

## 1 - Le Système OPA

Le Système OPA est une plateforme de modélisation numérique de l'océan. L'océan a un rôle fondamental dans l'évolution du climat de la Terre et il intervient dans les bilans d'énergie et de transfert de masse avec des constantes de temps qui vont du mois à mille ans. Ce système modélise la circulation océanique et les glaces de mer ainsi que la biogéochimie et la biologie marines, composantes du modèle système Terre de l'IPSL. OPA comprend un jeu de codes sources (les composantes), des configurations standard et des outils mis à disposition des utilisateurs.

### 1.1 Les composantes

*La composante dynamique de l'océan* is a primitive equation model of both the regional and global ocean circulation. It is intended to be a flexible tool for studying ocean and its interactions with the others components of the earth climate system (atmosphere, sea-ice, biogeochemical tracers, ...) over a wide range of space and time scale. Prognostic variables are the three-dimensional velocity field and the thermohaline variables. The distribution of variables is a three dimensional Arakawa-C-type grid using prescribed  $z$ - or  $s$ -levels. Various physical choices are available to describe ocean physics, including a 1.5 turbulent closure for the vertical mixing. The ocean is a fluid which can be described to a good approximation by the primitive equations, i.e. the Navier-Stokes equations along with a non-linear equation of state which couples the two active tracers (temperature and salinity) to the fluid velocity, plus the following additional assumptions made from scale considerations : spherical earth approximation; thin-shell approximation ; turbulent closure hypothesis ; Boussinesq hypothesis ; hydrostatic hypothesis; incompressibility hypothesis.

The primitive equation are written using a tensorial formalism so that any orthogonal curvilinear coordinate system which preserves the local vertical can be used.

The basic idea of numerical methods consists in discretizing differential equations on a three dimensional grid and computing the time evolution of each variable for each gridpoint. Ocean models are usually written in finite difference form. Such a method provides a legible computer code, easy to update, and is able to deal with the complex boundary conditions formed by the coastline geometry and the bottom topography.

The OPA reference manual describes in detail the ocean physics as taken in account by the model (explicitly or using sub-grid parametrization) as well as boundary conditions (surface, bottom, lateral), numerical schemes and computer implementation.

*La composante biogéochimie marine* comprend le transport de traceurs, et plusieurs modèles de sources/puits biologiques : AGE, LOBSTER (+CO<sub>2</sub>) et PISCES. Elle comprend aussi le module offline. Il existe un manuel de référence.

*La composante glace de mer* inclut la thermodynamique et la dynamique de la glace de mer

### 1.2 Les configurations

Plusieurs configurations standard sont proposées (fichiers d'entrée et validation). Elles couvrent un gamme d'utilisations des différentes composantes :

- Dynamique de l'océan en mode forcé :
  - ORCA2 : océan global à 2° de résolution horizontale
  - EEL2 (EEL6) : canal zonal périodique à 2 (6) km de résolution horizontale
- Dynamique de l'océan et glace de mer en mode forcé :
  - ORCA2\_LIM
- Traceurs biogéochimiques en mode off-line :
  - ORCA2\_OFF\_TRC (traceurs age)
- Dynamique de l'océan et traceurs biogéochimiques en mode forcé :
  - EEL2\_LOBSTER1 (EEL6\_LOBSTER1)
- Dynamique de l'océan glace de mer et traceurs biogéochimiques en mode forcé :
  - ORCA2\_LIM\_TRC
- Dynamique de l'océan, glace de mer en mode couplé :
  - IPSLCM4

D'autres configurations ont été développées dans des projets (Méditerranée, CLIPPER, MERCATOR, etc...)

### 1.3 Les outils

- interpolation
- SAXO : visualisation et analyse des résultats sous IDL

## 2- Les utilisations, domaines d'applications

Le système OPA est utilisé dans de nombreux projets de recherche en France, en Europe et dans le monde, pour les scénarios IPCC (IPSL, Météo-France), par le projet MERCATOR d'océanographie opérationnelle. L'ensemble de ces projets est accessible sur le site web [www.lodyc.jussieu.fr/opa](http://www.lodyc.jussieu.fr/opa). En première approche, on peut identifier des thématiques.

*La dynamique de l'océan global (DRAKKAR)*

*La dynamique de l'océan régional (Méditerranée...)*

*Les interactions dynamique - biogéochimie (POMME)*

*La prévision, l'assimilation de données avec 3DVAR, 4DVAR ou SEEK (ENACT, MERCATOR)*

*Les interactions, couplages, cycles, la modélisation du système Terre (IPCC, couplages LMDZ, ARPEGE, Hadam, Echem)*

Dans la suite de ce document nous nous attacherons aux thématiques et projets contribuant au pôle d'expertise scientifique des laboratoires de l'IPSL.

