

N° d'ordre : 126
Année : 2007

UNIVERSITE PAUL SABATIER, TOULOUSE
HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

Préparée au

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiale
LEGOS, UMR 5566 (CNES, CNRS, IRD, UPS)

**De la variabilité de la salinité de surface dans le
Pacifique tropical : observation et analyse**

THIERRY DELCROIX

Directeur de Recherche (DR) à l'IRD

Thierry.Delcroix@ird.fr

Soutenue le 24 janvier 2007 devant le jury composé de:

M ^r Thierry Corrège	Prof. Univ. Bordeaux	Examineur
M ^r Serge Chauzy	Prof. Univ. Toulouse	Président
M ^{me} Pascale Delecluse	DR CNRS Paris	Rapporteur
M ^r Yves duPenhoat	DR IRD Toulouse	Examineur
M ^r Gilles Reverdin	DR CNRS Paris	Rapporteur
M ^r Pierre Brasseur	DR CNRS Grenoble	Rapporteur
M ^r Jacques Verron	DR CNRS Grenoble	Examineur

(Version corrigée, 11 mai 2007)

Remerciements

Les personnes suivantes ont contribué à des degrés très divers à la collecte, la validation, l'analyse des données de salinité de surface présentées dans ce mémoire, à la genèse ou la bonne marche de l'ORE-SSS et/ou à l'essor de ce que je crois être mes qualités de chercheur IRD:

Ando K., P. Arkin, B. Buisson, T. Corrège, S. Cravatte, Y. Dandonneau, P. Desfontaines, A. Dessier, A. Dimatéo, D. Diverrès, **J.R. Donguy**, Y. duPenhoat, F. Durand, G. Eldin, L. Foucher, F. Gallois, R. Gérard, L. Gourdeau, Y. Gouriou, J. Grelet, **C. Hénin**, J.M. Ihily, M. Ioualalen, S. Jacquin, A. Juillet-Leclerc, B. Keeley, W. Kessler, H. Kilbourne, G. Lagerloef, N. Lebec, A. LeCorvaisier, C. Maes, J. Marchand, L. Marec, F. Masia, P. Mazoyer, M. McPhaden, J. Merle, Y. Montel, R. Murtuggude, J.Y. Panché, C. Peignon, L. Petit de la Villéon, **J. Picaut**, M. Privé, G. Reverdin, D. Roemmich, F. Roubaud, P. Rual, M. Sicard, A. Sournia, P. Téchiné, J. Toole, D. Varillon, J. Verron, P. Waigna, S. Waigna et H. Wallico.

C'est grâce au petit coup de pouce convaincant de P. Monfray et C. Jeandel, respectivement Directeur et co-Directrice du LEGOS en 2006, que j'ai finalement décidé d'écrire cette Habilitation à Diriger des Recherches.

Je remercie très chaleureusement les membres du jury dans leur ensemble pour avoir accepté de juger « mon » travail de manière constructive.

Gardons nous de faire de l'océanographie sans explorer la mer.

J. Rouch (1948)

PLAN

PARTIE A: TEXTE DE SYNTHÈSE

I. Introduction	4
II. Observations in situ de la salinité de surface	7
III. Variations à petites échelles spatio/temporelles	12
IV. Variations saisonnières	16
V. Variations interannuelles, ENSO	18
VI. Variations décennales	24
VII. Tendances à long terme	28
VIII. Conclusions et perspectives	31
Références	36

PARTIE B: LISTE DE TRAVAUX ET PUBLICATIONS

Annexe A : Synopsis	45
Annexe B : Articles dans des revues à comité de lecture	47
Annexe C : Contributions orales ou affichées à des congrès	50
Annexe D : Contribution à des ouvrages collectifs	61
Annexe E : Textes de vulgarisation ou de valorisation	62
Annexe F : Mémoires ayant permis de soutenir des diplômes	67
Annexe G : Rapports de fin de contrat	68
Annexe H : Liste des programmes de coopération	69
Annexe I : Liste des mémoires et diplômes de 3 ^{ème} cycle dirigés	72
Annexe J : Participation à des jurys de thèse et HDR	74

I. Introduction

Je devais avoir 4 ans. Je découvrais la mer, la mer du nord, ses eaux froides, ses eaux grises, ses marées, ses vagues incessantes, son odeur et ... son goût. La mer était salée. Il fallait qu'on m'explique. Les Grands m'ont expliqué, chacun à sa manière, pour bien me faire comprendre le pourquoi du comment. Je m'en souviens très bien, la bonne explication, celle que j'ai retenue, celle du moulin à sel. Le moulin qui repose au fond de l'océan, et n'a cessé de moudre depuis la nuit des temps (Christiansen et Liestol, 1931). L'enfance a disparu et les doutes sont venus. Le conte s'est effacé, la Science a pris place...

Mais pourquoi donc la mer est-elle salée ? L'eau se présente essentiellement sous forme liquide, gazeuse et solide. À l'état liquide, elle est capable de dissoudre les roches et les sédiments, d'incorporer les poussières volcaniques et les rejets des sources thermales. Elle se charge alors en sels minéraux. En changeant de phase, en passant de l'état liquide à l'état gazeux ou solide, l'eau ne peut plus contenir de sels minéraux : elle les rejette, sans ménagement. Le « lessivage » des roches, l'évaporation et la formation des glaces ont donc tous ensemble contribué depuis des millions d'années à saliniser nos océans. La quantité de sel contenu dans l'océan s'est cependant stabilisée aux cours du temps en raison des apports continus d'eau douce issue des rivières, des précipitations, de la fonte des glaces et des précipitations de minéraux. Une question d'équilibre.

Nous savons maintenant que la distribution spatiale de la salinité de surface des océans est différente de celle, beaucoup plus connue, de la température de surface. Dans l'Océan Global, la salinité de surface moyenne varie approximativement entre 32 et 37. Elle peut cependant atteindre des valeurs beaucoup plus faibles (< 32) au voisinage de l'embouchure des grands fleuves ou beaucoup plus fortes (> 37) par exemple en Mer d'Arabie (Figure 1).

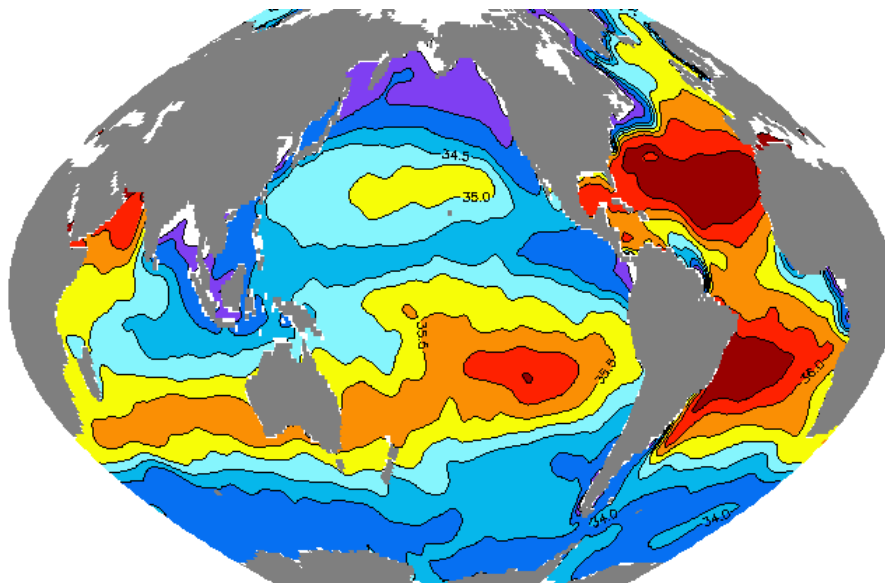


Figure 1. Distribution moyenne de la salinité de surface dans l'océan (unité PSS-1978).

Conscients que l'océan est salé, pour des raisons physiques, nous restons cependant très peu nombreux à réaliser que de petites variations de salinité peuvent avoir des conséquences importantes ou témoigner de modifications substantielles de la circulation océanique et du cycle de l'eau. Pour nous en convaincre, prenons deux cas d'écoles ordinaires pour des mers chaudes à 26-28°C. À densité égale, une baisse de -0,5 en salinité de surface est équivalente à une augmentation de +1°C en température de surface. Toute chose égale par ailleurs, une baisse de salinité de surface de -0.2 en un an traduit une augmentation de +20% des

précipitations dans les régions où il pleut environ 1 m/an¹. C'est, nous le savons, la température et la salinité qui déterminent la densité de l'océan et donc sa flottabilité, sa stratification verticale, la formation et les mouvements des masses d'eau. C'est, nous le savons également, l'océan qui reçoit environ 80% des précipitations de la planète. Il est donc essentiel d'observer et d'analyser la variabilité de la salinité de surface pour améliorer notre compréhension de la circulation océanique, du cycle de l'eau, de la variabilité du climat.

Ce sont les premiers grands navigateurs qui ont découvert la variabilité spatiale de la salinité de surface. Entre 600 et 300 ans avant JC, les Polynésiens utilisaient déjà de manière qualitative les changements de salinité, de température et d'odeur des océans lors de leur exploration du Pacifique sud. Plus récemment, dans les années 1870, les scientifiques du Challenger ont mesuré de manière quantitative la salinité (et la température) dans plusieurs régions de l'Océan Global. La salinité fut ensuite mesurée lors de plusieurs grandes expéditions² nationales dont celles de la Gazelle, du Fram, du Meteor, du Discovery, de l'Atlantis, et de bien d'autres encore (cf. Wust, 1964). Il n'était pas possible, à l'époque, d'appréhender la variabilité temporelle de la salinité de surface. Il aurait fallu pour cela faire des sections répétitives. Outre quelques très rares travaux de pionniers (Smed, 1943), ce n'est vraiment qu'au début des années 1950 que le nombre d'observations de salinité a augmenté, au moins sur l'Atlantique Nord, nous permettant ainsi de commencer à estimer sa variabilité temporelle (cf. Reverdin et al., 1994, 1997).

Dans le Pacifique tropical, avant les années 1990, la plupart des études réalisées sur la salinité de surface s'appuyaient sur des mesures obtenues lors de campagnes océanographiques, sporadiques par essence, ou sur des mesures répétitives à partir de bateaux marchands (Neumann, 1969 ; Hires et Montgomery, 1972 ; Donguy et Hénin, 1976 ; Saur, 1980 ; Levitus, 1982, 1986). Sur les bateaux marchands, les officiers du bord étaient mis à contribution pour prélever des échantillons d'eau de mer tous les 100 à 200 km à l'aide de seaux météorologiques. Les échantillons étaient stockés à bord dans des flacons, en général appropriés, avant d'être analysés au laboratoire quelques semaines à quelques mois plus tard. À partir du début des années 1990, les mesures aux seaux furent progressivement remplacées par des mesures basées sur des thermosalinographes (TSG). Cette nouvelle technique a permis une automatisation des mesures avec intervention minimale des officiers (Hénin et Grelet, 1996), l'amélioration de la résolution spatiale le long des lignes de navigation et l'obtention de mesures en temps quasi-réel (cf. chapitre 2). Au début des années 1980, des TSG ont aussi été installés près de la surface sur les mouillages TAO³ (McPhaden et al., 1990). Ces installations ont renforcé l'échantillonnage de la bande équatoriale avec, en particulier, l'obtention de séries temporelles sur des points fixes venant utilement compléter les mesures le long des lignes de bateaux marchands. Durant l'expérience TOGA-COARE (WCRP, 1998) dans le Pacifique équatorial ouest, des TSG furent aussi installés sur des bouées dérivantes (Niiler et al., 19xx), une approche lagrangienne qui semble connaître un regain d'intérêt (Reverdin et al., 2006).

Des mesures de salinité ont également été obtenues en sub-surface. Celles-ci furent réalisées à partir de bouteilles à renversement (bouteilles Nansen), de sondes STD et CTD⁴ ou d'XCTD⁵. Ce type de mesures a presque toujours été réalisé dans le cadre d'études de processus sur des régions particulières (e.g., Hisard et al., 1970 ; Delcroix et Eldin, 1995 ; Sprintall and Roemmich, 1999). La fin des années 1990 a vu la naissance du programme

¹ J'ai ici considéré un équilibre du type $S_t = -(S/h) P$ avec une couche de mélange $h=35$ m.

² On ne parlait pas alors de campagnes en mer, il s'agissait effectivement d'expéditions !

³ Tropical Atmosphere Ocean project : <http://www.pmel.noaa.gov/tao/>

⁴ STD / CTD : Salinity (Conductivity) Temperature Depth

⁵ XCTD = eXpendable Conductivity Temperature Depth

Argo⁶ qui, à terme dans quelques années, permettra de monitorer l'océan global. Ce programme se base sur des bouées dérivantes réalisant des profils de température et de salinité sur la couche 0-2000 m, tous les 10 jours avec une résolution spatiale moyenne de l'ordre de 3° de longitude sur 3° de latitude et une transmission en temps quasi réel des mesures par ARGOS (Roemmich, 1990). Plus récemment, des véhicules quasi autonomes du nom de Glider⁷ ont été mis au point dans différents laboratoires américains. Ces Gliders permettent en principe de réaliser des profils de température et salinité sur une route maritime prédéterminée.

À l'échelle du Pacifique, le monitoring de la salinité de surface fait aujourd'hui parti du système d'observations permettant le suivi, la compréhension et l'amélioration de la prévision du phénomène ENSO (McPhaden et al, 1998). À l'échelle de la planète, ce monitoring est un des éléments du système global d'observation de l'océan (OCEANOBS99 ; GOOS, 19xx) soutenu par le programme international CLIVAR (WCRP, 1998). Compte tenu de la pertinence des mesures de salinité de surface pour la compréhension et la prévision de la variabilité du climat et du cycle de l'eau, des programmes satellitaires ambitieux ont récemment vu le jour en Europe (SMOS⁸ ; Kerr et al., 2001) et aux Amériques (Aquarius⁹ ; Koblinski et al., 2003). À terme, ces programmes permettront pour la première fois d'estimer la salinité de surface depuis l'espace sur la quasi-totalité des océans. Comme pour toutes mesures terrestres obtenues depuis l'espace, seules des observations in situ de qualité, collectées si possible dans des zones clefs, permettront d'étalonner et de quantifier la qualité des estimations de salinité de surface déduites des futures mesures SMOS et Aquarius.

L'analyse des observations in situ de salinité de surface a permis des avancées scientifiques importantes dans plusieurs directions complémentaires. Sans être exhaustif, j'en rappelle ci-dessous les principales. Certaines seront revues dans la suite de ce mémoire. De manière générale, dans les tropiques, ces observations se sont avérées particulièrement utiles pour décrire et parfois comprendre la variabilité océanique dans le Pacifique (Delcroix et Hénin, 1991), l'Atlantique (Dessier et Donguy, 1994) et l'Indien (Donguy et Meyers, 1996). Dans le Pacifique tropical, elles ont permis, en particulier :

- d'améliorer les estimations de profils verticaux de salinité à partir de relation TS moyenne (Donguy et Eldin, 1985; Kessler et Taft, 1987),
- de quantifier le rôle de la salinité sur la variabilité des anomalies de hauteur dynamique, du niveau de la mer et des courants géostrophiques (Delcroix et al., 1987 ; Maes, 1998 ; Ueki et al., 2002),
- de tester des hypothèses physiques quant au rôle des variations spatio-temporelles du bord est de la warm pool¹⁰ vis-à-vis d'ENSO¹¹ (Picaut et al., 1996 ; Delcroix et Picaut, 1998 ; Delcroix et McPhaden, 2002),
- d'estimer l'aptitude des modèles numériques (et/ou des forçages) à simuler la variabilité haline dans la warm pool et ainsi à mieux comprendre l'importance régionale de la couche barrière (Maes, 1998 ; Vialard et Delecluse, 1998 ; Vialard et al., 2002),
- d'améliorer la prévisibilité statistique d'ENSO (Ballabrera et al., 2002),

⁶ Argo : cf. <http://wo.jcommops.org/cgi-bin/WebObjects/Argo.woa/wa/maps>

⁷ Glider : cf. (<http://www.apl.washington.edu/projects/seaglider/summary.html>)

⁸ SMOS : <http://www.esa.int/esaLP/LPsmos.html>

⁹ Aquarius : <http://aquarius.gsfc.nasa.gov/>

¹⁰ Warm pool : La warm pool sera défini comme la région du Pacifique ouest où la SST > 28°C.

¹¹ ENSO : El Niño Southern Oscillation

- d'identifier l'influence de la variabilité haline sur la qualité des prévisions d'ENSO effectuées à partir de modèles assimilant des mesures altimétriques et des profils de température (Ji et al., 2000),
- de parfaire le réalisme des simulations de la couche de mélange par assimilation de données (Durand et al., 2002),
- d'étalonner des mesures de paléo salinité et ainsi d'élargir le spectre temporel de nos connaissances de la variabilité du climat (Lebec et al., 2000 ; Juillet-Leclerc et al., 2006 ; Corrége, 2006),
- d'estimer le flux de CO₂ à l'interface air-mer dans la région de l'upwelling équatorial (Loukos et al., 2000),
- de mettre en évidence le lien étroit entre les déplacements du front de sel situé sur le bord est de la warm pool et les déplacements des bancs de thons (Lehodey et al., 1997).

Le but de ce mémoire, présenté pour obtenir une Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), est de tenter de démontrer, d'une part, en quoi mon propre travail a permis de parfaire l'observation in situ de la salinité de surface et, d'autre part, en quoi il a permis d'améliorer la compréhension du rôle climatique de la salinité dans le Pacifique tropical. J'ai structuré ce mémoire de la manière suivante. Je rappellerai (chapitre 2) ce qui m'a amené à prendre la responsabilité de l'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE¹²) dédié à la salinité de surface. Je tenterai par la suite de synthétiser mon apport à la connaissance de la variabilité de la salinité de surface à différentes échelles, de la petite échelle spatio-temporelle (chapitre 3), à l'échelle saisonnière (chapitre 4), interannuelle (chapitre 5), décennale (chapitre 6) et sur les tendances à « long » terme (chapitre 7). Je terminerai ce mémoire par une conclusion, une discussion et présentation de quelques perspectives (chapitre 8). J'insisterai, car là est l'exercice demandé, sur ma propre contribution. Le lecteur devra donc garder à l'esprit que ma contribution s'insère dans un ensemble de connaissances acquises par d'autres qui seront arbitrairement peu mises en avant. Je m'en excuse auprès d'eux.

