

Océan du Large et Variabilité Climatique (OLVAC)

Responsable d'équipe : Thierry Delcroix, DR1 IRD

Permanents : ALORY Gaël (Phys. Adj. CNAP), BOURLES Bernard ⁽²⁾ (DR IRD), CHUCHLA Rémy ^(1,2) (IE IRD), CRAVATTE Sophie (CR IRD), DURAND Fabien ⁽³⁾ (CR IRD), ELDIN Gérard ⁽¹⁾ (CR IRD), GANACHAUD Alexandre ⁽³⁾ (CR IRD), GOURDEAU Lionel (CR IRD), HALL Nick (Prof. UPS), KESTENARE Elodie ⁽¹⁾ (IR IRD), KOCH-LARROUY Ariane ⁽¹⁾ (CR IRD), MAES Christophe ⁽³⁾ (CR IRD), MARIN Frédéric (CR IRD), MORROW Rosemary (Phys. CNAP), RADENAC Marie-Hélène (CR IRD), TESTUT Laurent (Phys. Adj. CNAP),

⁽¹⁾ 50% ECOLA, ⁽²⁾ Cotonou, ⁽³⁾ Nouméa

Non permanents : LEGER Fabien (CDD INSU), POUVREAU Nicolas (post-doc CNES)

Thèses / Stages ≥ 2010 : GASPARIN Lionel (Allocataire de recherche), SINGH Awnesh (IRD), WADE Malik (IRD)

Contexte général. Les recherches de l'équipe OLVAC pour 2010-2013 viseront à améliorer la compréhension des mécanismes responsables de la variabilité des trois océans tropicaux, de l'océan Indien Sud et de l'océan Austral, dans une gamme d'échelles de 100 à 10.000 km, de l'intra saisonnier au décennal, en incluant la tendance climatique récente. Elles incluront des approches basées sur la collecte et l'analyse d'observations in situ et satellitaires, ainsi que sur des sorties de modèles numériques à l'échelle globale et régionale. Ces recherches continueront de s'insérer dans le cadre d'objectifs institutionnels (CNAP, IRD, UPS), de programmes nationaux (LEFE, IDAO et CYBER) et/ou internationaux (AMMA, CLIVAR, GOOS, GLOS). Elles s'appuieront fortement sur quatre Services d'Observations pilotés par l'équipe: le réseau de suivi de la salinité de surface dans l'océan global (ORE-SSS), le réseau de mouillages météo-océaniques dans l'Atlantique tropical (ORE PIRATA), le réseau d'observations in situ du niveau de la mer dans l'océan Indien Sud (ORE ROSAME) et le service dédié aux études d'altimétrie satellitaire (SO CTOH). (cf. fiches détaillées). L'implication des membres de l'équipe dans la formation sera maintenue, notamment via des activités d'enseignement à Toulouse (Master 1-2, etc.), la poursuite des activités de *capacity building* à Cotonou (Master 2), et l'encadrement de stages et thèses.

Auto-analyse 2005-2009. L'équipe OLVAC comprend 18 membres en septembre 2009 (14 en 2006) issus de trois organismes différents et complémentaires: CNAP, IRD et UPS. Elle s'est enrichie du passage de 13 non permanents en 2006-2009. Sa production scientifique annuelle n'a cessé de croître avec une moyenne annuelle de 2,1 publications/permanent/an sur l'ensemble de ses quatre chantiers géographiques (Atlantique, Austral, Indien, Pacifique). L'analyse des activités 2005-2009 fait également apparaître : a) une forte implication dans quatre Services d'Observations labellisés par l'INSU, b) l'organisation et/ou la participation de plus de 30 campagnes océanographiques au large, c) une participation notable dans des activités d'enseignement, en particulier la création d'un Master 2 International au Bénin, d) l'acquisition de compétences nouvelles dans l'utilisation de planeurs sous marin (Gliders), et e) l'implication dans de nombreuses tâches collectives, du laboratoire à l'international. La dispersion géographique de l'équipe sur trois pôles géographiques (Cotonou, Toulouse et Nouméa) a généré de fructueuses coopérations régionales. Des axes transverses intra-équipe