Thématiques développées au sein de l'équipe DYCOS du LODYC :

- *la physique de la couche de mélange aux échelles diurne et intra-saisonnière et son rôle dans le système climatique, en particulier dans les rétroactions couplées océan-atmosphère-biogéochimie (Indien, Pacifique, Austral)*

- *les effets du couplage biogéochimie-dynamique sur la variabilité interannuelle tropicale couplée océan-atmosphère (Indien, Pacifique)*

- *l'impact de la variabilité océanique intra saisonnière à interannuelle sur la biogéochimie (Indien, Pacifique, Atlantique, Méditerranée)*

- *l'impact de la dynamique de sub-méso et méso échelles sur la biogéochimie et l'environnement des écosystèmes (Atlantique, méditerranée, Indien)*

Ces thématiques se déclinent dans les ateliers suivants

**Atelier Pacifique** : *Impact de la variabilité océanique sur la biogéochimie*

O. Aumont, Y. Dandonneau, T. Gorgues, C. Menkes, J. Vialard, G. Madec, V. Echevin, I. Puillat, X. MERSEA, K. Rodgers, C. Deltel.

Collaborations : COPAS (Chili), IMARPE (Pérou), IRD/IDYLE, LEGOS, CERFACS, ECMWF (Angleterre), LSCE, SOC (Angleterre), SOEST (Hawaii).

L'océan Pacifique est le siège d'une forte variabilité interannuelle : les événements ENSO. Ces événements ont suscité de nombreuses études aussi bien à partir d'observations que de modèles qui en font un bassin bien documenté. Néanmoins, au delà d'ENSO stricto sensu, ces études ont mis en évidence des phénomènes dynamiques d'échelles différentes aussi bien spatiales que temporelles, dont les effets sur la biogéochimie marine restent à caractériser.

**Atelier Atlantique** : *Impact de la dynamique de (sub) méso-échelle sur la biogéochimie*

M. Lévy, Y. Lehahn, O. Aumont, V. Echevin, C. Menkes, J. Vialard, G. Madec

Collaborations équipe PRODYAM (G. Reverdin, L. Merlivat, D. Bourras, J-C Gascard), P. Klein (LPO), A. Mahadevan (Boston University), E. Heifetz (Univ. Tel Aviv), L. Bopp (LSCE) M. Gavard (SHOM), L. Memery (LEMAR), communauté POMME.

L'importance des mécanismes méso échelle et sub-méso échelle sur les principaux flux biogéochimiques (production primaire, export) est essentiellement connue sur la base d'expériences numériques courtes, spécifiquement construites dans le but d'isoler (afin de les analyser) les processus. Ce projet a pour but d'étendre les résultats obtenus à des situations plus réalistes, ainsi qu'à de plus grandes échelles (régionales, bassin, cycle saisonnier).

### **Atelier Océan Austral : Dynamique et biogéochimie**

(O. Aumont, S. Cravatte, D. Iudicone, G. Madec)

Collaborations : action transversale LODYC “ Austral ”, R. Morrow (LEGOS), LEMAR, H. Goosse (UCL), DRAKKAR, MERCATOR

Projet BILBO (PNEDC) et FLOSTRAL (PATOM) – GDR Antarctique

Les régions sont très actives (formation et export de masses d'eau, activité biologique forte jouant un rôle majeur sur le cycle du carbone, circulation atmosphérique intense, cycle saisonnier de glace de mer très ample) et jouent un rôle capital dans l'équilibre, la variabilité et l'évolution du système climatique. À partir de la confrontation entre les différents jeux de données observées et issues des simulations forcées et couplées, nous étudierons la nature et les mécanismes associés à l'état moyen des régions australes et leur variabilité saisonnière à interannuelle.

### **Atelier Méditerranée: Dynamique, biogéochimie, écosystème**

J.-M. André, O. Aumont, C. Menkès, L. Mortier

Collaborations : Equipe PRODYAM, D. Ruiz-Pino, C. Guinet (CEB-Chizé), B. Mate (U-Oregon), Projet Fin-Whale ONR, IFREMER-Sète, CO-Marseille.

L'atelier se propose d'étudier d'une part le rôle de la dynamique (circulation, tourbillons) et des co-limitations spécifiques (nitrates/phosphates, structure du plancton) dans le contrôle de la production primaire et des flux associés (cf prospective PRODYAM) et d'autre part le rôle de la dynamique dans la structuration des champs environnementaux des prédateurs supérieurs afin de comprendre leurs relations à leur environnement.