2. Observations in situ de la salinité de surface

J'ai rappelé au chapitre introductif ci-dessus les différentes techniques permettant d'obtenir des mesures de SSS en plein océan. C'est entre 1985 et 2002, basé alors au Centre IRD de Nouméa, que j'ai acquis l'essentiel de mon expérience sur la collecte, le contrôle de la qualité et l'analyse d'observations de salinité obtenues à partir de prélèvements bouteilles, de STD, CTD et TSG. Cette expérience se base sur le savoir-faire de mes anciens collègues (en particulier J.R. Donguy et C. Hénin), sur des interventions à bord de bateaux marchands faisant escale à Nouméa, Thio et Canala, sur des échanges avec les officiers du bord, sur la fréquentation journalière des ingénieurs et techniciens IRD affectés aux réseaux d'observations, sur la participation à des campagnes océanographiques, sur l'examen critique de la qualité des mesures lors de la mise en banque des données récoltées et sur l'analyse des observations dans le cadre de publications scientifiques.

Analyser des observations de salinité c'est nécessairement disposer de données complémentaires. Celles-ci sont relativement aisées à obtenir de nos jours pour qui dispose d'un ordinateur et d'une ligne internet. Ce n'est cependant qu'au milieu des années 1980 que ces données furent progressivement mises en accès libre, souvent avant d'être utilisées dans des publications, dans la mouvance du programme international TOGA (WCRP, 1985). Étant les seuls au Centre IRD de Nouméa à détenir nos observations de SSS récoltées à partir des bateaux marchands, il m'a donc semblé naturel et nécessaire de les mettre à disposition. J'ai

¹² ORE : <http://www.ore.fr>

ainsi, au milieu des années 1990, rassembler l'ensemble des données de salinité de surface obtenues dans le Pacifique tropical et distribuer ces données par CDRom¹³ (Delcroix et al., 1999). Ce CDRom a été mis en ligne sur la toile, mis à jour de manière régulière et les données ont été transmises au SISMER¹⁴ et au NODC¹⁵ (cf. Figure 2).

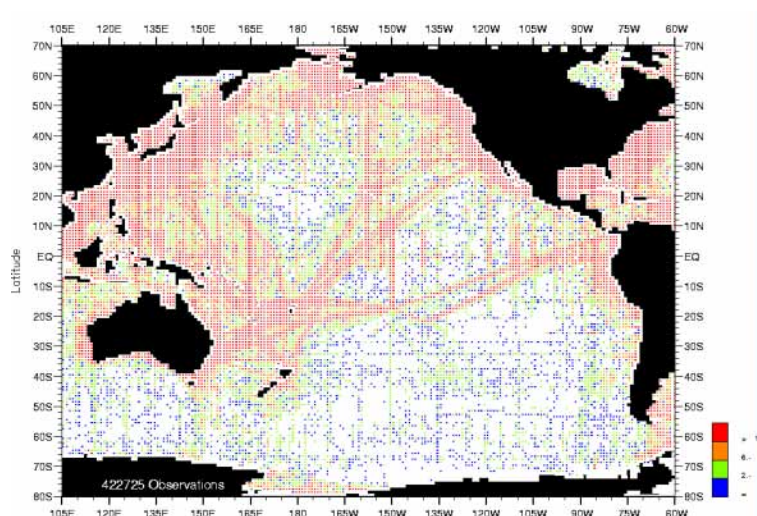


Figure 2. Densité d'observations de salinité de surface dans le Pacifique extraites du World Ocean Atlas 2001. Dans le Pacifique tropical, on notera la forte densité des observations le long des lignes de bateaux marchands entre la Nouvelle Calédonie et le Japon, l'Australie, la Nouvelle Zélande, la Polynésie Française et la Californie, ainsi qu'entre la Polynésie Française, Fidji, Mururoa et Panama. Les données le long de ces lignes sont issues pour l'essentiel (70 à 90%) des observations ORSTOM puis IRD réalisées à partir des Centres de Nouméa et Papeete.

De retour en métropole début 2002, après avoir eu la responsabilité scientifique depuis 1997 du réseau de bateaux marchands géré à partir du Centre IRD de Nouméa, j'ai été affecté au sein de l'UMR LEGOS¹⁶ à Toulouse. C'est à cette époque que le Ministère de la Recherche lançait un appel d'offre pour la création d'ORE dont l'objectif était de *remplir prioritairement le rôle de fournisseurs de données scientifiques de qualité nécessaires aux chercheurs afin de comprendre et modéliser le fonctionnement des systèmes et leur dynamique dans le long terme dans le but d'apporter des réponses à des questions scientifiques touchant à l'Environnement* (cf. Roux et al., 2003). Remplissant donc déjà le rôle d'ORE pour la salinité de surface dans le Pacifique tropical, sans le savoir, j'ai donc répondu à cet appel d'offre en élargissant la couverture géographique du Pacifique tropical à l'ensemble du globe et en m'associant à des scientifiques français qui pilotaient ce type d'activités sur d'autres chantiers géographiques. Notre appel d'offre a été retenu, financé dès 2002, et l'ORE-SSS¹⁷ a également été labellisé comme Service d'Observations (SO) par l'INSU¹⁸ la même année.

L'ORE-SSS a évolué depuis sa création en 2002. Je ne détaille pas ici les étapes de cette évolution. Je présente ci-dessous l'état actuel (septembre 2006). Des informations détaillées et mises à jour régulièrement peuvent être obtenues sur le site web de l'ORE-SSS (<http://www.legos.obs-mip.fr/observations/sss/>).

¹³ CDRom : <http://www.ird.nc/ECOP/notcd/index.htm>

¹⁴ SISMER : Systèmes d'Informations Scientifiques pour la MER (http://www.ifremer.fr/sismer/index_FR.htm)

¹⁵ NODC : National Oceanographic Data Center (<http://www.nodc.noaa.gov/>)

¹⁶ LEGOS : <http://www.legos.obs-mip.fr/fr/>

¹⁷ ORE-SSS : Observatoire de Recherche en Environnement, Service d'Observations de la Salinité de surface des océans : <http://www.legos.obs-mip.fr/observations/sss/>

¹⁸ INSU = Institut National des Sciences de l'Univers

Les observations de salinité de surface sont obtenues à partir de TSG de type SeaBird SBE-21 (sauf exception) installés sur des bateaux marchands. Le TSG est connecté en salle machine (le plus souvent) sur une déviation du système de refroidissement par eau de mer des moteurs des navires (Figure 3), couplé (si nécessaire) à un débulleur et relié à un PC situé à la passerelle. Le PC est lui-même relié à un GPS situé dans la partie accessible la plus haute du navire. Un document technique décrivant les procédures d'installation et de maintenance du système a été écrit en 1992 (Grelet et al., 1992) puis remis à jour et détaillé en 1999 à la demande du SOOPIP¹⁹ (Prugnier-Mignot et al., 1999). Ce document est disponible sur le site web de l'ORE-SSS, rubrique « publications/autres ».



Figure 3. Thermosalinographe (type SeaBird SBE21) installé en salle des machines sur le navire marchand Nokwanda navigant dans l'Atlantique entre l'Europe et l'Afrique du Sud (Photo : D. Diverrès, IRD-Brest).

Le schéma de principe du fonctionnement actuel de l'ORE-SSS est reproduit sur la Figure 4. L'ORE-SSS comporte cinq chantiers géographiques : le Pacifique tropical, l'Atlantique nord, l'Indien tropical, l'Océan austral et l'Atlantique tropical, avec un(e) responsable scientifique et un responsable technique identifié par chantier. Outre des échanges journaliers de courriels, des réunions de coordination des participants ont lieu tous les ans afin de faire le point, d'échanger nos idées, de confronter nos problèmes et solutions, de répartir les tâches selon les nouveaux objectifs et de renforcer la cohésion.

La Figure 4 nous montre que deux types de données sont acquises par l'ORE-SSS : les données temps réel (partie rose) et les données temps différé (partie bleue). Les premières sont émises du bateau via Inmarsat C. Elles sont reçues toutes les heures au LEGOS où elles sont validées en direct via des tests automatiques. Elles sont accessibles aux responsables de chantier via la toile et à CORIOLIS via un site ftp dédié. Pour des raisons de sécurité liées à la volonté de certaines compagnies maritimes de ne pas mettre à disposition du grand public la position de leurs bateaux en temps réel, la page web d'accès aux données temps réel est depuis peu à accès restreint (avec login et mot de passe).

¹⁹ SOOPIP = Ship of Opportunity Program Implementation Panel

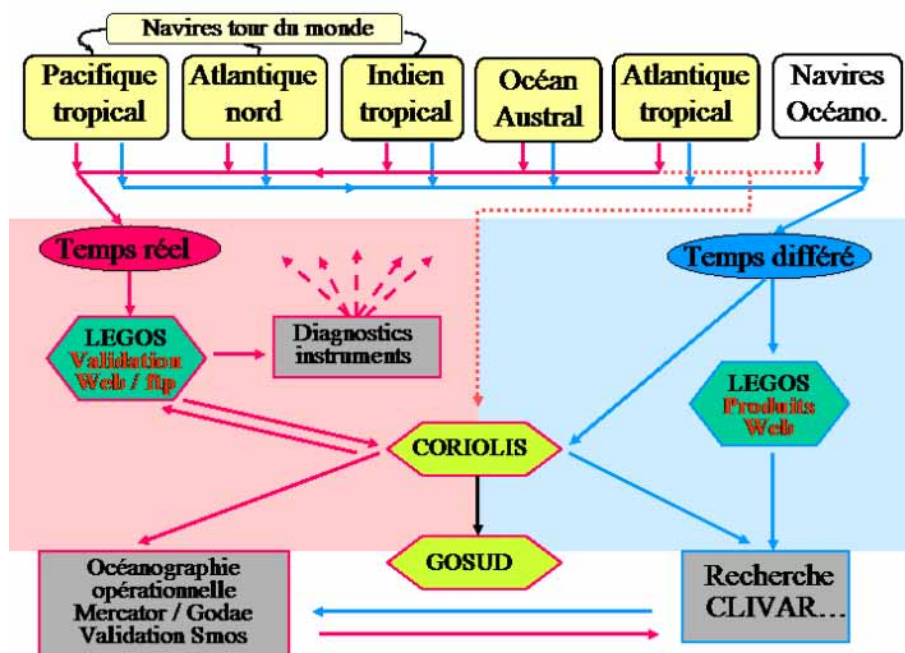


Figure 4. Schéma de principe de l'ORE-SSS (juillet 2006).

Les données temps réel, en dépit d'une résolution spatiale plus faible liée au coût d'envoi des messages et d'une qualité souvent moindre, présentent deux gros avantages. Elles permettent: a) aux responsables de chantier, de détecter rapidement des dysfonctionnements du système d'acquisition et de transmission et donc d'agir auprès du bord ou d'anticiper une intervention aux escales pour réparer et ainsi minimiser les pertes de données, b) à CORIOLIS et aux centres opérationnels de prévision au niveau international, d'utiliser rapidement ces données dans le cadre de leur mission d'océanographie opérationnelle.

Les données temps différés sont, en général, acquises toutes les 15s et la valeur de la médiane sur 5 mn est stockée sur le disque dur du PC situé à la passerelle. Le choix de la fréquence d'acquisition (15 s) et de la longueur du pas de temps sur laquelle est calculée la médiane (5 mn) est resté quasi inchangé depuis les premières installations en 1992. Ce choix est rediscuté à toutes les réunions annuelles de coordination, sans franc consensus de changement jusqu'à présent. Les valeurs médianes sur 5 mn stockées sur PC sont récupérées aux escales puis validées au sein des laboratoires (selon le chantier géographique) de manière plus complète que les données temps réel. Cette validation utilise en particulier les prélèvements qui ont lieu, en moyenne, une fois par jour et/ou les coefficients de pré/post étalonnage des capteurs effectués chez SeaBird environ tous les ans. Les données temps différé sont mises à disposition sur le site web de l'ORE-SSS avec en moyenne une mise à jour par an²⁰. Des produits ayant été élaborés dans le cadre de publications scientifiques, par exemple des données interpolées sur des points de grille réguliers, sont également mis à disposition sur ce site web.

Les lignes de bateaux marchands sélectionnées sont présentées de manière schématique sur la Figure 5. On y distingue l'échantillonnage des 5 chantiers géographiques décrits Figure 4, ainsi que les forts contrastes régionaux en salinité dont je reparlerai plus tard. Les noms des navires marchands sélectionnés par le passé (19 navires en septembre 2006) et actuellement (12 à la même date) et des informations techniques les concernant sont disponibles sur le site web. La Figure 6 nous montre la distribution spatiale des données

²⁰ Elles seront également disponibles à CORIOLIS dès que nous aurons ensemble résolu des questions de définitions et de choix de méta données.

récoltées en temps réel sur la période janvier 2004 - juin 2006. Elle met en exergue, en particulier, la bonne couverture de la warm pool et de la SPCZ²¹, zones climatiques clefs qui seront analysées dans les sections suivantes.

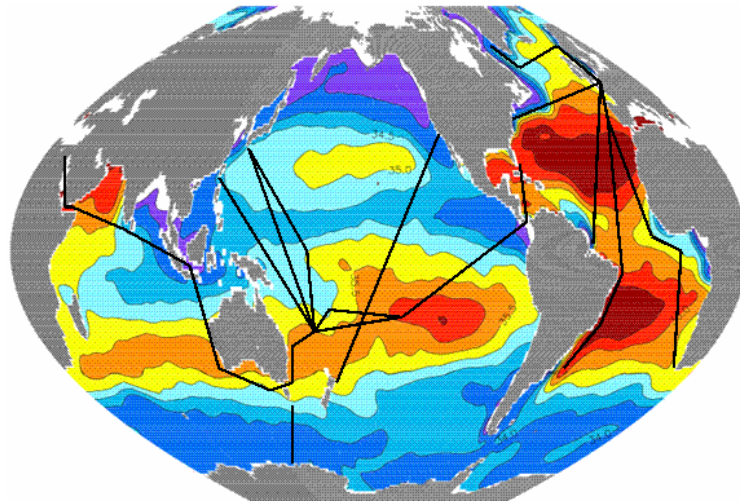


Figure 5. Salinité de surface moyenne dans l'océan global. Les lignes noires schématisent les routes maritimes des navires équipés de TSG mesurant la salinité de surface dans le cadre de l'ORE-SSS (juin 2006).

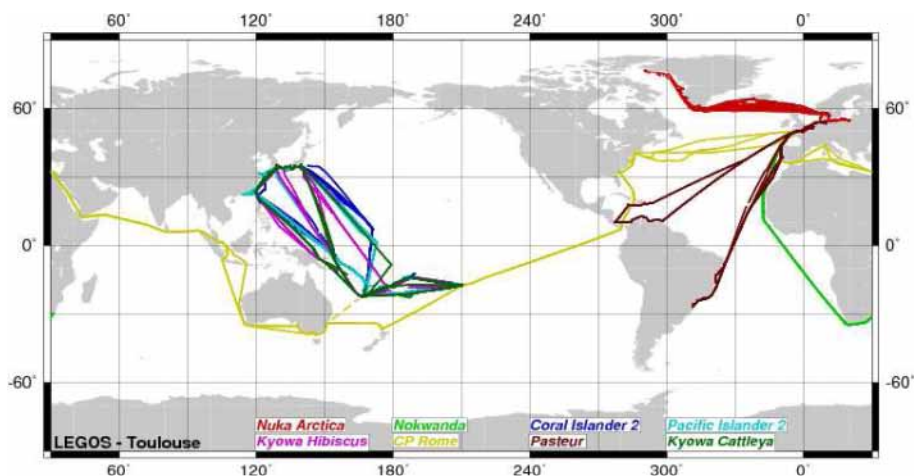


Figure 6. Distribution spatiale des mesures de salinité de surface collectées en temps réel entre janvier 2004 et juin 2006. Les codes de couleur représentent le nom des navires sélectionnés (Fig. : P. Téchiné)

Compte tenu du savoir-faire technique et scientifique de l'ORE-SSS dans la collecte, la validation et la distribution des données de salinité de surface obtenues à partir de bateaux marchands, c'est à la suite d'une recommandation de la COI à Lisbonne en 1998 que j'ai contribué à la genèse du projet international GOSUD²², pendant international de l'ORE-SSS, dont je suis actuellement co-chairman avec B. Keeley du MEDS²³ au Canada. C'est le centre français CORIOLIS qui a été choisi comme *Global Data Acquisition Center* pour la SSS au niveau international. Le NODC américain est un site miroir de CORIOLIS.

III. Variations à petites échelles spatio/temporelles

²¹ SPCZ = South Pacific Convergence Zone

²² GOSUD = Global Ocean Surface Underway Data (<http://www.gosud.org>)

²³ MEDS = Marine Environmental Data Service

L'utilisation de données in situ de la SSS pour la compréhension de la dynamique grande échelle se base sur la construction de grilles réalisées de telle sorte que les données réparties inégalement dans le temps et l'espace soient interpolées, via des techniques appropriées, sur des points de grille distants de 1-3 mois, 2-10° de longitude et 1-2° de latitude. La variabilité sous maille a donc rarement été analysée, compte tenu également de l'absence d'observations à hautes résolutions spatio-temporelles avant l'avènement des TSG.

Dans ce chapitre, nous définirons la variabilité à *petite échelle* temporelle et horizontale comme celle à des échelles inférieures à 1 mois, 5° de longitude et 2° de latitude. La variabilité à *très petite échelle*, définie comme inférieure au jour et à la dizaine de mètres, ne sera pas abordée ici (voir, par exemple, Cronin et McPhaden, 1999 ; Soloviev et Lukas, 1996, 1997ab). La variabilité à petite échelle verticale (0-10 m) d'un intérêt évident pour l'étalonnage des futures données SMOS et Aquarius est actuellement à l'étude, je n'en parlerai pas dans ce mémoire. Outre l'intérêt d'analyser les mécanismes responsables de la variabilité à petite échelle, il faut souligner que celle-ci est également à même d'induire des erreurs d'échantillonnage dans la construction de grilles à grande échelle. Illustrons tout d'abord l'ordre de grandeur de la variabilité à petite échelle avant d'analyser ce type d'erreur et ses possibles conséquences.