ont été créés. Quelques points restent handicapants et/ou perfectibles. La gestion de projets n'a cessé d'augmenter aux dépens des travaux de recherche. En dépit d'axes identifiés, il y a très peu de publications communes entre les membres des différents chantiers géographiques. Une réflexion est ainsi en cours quant à la pertinence de créer une équipe du type 'Océan Austral' regroupant des membres des équipes OLVAC et CRYO. Certains thèmes de la prospective 2005-2009 sont restés en suspens au profit de nouveaux projets plus novateurs. Le nombre de chercheurs sur les chantiers de l'océan Atlantique tropical et de l'océan Austral est insuffisant pour parvenir au rayonnement international souhaité.

Projets scientifiques 2010-2013

I. Chantier Pacifique tropical

I-1. Variabilité thermohaline du Pacifique tropical. ENSO. Programme Solwara / SPICE, INDOMIX

Cravatte S., T. Delcroix, F. Durand, G. Eldin, A. Ganachaud, L. Gourdeau, A. Koch-Larrouy, C. Maes, thèses (F. Gasparin, A. Singh, ...)

Collaborations : ECOLA, GEOMAR, LEGI, LOCEAN, SPICE international, NOAA, ESSIC/Univ. Maryland

Notre compréhension des mécanismes responsables de la nature quasi cyclique d'ENSO s'est fortement améliorée aux cours de la dernière décennie. Des études récentes ont cependant mis en évidence le caractère non canonique des événements El Niño post 1970, en particulier la diversité de ses caractéristiques majeures (amplitude, période, irrégularité, distribution des anomalies, etc...). Des mécanismes potentiellement responsables de cette diversité ont été proposés dans la littérature. Il n'existe cependant pas de consensus actuel quant au réalisme de ces mécanismes, notamment en raison de la difficulté des modèles couplés actuels à simuler de manière satisfaisante certaines de ces caractéristiques. La problématique scientifique majeure de l'équipe sur le chantier Pacifique sera donc : a) de caractériser la diversité des événements ENSO, à l'échelle régionale et à grande échelle, puis b) de comprendre quels sont in fine les mécanismes physiques responsables des changements observés.

La caractérisation de la diversité des événements ENSO à l'échelle du bassin se fera via l'analyse de séries longues issues de données in situ et satellitaires, ainsi que de sorties de modèles numériques validés. Plusieurs produits disponibles ont été identifiés. Il conviendra de définir des métriques d'ENSO en se basant sur une étude bibliographique complète. Cette caractérisation se fera également à l'échelle régionale pour le Pacifique tropical sud-ouest et la zone de convergence du Pacifique sud (SPCZ). Des mécanismes grande échelle seront proposés. L'étude des modifications d'ENSO sera également menée sur les projections climatiques de type IPCC, à la fois sur l'ensemble du bassin et à l'échelle régionale, dans la mesure où les sorties de ces modèles présentent une certaine homogénéité.

Parmi les causes responsables de la diversité d'ENSO, l'étude du rôle, très probable, de la circulation océanique du Pacifique tropical sud constituera l'axe majeur du chantier Pacifique pour ce quadriennal. Cette étude s'insère dans le cadre de la contribution française au programme international SPICE entériné par CLIVAR en 2008. La thématique scientifique sous jacente a été soutenue par LEFE/IDAO en 2007 (projet 2008-2010) et par l'ANR en 2009 (projet Solwara). Quatre volets majeurs ont été identifiés. Le premier volet de modélisation fournira une simulation haute résolution (1/12° de degré) de la Mer des Salomon. Dans un