- Méditerranée au LODYC (PRODYAM, Pascale Bouruet-Aubertot) (je n'ai pas les informations)
- régionalisation Méditerranée (Pascale Bouruet-Aubertot, L. Li) (je n'ai pas les informations)
- projets LSCE, CARBOCEAN... (je n'ai pas les informations)
- runs IPCC : voir la fiche du groupe CPLIPSL

## **3 - Les personnes impliquées**

Le système OPA est utilisé dans un nombre conséquent de projets et pour une certaine diversité d'applications recherche et opérationnel (cf [www.lodyc.jussieu.fr/opa](http://www.lodyc.jussieu.fr/opa) environ 70 projets, 140 inscrits sur la liste des utilisateurs). C'est dans ce contexte que le système est labellisé « outil national à l'INSU depuis janvier 2003, et qu'une équipe Système OPA a été mise en place avec l'objectif de coordonner et de contribuer au développement pérenne du système. Dans leur grande majorité, les projets utilisent le système tel qu'il est. Une dizaine de projets seulement contribuent au développement du système avec l'équipe Système OPA (2.6 hommes-an en 2004).

Le potentiel développement pérenne du système s'appuie donc sur l'équipe système OPA et sur les contributions de certains projets :

#### *Equipe Système OPA :*

Rachid Benshila	100%	(à compter du 1 <sup>er</sup> déc. 2004)
Marie-Alice Foujols	10%	
Claire Lévy	50%	
Gurvan Madec	10%	
Claude Talandier	100%	

*Contributions au développement* (les pourcentages seront à revoir, affiner, ils sont évolutifs dans le temps, contrairement à ESOPA) :

Olivier Aumont	5	Dynamique et biogéochimie	LODYC-IPSL
Patricia Cadule	10	Modèle système Terre de l'IPSL	IPSL
Arnaud Caubel	10	PRISM	LSCE-IPSL
Edmée Durand	5	Equipe modèle	MERCATOR

Marina Lévy	5	Impact de la dynamique de (sub) méso-échelle sur la biogéochimie	LODYC-IPSL
Bruno Luong	10	ENACT	LEGI
Jean-Marc Molines	10	DRAKKAR	CERFACS
Anne-Marie-Tréguier	5	DRAKKAR	LPO
Anthony Weaver	10	ENACT	LODYC
XX	nn	IR calcul scientifique Développement des outils de modélisation	LODYC

Le système comprend une version de référence et une version de développement. Accès sous licence CECILL (adaptation française de la LGPL).

#### 4 - Developpements en cours et prochains enjeux

La version de référence (OPA8.2) est actuellement stable pour l'ensemble des utilisateurs. En 2004 on y ajoutera la mise à jour de l'adjoint et du linéaire tangent pour la dynamique océanique, la mise à jour de la composante biogéochimie (en phase avec la configuration couplée IPSL incluant le cycle du carbone) et les interfaces standardisées PRISM du couplage océan/atmosphère. Cette version sera la « version finale », maintenue pendant 3 ans. Les évolutions se limiteront en principe à des corrections de bug.

Version de développement : OPA9 actuellement à disposition des développeurs seuls. Sera mise à disposition des utilisateurs au cours du 2<sup>ème</sup> semestre 2004 lorsqu'une première documentation sera disponible et lorsqu'un certain nombre de développements et de configurations auront été validés.

##### Les chantiers et enjeux scientifiques à venir :

###### *Dynamique de l'océan, couplages en surface*

Les enjeux de la plus haute résolution (horizontale et verticale) : des nouvelles paramétrisations physiques et biologiques, des outils pour changer de résolution plus facilement sur une grille globale, pour faire des zooms.

###### *Couplages : le cycle du carbone*

Le cycle du carbone est en cours d'implémentation dans le modèle Système Terre de l'IPSL (configuration xx). Cette nouvelle étape induira probalement des développements pérennes dans les composantes du Système OPA (cycle diurne, etc...). Actuellement en cours dans la référence (OPA8.2). Enjeux et calendrier du passage à OPA9 à discuter à Trouville.

###### *Prévision océanique et saisonnière*

Les projets d'océanographie opérationnelle se précisent (MERSEA), les techniques d'assimilation sont en cours de validation et en évolution rapide. Le développement pérenne du système pour ces applications demandera un effort pour intégrer les développements et définir des interfaces cohérentes.

###### *Océanographie côtière*

Les projets de modélisation côtière avec OPA se développent (Hadley Center en particulier, mais aussi plusieurs projets de recherche en France). En relation avec ces projets, il est prévu d'intégrer les interfaces AGRIF (Adaptive Grid Refinement In Fortran, cf <http://www-lmc.imag.fr/IDOPT/AGRIF/>) dans la version de référence OPA9 (Laurent Debreu et ?? LMC-IMAG)

###### *Et toujours le « chantier permanent » PEPO (PErformances et POrtabilité)*

La diversité des applications et des machines disponibles incite à une démarche active de participation aux bancs d'essais, d'expérimentation sur les nouvelles machines (Earth Simulator...) pour se donner de bons arguments sur quand et comment franchir les étapes de portabilité et d'optimisation.