La variabilité à petite échelle est illustrée sur les Figures 7 à 10, en fonction du temps, de la longitude et de la latitude. Les 15 années de mesures à 0°-165°E (Figure 7) montre que les écarts types sur 10 et 30 jours sont presque toujours inférieurs à 0.1 et 0.2, respectivement. Des écarts types plus importants peuvent cependant apparaître, par exemple au début de l'année 1994 avec des valeurs proches de 0.5 sur 10 et 30 jours. L'analyse détaillée de cette forte variabilité à petite échelle temporelle montre qu'elle résulte du déplacement rapide du front de sel situé sur le bord est de la warm pool. Ce front traverse 0°-165°E vers l'est pendant El Niño et l'ouest pendant La Niña (Picaut et al., 2001 ; Delcroix et McPhaden, 2002). La section NS présentée Figure 8 met également en évidence une faible variabilité à petite échelle méridienne avec des écarts types presque toujours inférieurs à 0.1 sur 0.5°, 1° ou 2° de latitude. On note cependant des écarts types plus importants, de l'ordre de 0.2 à 0.4 vers 4°S-6°S à la frontière sud de l'upwelling équatorial, celui-ci étant particulièrement bien marqué dans le Pacifique ouest en cette période La Niña (nous sommes en avril 2001 et le rail Fiji - Japon coupe l'équateur vers 175°E). Le tracé des écarts types de toutes les sections NS de ce rail confirme l'apparition de valeurs maximales aux frontières nord et sud de l'upwelling équatorial où apparaissent souvent de forts gradients méridiens de salinité. La section équatoriale de la Figure 10 montre par ailleurs des écarts types en général inférieur à 0.1, avec cependant des valeurs supérieures à 0.2-0.3 dans la moitié ouest là où se trouvent de fortes températures de surface (> 29.5°C) et précipitations associées (Eldin et al., 1997). On trouve également un écart type supérieur à 0.3 entre les longitudes 170°W et 175°W où apparaît le front de salinité caractéristique du bord est de la warm pool (Kuroda et McPhaden, 1993 ; Picaut et al., 2001 ; Kobayashi et Takahashi, 2002). Que ce soit dans le temps (Figure 7), dans le sens méridien (Figures 8-9) ou zonal (Figure 10), les plus fortes variabilités observées à petite échelle correspondent donc toujours à des processus physiques importants d'un point de vue climatique. Cette variabilité doit donc, à mon sens, être considérée avec soin dans tous systèmes d'échantillonnage in situ.

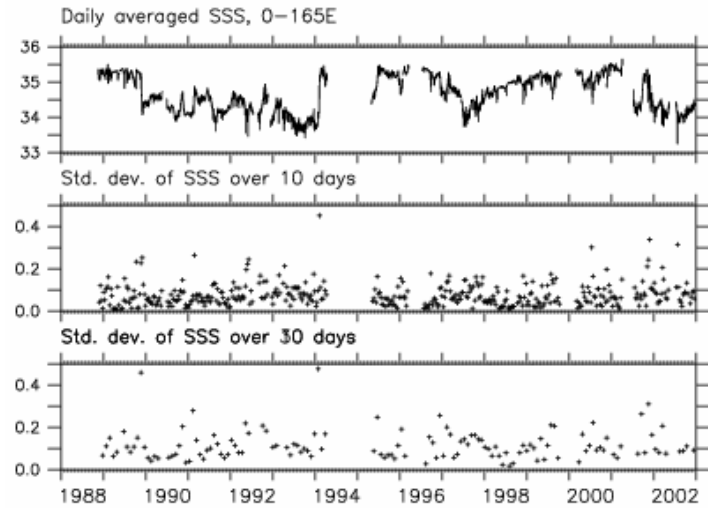


Figure 7. Variations journalières de la salinité de surface à 0-165°E et écarts types des variations sur 10 et 30 jours. (D'après Delcroix et al., 2005).

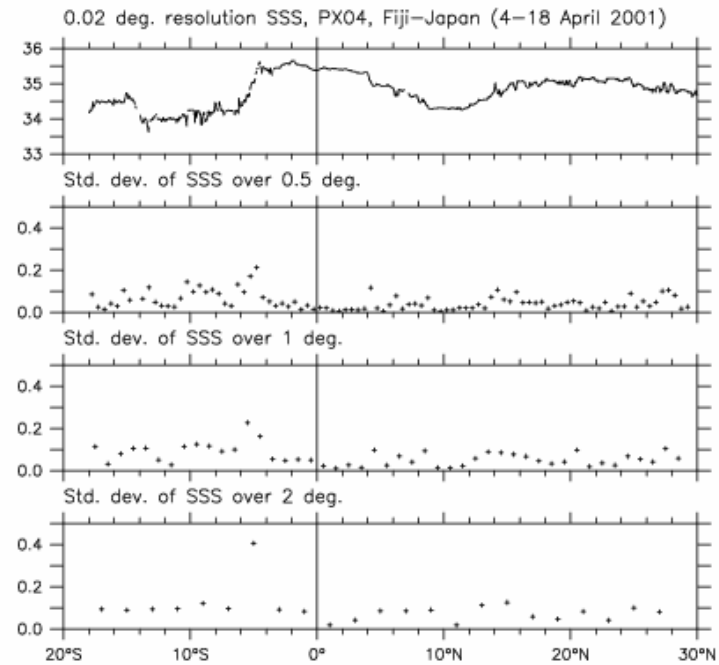


Figure 8. Variations de la salinité de surface mesurée tous les 0.02° de latitude de 20°S à 30°N le long de la ligne Nouvelle Calédonie –Fiji –Japon et écarts types calculés sur 0.5, 1 et 2° de latitude (D'après Delcroix et al., 2005).

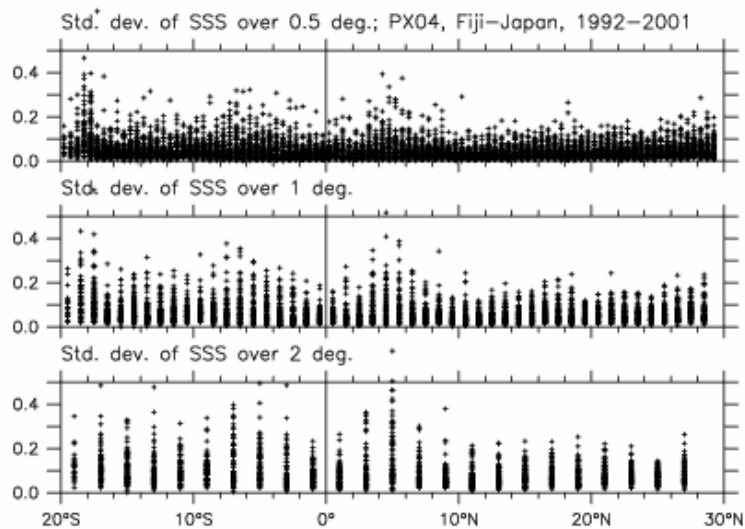


Figure 9. Ecart types de la salinité de surface mesurée tous les 0.02° de latitude de 20°S à 30°N le long de la ligne Nouvelle Calédonie –Fiji –Japon en 1992 et 2001. Ces écart types sont calculés sur 0.5 , 1 et 2° de latitude (D’après Delcroix et al., 2005).

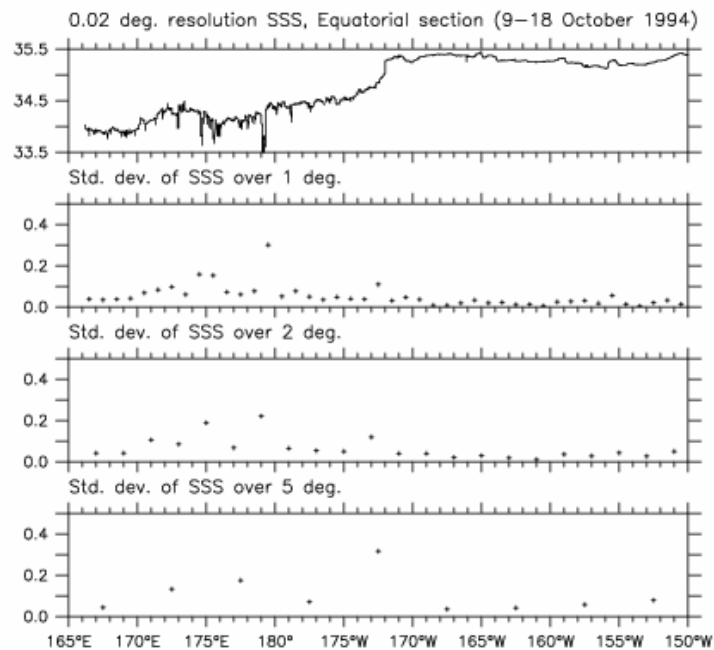


Figure 10. Variations de la salinité de surface mesurée tous les 0.02° de longitude de 165°E à 150°W le long de l’équateur et écart types calculés sur 1 , 2 et 5° de longitude (D’après Delcroix et al., 2005).

Comme noté précédemment, la variabilité à petite échelle peut avoir des conséquences importantes sur l’analyse de la salinité en introduisant des biais liés à un échantillonnage inapproprié ou insuffisant. Cela soulève deux questions intéressantes :

- quelle est l’ordre de grandeur de l’erreur introduite lorsque l’on considère une seule observation dans un intervalle donné (en x , y ou t) comme représentative de cet intervalle ?
- quel est le nombre minimal de données nécessaires dans un intervalle donné pour obtenir une bonne estimation de la moyenne dans cet intervalle ?

Pour répondre à la première question, les Figures 7-10 montrent clairement que n'utiliser qu'une seule observation dans un intervalle de 10-30 jours, 0.5 à 2° de latitude et 1 à 5° de longitude peut induire une sur- ou sous-estimation de la salinité dans cet intervalle, en particulier dans la warm pool. Lagerloef et Delcroix (2001) ont quantifié l'erreur associée en comparant l'écart type des valeurs journalières à 0°-165°E à celui des valeurs sous échantillonnées tous les 10 et 30 jours. Ils ont également comparé l'écart type des valeurs prises tous les 0.02° de latitude (ou longitude) le long de rails NS (ou EW) à celui des valeurs sous échantillonnées tous les 2° le long des mêmes rails. Ils montrent alors que l'erreur d'échantillonnage est de l'ordre de 0.1, bien qu'elle puisse atteindre 0.3 en présence de forts gradients de salinité. Nous ne pouvons donc pas exclure que des biais puissent exister dans les figures de publications anciennes (pré-1990) basées sur un échantillonnage au seuil météorologique effectué tous les 2° de latitude. Ce type de biais est cependant improbable, que ce soit dans l'espace, en utilisant les TSG des bateaux marchands, ou dans le temps, en utilisant les TSG des mouillages.

Pour répondre à la deuxième question, utilisons comme référence la demande GODAE²⁴ d'obtenir une valeur de salinité de surface avec une précision $a = 0.1$ dans une boîte de 10 jours, 1° de latitude et 2° de longitude. Un des moyens simples de résumer l'information de la Figure 9 est de calculer la fréquence d'occurrence et la moyenne des écarts types par tranche de 0.5, 1 et 2° de latitude en fonction de la latitude (cf., Delcroix et al., 2005, leurs Figures 20-21). Une approche identique peut être faite le long des rails EW en fonction de la longitude et sur chaque mouillage en fonction du temps. Ces calculs effectués, il s'avère que l'écart type moyen de la salinité de surface dans le Pacifique tropical est respectivement de 0.10, 0.12 et 0.10 sur 1° de latitude, 2° de longitude et 10 jours. Cela signifie que la variabilité moyenne attendue dans une boîte de 1° latitude, 2° longitude et 10 jours est de 0.185 [$\sigma = (0.10^2 + 0.12^2 + 0.10^2)^{1/2}$]. Si nous considérons la demande GODAE, cela implique que le nombre minimum N de mesures nécessaires pour obtenir une précision $a=0.1$ est de $N=14$ ($N=4 \sigma^2/a^2$; cf. Emery et Thomson, 1998, page 224). Un calcul similaire montrerait que $N=4$ pour une précision $a=0.2$ dans la même boîte.

Le calcul ci-dessus est à l'évidence très simplifié. Il suppose dans un premier temps que la variabilité de la salinité à petite échelle est gaussienne, ce qui n'est pas toujours le cas, en particulier lors de fortes précipitations de courte durée (Bingham et al., 2002). Il suppose également que les N observations sont indépendantes, ce qui peut ne pas être le cas si elles sont par exemple toutes effectuées dans un court laps de temps au cours de la période de 10 jours. Pour déterminer le nombre d'observations indépendantes, il nous faut estimer les échelles de décorrelation à petite échelle spatiale et temporelle. Ces échelles ne sont pas homogènes dans le temps et dans l'espace, comme nous pouvons le découvrir en comparant la variabilité à l'ouest et à l'est de 175°W sur la Figure 10. Ces échelles de décorrelation ont été estimées par Delcroix et al. (2005) qui trouvent des valeurs de 2.3 ± 0.6 jours pour des échelles inférieures à 10 jours, $0.23 \pm 0.06^\circ$ latitude pour des échelles inférieures à 1° latitude et $0.43 \pm 0.12^\circ$ longitude pour des échelles inférieures à 2° longitude. Cela implique que nous pouvons obtenir environ $N=4$ observations indépendantes sur 10 jours, $N=4$ sur 1° de latitude et $N=5$ sur 2° de longitude. Le monitoring actuel de la salinité basé sur des TSG sur bateaux marchands et mouillages permet donc d'obtenir une précision voisine de 0.2 ($N=4$) sur une boîte de type GODAE. Dans la warm pool où au moins deux types de mesures TSG coexistent (navires et mouillages), il est vraisemblable qu'une précision supérieure est atteinte. C'est une des questions qu'il nous faudra résoudre, en utilisant en particulier l'ensemble des mesures in situ disponibles (+ Argo).

²⁴ GODAE = Global Ocean Data Assimilation Experiment (<http://www.bom.gov.au/bmrc/ocean/GODAE/>)

4. Variations saisonnières

Les variations saisonnières de SSS ont été analysées dans une demie douzaine de publications, chacune d'elle avec ses propres spécificités en termes de zones géographiques couvertes, période de temps étudiée, méthode d'analyse pour extraire le signal saisonnier et données complémentaires utilisées. Ces spécificités sont résumées dans la Table 1. Les principaux résultats mis en évidence sont ensuite synthétisés.

	Zone Géographique	Période	Méthode	Autres Données
Delcroix et Hénin (1989)	SPCZ 140°E-140°W, 24°S-10°S	1979-1985	EOF	E : formule globale P : Taylor (1973)
Delcroix et Hénin (1991)	4 rails NS 30°N-30°S, 130°E-80°W	1969-1988	Analyse de Fourier	P : stations météo Vent : FSU
Delcroix et al. (1996)	Pacifique tropical ouest 140°E-140°W, 30°S-30°N	1974-1989	EOF	P : CMAP
Delcroix (1998)	Pacifique tropical 130°E-70°W, 30°N-30°S	1975-1992	EOF après filtrage	P : CMAP Vent : FSU
Gouriou et Delcroix (2002)	SPCZ 140°E-140°W, 24°S-10°S	1976-2000	EOF après filtrage	P : CMAP Ug : Geosat et T/P
Delcroix et al. (2005)	6 rails NS + 1 rail EW 30°N-30°S, 130°E-80°W	1969-2003	Année type	SSS Océans Indien et Atlantique

Table 1. Quelques caractéristiques des six publications auxquelles j'ai participées et qui ont contribué à parfaire notre connaissance du cycle saisonnier de la salinité de surface dans le Pacifique tropical.

La figure 11 présente les fonctions temporelles et spatiales du premier mode EOF²⁵ de la salinité de surface et des précipitations sur le Pacifique tropical. Ce premier mode a été calculé sur la période 1976-1992, après filtrage par un filtre de Hanning des périodes supérieures à une année. Le pourcentage de variance expliquée est de 28% pour la salinité et 41% pour les précipitations.

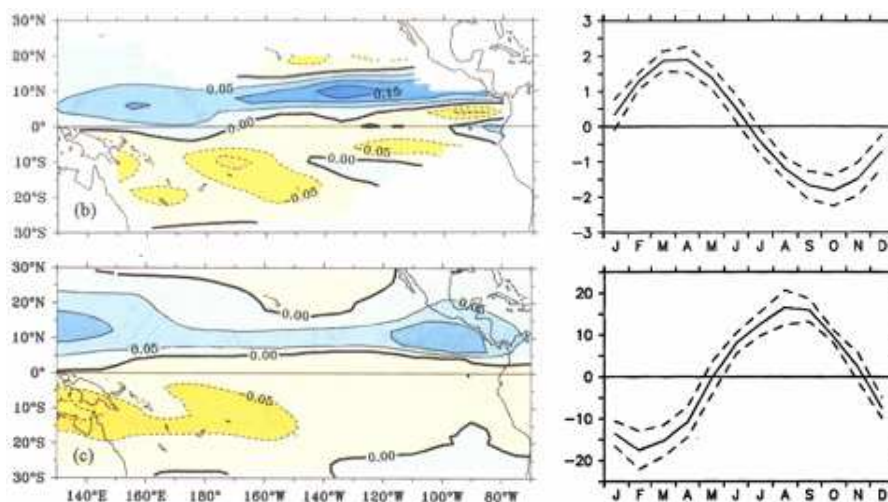


Figure 11. Fonctions spatiales (à gauche) et temporelles (à droite) du premier mode EOF de la salinité de surface (en haut) et des précipitations (en bas) dans le Pacifique tropical. Les fonctions temporelles représentent les 12 valeurs moyennes (traits pleins) \pm 1 écart type (traits pointillés) calculés à partir de la série temporelle complète. Les unités sont définies de telle sorte que le produit entre fonctions spatiales et temporelles soient en psu et m/an. (Adapté de Delcroix, 1998).

