Suivi de la station fixe "Antarfix". Campagnes de *La Curieuse*. 1990-1995
- ⇒⇒ Secteur Indien de l'Océan Austral (Zone Océanique, Fronts) avec une série de campagnes du *Marion Dufresne* et de *Astrolabe*. 1990-1996
- ⇒⇒ Mer de Weddell (Zone Marginale de la glace, Fronts) avec possibilité de campagnes à plusieurs navires. 1993

Equipes concernées

La liste ci-dessous est moins complète que pour les autres opérations, "l'appel d'offre" étant moins avancé que pour les autres opérations qui débutent plus rapidement.

AIEA, Monaco	3	(Fowler, Noshkin, Miquel)
CFR, Gif	5	(Belviso, Buat-Menard, Lambert, N'Guyen, Reyss)
IGBA, Bordeaux	3	(Etcheber, Labracherie, Pichon)
Laboratoire Arago, Banyuls	9	(Descolas, Dinet, A., Dinet, M.-J., Fiala, Féral, Guille, Jacques, Jupin, Panouse)
LCEM-IEM, Brest	3	(Appriou, Quéginer, Tréguer)
MOUETTE, Toulouse	2	(Jeandel, Minster)
LPCM	2	(Poisson, Saliot)
Université de Genève	1	(Gaillard)

Coopération internationale envisagée: Mayzaud (Rimouski, Canada); Platt (Bedford, Canada); El-Sayed (Texas A & M University, USA); Billen, Lancelot, Mathot (ULB, Belgique); Bianchi (CNR, Italie); Dehairs, Goeyens (ULB, Belgique); Gordon, Nelson (OSU, USA); Kamatani (TFU, Japon); Van Bennekom, De Baar (NIOZ, Pays-Bas); deMaster (NCU, USA); Suzuki (MRI, Japon); Fraga, Perez, Prego (I.I.M, Vigo, Espagne) Lindner (NIKHEF, Amsterdam, Pays-Bas).

Ecomarge

Responsable ⇒ ⇒ A. Monaco

Type de milieu ⇒ ⇒ Marges continentales.

Problématique ⇒ ⇒ Transferts de matière et d'énergie à l'interface sédimentaire des marges, domaine de fort gradient contrôlant les apports au système océanique profond.

Dominantes

- ⇒ ⇒ Disciplines-clefs: Géochimie, sédimentologie, biologie, écologie.
- ⇒ ⇒ Interactions organique - minéral
- ⇒ ⇒ Bilans des apports sédimentaires: organiques, inorganiques particuliers colloïdaux et dissous.
- ⇒ ⇒ Relations à l'interface eau - sédiment - processus biotiques et abiotiques.
- ⇒ ⇒ Evolution spatio-temporelle des structures néphéloïdes en relation avec les processus hydrodynamiques.
- ⇒ ⇒ Reconnaissance morpho-sédimentaire et évolution aux temps historique et géologique.
- ⇒ ⇒ Modélisation des processus de transfert particulaire et des échanges à l'interface sédimentaire

Sites et calendrier

- ⇒ ⇒ Marge méditerranéenne du Golfe du Lion 1983-1989
Plongées et expérimentation *in situ* avec *Cyana*
- ⇒ ⇒ Marges méditerranéennes (Eurecomarge) 1986-1989
- ⇒ ⇒ Marge atlantique aquitaine 1988-1992
- ⇒ ⇒ Marge du plateau des Kerguelen (Océan Austral)? 1992-1995

Equipes concernées

LSGM, Perpignan	13	(Aloïsi, Buscail, Carbonne, Cauwet, Courp, Deniaux, Gadel, Gensous, Got, Monaco, Naudin, Pauc, Tesson)
Laboratoire Arago, Banyuls	5	(Cahet, De Bovée, Guidi, Razouls, Soyer)
Oc. P.C. et Biologie, Bordeaux	18	(Castaing, Castel, Cirac, Cremer, Donard, Dumont, Etcheber, Ewald, Froidefond, Garrigues, Gouleau, Jouanneau, Latouche, Legigan, Parlanti, Relexans, Tastet, Weber, Jouanneau)
AIEA, Monaco	5	(Ballestra, Fowler, Heyraud, Miguel, Villeneuve)
CEA, Toulon	3	(Charmasson, Fernandez, Gontier)
COM, Marseille	18	(Blanc-Vernet, Bourcier, Bourdillon, Castelbon, Champalbert, Elkaïm, Froget, De Giovanni, Guérin, Le Campion, Macquart-Moulin, Millot, Passelaigue, Patriti, Roux, Stora, Vacelet, Weydert)
MNHN, Paris	3	(Ferrand, Guille, Venec-Peyre)
Faculté Pharmacie, Marseille	3	(Arnoux, Diana, Monod)
LMP de Neuchâtel	7	(Beck, Godet, Kubler, Nyffeler, Ruch, Zuur, de Madron)
Autres chercheurs français: Podaire (LERTS Toulouse), Bernat, Chassefière (Géochimie, Nice), Torri (LRC, Toulon), Triat-Laval (Marseille).		
Coopération internationale: Biscaye (Lamont), Church (Delaware), Pocklington (Bedford), Mopper (Miami), Lichaëlis (Hambourg), Cherry (Capetown), Mayer (Maine).		