#### 5 – Insertion (projets nationaux, européens, autres)

##### Simulations IPCC :

Le Système OPA est la composante océan des runs IPCC français (IPSL et Météo-France)

### **Océanographie opérationnelle :**

Le système OPA est le modèle direct utilisé par le projet MERCATOR d'océanographie opérationnelle. Il est choisi comme nouvelle plateforme par le Hadley center pour l'ensemble de ses projets utilisant une composante océanique (climat, côtier, prévision) et par ECMWF. Il s'inscrit en bonne place pour devenir la plateforme européenne de modélisation de l'océan en construction dans **MERSEA** (En cours d'élaboration MOU NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) pour consortium développement plateforme européenne de modélisation de l'océan. Partenaires envisagés : INSU, MERCATOR, Hadley Center, ECMWF...

### **Projet franco-allemand DRAKKAR :**

Drakkar est un projet européen de modélisation de la dynamique de l'Océan élaboré dans la continuité des projets Dynamo et Clipper par des chercheurs du Legi, Legos, LODYC, LPO et IFM Kiel, auxquels se sont joints l'Université d'Helsinki, Mercator et le SIO de Moscou. L'équipe « modélisation » de Mercator, partenaire de ce projet, contribue à la mise en place des configurations de haute résolution globale (Orca-025) et Atlantique nord de Drakkar. Cette collaboration s'inscrit dans le cadre d'échanges techniques et scientifiques. La motivation scientifique du projet est liée à l'étude de la variabilité (de la journée à la décennie) de la circulation océanique et des propriétés des masses d'eau, et leur impact sur le climat. L'intérêt central est focalisé sur les circulations dans l'Atlantique nord forcées par l'atmosphère, mais incluant leurs relations avec la circulation générale océanique (de l'Arctique à l'océan Austral). Pour atteindre ses objectifs, la stratégie choisie est le développement d'un ensemble de modèles imbriqués, de l'échelle globale au régional, à des résolutions suffisantes pour que les processus clés y soient correctement résolus. Ce projet s'inscrit dans l'effort général de développement d'un système intégré pour le suivi de l'océan incluant observations satellitaires, in situ, et modélisation/assimilation.

### **Projets PNEDC, PATOM, GMMC (je n'ai pas les informations)**

### **ENSEMBLES :**

(je n'ai pas les informations)

Enfin au sein de l'IPSL, le système OPA participe au Pôle de modélisation et – au titre de l'outil national - aux groupe « Services d'Observations et Outil Nationaux (SOON).

## **6 - Moyens humains supplémentaires ?**

Le développement pérenne du Système OPA s'inscrit dans le cadre de l'outil national (équipe ESOPA), des contributions des projets de recherche (et en particulier ceux en cours à l'IPSL au Pôle de modélisation et à côté), des SOON.

Les besoins en personnels de l'Equipe Système OPA prise isolément ont été évalués à 8 hommes-an. Le potentiel à ce jour (2.6 au 1<sup>er</sup> déc 2004) devrait pouvoir croître dans le cadre du Consortium NEMO (envisagé : contribution de 2 hommes-an par institution). A côté de cette croissance liée à la diversification des domaines d'application (océanographie opérationnelle, côtière etc...), il reste à construire plus solidement l'imbrication avec les équipes de recherche et en particulier celles du pôle de recherche des laboratoires de l'IPSL.

Dans les perspectives à court terme, on notera le désengagement partiel de Gurvan Madec qui prend les fonctions de Responsable de l'Equipe modèle MERCATOR à Toulouse, la candidature de S. Masson (actuellement au Japon) sur un poste CNAP dans l'équipe ESOPA  
Demandes prioritaires 2004 : 1 CNAP , 1 ingénieur valorisation (qui s'envisagerait bien dans le cadre du pôle de modélisation, et/ou des SOON rien de spécifique à OPA là).

Dans le cadre du projet MERSEA, un certain nombre de CDD développement... (je n'ai pas les informations)

Une construction plus élaborée avec les équipes de recherches doit commencer avec l'arrivée de l'ingénieur calcul scientifique au LODYC. Quid au LSCE (groupe d'ingénieurs CEA et ingénieurs sur projets) : (je n'ai pas les informations)

## **7- Des questions envisageables pour la réunion de Trouville :**

- Enjeux et calendrier du passage à OPA9
- Comment être plus efficace entre le pôle d'expertise scientifique existant à l'IPSL et le développement pérenne d'OPA (ingénieurs dans un projet scientifique donné et ingénieurs ESOPA, Pole de modélisation IPSL, CEA) ?