Le premier mode EOF en salinité de surface montre clairement l'importance du cycle saisonnier dans l'ITCZ et la SPCZ. On observe un décalage temporel de 6 mois entre ces 2

²⁵ EOF = Empirical Orthogonal Function

régions, avec un minimum de salinité en octobre dans l'ITCZ et en avril dans la SPCZ (voir également Donguy et Hénin, 1976; Levitus, 1986). Les variations saisonnières de la salinité de surface ont également été estimées dans les trois océans tropicaux le long des rails moyens de navigation les mieux échantillonnés (Delcroix et al., 2005). La Figure 12 montre, à titre d'exemple, l'année type calculée sur la période 1969-2003 le long du rail PX05 (Nouvelle Calédonie – Japon). Elle confirme l'analyse en EOF quant aux cycles saisonniers marqués dans les zones de convergence.

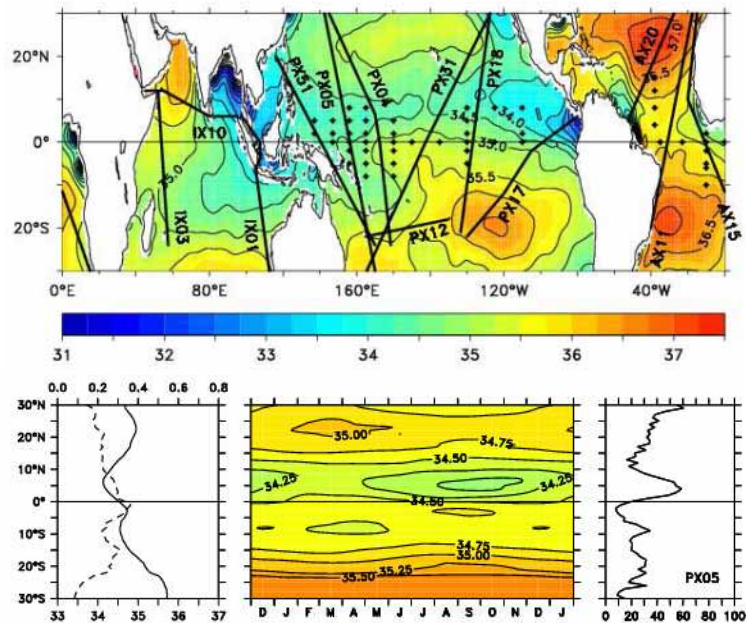


Figure 12. (en haut) Distribution de la salinité moyenne dans les océans tropicaux d'après les données du World Ocean Atlas 2001. Les lignes noires épaisses représentent les 11 lignes de navigation quasi NS et les 2 lignes de navigation quasi EW les mieux échantillonnées en termes de mesures de salinité de surface. Le nom de ces lignes (PX51, PX05, etc..) suit la nomenclature du SOOPIP. La longueur des séries temporelles de salinité sur ces lignes est d'une vingtaine années en moyenne. Les points noirs représentent les mouillages TAO/TRITON et PIRATA où l'on trouve des séries temporelles de salinité de surface supérieures à 2 ans à la fin 2005. (en bas) Caractéristiques moyennes de la salinité de surface le long du rail PX05. La figure de gauche représente la moyenne (trait plein) et l'écart type (trait pointillé), celle du milieu l'année moyenne et celle de droite le pourcentage de variance expliquée par l'année moyenne. (Adapté de Delcroix et al., 2005).

Le premier mode EOF en précipitation (Figure 11) montre également l'importance du cycle saisonnier dans les deux zones de convergence, avec un maximum de pluie en août dans l'ITCZ et en février dans la SPCZ (voir également Taylor, 1973 ; Hsu et Wallace, 1976 ; Horel, 1982). Les minima de salinité apparaissent donc 2-3 mois après les maxima de précipitation. Ce décalage peut s'expliquer mathématiquement et physiquement si l'on suppose que la variabilité saisonnière de la salinité est régie exclusivement pas la variabilité saisonnière des précipitations ($S_t = -P.S/h$). Mathématiquement, si P est de forme sinusoïdale de période annuelle, S sera co-sinusoïdale et donc décalée d'un quart de cycle (3 mois). Physiquement, si P est de forme sinusoïdale de période annuelle, la quantité de pluie reçue par l'océan sera au dessus de la moyenne annuelle durant les 3 mois qui suivent la date du maximum durant lesquels la salinité de surface continuera à diminuer (cf., Hires and Montgomery, 1972 ; Delcroix et Hénin, 1991).

Delcroix et Hénin (1989) ont calculé l'épaisseur de la couche de mélange (h) en supposant que les variations saisonnières de salinité sont régies exclusivement par les variations saisonnières des précipitations. Les valeurs de h s'échelonnent entre 17 et 44 m

dans les zones de convergence, avec une valeur moyenne de 28 ± 7 m. Ces valeurs correspondent à l'épaisseur de la couche de mélange (Figure 13) calculée à partir des données Levitus (1982) en utilisant le critère de Sprintall and Tomczak (1992). Le bon accord de phase (décalage de 3 mois entre P et S) et d'amplitude (h requis vs h calculé) suggère donc que ce sont les précipitations qui régissent, au premier ordre, la variabilité saisonnière des salinités de surface dans les zones de convergence.

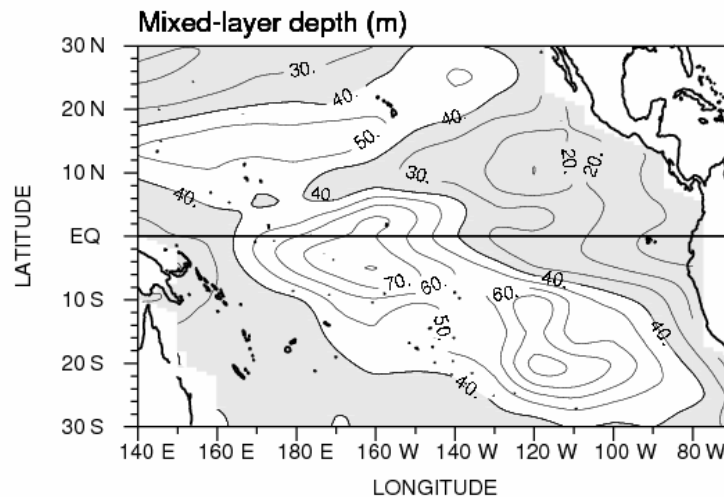


Figure 13. Distribution spatiale de l'épaisseur de la couche de mélange. Les zones où la couche de mélange est inférieure à 40 m sont grisées (D'après Delcroix et al., 1996).

Les variations saisonnières de l'advection horizontale de sel peuvent également contribuer à générer des variations saisonnières de SSS. Delcroix et Hénin (1991) ont estimé qualitativement la contribution de l'advection d'Ekman méridienne ($v_e \cdot S_y$) et de l'advection géostrophique zonale ($u_g \cdot S_x$) dans le Pacifique central. Ils montrent que la variabilité saisonnière du transport méridien d'Ekman est en phase avec la variabilité saisonnière des précipitations dans les zones de convergence, ce qui pourrait renforcer l'effet des précipitations. Ils montrent également que les dates du maximum du NECC et SECC²⁶ (Kessler et Taft, 1987 ; Picaut et Tournier, 1991) correspondent aux dates du minimum de salinité de surface, ce qui pourrait en partie rendre compte de la variabilité saisonnière de la salinité. Les effets possibles des variations saisonnières de l'évaporation, du mélange et de l'advection verticale, en particulier dans l'upwelling équatorial, n'ont pas, à ma connaissance, été quantifiés à partir de données in situ. Seule une approche basée sur des simulations réalistes, validées à partir de données in situ, permettront de quantifier ces différentes contributions et d'établir un bilan de sel dans la couche de surface.

5. Variations interannuelles, ENSO

Les travaux que j'ai entrepris sur les variations interannuelles de SSS ont été analysés dans une douzaine de publications, chacune d'elle avec ses propres spécificités en termes de zones géographiques couvertes, événements El Niño et La Niña étudiés, méthode d'analyse pour extraire et analyser le signal interannuel, données complémentaires et modèles utilisés. Quelques unes de ces spécificités sont résumées dans la Table 2. Les principaux résultats mis en évidence sont ensuite synthétisés en mettant l'accent sur la signature d'ENSO en SSS, sur le front de sel situé sur le bord est de la warm pool et son lien avec la couche barrière.

²⁶ NECC / SECC : North and South Equatorial Counter Current

	Zone géographique	El Niño /	La Niña	Méthode	Autres Données
Delcroix et Hénin (1989)	SPCZ 140°E-140°W, 24°S-10°S	1982-83		EOF	SOI
Delcroix et Hénin (1991)	4 rails NS 30°N-30°S, 130°E-80°W	1976, 1982-83, 1986-87	1973-75, 1988	EOF	SOI
Delcroix et al. (1996)	Pacifique tropical ouest 140°E-140°W, 30°S-30°N	1976, 1982-83, 1986-87	1974-75, 1988	EOF	SOI
Picaud et al. (1996)	Bande équatoriale 130°E-80W, 4°N-4°S	1982-83, 1986-87, 1992, 1994	1988-89	Trajectoires lagrangiennes	SOI, courants TAO, modèles OPA, GC
Delcroix (1998)	Pacifique tropical 130°E-70°W, 30°N-30°S	1976, 1982-83, 1986-87, 1992	1988-89	EOF après filtrage	Déplacements de différents iso-contours
Delcroix et Picaud (1998)	Bande équatoriale 130°E-80W, 4°N-4°S	1976, 1982-83, 1986-87	1974-75, 1988-89	Trajectoires lagrangiennes	Courants géostrophiques (GEOSAT). 42 campagnes à 165°E.
Delcroix et al. (1998)	Rail de navigation : Fidji - Japon	1986-87	1987-88	Figures latitude - temps	XBT, niveau de la mer
Picaud et al. (2001),	Bande équatoriale 130°E-80W, 4°N-4°S	1982-83, 1986-87, 1992, 1994	1974-75, 1988-89	Trajectoires lagrangiennes	SOI, courants TAO et géostrophiques, 9 types de modèles
Gouriou Delcroix (2002)	SPCZ 140°E-140°W, 24°S-10°S	1976, 1982-83, 1986-87, 1992, 1994, 1997-98	1988-89, 1988-89, 1996, 1998-99	EOF	Courants géostrophiques (GEOSAT et T/P).
Delcroix McPhaden (2002)	Warm pool 140°E-180°, 10°N-10°S	1992, 1994, 1997-98	1996, 1998-1999	EOF, figures longitude – temps, calcul couche barrière	Courants géostrophiques (T/P). P-E, 10 campagnes à l'équateur.
Maes et al. (2006)	Bande équatoriale 130°E-80W, 4°N-4°S	2002-2003		figures longitude – temps, calcul couche barrière	Salinité TAO et profils Argo

Table 2. Quelques caractéristiques des publications auxquelles j'ai participées et qui ont contribué à parfaire notre connaissance de la variabilité de type ENSO de la SSS dans le Pacifique tropical.

La figure 14 présente les fonctions temporelle et spatiale du premier mode EOF de la salinité de surface (28% de la variance). La fonction spatiale présente un fort noyau de variabilité situé dans la moitié ouest du Pacifique équatorial avec un extremum vers 4°S-180° (zone jaune - orange), ainsi que des noyaux de moindres amplitudes et de signes opposés au voisinage de la SPCZ et au nord de la Papouasie Nouvelle Guinée (zones bleues). La fonction temporelle est très bien corrélée avec la SOI, avec un coefficient de corrélation maximum $R = -0.88$ atteint lorsque la SOI est en avance de 4 mois. La signature du signal ENSO en salinité de surface est donc majoritairement située dans la moitié ouest de la bande équatoriale, au voisinage du bord est de la warm pool, contrairement à la signature en température de surface qui est située dans la moitié est.

Le premier mode EOF en salinité de surface traduit, pour l'essentiel, une baisse de salinité entre environ 150°E et 150°W dans la bande équatoriale et *a contrario* une augmentation dans la SPCZ, pendant les événements El Niño. Ces variations sont de signes

inverses pendant les événements La Niña, avec des changements pics à pics de l'ordre de 0.9 psu (0.15 pour la fonction spatiale multiplié par [3.5+2.5] pour la fonction temporelle). Pour compléter cette analyse en EOF, la Figure 14b présente les anomalies de SSS le long de la partie équatoriale (10°N-10°S) du rail de navigation PX04 (Nouvelle Calédonie – Tarawa – Japon ; cf. Fig. 12). Ces changements à l'échelle ENSO sont donc très conséquents puisque, par exemple, cinq fois supérieures à ceux des variations saisonnières dans la SPCZ (comparer les Figures 14a et 10 ; voir aussi la Figure 16 de Delcroix et Hénin, 1989). Ils influencent également les variations de niveau de la mer dont nous reparlerons par la suite.

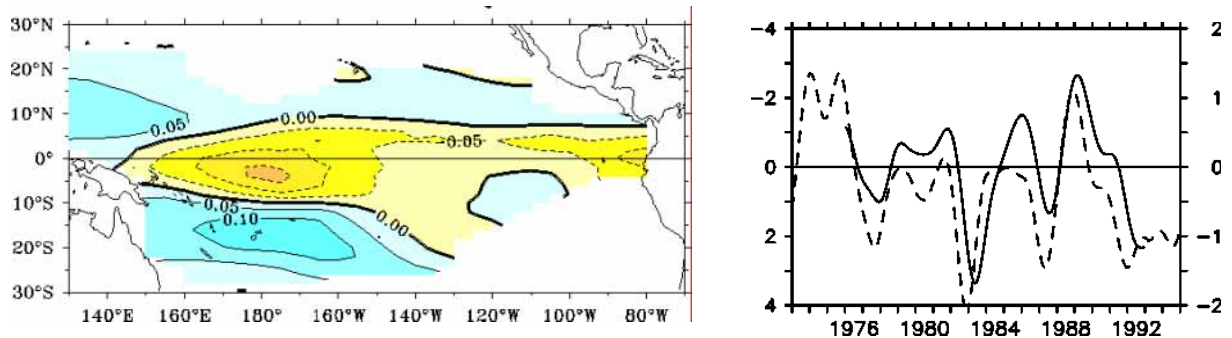


Figure 14a. Fonctions spatiale et temporelle du premier mode EOF de la salinité de surface, obtenues après filtrage par un filtre de Hanning de la variabilité inférieure ou égale à 12 mois La fonction temporelle est en trait plein (échelle de gauche, axe décroissant) et la SOI en trait pointillé (échelle de droite, axe croissant). Les unités sont définies de telle sorte que le produit entre les fonctions spatiale et temporelle soient en psu. (Adapté de Delcroix, 1998).

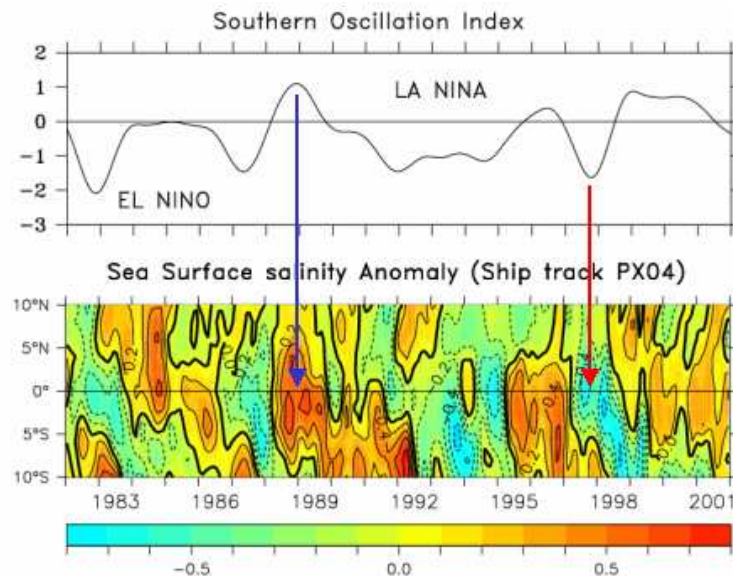


Figure 14b. (En bas) Anomalies de salinité de surface mesurée dans le Pacifique tropical ouest le long du rail de navigation PX04 (Fidji – Tarawa – Japon) coupant l'équateur vers 172°E. Ce rail est instrumenté depuis plus de 20 ans et nous permet d'estimer des variations à l'échelle saisonnière à interannuelle, voire décennale. Les anomalies de salinité sont relatives à une année moyenne calculée sur la période 1982-2001 (cf. Delcroix et al., 2005). (en haut) Indice d'oscillation australe caractérisant les périodes El Nino (valeurs négatives) et La Nina (valeurs positives). Ces deux figures nous montrent la forte signature régionale du phénomène El Nino Southern Oscillation (ENSO) en salinité de surface. On notera en particulier la dessalure importante de la bande équatoriale en période El Nino et, a contrario, une augmentation de la salinité en période La Nina. Les flèches bleues et rouges illustrent cette signature pour les événements La Nina de 1988-89 et El Nino de 1997-98.

Gouriou et Delcroix (2002) ont analysé la variabilité interannuelle de la SSS dans le Pacifique tropical sud-ouest (10°S-24°S – 160°E-140°W : région dite SPCZ) sur une période de temps plus longue de 1976-2000. Ils montrent que le bon accord entre la fonction temporelle du premier EOF et la SOI semble se dégrader après le milieu des années 1990 (voir leur Fig. 6c). Nous verrons dans la section suivante que cela traduit l'influence probable du changement de signe de la PDO²⁷ au milieu des années 1990. L'influence du changement de signe de la PDO vers le milieu des années 1970 sera également analysée.

Le premier mode EOF en précipitation (non reproduit ici) caractérisant ENSO présente de fortes similarités avec celui de la salinité de surface, à la fois pour le Pacifique tropical sur la période 1976-1992 (cf. Delcroix, 1998, sa Figure 6) et pour la SPCZ sur la période 1976-2000 (Gouriou et Delcroix, 2002, leur Figure 8). Ce mode caractérise un déficit de pluie pendant les événements El Niño dans une région en forme de fer à cheval s'étirant des îles Hawaii vers la Papouasie et la Polynésie Française, et un excès de précipitation dans la moitié ouest de la bande équatoriale avec un maximum vers la ligne de changement de date (voir aussi Ropelewski et Halpert, 1996). Des anomalies de précipitation de signes opposés apparaissent aux cours des événements La Niña. De manière quantitative, à 0°-175°E, les anomalies pics à pics entre les phases matures d'El Niño et La Niña peuvent atteindre 3 m/an, c'est-à-dire environ 150% de la moyenne annuelle (Delcroix, 1998, ses Figures 3c et 4b).