Eumeli

Responsable ⇒⇒ A. Morel

- Type de milieu ⇒⇒ Océan tropical ouvert couvrant les situations oligotrophe, mésotrophe et eutrophe.
- Problématique ⇒⇒ Lier les études physiques à l'échelle du bassin océanique aux flux chimiques (cycle du carbone) à l'intérieur et aux limites de l'océan, ces bilans étant eux-mêmes déterminés par les cycles biologiques.

Dominantes

- ⇒⇒ Disciplines-clefs: Géochimie, production primaire, télédétection.
- ⇒⇒ Vision globale du système océanique à partir de processus étudiés à l'échelle locale (modélisation).
- ⇒⇒ Etude du flux de matière (particules) de l'interface océan-atmosphère et à l'interface eau-sédiment. D'où un choix de sites où l'advection est réduite.
- ⇒⇒ Zones océaniques oligotrophes comme représentant la plus grande fraction de l'océan.
- ⇒⇒ Cycle du carbone en relation avec quelques éléments associés.

Sites et calendrier

- ⇒⇒ Mer Ligure (apports atmosphériques "Dyfamed"). 1986-1989
- ⇒⇒ Atlantique tempéré: évolution de la MOP dans un "bulle" d'eau méditerranéenne en Atlantique ("Medatlante"). 1989-1990
- ⇒⇒ Atlantique tropical (sites eu-, méso- et oligotrophe) lors de la série de campagnes Eumeli. 1989-1992

Equipes concernées

CFR, Gif	9	(Belviso, Buat-Menard, Cachier, Dulac, Duplessy, Lambert, N'Guyen, Reyss, Yokohama)
GRECO P4	23	(Descolas, Jacques, Jupin, Neveux - Banyuls) (Coste, Minas, Minas, Raimbault, Slawyk - COM) (Andersen, Dallot, Gostan, Ibanez, Laval, Nival, Rassoulzadegan - Zoologie CEROV) (Béthoux, Bricaud, C. Copin, Morel, Prieur - LPCM CEROV) (Quéginer, Tréguer - LCEM - IEM de Brest)
COB, Brest	3	(Desbryères, Kripounoff, Sibuet)
UBO-Chimie, Brest	4	(Le Corre, Morin)
MOUETTE, Toulouse	3	(Jeandel, Minster, Thomas)
ORSTOM	14	(Andrie, Colon, Dandonneau, Dufour, Dupouy, Herbland, Hisard, Lemasson, Le Bouéiller, Oudot, Pagano, Radenac)
LPCM (autres que P4)	5	(G. Copin, Courau, Marty, Nicolas, Saliot)
LPCA, Paris	2	(Berganelli, Lasno)
AIEA, Monaco	4	(Fowler, Heyraud, La Rosa, Miquel)

Autres chercheurs français: Guidi (Banyuls), Gaillard (Géochimie, Paris), Goy (Muséum), Klein (IFREMER, Brest) Le Treut (LMD), Grousset (IGBA), Courties et Vaultot (Roscoff).

Coopération internationale: très forte mais indirecte, par le biais du Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS).

Frontal

Responsable ⇒ ⇒ A. Sournia

Type de milieu ⇒ ⇒ Fronts océaniques.

Problématique ⇒ ⇒ Interactions physiques, chimiques et biologiques dans les zones frontales, celles-ci représentant tantôt des barrières, tantôt des lieux d'échange entre les masses d'eau. Ces régions à forts gradients entraînent, pour des raisons encore mal cernées, un rehaussement de la production biologique et, plus encore, du flux de matière en profondeur.

Dominantes

- ⇒ ⇒ Disciplines-clefs: Biologie pélagique (dominante), en forte interaction avec la chimie et la physique.
- ⇒ ⇒ Etude à moyenne échelle spatiale et aux différentes échelles temporelles jusqu'à l'interannuel.
- ⇒ ⇒ Etablissement de bilans (source et puits) à comparer aux zones adjacentes.
- ⇒ ⇒ Nécessité de travailler sur des sites-ateliers variés du front estuarien au front océanique.