second volet, les transports entrant et sortant de la Mer des Salomon et leurs variabilités seront mesurés à l'aide de sections répétitives de gliders (et de mouillages, à l'étude) installés dans les différents détroits. Le flux entrant en Mer de Corail sera aussi échantillonné de façon répétitive à l'aide de mesures XBT et de flotteurs Argo. Un troisième volet visera à cartographier la circulation intérieure de la Mer des Salomon et à quantifier les transformations hydrologiques et géochimiques des masses d'eaux y transitant. Cela se fera en collaboration avec l'équipe GEOMAR lors d'une campagne océanographique, PANDORA, où des mesures physiques et géochimiques sont prévues. Enfin, dans un quatrième volet, l'analyse des données collectées combinée à l'analyse de la simulation numérique avec lanceurs de particules lagrangiennes fictives (ARIANE) permettra de conclure quant au rôle climatique et géochimique de la Mer des Salomon sur l'alimentation des eaux du sous-courant équatorial.

Nous analyserons également le rôle des processus hautes fréquences et petites échelles quant à leur signature sur les caractéristiques et/ou modifications d'ENSO. L'accent sera mis notamment sur les processus de mélange verticaux induits par la marée interne et les cyclones susceptibles de modifier la stratification de surface et de la thermocline, qui en retour affecte l'état moyen du système couplé et sa variabilité. Cette hypothèse a été en partie confirmée par des résultats récents de modélisation montrant une sensibilité des grands signaux climatiques tropicaux (ENSO et le dipôle indien) au mélange induit par la marée dans les régions des détroits Indonésiens. Le projet INDOMIX, pour mieux comprendre ce mélange, est soutenu par LEFE/IDAO en 2009-2010, ainsi que la campagne en mer associée en mer des Salomon, siège d'une forte signature en onde internes de marée. De même, le Pacifique Sud Ouest et Nord Ouest voient une forte activité cyclonique. Ces différents processus petites échelles ne sont pas représentés dans les modèles climatiques actuels, bien que plusieurs études récentes suggèrent qu'ils puissent notablement modifier l'état de l'océan et/ou sa réponse au réchauffement climatique. Des paramétrisations prenant en compte leurs effets seront mises en place et testées dans des modèles climatiques utilisés pour les simulations IPCC.

Nous poursuivrons nos études sur la variabilité de la salinité de surface et le rôle de la couche barrière de sel sur les caractéristiques hydrologiques de la couche de surface du Pacifique tropical et sur la dynamique d'ENSO. Nous ferons une étude comparée de ces couches sur les trois zones d'eaux chaudes du Pacifique tropical (warm pool à l'Ouest et à l'Est, SPCZ). Nous tenterons de préciser le caractère nécessaire et/ou suffisant de la présence de ces couches barrières vis-à-vis de la genèse et du déroulement d'ENSO, en particulier via des tests de sensibilité dans plusieurs modèles couplés à identifier. Les études relatives aux tendances en salinité de surface seront poursuivies, dans le contexte du réchauffement global, grâce aux données de l'ORE-SSS et dans le cadre de propositions acceptées SMOS/ESA et Aquarius/NASA.

Nous tenterons, par ailleurs, de préciser les téléconnexions récemment mises en évidence entre les variabilités climatiques observées dans les océans tropicaux Atlantique et Indien (IOD), et en quoi ces variabilités sont la cause ou la conséquence des anomalies de type ENSO.

I-2. Variabilité biogéochimique du Pacifique tropical : interactions avec la dynamique physique

Radenac M.H., G. Eldin, G. Cambon, F. Léger

Collaborations : ECOLA, CTOH, LOCEAN

Nous poursuivrons l'étude des mécanismes responsables des variations de biomasse phytoplanctonique dans le Pacifique tropical ouest de l'échelle intra-saisonnière à l'échelle interannuelle. Nous estimerons les contributions respectives des processus verticaux et horizontaux sur l'augmentation de chlorophylle associée aux coups de vent d'ouest dans la warm pool et nous analyserons les caractéristiques et la variabilité de l'upwelling au nord de la Nouvelle Guinée. Ces études conduiront à évaluer l'impact des séries de coups de vent d'ouest sur l'augmentation de la chlorophylle observée pendant El Niño dans la warm pool. Nous combinerons les analyses de données satellite et in situ, ainsi que des simulations numériques régionales (ROMS) pour répondre à ces questions.