En utilisant d'un modèle statistique simple, Delcroix et al. (1996) ont tenté d'utiliser le bon accord mis en évidence par l'analyse en EOF entre les régions de fortes variabilités en salinité de surface et en précipitation afin d'estimer les changements de salinité à partir des changements de précipitations (et vice versa). Ils montrent que la phase des anomalies de salinité est relativement bien prédite dans la bande équatoriale (entre 170°E et 140°W) et dans la SPCZ. Dans ces régions, ils soulignent cependant le mauvais accord d'amplitude entre les salinités observées et prévues, en raison notamment du rôle non pris en compte (mais pressenti) de l'advection zonale de sel sur la variabilité de la salinité. Ce rôle (que nous savons maintenant essentiel) repose sur l'existence d'un front de sel discernable en moyenne dans la bande équatoriale et dans la SPCZ (voir par exemple l'isohaline 35 sur les Figures 5 et 12 ci-dessus) à l'ouest duquel se trouve de faibles salinités.

Dans la bande équatoriale, le front de sel a pu être identifié à partir de campagnes océanographiques relativement anciennes (Lemasson et Piton, 1968 ; Kuroda et McPhaden, 1993 ; Eldin et al., 2002). Seule l'analyse de campagnes récentes et/ou dédiées²⁸ a cependant permis d'en appréhender l'ordre de grandeur réel, voisin de 0.4 sur 50 km, de proposer des hypothèses sur sa formation, et d'identifier l'existence simultanée d'un front en pression partielle de CO₂, en concentration de sels nutritifs et en plancton (Inoue et al., 1996 ; Eldin et al., 1997, 2001 ; Leborgne et Rodier, 1997 ; Hénin et al., 1998 ; Stoens et al., 1999 ; Kobayashi et Takahashi, 2002). Les caractéristiques moyennes du front pour la période 1992-2001, établies à partir d'observations in situ, sont présentées par Maes et al. (2004).

De nombreuses publications ont analysé l'origine physique et l'importance climatique de ce front (voir l'excellente revue de Picaut et al., 2001). Il a ainsi pu être mis en évidence que ce front provient de la convergence zonale des courants moyens sur le bord est de la warm pool et que son importance climatique est liée à l'existence d'une couche barrière située dans sa partie ouest. Je rappelle ci-dessous quelques éléments relatifs à la formation de la couche barrière, à son lien avec le front de sel et son rôle vis à vis d'ENSO.

²⁷ PDO : Pacific Decadal Oscillation (<http://www.jisao.washington.edu/pdo/>)

²⁸ J'ai été responsable de projet des trois campagnes océanographiques FRONTALIS réalisée entre 2001 et 2004 dont l'objectif était d'observer de manière précise les caractéristiques du front de sel. Ces campagnes sont en cours d'analyse.

Les mécanismes possibles responsables de la formation et/ou des variations d'épaisseur de la couche barrière dans la warm pool sont présentés de manière schématique sur la Figure 15. Cette couche peut se former: a) par subduction d'eau plus froide et plus salée, donc plus dense, issue du Pacifique central (flèche bleue Figure 15), b) par advection à la surface d'eau plus chaude et moins salée issue des régions lointaines du Pacifique ouest (inclinaison de l'axe en pointillé Figure 15) ou des régions situées plus au nord (rond vert, Figure 15), c) sous l'effet de fortes précipitations qui vont dessaler la couche de surface et d) par approfondissement différencié de la profondeur de la couche de mélange en température et en salinité (non représenté Figure 15). Ces différents mécanismes ont été suggérés et/ou mis en évidence à partir d'observations in situ (Ando et McPhaden, 1997; Cronin et McPhaden, 2002; Lukas et Lindstrom, 1991 ; Roemmich et al., 1994).

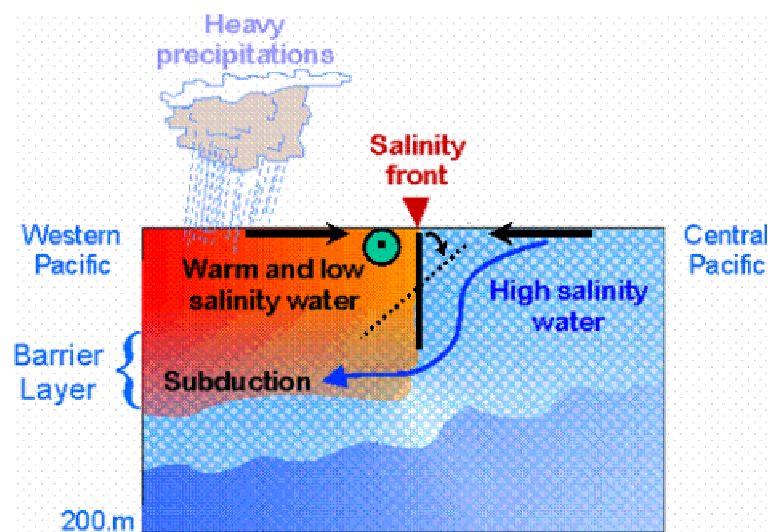


Figure 15. Vue schématique des processus de formation du front de salinité situé sur le bord est de la warm pool et de la couche barrière associée.

Le lien entre le front de sel et la couche barrière, bien qu'établie à partir de simulations (e.g., Shinoda et Lukas, 1995 ; Vialard et al. 1998), n'a été réellement confirmé qu'à partir d'observations in situ. La Figure 16 présente le résultat d'une analyse de la variabilité in situ de la SSS et SST dans la warm pool pour la période 1992-2000 (Delcroix et McPhaden, 2002). Elle montre, en particulier, que les SST supérieures à 29°C apparaissent exclusivement à l'ouest du front matérialisé par les isohalines 34.75-35 en relation directe avec des épaisseurs conséquentes de la couche barrière. L'épaisseur de la couche barrière est de l'ordre de 20-30 m pendant les périodes La Niña, lorsque les températures sont très chaudes, et elle est quasi nulle pendant les périodes El Niño, lorsque les températures sont plus froides. La Figure 17 illustre une analyse plus récente sur la période 2002-2004 (Maes et al., 2006). Elle souligne de manière remarquable la coexistence du front de sel et de SST très chaudes situées légèrement à l'ouest. Ces derniers auteurs mettent également en évidence, grâce à l'utilisation de profils Argo, la présence de couche barrière relativement épaisse (30-60 m) située à l'ouest du front de sel là où se trouvent de très fortes SST (cf. leur Fig. 2) à l'origine d'un fort couplage océan - atmosphère.

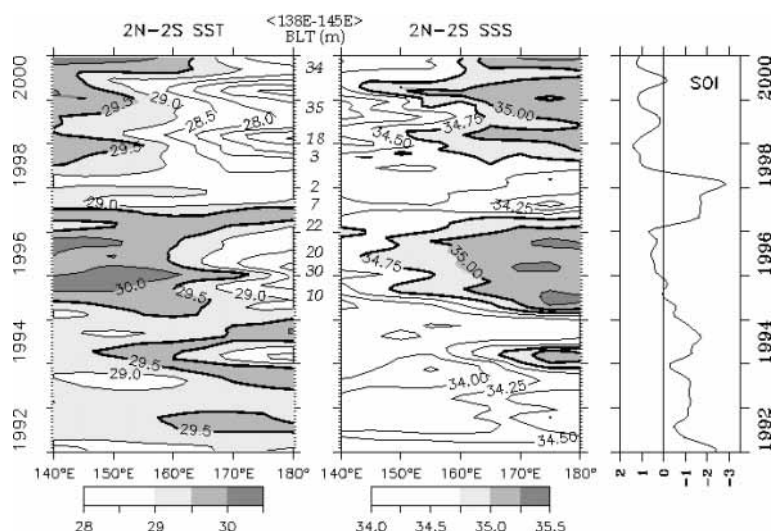


Figure 16. Diagrammes longitude - temps de la température et de la salinité de surface moyennées entre 2°N et 2°S. Les zones grisées représentent des températures supérieures à 29.5°C et des salinités supérieures à 35. La figure de droite est l'indice d'oscillation australe (SOI). Les nombres situés entre les diagrammes longitude - temps représentent l'épaisseur moyenne (en m) de la couche barrière entre 138°E et 145°E calculée à partir de mesures effectuées lors de campagnes océanographiques (D'après Delcroix et McPhaden, 2002)

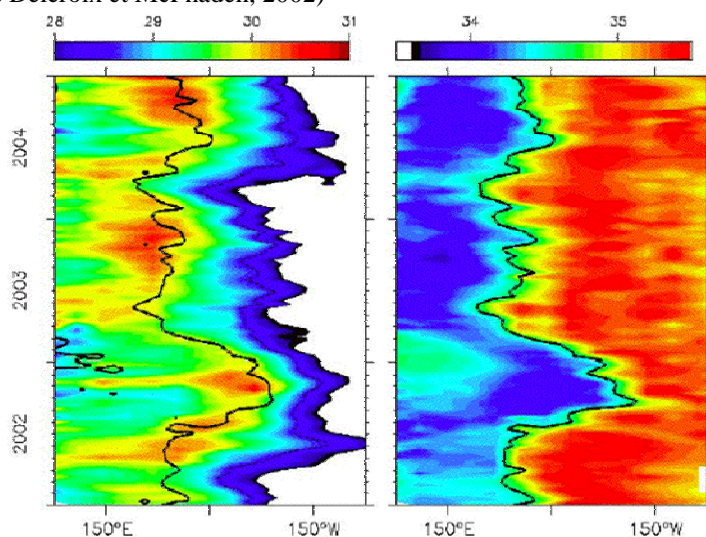


Figure 17. Diagrammes longitude - temps de la température et de la salinité de surface moyennées entre 3°N et 3°S La ligne noire représente l'isotherme 28.5°C sur les deux diagrammes. Noter le code de couleur spécifique entre 28 et 31°C pour la température de surface et la coexistence des eaux très chaudes avec le front de sel (D'après Maes et al., 2006)

Dans la bande équatoriale, Picaut et al. (1996) et Delcroix et Picaut (1998) montrent en utilisant des données in situ et/ou modélisées de salinité et de courants que le front de sel situé sur le bord est de la warm pool se déplace sous l'effet des anomalies de courants zonaux sur plusieurs milliers de km vers l'ouest pendant La Niña et vers l'est pendant El Niño²⁹. Delcroix (1998) montre par ailleurs que la position en longitude du front de sel, caractérisé par l'isohaline 35, constitue un excellent indicateur d'ENSO au même titre que la SOI ou la

²⁹ Un résultat complémentaire a été obtenu par Gouriou et Delcroix (2002) dans la région de la SPCZ. Ces auteurs montrent en effet que le sens des déplacements de la zone frontale en salinité de la région correspond de manière remarquable avec le signe des courants géostrophiques déduits de GEOSAT et TOPEX/Poseidon.

SST dans la boîte NINO3. L'importance dynamique du front de sel situé sur le bord est de la warm pool a conduit Picaut et al. (1996) à proposer une modification de la théorie de l'oscillateur retardé. Celle-ci se base sur une plus grande prise en compte de l'advection horizontale du bord est de la warm pool à l'origine de l'extension (El Niño) ou de la réduction (La Niña) de la surface océanique couverte par des eaux supérieures à 28°C qui représente la température critique à partir de laquelle la convection atmosphérique est organisée (Fu et al., 1986). Plus récemment, Maes et al. (2002) ont mis en évidence le rôle climatique du front de sel et de la couche barrière associée dans un modèle couplé. Ils montrent, via des tests de sensibilité, que l'existence ou non de couche barrière dans la warm pool conditionne fortement la genèse du phénomène El Niño. De manière intéressante, ils soulignent également que de très faibles variations d'épaisseur de la couche barrière dans leur modèle sont susceptibles d'avoir de fortes répercussions sur El Niño.

L'ensemble des travaux cités dans ce chapitre plaide sans ambiguïté pour une meilleure connaissance de la variabilité spatio-temporelle du front de sel et de l'épaisseur de la couche barrière située dans la warm pool. C'est une des raisons qui m'ont poussé à répondre à un appel d'offre Coriolis/Mercator en 2004 afin de déployer une dizaine de bouées Argo dans la warm pool au voisinage du front de sel en avril 2005. Les données résultantes, en cours de validation, nous renseigneront sans aucun doute sur la variabilité de la couche barrière, en particulier au moment où j'écris ces lignes (09/2006) alors qu'un événement El Niño apparemment modéré est en place. Ce travail spécifique sera entrepris en 2007 par une étudiante que j'encadre actuellement en thèse.

6. Variations décennales

Le signal ENSO, de période 3 à 5 ans, est sans conteste le signal climatique le plus énergétique du Pacifique tropical. Des signaux climatiques énergétiques de fréquences plus basses ont cependant été mis en évidence grâce à :

- l'allongement des séries temporelles des mesures physiques et biologiques pérennes (Mantua et al., 1997),
- des reconstructions statistiques de séries temporelles issues de données réparties inégalement dans le temps et dans l'espace (Rayner et al., 2003; Smith et Reynolds, 2003; Levitus et al., 2000),
- des données paléoclimatiques basées, par exemple, sur l'analyse des cernes d'arbres ou la croissance de coraux (Mann et al., 1999; Evans et al., 2001; Corrège et al., 2004),
- la modélisation couplée (Latif et al., 1998).

La littérature fait ainsi état de plusieurs types possibles d'oscillations à plus basse fréquence qu'ENSO, à savoir la *Pacific Decadal Oscillation* (PDO, Hare, 1996), *Interdecadal Pacific Oscillation* (IPO, Power et al., 1999), *Quasi-Decadal Oscillation* (Mann and Park, 1994) et *Bi-Decadal Oscillation* (Minobe et al., 2002). Il nous est difficile de déterminer actuellement le degré d'indépendance réelle de ces oscillations.

Outre les oscillations décrites précédemment, la variabilité climatique du Pacifique tropical peut également s'interpréter en termes de changement brutal. Au cours du siècle dernier, ces changements se seraient produits au milieu des années 1920, 1940, 1970, à la fin des années 1980 et au milieu des années 1990 (Nitta et Yamada, 1989; Trenberth, 1990; Mantua et al., 1997; Hare et Mantua, 2000; Chavez et al., 2003; McPhaden et Zhang, 2004; Deser et al., 2004). Le Pacifique tropical est également le siège d'un changement dit global qui apparaît à la fois sur la SST (Cane et al., 1997), le contenu thermique (Levitus et al., 2000) et le niveau de la mer (Cabanès et al., 2001).

Bien que les mécanismes régissant le développement (je ne parle pas ici de genèse) d'ENSO soient relativement bien connus (voir la revue de Wang et Picaut, 2003), ceux qui régissent la variabilité à plus basse fréquence sont actuellement encore à l'étude (Gu and Philander, 1997; Kleeman et al., 1999; Knutson and Manabe, 1998; Kirtman and Schopf, 1998; Timmerman and Jin, 2002; Pierce et al. 1999). La question se pose, par exemple, de savoir si c'est la variabilité basse fréquence qui induit des modulations d'ENSO (Fedorov and Philander, 2000; Wang and An, 2002) ou si c'est le caractère non symétrique des phases chaudes et froides d'ENSO qui induit un résidu qui s'apparente à une modulation basse fréquence (Timmerman, 2003; Rodgers et al., 2004). Sans entrer dans le débat, la variabilité du climat dans son ensemble se doit d'être comprise tant d'un point de vue scientifique que socio-économique si l'on veut en modérer les impacts négatifs (Glantz, 1996), bénéficier des impacts positifs (Goddard and Dilley, 2005) et essayer de séparer la variabilité naturelle de l'anthropique.

Un des obstacles majeurs responsables de notre méconnaissance relative de la variabilité basse fréquence du climat est le manque de longues séries temporelles utilisables à la fois pour des études diagnostiques et/ou pour valider des simulations numériques. Seules quelques études se sont en particulier intéressées à la variabilité basse fréquence de la salinité de surface dans le Pacifique tropical, que ce soit à partir de mesures in situ (Overland et al., 1999 ; Lukas, 2001 ; Antonov et al., 2002 ; Boyer et al., 2005) ou à partir d'indicateurs paléoclimatiques (cf. Table 3). Afin de compléter ces études, le but de ce chapitre est d'analyser la variabilité décennale de la SSS dans le Pacifique tropical, en s'appuyant sur les données in situ de la période post 1970 rassemblées et validées dans l'article de Delcroix et al. (2005). Compte tenu de la distribution spatio-temporelle de ces données (Figure 18) nous nous intéresserons à trois régions climatiques clefs : la warm pool (WP), la SPCZ et la partie est de l'upwelling équatorial (ECT : Equatorial Cold Tongue). Ces trois régions sont traversées par 3 rails de navigation équipés de longue date et incluent également des mouillages TAO/TRITON dans leur partie équatoriale.

Sites	Positions	References
Fiji	17°S-179°E	Lebec et al. (2000), Juillet-Leclerc et al. (2006)
Guam	13°N-145°E	Asami et al. (2005)
Maiana	1°N-173°E	Urban et al. (2000)
Nauru	1°S-166°E	Guilderson et Schrag (1999)
Palmyra	5°N-162°W	Cobb et al. (2001)
Rarotonga	21.5°S-160°W	Linsley et al. (2006)
Santo	16°S-176°E	Kilbourne et al. (2004)
Secas Islands	8°N-82°W	Linsley et al. (1994)
Tarawa	1°N-172°E	Cole et al. (1993)

Table 3. Sites with coral-derived δ_{18} records providing information about low-frequency SSS changes in the tropical Pacific (From Delcroix et al., 2006).