Sites et calendrier

- ⇒ ⇒ Front estuarien du Rhône (Panache). 1988
- ⇒ ⇒ Front géostrophique de Mer Ligure (Tomofront). 1989-1990
- ⇒ ⇒ Opération internationale sur le front océanique Almería-Oran (Almofront). 1991-1992

Equipes concernées

Station Biologique de Roscoff	6	(Birrien, Martin-Jezequel, Morin, Poulet, Sournia, Vault)
CEROV (Villefranche)	15	(Braconnot, Cuzin, Dallot, Etienne, Ibanez, R. Fenaux, Gorsky, Gostan, Laval, J.-C. Marty, Pizay, Prieur, Rassoulzadegan, Ronet, Sardou)
COM (Marseille)	10	(Bonin, David, Denis, Gaudy, Goutx, Guérin, Leveau, Nguyen, Raimbault, Slawyk)
LSEET (Toulon)	3	(Broche, Crochet, Forget)
SMW (Wimereux)	2	(Brylinski, Frontier)
UBO (Brest)	7	(Le Cann, Le Corre, Le Fèvre, Le Tareau, Y. Marty, Mazé, Riso)

Autres chercheurs français: Bentley, M. Bianchi, Chabert d'Hières, Goy, Guéguéniat, Lamboy, Momzikoff, Rodier, Seguin, Viale, Wartel.

Coopération internationale devant particulièrement s'étoffer pour Almofront (appel d'offre) avec l'Angleterre (Plymouth), la Belgique (Liège et Bruxelles), l'Italie (La Spezia), l'Espagne (Blanes et Barcelone) la RFA (Kiel).

Annexe 2

Animation du Programme Flux océaniques

Nous proposons une organisation voisine de celle du Programme National d'Etude Dynamique du Climat. Par sa problématique scientifique, son extension géographique, les moyens à mettre en oeuvre et son cadre international (insertion dans JGOFS et dans IGBP), il est, en effet, nécessaire que PFO trouve une assise comparable à celle du PNEDC. Animé par un **Responsable Exécutif** (Guy Jacques), PFO s'appuiera:

- sur un **Comité Scientifique** présidé par Jean Claude Duplessy, sera composé de 7 à 8 membres français et de 7 à 8 membres étrangers, qui, seront des européens experts de haut niveau dans le cadre de JGOFS et ayant l'aptitude à évaluer des dossiers rédigés en français.
- sur une **Comité Inter-Organismes**, présidé par Roger Chesselet, composé des représentants des organismes qui ont exprimé leur désir de participer, à des titres divers, au Programme Flux Océaniques: CNES, DRET, IFREMER, ORSTOM, TAAF. Ces représentants seront désignés par leurs directeurs et pourront donc avoir, dans certains cas, le droit d'engager leur organisme.

Responsable Exécutif
G. Jacques
DR au CNRS
Laboratoire Arago
66650 Banyuls-sur-Mer

Opération Antares
P. Tréguer
Maître de Conférences
Chimie Ecosystèmes Marins
29283, Brest

Opération Ecomarge
A. Monaco
DR au CNRS
LSGM
66000, Perpignan
Opération Frontal
A. Sournia
DR au CNRS
Laboratoire de Géologie
Muséum, Paris

Opération Eumeli
A. Morel
Professeur
CEROV
06230, Villefranche-sur-Mer

Comité Scientifique
J.-C. Duplessy (Président)
Centre des Faibles Radioactivités
Gif-sur-Yvette

A. Herbland
IFREMER
Nantes

L. Laubier
IFREMER
Paris

L. Merlivat
LODYC
Paris

J.-F. Minster
GRGS
Toulouse

J. Soyer
Laboratoire Arago
Banyuls-sur-Mer

L. Lemasson
ORSTOM
Montpellier

E. Duursma
NIOZ, Texel
(Neederlands)

G. Elderfield
Univ. Cambridge
(U. K)

S. Fowler
AIEA
(Monaco)

P. Liss
Univ. East-Anglia
(U. K)

V. Smetacek
AWI, Bremerhaven
(RFA)

H. Van Bennekom
NIOZ, Texel
(Neederlands)

D. Wollast
UL Bruxelles
(Belgique)

B. Zeitzschel
IM Hambourg
(RFA)

Liste de documents sur l'étude des flux

ECOMARGE (France)

- Colloque international d'Océanologie. ECOsystèmes de MARGES continentales, Perpignan, 23-26 juin 1987. CIESM, 1987: 96 p.

FMO (France)

- Programme F.M.O "Flux de Matière dans les Océans (1986-1991): 67 p.
- Mesure de la "production primaire" dans le cadre du projet Flux de Matière dans l'Océan. Séminaire, Paris, décembre 1985: 26 p.
- Rapport technique "Exercice d'intercomparaison de deux trappes à sédiments en Méditerranée. Avril - Juin 1987", 1988: 20 p.