II. Chantier Atlantique tropical

Bourlès, B., T. Delcroix, E. Kestenare, N. Hall, F. Marin, Y. du Penhoat, thèses

Collaborations : ECOLA, CNRM, LPO, CIPMA, AMMA, TACE/CLIVAR, PIRATA

Les études océanographiques dans le Golfe de Guinée menées ces dernières années dans le cadre des programmes PIRATA, TACE/CLIVAR, AMMA/EGEE et PROP AO seront poursuivies afin de parfaire notre compréhension des mécanismes responsables des conditions de surface de l'océan Atlantique tropical, en relation avec la variabilité climatique. Quatre thèmes de recherche prioritaires seront abordés :

- l'étude observationnelle et numérique des processus de couche de mélange dans le Golfe de Guinée, en particulier les impacts respectifs de la circulation océanique des couches supérieures de l'océan, de la variabilité intra-saisonnière (due au vent et aux instabilités océaniques), et de la salinité sur les conditions de surface. Un effort particulier sera porté sur la description et la compréhension des systèmes d'upwelling côtier au nord du Golfe de Guinée et de leur variabilité temporelle, via une participation active au développement d'une recherche régionale et au maintien d'un réseau de mesures côtières.
- l'étude de la variabilité à long terme de la salinité de surface en Atlantique tropical, à partir des données de thermosalinographes acquises sur les navires marchands dans le cadre du réseau d'observations ORE-SSS, et du lien avec les modifications du cycle hydrologique dans le cadre du réchauffement global.
- l'étude des mécanismes de variabilité interannuelle en Atlantique tropical, à l'aide de modèles océaniques simplifiés de la circulation tropicale forcés par les variations interannuelles du vent.
- l'étude des mécanismes couplés océan-atmosphère en Atlantique tropical à l'aide de modèles atmosphériques de complexité variable, leur impact sur l'état moyen et la variabilité temporelle des couches supérieures de l'Atlantique tropical et leur interaction avec la mousson africaine, les moyennes latitudes et les autres océans tropicaux.

En parallèle à ces activités de recherche, le Master 2 d'« Océanographie Physique et Applications » de Cotonou, mis en place lors du dernier quadriennal, sera consolidé, avec renforcement des collaborations avec les universités d'Afrique de l'Ouest (Lagos, Abidjan, Accra, Dakar), le LPO-Brest et l'Université de Cape Town.

III. Chantier Océan Austral, Indien sud

Les études océanographiques menées ces dernières années dans l'océan Austral dans le cadre du S.O. ROSAME et des projets FLOSTRAL et SURVOSTRAL seront poursuivies dans les prochaines années. L'objectif est de mieux comprendre le rôle des processus à haute

fréquence et à méso-échelle dans la circulation du courant circumpolaire, dans le transport et le mélange des traceurs, et dans les échanges entre la couche superficielle et l'océan intérieur, en relation avec la variabilité climatique. Deux thèmes de recherche prioritaires seront abordés :

III-1. La zone des Kerguelen

Morrow R., Testut L.

Collaborations: ECOLOA, GEOMAR

Dans cette zone nous allons porter notre attention sur le rôle des tourbillons dans la dynamique de la couche de mélange, et dans le mélange des masses d'eaux après subduction. Nous regarderons aussi le rôle des tourbillons à méso-échelle et sub-méso-échelle et de la marée dans les échanges océaniques verticaux et dans le mélange horizontal. Ces études s'appuient d'abord sur une analyse des observations spatiales (altimétrie, SST, couleur de la mer) et in-situ (ARGO, ROSAME). Un deuxième volet concerne un modèle régional barotrope haute résolution (TUGO) qui a été mis en place dans la région sud indien. Il est prévu de faire une simulation longue sur la période des données altimétriques (1992-maintenant) dans le but d'obtenir les meilleures corrections possibles pour la marée et la réponse de l'océan aux forçages de la pression atmosphérique et du vent. Outre l'utilisation de ces sorties de modèle comme corrections à l'altimétrie, nous pourrions étudier en détail la dynamique haute fréquence de l'océan dans cette région. Des outils complémentaires seront à notre disposition tels que les modèles (DRAKKAR, ROMS, TUGO), les observations in-situ et satellitales ainsi que les campagnes en mer (KEOPS 2). A noter qu'il est prévu de faire de Kerguelen un site de calibration altimétrique régional (projet OST/ST de P. Bonnefond.)