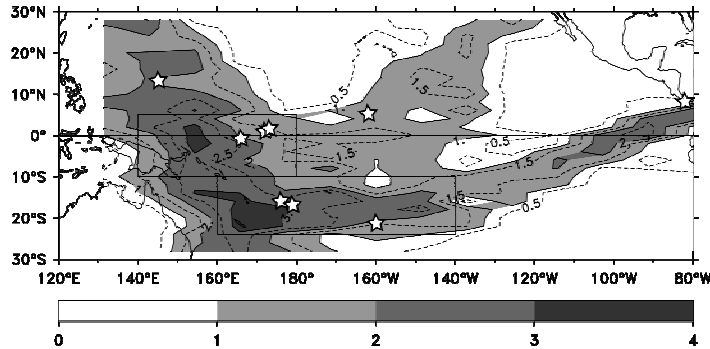


Figure 18. Lengths of SSS time series in 10° longitude x 2° longitudes rectangles, as expressed in decades. The two rectangles (10°S - 5°N , 140°E - 180° and 24°S - 10°S , 160°E - 140°W) delimit well-sampled regions and the nine white stars represent locations with coral-derived δO_{18} records, as shown in Table 1 (From Delcroix et al., 2006).

La validation des données obtenues sur ces trois régions, la manière de prendre en compte l'origine différente de ces données (en particulier pour les calculs de tendance dans le chapitre suivant), et la procédure visant à interpoler ces données sur des points de grille réguliers³⁰ sont décrites dans l'article de Delcroix et al. (2006). Afin d'éliminer les variations de longueur inférieure ou égale à un an, les séries mensuelles ont d'abord été filtrées par un filtre de Hanning sur 25 mois (Blackman and Tuckey, 1958). Les fonctions spatiales et temporelles du premier mode EOF calculées sur ces valeurs filtrées le long des rails de navigation PX05 (WP), PX12 (SPCZ) et PX17 (ECT) sont présentées sur la Figure 19 ; elles représentent respectivement 41%, 78% et 85% de la variance expliquée.

La fonction spatiale pour PX05 (WP) met en évidence une différence de comportement entre les régions équatoriales (signe négatif) et hors équatoriales (signe positif). Les fonctions spatiales pour PX12 et PX17 sont quant à elles relativement constantes (et positives) sur ces deux régions (noter cependant les différentes échelles spatiales). Les trois fonctions temporelles présentent une caractéristique commune remarquable. On observe, en effet, une nette tendance à des valeurs négatives avant le milieu des années 1970 (sauf pour PX17 où l'on ne peut conclure) et après le milieu des années 1990, ainsi qu'une nette tendance à des valeurs positives entre ces deux dates (à l'exception des années 1989-90). Ces fonctions temporelles correspondent de manière assez proche avec l'indice de la PDO (Figure 20) qui présente également le même type de variabilité sur la période étudiée. Physiquement, cela signifie que nous observons donc une augmentation de la SSS sur les trois régions en période de PDO positive à l'exception de la partie équatoriale de la WP

³⁰ Deux types de grilles ont ainsi été créés, sachant que la distance entre les points de grille se base sur le calcul des échelles de corrélation effectué dans Delcroix et al. (2005) :

- une grille 2D pour chacun des rails traversant les trois régions : rail PX05 (Nouvelle Calédonie – Japon) pour la WP, PX12 (Nouvelle Calédonie – Tahiti) pour la SPCZ et PX17 (Tahiti – Panama) pour l'ECT avec des pas de 1° de latitude x 1 mois pour PX05 et PX17 et 2° de longitude x 1 mois pour PX17,
- une grille 3D pour l'ensemble du bassin Pacifique (30°N - 30°S) avec des pas de 10° de longitude x 2° de latitude x 1 mois. A noter que seules les trois régions WP, SPCZ et ECT présentent des séries temporelles suffisamment longues pour appréhender les variations à l'échelle décennale.

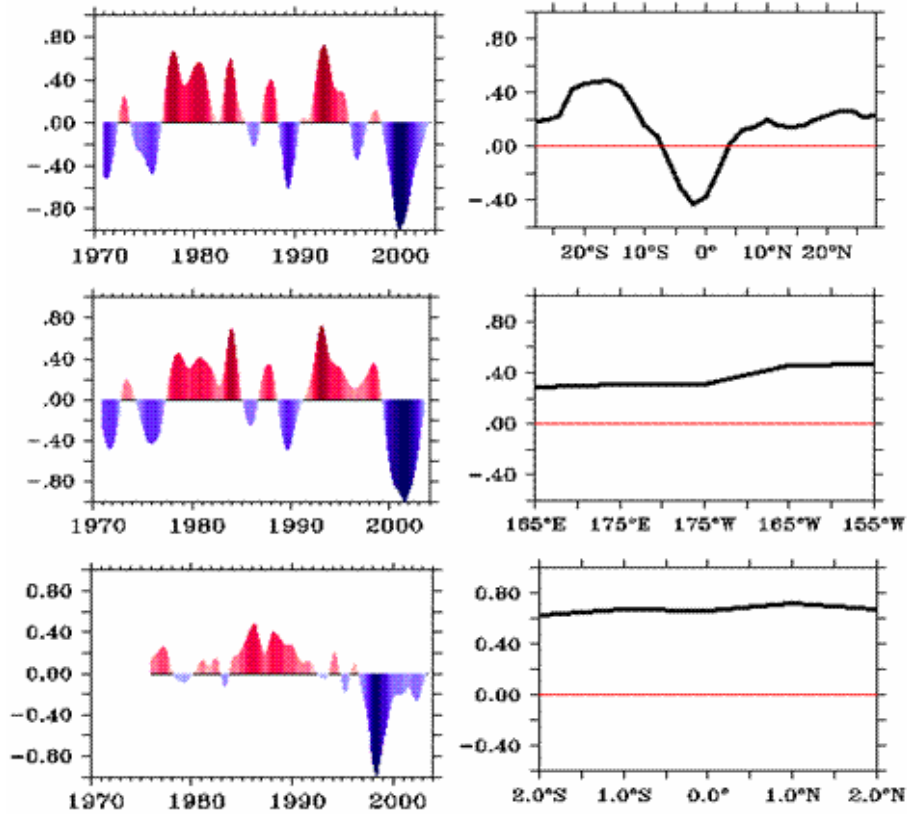


Figure 19. Time functions (left panels) and spatial patterns (right panels) of the first EOF for SSS along the PX05 (top panels), PX12 (middle panels) and PX17 (bottom panels) mean shipping lines, crossing the warm pool, the SPCZ and the equatorial cold tongue respectively. Units are defined so that the product between spatial pattern and time function represents psu. Note the different longitude and latitude scales for the spatial patterns. (From Delcroix et al., 2006).

Les mécanismes possibles responsables des variations observées de SSS à l'échelle PDO sont analysés en détail par Delcroix et al. (2006) en se basant sur d'autres observations disponibles et une revue détaillée de la littérature. Ils montrent, en particulier, que ces variations de SSS sont qualitativement cohérentes avec les variations de précipitation dans la WP et la SPCZ (cf. Figure 20) ainsi qu'avec l'advection horizontale de sel dans ces 2 régions. Ils soulignent également le rôle probable de l'upwelling équatorial qui semble pénétrer très loin à l'ouest en période de PDO négative (dominance d'événements de type la Niña) et contribuerait ainsi à augmenter la SSS dans la partie équatoriale de la WP. Ils ne parviennent cependant pas à conclure quant aux processus physiques responsables dans l'ECT.

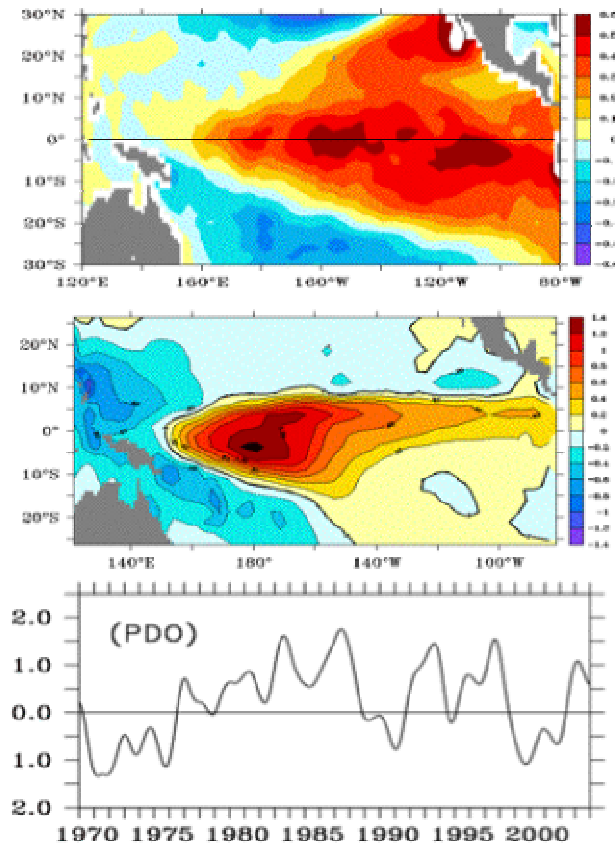


Figure 20. Regression between the 1970-2003 25-month Hanning filtered PDO and the (top) SST and (middle) precipitation. (bottom) Time series of 25-month Hanning filtered PDO. Units in the top (middle) panel are defined so that the product between the contours and the PDO represents $^{\circ}\text{C}$ (mm/day). Note that the PDO is derived as the leading EOF of monthly SST anomalies in the North Pacific Ocean, poleward of 20°N . Positive values indicate warm phases of the PDO, with a tropical SST signal corresponding to the top panel. A schematic of the SST and wind signature of the PDO, as well as some relevant references, can be found at <http://www.jisao.washington.edu/pdo/>; see also Mantua and Hare (2002) for a PDO review. (Adapted from Delcroix et al., 2006)

7. Tendances à long terme

La Figure 21 présente une série mensuelle de SSS moyennée sur la partie équatoriale de la warm pool (1°N - 1°N ; 140°E - 160°E). Outre les variations hautes fréquences non analysées ici, elle illustre un des résultats du chapitre précédent relatif au signal de type PDO. Il apparaît en effet que la SSS présente globalement des valeurs supérieures à la moyenne avant le milieu des années 1970 et après le milieu des années 1990, ainsi que des valeurs inférieures entre ces 2 dates, l'ensemble étant comparable au signal PDO. Cela nous conforte dans l'interprétation physique du signal statistique extrait par notre analyse en EOF de la Figure 20. De manière plus appropriée pour ce chapitre, la Figure 21 montre une tendance assez nette à la décroissance de la SSS au cours des 35 dernières années. Si l'on quantifie cette tendance par ajustement d'une droite au sens des moindres carrés, elle est de l'ordre de -0.23 psu en 30 ans (-0.008 psu/an) sur cette région.

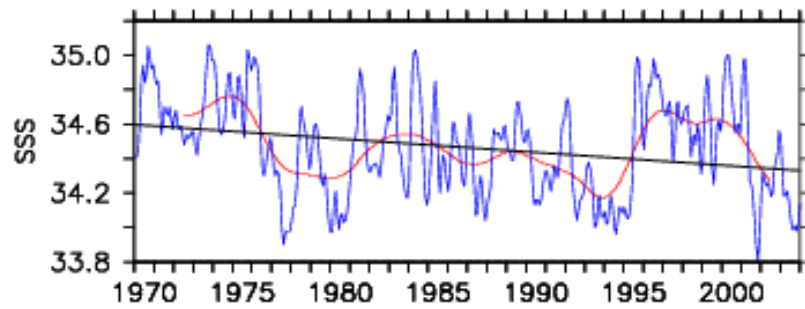


Figure 21. Time series of monthly SSS values averaged within 1°N-1°S and 140°E-160°E. The low-frequency curves represent the 61-month Hanning filtered values used to highlight SSS changes at periods longer than the ENSO time scales. The straight lines represent the linear least square fits of the monthly values used to quantify linear trends. (Adapted from Delcroix et al., 2006).

La Figure 22 montre une vue plus complète des tendances linéaires de SSS calculées sur les trois rails de navigation PX05, PX12 et PX17 traversant respectivement la warm pool, la SPCZ et la partie est de l'upwelling équatorial. La tendance à la décroissance de salinité aux cours de ces dernières décennies apparaît nettement dans le Pacifique tropical ouest, la SPCZ et l'ECT avec des valeurs maximales de l'ordre de -0.008 psu/an entre 10°S et 25°N sur PX05, à l'ouest de la ligne de changement de date sur PX12 et au nord de 5°S pour PX17. Seule la région de forte évaporation située au sud de 5°S sur PX17 présente une tendance positive de l'ordre de +0.004 psu/an (+0.12 psu en 30 ans), en accord avec les calculs de tendance sur la salinité intégrée zonalement sur l'ensemble du bassin par Boyer et al. (2005).

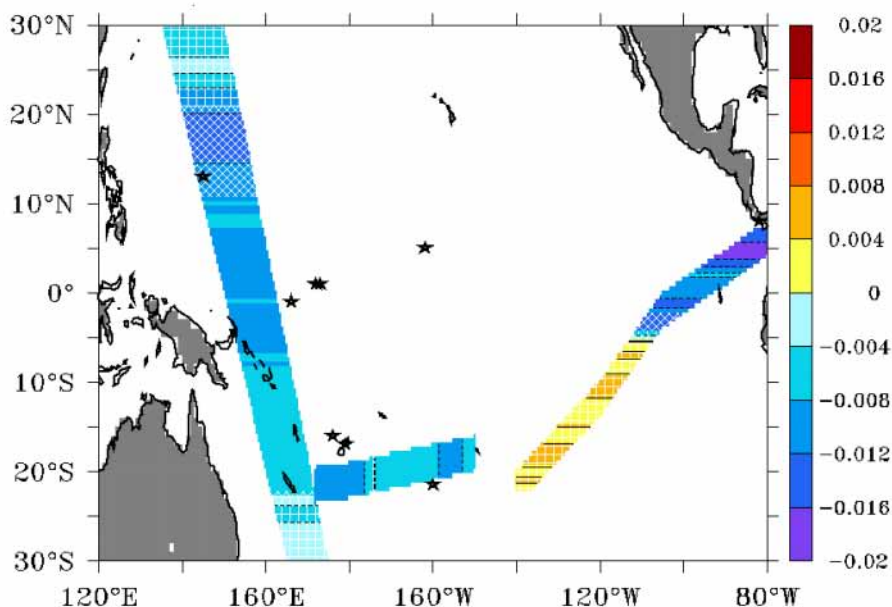


Figure 22. Linear trends in SSS along the PX05, PX12, and PX17 shipping tracks; units are psu/year, scaled on the color bar. The lack of hatching denotes record lengths equal or longer than 29 years, diagonal hatching is for 25 to 29 years, and vertical and horizontal hatching for 19 to 24 years. The nine stars represent locations with coral-derived δO_{18} records, as detailed in Table 1. (Adapted from Delcroix et al., 2006).

Pour compléter la description des tendances, la Figure 23 représente l'évolution temporelle des surfaces océaniques recouvertes par des eaux de faible salinité relative, à la fois dans la warm pool et dans la SPCZ. Ces deux zones géographiques ont été choisies car

outre leur intérêt climatique elles présentent une bonne couverture en données de SSS (cf. Figure 18). Nous avons choisi un seuil maximum de 34.8 dans la warm pool car il caractérise assez bien son bord est, ainsi qu'un seuil de 35.0 dans la SPCZ car il délimite les eaux de la SPCZ de celles plus salées du Pacifique central sud. Les deux régions présentent clairement une augmentation de la surface couverte par des eaux de faible salinité, cette surface augmentant d'environ 50% entre le début et la fin de la série temporelle. Les pentes ont une valeur de 1.8 millions de km² dans la warm pool et 1.2 millions de km² dans la SPCZ en 30 ans. Celles ci correspondent à une extension de la surface couverte par des eaux de faible salinité de l'ordre de 2° de longitude par 2° de latitude par an (respectivement 246 x 246 km² et 198 x 198 km²) traduisant ainsi une modification profonde du cycle hydrologique et/ou de la circulation à grande échelle.

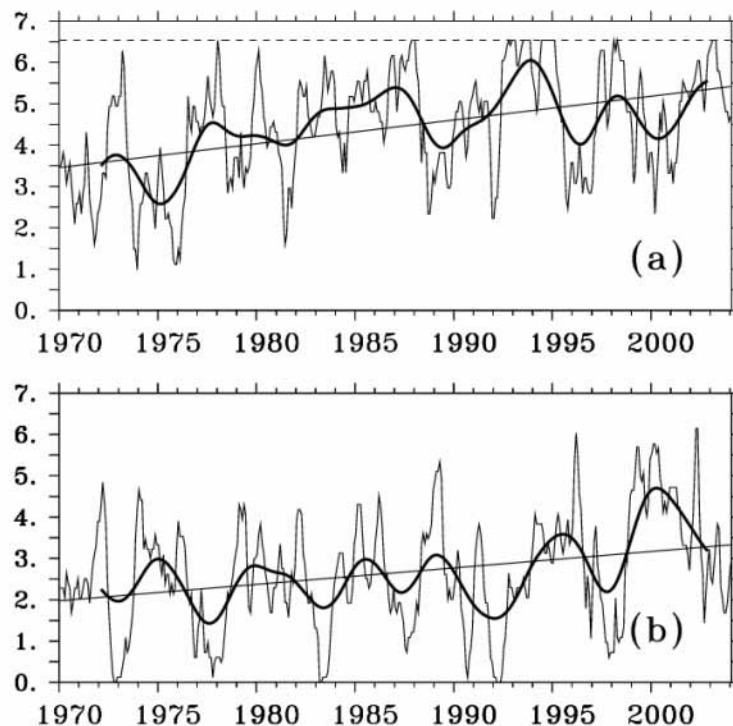


Figure 23. Monthly time series of the surface covered by (top panel) SSS lower than 34.8 in the 10°S-5°N, 140°E-180° region, and (bottom panel) SSS lower than 35.0 in the 24°S-10°S, 140°E-140°W region. Units are 10⁶ km². The low-frequency curves in both panels represent the 61-month Hanning filtered values used to highlight SSS changes at periods longer than the ENSO time scale. The straight lines represent the linear least square fits of the monthly values used to quantify linear trends. The horizontal line near 6.5 units in the top panel denotes the maximum possible covered surface (i.e., 40° longitude x 15° latitude). Adapted from Delcroix et al. (2006).