FRONTAL

- Techniques et stratégie d'échantillonnage en zones frontales. Table ronde, Marseille-Luminy, septembre 1988, 1988: 22 p.
- Echelles spatio-temporelles pour les phénomènes physiques, chimiques et biologiques dans les zones frontales, Paris le 2 mars 1988, 1988: 17 p.

PFO (France)

- Journées "Production primaire en milieu oligotrophe", Marseille - 2 et 3 juin 1988, 1988: 80 p.

JGOFS (International soutenu par le SCOR)

- The Joint Global Ocean Flux Study - Background, goals, organization, and next steps: 42 p.
- The Joint Global Ocean Flux Study - North Atlantic Planning Workshop: 133 p.
- SCOR Committee for The Joint Global Ocean Flux Study - Report of the first session, Miami, 1988: 50 p.
- The Joint Global Ocean Flux Study - Report of the first meeting of the JGOFS pilot study. Cruise coordinating Committee, Plymouth, U.K., 1988: 23 p.

USGOFS (U.S.A)

- A global Ocean flux study. J. H. Steele, 1984, *Eos*, 4: 683-684.
- Global Ocean Flux Study. Proceedings of a Workshop. *Nat. Acad. Press*, Washington D. C., 1984: 360 p.
- U.S. GOFS. Report 1, 1986: 98 p.
- U.S. GOFS. Report 2, 1986: 52 p.
- U.S. GOFS. Report 3, 1986: 141 p.
- U.S. GOFS. Report 4. Modeling in GOFS, 1987: 142 p.
- U.S. GOFS. Report 5. Benthic studies in GOFS, 1987: 149 p.
- U.S. GOFS. Report 6. Ocean margins in GOFS, 1987: 245 p.
- U.S. GOFS. Overview. Towards a science plan for GOFS: program elements, priorities and planning, 1987: 19 p.
- U.S. GOFS. Report 7. Upper ocean processes, 1988: 88 p.
- U.S. GOFS. Report 8. Data management, 1988: 52 p.

DIVERS

- Particulate biogeochemical processes. Report of SCOR Working Group 71, July 1988: 44 p.
- Earth system science. A program for global change. NASA, Washington D.C., 1988.
- Particle flux in the ocean. Proceedings of a workshop held at the Dokuz Eylül University, Izmir, Turkey, 23-28 June 1986. E.T. Degens, E. Izdar & S. Honjo eds. *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg*, 1987: 308 p.

Des actions spécifiques pour l'étude des processus

A l'échelle des bassins océaniques, le suivi des fluctuations du cycle du carbone en relation avec les changements climatiques passe par l'observation satellitaire: état de surface de la mer et champ de vent, radiation incidente, température de surface, couleur de l'océan. Cette approche et ce but impliquent une accentuation des recherches sur les processus qui permettent de définir les équations des modèles.

Les opérations, telle Ecomarge, Eumeli ou Antares permettent difficilement une étude, par de petites équipes de chercheurs, des processus qui constitueront des goulots d'étranglement dans PFO. Pour pallier cette difficulté, nous proposons, dès 1989, une action spécifique portant sur quelques uns des paramètres centraux (Tabl. 4). On peut d'ores et déjà songer, pour 1989, à quelques aspects techniques à résoudre en priorité:

- la mesure du COD.
- "méthode propre" pour l'estimation de la production - ^{14}C .
- approche haute précision dans l'estimation des sels nutritifs.
- spectrofluorométrie et HPLC pour la cartographie pigmentaire.
- bio-acoustique et migrations du zooplancton.
- comparaison des méthodes d'étude des bactéries dans la colonne d'eau

Un budget adapté

La réalisation de PFO nécessite un budget qui représente la contribution de plusieurs organismes: CNES, INSU, IFREMER, ORSTOM, TAAF, Ministère de la Recherche (Tabl. 5).

Tabl. 5 Budget prévisionnel du Programme Flux Océaniques

Rubriques	1988	1989 (en MF)	1990
• <i>Très grands équipements</i> 5 mouillages avec pièges à particules, courantographes	0	← 10 →	
• <i>Equipements moyens</i> Cytofluorimètres (2), HPLC (2), conteneurs ultra-propres (2) analyseurs COD-NOD (2), spectrofluorimètre, automate biochimique, module autonome de colonisation, chambres benthiques (2) etc.....	1.5	← 4 →	
• <i>Soutien aux 5 opérations</i> (Antares, Ecomarge, Dyfamed , Eumeli, Frontal)	1.4	1.8	1.8
• <i>Action incitative "Processus" et ateliers techniques</i>	0	0.8	0.8
• <i>Fonctionnement du Programme Flux Océaniques</i>	0.04	0.15	0.15
Total.....	3 MF	← 20 MF →	