III-2. La terre Adélie

Morrow R., Testut L.

Collaborations: ECOLOA, CRYO

Au large de la Terre Adélie nous focaliserons notre attention sur les mécanismes de formation d'eau de fond (ALBW) et la stabilité verticale dans la région du Polynya de Mertz. Nous regarderons aussi l'interaction entre la circulation océanique et la langue glaciaire de Mertz. Pour mener à bien ces études il est prévu de mettre en place, comme pour Kerguelen, un modèle barotrope haute résolution (TUGO) dans la région. Nous bénéficierons aussi des observations in-situ, spatiales et des résultats de campagnes en mer (SURVOSTRAL, NIVMER, CRAC-ICE, ALBION,...)

Un volet important du chantier Austral concernera aussi la recherche de données historiques de niveau de la mer (marégraphiques ou ancienne marque de niveau moyen) dans la zone et la construction de nouvelles estimations des tendances à long terme du niveau de la mer. Ce projet s'insère dans le cadre d'une demande OST/ST.

IV. Chantier Océan Indien tropical

G. Alory, F. Durand, thèses

Collaborations : LOCEAN, LOS, CSIRO, NIO

L'Océan Indien tropical se caractérise par un fort contraste géographique entre les eaux très salées de la Mer d'Arabie et celles relativement peu salées du Golfe du Bengale. Sa variabilité temporelle est influencée par la mousson à l'échelle saisonnière et des phénomènes tels que le Dipôle de l'Océan Indien (IOD) et ENSO à l'échelle interannuelle. Les mécanismes régissant les variations de salinité dans cette région ont cependant été relativement peu étudiés, de même que leur lien avec les variations de température. Nous nous proposons d'explorer ces mécanismes à différentes échelles de temps et dans quelques régions-clés déjà identifiées.

Le Golfe du Bengale est une zone très stratifiée en sel du fait des apports fluviaux et des fortes précipitations. Les données ARGO révèlent une forte variabilité intra-saisonnière en SSS. Nous projetons d'utiliser un modèle océanique régional à haute résolution verticale pour simuler cette variabilité dans la couche de surface, et mettre en évidence son impact sur la SST, variable-clé pour les interactions océan - atmosphère très fortes dans cette zone (mousson, cyclones).

La densité croissante des profils ARGO et la qualité actuelle des produits satellite (courants de surface et flux d'eau douce) devraient nous permettre de réaliser un bilan de sel dans la couche de mélange à l'échelle saisonnière, sur la période récente et sur l'ensemble du bassin Indien tropical, à partir d'observations uniquement. Cette étude permettra d'identifier localement les mécanismes responsables des variations de salinité observées. Les données ARGO seront complétées par les données de thermosalinographes le long des rails de l'ORE-SSS, qui permettront de documenter les variations interannuelles (notamment celles du front de salinité au sud-est de la Mer d'Arabie) et de relier celles-ci aux signaux climatiques grande échelle (IOD, ENSO).

L'Océan Indien tropical est le bassin océanique où le réchauffement observé en surface au cours des dernières décennies est le plus fort. Des changements dans le régime de la mousson indienne ont également été observés. La SSS, signature du cycle de l'eau à l'interface océan-atmosphère, est donc susceptible de montrer des tendances à long terme liées au changement climatique actuel. Ces tendances seront quantifiées dans les observations de l'ORE-SSS. Les modèles climatiques du GIEC, après validation, seront utilisés comme outils pour rechercher les mécanismes associés aux tendances observées, notamment par des bilans de sel ou de chaleur. Ces mêmes modèles seront utilisés pour relier les changements océaniques aux changements dans le régime de mousson (intensité, régularité).