Les mécanismes possibles responsables des tendances de la SSS ont été analysés par Delcroix et al. (2006). Ces auteurs n'ont pu conclure de manière robuste compte tenu de notre méconnaissance quasi totale des modifications de la circulation océanique de ces dernières décennies, ainsi que des inconsistances évidentes entre les tendances calculées à partir des produits de précipitation PREC (Chen et al., 2004), CMAP (Xie and Arkin, 1997) et GPCP (Adler et al., 2003). Seule la tendance en précipitation calculée à partir du produit GPCP traduit une augmentation des précipitations dans les zones de convergence (ITCZ et SPCZ) qui semble cohérente avec la décroissance observée en SSS. Si cette tendance en précipitation semble réaliste, au moins qualitativement, on notera qu'elle est en accord avec l'augmentation modélisée des pluies dans les zones de convergence sous l'effet du réchauffement global

(Allen et Ingram, 2002). Les implications climatiques liées à la mise en évidence des tendances en SSS sont discutées dans le chapitre suivant.

8. Conclusions et perspectives

Observer et analyser la distribution du sel dans l'océan et sa variabilité à différentes échelles de temps sont essentiels pour parfaire notre compréhension du rôle de l'océan sur le climat de la Planète (Sverdrup et al., 1942). Dans cette optique, j'ai essayé dans cette demande d'HDR de rappeler l'apport de l'observation et de l'analyse de la salinité de surface (SSS) à la compréhension de la variabilité du Pacifique tropical, en mettant l'accent en toute immodestie sur ma propre contribution.

L'essentiel des travaux que j'ai présentés repose sur un monitoring de la SSS effectué à partir de bateaux marchands, celui-ci étant réalisé depuis parfois plus de 35 ans sur certaines lignes de navigation. La quantité d'observations ainsi récoltées a été rendue possible grâce à la vision pionnière de quelques-uns de mes anciens collègues de l'ORSTOM puis de l'IRD (dont J.R. Donguy et C. Hénin), aux travaux de nombreux techniciens, ingénieurs et chercheurs de cet Institut ainsi qu'aux officiers et membres d'équipages embarqués. Je leur suis donc particulièrement reconnaissant et surtout très heureux d'avoir pu poursuivre leur œuvre en la pérennisant, du moins pour quelques années, en prenant la direction en 2002 de l'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) dédié à la salinité de surface. La compréhension des changements profonds de notre environnement ne peut effectivement se faire que grâce à des séries temporelles longues, ininterrompues et de qualité pour des variables bien identifiées, avec un budget pluriannuel. La salinité de surface constitue, à n'en pas douter, une de ces variables clefs.

Après avoir décrit l'état actuel de l'ORE-SSS dans l'océan global, j'ai analysé la variabilité de la SSS à différentes échelles de temps sur le Pacifique tropical. Je résume ci-dessous quelques-unes des principales caractéristiques mises en évidence dans le Pacifique tropical avant d'aborder une liste de répercussions et de questions restées sans réponses et susceptibles de nourrir des axes de recherche pour les années à venir.

La SSS présente une variabilité à petites échelles spatio-temporelles que nous avons pu observer en plein océan. La variabilité moyenne dans une boîte (dite boîte COARE) de 2° de longitude par 1° de latitude par 10 jours est de l'ordre de 0.2 psu. La variabilité maximale (> 0.5) se produit dans les zones frontales situées aux frontières nord et sud de l'upwelling équatorial et sur le bord est de la warm pool. Cette variabilité à petite échelle doit être prise en compte dans toute analyse physique car, outre ce qu'elle révèle quant aux mécanismes physiques sous-jacents, elle est susceptible d'introduire des erreurs importantes dans le cas d'un échantillonnage insuffisant.

Les zones de variabilité saisonnière maximale en SSS se situent dans les zones de convergence des vents, ITCZ au nord et SPCZ au sud. Une analyse qualitative montre que cette variabilité semble pilotée par la variabilité saisonnière des précipitations avec probablement une influence de la variabilité saisonnière de l'advection zonale de sel par le NECC au niveau de l'ITCZ et le SECC au niveau de la SPCZ. Les contributions respectives des différents termes affectant la variabilité saisonnière de la SSS n'ont pu être déterminées de manière quantitative à partir de mesures in situ.

L'analyse de la variabilité interannuelle de la SSS montre que celle-ci est fortement liée aux épisodes ENSO. Le maximum de variabilité se situe dans la moitié ouest du Pacifique équatorial (contrastant avec le maximum de variabilité en SST situé dans la moitié est) ainsi que dans la SPCZ. Les variations pic à pic sont de l'ordre de 1 psu entre les phases El Niño et

la Niña. La variabilité dans la bande équatoriale résulte essentiellement du déplacement zonal du front de sel situé sur le bord est de la warm pool. Ce déplacement est lié aux anomalies de courant dirigées vers l'est pendant El Niño et vers l'ouest pendant La Niña. La présence du front de sel coïncide la plupart du temps avec la présence d'une couche barrière d'épaisseur 20 à 40 m et de SST chaude ($> 29.5^{\circ}\text{C}$) situées sur la partie ouest du front. Les anomalies de SSS à l'échelle ENSO se produisent également dans la SPCZ. Celles-ci sont qualitativement cohérentes avec les anomalies des précipitations et des courants géostrophiques déduits de l'altimétrie.

L'analyse de séries temporelles de SSS relativement longues (20-35 ans) permet de mettre en évidence un signal décennal, de type PDO, dans les trois régions bien échantillonnées que sont le Pacifique tropical ouest, la SPCZ et la partie est de l'upwelling équatorial. Ce signal se traduit par une baisse de SSS dans la partie équatoriale de la warm pool en phase de PDO positive (schématiquement entre mi-1970 et mi-1990) et, *a contrario*, une augmentation dans les autres régions étudiées. L'amplitude des variations de SSS entre les phases positive et négative de la PDO est de l'ordre de 0.25. Ces changements en SSS se sont avérés qualitativement cohérents avec les changements de précipitation et d'advection horizontale dans le Pacifique tropical ouest et la SPCZ.

Pour les trois régions précitées, nous avons documenté une tendance générale à la baisse de SSS de l'ordre de -0.1 à -0.4 en 30 ans. Ces tendances se traduisent également par une augmentation substantielle, d'environ 2° de longitude x 2° de latitude par an, de la surface couverte par des eaux de faible salinité dans la warm pool (SSS < 34.8) et dans la SPCZ (SSS < 35.0). Les variations de SSS dans ces deux régions constituent à n'en pas douter un indicateur climatique très pertinent à la fois du signal ENSO, PDO et de la modification à plus basse fréquence du cycle hydrologique et/ou de la circulation océanique. L'analyse de trois produits de précipitation montre que la tendance en SSS est globalement en accord avec la tendance en précipitation calculée à partir du produit GPCP mais en net désaccord avec les produits CMAP et PREC.

La mise en évidence d'un spectre étendu de la variabilité de la SSS dans le Pacifique tropical et l'analyse des mécanismes moteurs ont des répercussions scientifiques importantes. Celles qui me paraissent les plus pertinentes sont présentées ci-dessous.

Petite échelle verticale. J'ai montré au chapitre 2 l'existence de variations de SSS à petite échelle horizontale mise en évidence grâce à l'utilisation de TSG. Ces instruments, faut-il le rappeler, échantillonnent la couche supérieure de l'océan entre 3 et 10 m de profondeur selon la charge et selon le navire sur lequel ils sont installés. La profondeur réelle de la prise d'eau de mer³¹ est de plus relativement peu informative en raison du brassage de l'eau de surface lié au déplacement du navire et à l'état de la mer. La salinité de *surface* mesurée par les TSG est donc en réalité une salinité de la *couche de surface*. Les futures mesures satellitaires (SMOS et Aquarius) nous donneront quant à elles la salinité des premiers centimètres d'océan (*the skin SSS*). Pour évaluer ces mesures satellitaires grâce aux mesures in situ, il nous faudra donc identifier l'amplitude et la variabilité du gradient vertical de salinité dans la couche de surface. Il n'existe, à ma connaissance, que très peu d'études publiées sur ce sujet (Soloviev et Lukas, 1996, 1997ab; Cronin et McPhaden, 1999; Boutin et Martin, 2006). Une étude basée sur les données CTD, TAO/TRITON et Argo de la couche de surface du Pacifique tropical, que je crois suffisamment nombreuses au sens statistique, doit donc être réalisée à titre de première approche. Il faudra s'appuyer pour cela sur l'expérience acquise avec le même type d'interrogation sur la température de surface (REF).

³¹ Cette profondeur est rarement indiquée ou souvent approximative dans la liste des données auxiliaires des banques de données.

Variations saisonnières. Une des idées entrevues dans le chapitre introductif concerne la possibilité d'utiliser les informations de salinité de surface pour affiner et/ou minimiser les erreurs des produits de précipitation. Compte tenu de l'amplitude des variations saisonnières en SSS dans les zones de convergence (ITCZ et SPCZ) et de la mise en évidence du rôle essentiel que semblent jouer les précipitations sur cette variabilité, il me semble opportun de mettre d'abord l'accent sur ces régions pour tester la qualité des produits satellitaires de précipitation et de salinité et/ou le réalisme des simulations numériques. Plusieurs approches encourageantes ont déjà eu lieu en ce sens (Vialard et al., 2002, Johnson et al., 2002 ; Yaremchuk, 2006).

ENSO et couche barrière. L'analyse du faible nombre d'observations disponibles, ainsi que l'interprétation de résultats de modèles, suggèrent que de petites variations d'épaisseur de la couche barrière sont à même d'influencer la genèse et le développement du phénomène El Niño. Les trois récentes campagnes FRONTALIS réalisées le long de l'équateur en 2001-2005 indiquent par ailleurs que le schéma canonique de formation de cette couche (Figure 15) ne représente qu'une partie de la réalité. C'est en avril 2005, pendant FRONTALIS 3, que 10 profileurs ARGO ont été largués de part et d'autre du front de sel le long de l'équateur. Ces profileurs continuent depuis un peu plus d'un an maintenant d'échantillonner la zone frontale située sur le bord est de la warm pool avec une résolution verticale accrue dans la couche de surface. L'examen récent de la qualité des données nous a rassuré sur la faible dérive des capteurs de température et de salinité des Argo. L'interprétation des mesures résultantes, particulièrement en cette période d'El Niño (septembre 2006), sera donc particulièrement intéressante. C'est une tâche qui sera confiée à l'étudiante en thèse que j'encadre actuellement.

PDO et anomalies de *spiciness*. Nous avons vu précédemment que la SSS semble plus forte en période de PDO positive dans la partie est de l'upwelling équatorial (chapitre 6, Figure 19). Delcroix et al. (2006) montrent à partir d'une synthèse de la littérature que dans l'état actuel de nos connaissances aucune conclusion définitive ne peut rendre compte de cette augmentation³². Une des hypothèses proposées par ces auteurs me semble cependant intéressante à développer. La Figure 20 montre que la SST est également plus forte en période de PDO positive. Les augmentations conjuguées de SSS et de SST vont donc avoir tendance à se compenser en densité. Plusieurs résultats issus de modèles (McCreary et Lu, 1994 ; Schneider, 2000 ; Harper, 2000 ; Bratcher et Giese, 2002 ; Giese et al., 2002) suggèrent que ces anomalies compensées (on parle de *spiciness*³³) se formeraient dans le Pacifique sud-est (vers environ 20°S-120°W). Elles seraient alors transportées par le courant moyen le long d'isopycnes en direction de la bande équatoriale, via le Pacifique ouest et/ou le Pacifique central. L'analyse préliminaire de campagnes océanographiques réalisées à 165°E dans le Pacifique équatorial ouest (Hisard et al., 1969 ; Delcroix et Eldin, 1995 ; Eldin et al., 2004), semble indiquer que ces anomalies de *spiciness* ne peuvent provenir de cette longitude. L'hypothèse d'une route plus directe, via le Pacifique central, sera donc intéressante à vérifier à partir de données in situ (et/ou de modèles) dans le prolongement de l'étude effectuée par Kessler (1999) sur une période plus courte.

PDO et ENSO. Les changements de SSS observés pendant El Niño (La Niña) et pendant la phase positive (négative) de la PDO (comparer les Figures 14 et 19) ainsi que les mécanismes proposés présentent des similarités singulières. Il s'avère en effet que : a) les anomalies de précipitation liées à ENSO et à la PDO ont une distribution spatiale quasi identique dans la

³² En période de PDO positive, l'augmentation des précipitations (Figure 20), la diminution de l'upwelling équatorial, le ralentissement du sous-courant équatorial liée à la pente moindre de la thermocline sont des facteurs qui, *a contrario*, induisent une baisse de SSS.

³³ Une eau chaude et salée (*hot and spicy*, en anglais) sera dite épicée.

partie tropicale du Pacifique (comparer la Figure 20b et la Plate 6d de Delcroix, 1998), b) les déplacements des fronts de sel sous l'effet des anomalies d'advection zonale dans la warm pool et dans la SPCZ semblent jouer un rôle aux deux échelles de temps (Picaut et al., 1996 ; Gouriou et Delcroix, 2002 ; Delcroix et al., 2006), c) l'upwelling équatorial et l'advection verticale de salinité associée sont renforcés en période La Niña et en période de PDO négative (Delcroix et al., 1992 ; Sprintall et McPhaden, 1994 ; Guilderson et Schrag, 1998 ; Wang et An, 2001, McPhaden et Zhang, 2002). Une partie des changements de SSS observés à l'échelle PDO ne pourrait donc traduire que l'influence d'un nombre avéré plus important d'événements d'El Niño (La Niña) en phase de PDO positive (négative). Cela peut également suggérer que le signal PDO ne soit pas régi par une physique propre mais qu'il ne soit en réalité qu'un résidu qui reflète une dissymétrie entre événements El Niño et La Niña. Cette hypothèse, que semble conforter notre analyse en SSS, est actuellement débattue (e.g., Rodgers et al., 2004).

Tendance en SSS et ENSO. Dans la lignée du questionnaire précédent relatif à l'influence d'ENSO sur la signature en SSS de la PDO, il est tentant d'interpréter l'augmentation de la surface couverte par des eaux de faible (< 34.8) salinité dans la warm pool (Figure 23a) comme résultante du plus grand nombre d'événements El Niño que La Niña pendant notre période d'étude. Dans cette région, les événements El Niño sont en effet clairement associés à une augmentation de la surface couverte par de faibles SSS visible en 1972-73, 1976-77, 1982-83, 1986-87, 1992-94, 1997-98 et 2002. Les effets de ces événements El Niño sont toutefois inverses dans la région SPCZ (Figure 23b) où l'on observe alors une diminution de la surface couverte par des eaux de faibles (< 35.0) salinités aux mêmes dates. Les tendances à l'augmentation de la surface couverte par de faible salinité dans la warm pool et la SPCZ ne peuvent donc pas être attribuées à une fréquence plus ou moins importante d'événements El Niño ou La Niña.

Tendance en SSS et couche de mélange. La tendance à la baisse de la SSS dans la warm pool (-0.1 à -0.4 psu entre 1970 et 2003) est concomitante avec l'augmentation de la SST (Cane et al., 1997 ; Xue et al., 2003). De même, l'augmentation de la surface océanique couverte par des eaux de faible (< 34.8) SSS dans la région ($+50\%$ entre 1970 et 2003) coïncide avec l'accroissement de la surface couverte par des eaux de fortes ($> 29^\circ\text{C}$) SST (Delcroix et al., 2006). La taille de la warm pool définie par des eaux de faible salinité et forte température de surface est donc en pleine expansion. Delcroix et al. (2006) montrent que les effets cumulés des tendances en SSS et SST induisent une baisse de l'ordre de -0.013 kg/m^3 par an en densité de surface, dont environ 60% est due à la salinité³⁴. Ils montrent également en utilisant un jeu de données indépendant (Boyer et al., 2005) que cette baisse en densité est de l'ordre de -0.013 kg/m^3 , -0.010 kg/m^3 et -0.0004 kg/m^3 par an à des profondeurs respectives de 0, 50 et 75 m. La tendance à la baisse de la densité semble donc se produire essentiellement près de la surface. Cela se traduit par une augmentation de la stratification verticale, une couche de mélange moins épaisse et plus stable. Ces effets sont donc susceptibles de renforcer l'augmentation de SST (rétroaction positive), de modifier la force du couplage entre l'océan et l'atmosphère et/ou d'altérer les caractéristiques d'ENSO et de la variabilité à plus basse fréquence (Neelin, 1989 ; Maes et al., 2002). Seuls des tests de sensibilité avec des modèles couplés permettront de mieux quantifier ce type d'effets.

SSS et niveau de la mer. De nombreuses publications montrent que les variations de salinité dans la couche de surface influencent les variations de hauteur dynamique et de niveau de la

³⁴ Afin d'appréhender physiquement ce nombre de -0.013 kg/m^3 par an, noter que ces variations de densité cumulées sur 2 à 3 ans sont du même ordre de grandeur que la valeur (0.03 kg/m^3) du seuil en densité utilisée fréquemment pour déterminer la profondeur de la couche de mélange en densité à partir de la densité de surface (cf. de Boyer-Montégut et al., 2004).

mer à l'échelle saisonnière et ENSO, en particulier dans le Pacifique tropical ouest (Delcroix et al., 1987 ; Busalacchi et al., 1994 ; Reverdin et al., 1996 ; Maes, 2002). Cette influence se traduit également à l'échelle PDO et sur la tendance du niveau de la mer. Par exemple, dans la warm pool, là où la SST est de l'ordre de 28°-29°C et les variations de SSS sont représentatives des 35-50 premiers mètres (Cronin et McPhaden, 1998), le signal de type PDO en SSS se traduit par des variations de l'ordre de -3 à +3 cm en niveau de la mer entre les phases négative et positive de la PDO. La tendance en densité calculée au paragraphe précédent (-0.013 kg/m³ par an) se traduit quant à elle par une augmentation du niveau de la mer de l'ordre de +2 cm en 30 ans (pour h=35m), dont 1.2 cm représente la contribution de la salinité. Cette valeur de 1.2 cm en 30 ans (=0.4 mm/an) représente 20 à 40% de la tendance à l'élévation du niveau de la mer (1-2 mm/an) estimée à l'échelle globale (Church et al., 2001). La contribution des variations de salinité (au moins dans la couche de surface) doit donc impérativement être prise en compte lors de travaux visant à quantifier et à comprendre les variations de niveau de la mer à l'échelle régionale, en particulier lorsque ceux-ci s'appuient sur des séries temporelles relativement courtes comme des données altimétriques (Cazenave et Nerem, 2004).

Outre les questions sur le Pacifique tropical que je viens de développer, quatre autres thèmes plus globaux méritent également d'être abordés. 1) Je me suis volontairement limité dans ce mémoire à l'océan du large. Il me semble cependant opportun de rappeler ici les relations fortes qui existent entre le débit des grands fleuves et la variabilité de la SSS dans leur proche embouchure (Delcroix et Murtugudde, 2002). À l'heure où des programmes ambitieux d'hydrologie spatiale se développent, en particulier au LEGOS, il me paraît impératif de prendre en compte l'information contenue dans la variabilité de la SSS pour monitorer ces grands fleuves et en retour appréhender leur contribution aux échanges entre la côte et le large. La meilleure approche reste à définir. 2) Delcroix et al. (2006) ont montré des différences importantes dans le calcul des tendances en précipitation calculées à partir des trois produits CMAP, PREC et GPCP. Seules les tendances issues du produit GPCP semblent en accord avec les tendances que nous avons mises en évidence en SSS (voir aussi Yin et al., 2004). Il y a donc un besoin absolu de rendre ces produits de précipitation cohérents entre eux grâce, je l'espère, aux données in situ de SSS et aux futures mesures satellitaires SMOS et Aquarius (Kerr et al., 2001 ; Koblinsky et al., 2003). 3) La tendance à la baisse de la SSS observée dans la warm pool et la SPCZ est, de manière surprenante, opposée à la tendance à la hausse observée dans l'Atlantique tropical (Curry et al., 2003 ; Boyer et al., 2005). La SST présente cependant une tendance nette au réchauffement dans ces deux Océans tropicaux (Cane et al., 1997 ; Xue et al., 2003). Cela souligne, si nécessaire, la complexité des relations entre SSS, SST et précipitations qu'il conviendra de mieux comprendre car elles sont au cœur des modifications profondes du cycle hydrologique global. 4) Si les tendances observées en SSS traduisent des modifications importantes du cycle hydrologique et/ou de la circulation océanique, il faut garder à l'esprit que nous n'avons observé qu'une période de l'ordre de 30-35 ans. Rien ne permet de conclure quant à l'origine anthropique ou naturelle de ces tendances. Il reste en effet possible que nous n'ayons observé qu'une fraction d'une variabilité à très basse fréquence. L'interprétation de données paléoclimatiques déduites de carottage de coraux suggèrent cependant que cette baisse de salinité est intervenue à la fin du 19^{ième} siècle, pour la mer de Corail (Hendy et al., 2002). Le nombre grandissant de ces données, en différents lieux, la poursuite et l'amélioration du réseau in situ de SSS ainsi que les futures données à l'échelle globale issues des satellites SMOS et Aquarius permettront de répondre à la plupart des questions évoquées ci dessus. C'est mon plus cher souhait d'y participer.

RERERENCES

- Adler, R., G. Huffman, A. Chang, R. Ferraro, P. Xie, J. Janowiak, B. Rudolf, U. Schneider, S. Curtis, D. Bolvin, A. Gruber, J. Susskind, P. Arkin, and E. Nelkin, The version-2 global precipitation climatology project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present), *J. Hydromet.*, 4, 1147-1167, 2003.
- Allen, M., and W. Ingram, Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle, *Nature*, 419, 224-232, doi:10.1038/nature01092, 2002.
- Ando, K., and M. J. McPhaden, Variability of surface layer hydrography in the tropical Pacific ocean, *J. Geophys. Res.*, 102, 23063-23078, 1997.
- Antonov, J., S. Levitus, and T. Boyer, Steric sea level variations during 1957-1994: importance of salinity, *J. Geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2001JC000964, 2002.
- Asami, R., T. Yamada, Y. Iryu, T. Quinn, C. Meyer, and G. Paulay, Interannual and decadal variability of the western Pacific sea surface condition for the years 1787-2000: reconstruction based on stable isotope record from a Guam coral, *J. Geophys. Res.*, 110, doi:10.1029/2004JC002555, 2005.
- Ballabrera-Poy, J., R. Murtugudde, A. Busalacchi, 2002. On the potential impact of sea-surface salinity observations on ENSO predictions. *Journal of Geophysical Research* 107, 8007, doi:10.1029/2001JC000834.
- Blackman, R., and J. Tukey, The measurement of power spectra from the point of view of communication engineering, Dover Publications, 190 pp, 1958.
- Bingham, F., S. Howden, C. Koblinsky, 2002. Sea surface salinity measurements in the historical database. *Journal of Geophysical Research* 107(C12) 8019, doi:10.1029/2000JC000767.
- Boyer, T., S. Levitus, J. Antonov, R. Locoarnini, and H. Garcia, Linear trends in salinity for the world ocean, 1955-1998, *Geophys. Res. Lett.*, 32, doi:10.1029/2004GL021791, 2005
- Bratcher, A., and B. Giese, Tropical Pacific decadal variability and global warming, *Geophys. Res., Lett.*, 29, doi:10.1029/2002GL015191, 2002.
- Boutin, J., et N. Martin, ARGO upper salinity measurements : perspectives for L-Band radiometers calibration and retrieved sea surface salinity validation, *IEEE Geos. Remot. Sens. Lett.*, 3, 202-206, 2006..
- Busalacchi, A.J., M.J. McPhaden, and J. Picaut, 1994: Variability in equatorial Pacific sea surface topography during the verification phase of the TOPEX/Poseidon Mission. *J. Geophys. Res.*, 99, 24,725-24,738.
- Cabanes, C., A. Cazenave, and C. Le Provost, Sea level rise during past 40 years determined from satellite and in situ observations, *Science*, 294, 840-842, 2001.
- Cane, M., A. Clement, A. Kaplan, Y. Kushnir, D. Pozdnyakov, R. Seager, S. Zebiak, and R. Murtugudde, Twentieth-century sea surface temperature trends, *Science*, 275, 957-960, 1997.
- Cazenave, A., and S. Nerem, Present-day sea level change: observations and causes, *Rev. Geophys.* 42, RG3001, 2003RG000139, 2004.
- Chavez, F., J. Ryan, S. Lluch-Cota, and M. Niquen, From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific ocean, *Nature*, 299, 217-221, 2003.
- Chen, M., P. Xie, J.E. Janowiak, and P.A. Arkin, Verifying the reanalysis and climate models outputs using a 56-year data set of reconstructed global precipitation. 14th AMS Conf. Appl. Meteor., 11-15 January, 2004, Seattle, WA, 2004.
- Christiansen, R., et & K. Liestøl, 1931. *Légendes populaires de Norvège Culture nordique IX*, Oslo.
- Church, J. and 34 coll., Changes in sea level, in *Climate Change 2001: the scientific basis*, contribution of Working Group 1 to the third Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel of Climate Change, edited by J.T. Houghton et al., 639-693, Cambridge Univ. Press, New York (available at http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/), 2001.
- Cobb, K., C. Charles, and D. Hunter, A central tropical Pacific coral demonstrates Pacific, Indian, and Atlantic decadal climate connections, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2209-2212, 2001.
- Cole, J., R. Fairbanks, and G. Shen, Recent variability in the Southern Oscillation: isotopic results from a Tarawa Atoll coral, *Science*, 260, 1790-1793, 1993.
- Corrége, T., M. Gagan, W. Beck, G. Burr, G. Cabioch, and F. Le Cornec, Interdecadal variation in the extent of South Pacific tropical waters during the Younger Dryas event, *Nature*, 428, 927-929, 2004.
- Corrége, 2006. Sea surface temperature and salinity reconstruction from coral geochemical tracers. *Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoeco.*, 232, 408-428.
- Cronin, M., and M. McPhaden, Upper ocean salinity balance in the western equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 103, 27,567-27,587, 1998.
- Cronin, M., et M. McPhaden, Diurnal cycle of rainfall and surface salinity in the western Pacific warm pool, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3465-3468, 1999.
- Cronin, M., et M. McPhaden, Barrier layer formation during westerly wind bursts, *J. Geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2001JC001171, 2002.
- Curry, R., B. Dickson, and I. Yashayaev, A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades, *Nature*, 426, 826-828, 2003.
- de Boyer Montégut C., G. Madec, A. S. Fischer, A. Lazar, D. Iudicone, Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology, *J. Geophys. Res.*, 109, C12003, doi:10.1029/2004JC002378, 2004.
- Delcroix T. et C. Hénin, 1989. Mechanisms of subsurface thermal structure and sea surface thermohaline variabilities in the southwestern tropical Pacific during 1979-85. *J. Mar. Res.*, 47, 777-812.
- Delcroix T. et C. Hénin, 1991. Seasonal and interannual variations of sea-surface salinity in the tropical Pacific ocean. *J. Geophys. Res.*, 96, 22135-22150.
- Delcroix T. et G. Eldin, Observations Hydrologiques dans l'Océan Pacifique Tropical Ouest. Campagnes SURTROPAC 1 à 17, de janvier 1984 à août 1992, campagnes COARE156 1 à 3, d'août 1991 à octobre 1992. TDM 141, ORSTOM Editions, Paris, 78 pages, 1995.
- Delcroix T. et J. Picaut, 1998. Zonal displacement of western equatorial Pacific "fresh pool". *J. Geophys. Res.*, 103, 1087-1098.
- Delcroix T., 1998. Observed surface oceanic and atmospheric variability in the Tropical Pacific at seasonal and ENSO time scales: a tentative overview. *J. Geophys. Res.*, 103, 18611-18633.
- Delcroix T., C. Hénin, V. Porte et P. Arkin, 1996. Precipitation and sea-surface salinity in the tropical Pacific. *Deep Sea Res.*, 43, 1123-1141.
- Delcroix T., L. Gourdeau et C. Hénin, 1998. Sea surface salinity changes along the Fiji-Japan shipping track during the 1996 La Niña and 1997 El Niño period. *Geophys. Res. Letter*, 25, 3169-3172.
- Delcroix, T. and M. McPhaden, Interannual sea surface salinity and temperature changes in the western Pacific warm pool during 1992-2000. *J. Geophys. Res.*, 107, 8002, C12, doi:10.1029/2001JC000862, 2002.
- Delcroix, T., et F. Masia, 1989. Atlas des variations de température et de salinité de surface du Pacifique tropical (1969-1988). Rapports scientifiques et techniques, sciences de la mer, océanographie physique, 2, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 151 pages.

- Delcroix, T., et R. Murtugudde, 2002. Sea surface salinity changes in the East China Sea during 1997-2001 : influence of the Yangtze river. *J. Geophys. Res.*, 107, 8008, C12, doi:10.1029/2001JC000893.
- Delcroix, T., G. Eldin and C. Hénin, Upper ocean water masses and transport in the western tropical Pacific (165°E), *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 2248-2262, 1987.
- Delcroix, T., M. J. McPhaden, A. Dessier, and Y. Gouriou, 2005. Time and space scales for sea surface salinity in the tropical oceans. *Deep Sea Res.*, 52/5, 787-813, doi:10.1016/j.dsr.2004.11.012.
- Delcroix, T., M. J. McPhaden, A. Dessier, and Y. Gouriou, Time and space scales for sea surface salinity in the tropical oceans. *Deep Sea Res.*, 52/5, 787-813, doi:10.1016/j.dsr.2004.11.012, 2005.
- Delcroix, T., S. Cravatte, and M. McPhaden, 2006. Decadal variations and trends in tropical Pacific sea surface salinity since 1970. *J. Geophys. Res.*, revised.
- Deser, C., A. Phillips, and J. Hurrell, Pacific interdecadal climate variability: linkages between the tropics and the north Pacific during boreal winter since 1900, *J. Climate*, 17, 3109-3124, 2004.
- Donguy, J.R. and G. Eldin, Eastward propagation at the equator during the 1982-83 El Nino, inferred from sea surface salinity. *Trop. Ocean Atmos. Newlet.*, 32, 1-2, 1985.
- Dessier, A., J-R. Donguy, 1994. The sea-surface salinity in the tropical Atlantic between 10°S and 30°N – seasonal and interannual variations (1977-1989). *Deep Sea Research* 41, 81-100.
- Donguy J. R. and C. Hénin (1976) Relations entre les précipitations et la salinité de surface dans l'océan Pacifique tropical sud-ouest basées sur un échantillonnage de surface de 1956 à 1973. *Annales Hydrographiques*, 4, 53-59.
- Donguy, J.R., and G. Meyers, Mean annual variation of transport of major currents in the tropical Pacific ocean, *Deep Sea. Res.*, 43, 1105-1122, 1996.
- Donguy et al., TS + SSS TOAN paper.
- Durand F., G. Gourdeau, T. Delcroix J. Verron, 2002. Assimilation of sea surface salinity in a tropical OGCM: a twin experiment approach. *Journal of Geophysical Research* 107(C12), 8004, doi:10.1029/2001JC000849.
- Eldin, G., A. Morlière, and G. Reverdin, Acoustic Doppler current profiling along the Pacific equator from 95°W to 165°E, *Geophys. Res. Let.*, 19, 913-916, 1992.
- Eldin G., M. Rodier, M.H. Radenac, 1997. Physical and nutrient variability in the upper equatorial Pacific associated with westerly wind forcing and wave activity in October 1994. *Deep Sea Research* 44, 1783-1800.
- Eldin, G., T. Delcroix, and M. Rodier, The frontal area at the eastern edge of the western equatorial Pacific warm pool in April 2001. *J. Geophys. Res.*, 109 (C7), doi:10.1029/2003JC002088, 2004.
- Evans, M.N., M.A. Cane, D.P. Schrag, A. Kaplan, B.K. Linsley, R. Villalba and G.M. Wellington, Support for tropically-driven Pacific decadal variability based on paleoproxy evidence, *Geophys. Res. Let.*, 28, 3689-3692, 2001.
- Emery, W, and R. Thomson, 1998. *Data analysis methods in physical oceanography*. Pergamon, Elsevier Science Ltd, 634 pages.
- Fedorov, A., and G. Philander, Is El Niño changing ? *Science*, 288, 1997-2002, 2000.
- Giese, B., S. Urizar, and N. Fuekar, Southern hemisphere origins of the 1976 climate shift, *Geophys. Res. Let.*, 29, doi:10.1029/2001GL013657, 2002.
- Glantz, M, *Currents of change: El Niño's impact on climate and society*, Cambridge University Press, 194 pages, 1996.
- Goddard, L., and M. Dilley, El Niño: catastrophe or opportunity, *J. Climate*, 18, 651-665, 2005.

- GOOS: Global Ocean Observing System (<http://www.ioc-goos.org/>)
- Gouriou, Y., and T. Delcroix, Seasonal and ENSO variations of sea surface salinity and temperature in the South Pacific Convergence Zone during 1976-2000. *J. Geophys. Res.* 107(C12), 8011, doi:10.1029/2001JC000830, 2002.
- Grelet et al., Manuel TSG, 1992.
- Gu, D., and G. Philander, Interdecadal climate fluctuations that depend on exchanges between the tropics and extratropics, *Science*, 275, 805-807, 1997.
- Guilderson, T., and D. Schrag, Abrupt shift in subsurface temperatures in the tropical Pacific associated with changes in El Niño, *Science*, 281, 240-243, 1998.
- Hare, S., and N. Mantua, Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989, *Progr. Oceanogr.*, 47, 103-146, 2000.
- Hare, S., Low frequency climate variability and salmon production, PhD dissertation, Univ. Washington, Seattle, WA, USA, 306 pages, 1996.
- Harper, S., Thermocline ventilation and pathways of tropical-subtropical water mass exchange, *Tellus*, 52A, 330-345, 2000.
- Hendy, E., M. Gagan, C. Alibert, M. McCulloch, J. Lough, and P. Isdale, Abrupt decrease in tropical sea surface salinity at end of Little Ice Age, *Science*, 295, 1511-1514, 2002.
- Hénin, C., and J. Grelet, A merchant ship thermo-salinograph network in the Pacific Ocean, *Deep-Sea Res. I*, 43, 1833-1855, 1996.
- Hénin, C., Y. du Penhoat and M. Ioualalen, Observations of sea surface salinity in the western Pacific fresh pool: large scale changes in 1992-1995, *J. Geophys. Res.*, 103, 7523-7536, 1998.
- Hires R. and R. Montgomery (1972) Navifacial temperature and salinity along a track from Samoa to Hawaii, 1975-1965. *Journal of Marine Research*, 30, 177-200.
- Hisard, P., Y. Magnier, and B. Wauthy, Comparison of the hydrographic structure of equatorial waters north of New Guinea and at 170°E, *J. Mar. Res.*, 27, 191-205, 1969.
- Horel, J., On the annual cycle of the tropical Pacific Atmosphere and Ocean, *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1863-1878, 1982.
- Hsu, C., and J. Wallace, The global distribution of the annual and semiannual cycles in precipitation, *Mon. Wea. Rev.*, 104, 1093-1103, 1976.
- Inoue, H., M. Ishii, H. Matsueda, and M. Ahoyama, Changes in longitudinal distribution of the partial pressure of CO₂ (pCO₂) in the central and western equatorial Pacific, *Geophys. Res. Lett.*, 14, 1781-1784, 1996.
- Ji et al., Assimilation T/P et rôle salinité, 19xx.
- Johnson, E., G. Lagerloef, J. Gunn, and F. Bonjean, Surface salinity advection in the tropical oceans compared with atmospheric freshwater forcing: a trial balance, *J. Geophys. Res.*, 107-C12, 2002.
- Juillet-Leclerc, A., S. Thiria, P. Naveau, T. Delcroix, N. Le Bec, D. Blamart, and T. Corrége, 2006. SPCZ migration and ENSO events during the XXth century, as revealed by multiproxies analyses of a Fiji massive coral. *Geophys. Res. Lett.*, accepted..
- Kerr, Y., P. Waldteufel, J.P. Wigneron, J.M. Martinuzzi, J. Font, and M. Berger, Soil moisture retrieval from space: The Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission. *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing* 39(8), 1729-1735, 2001.
- Kessler, W., and B. Taft, Dynamic heights and zonal geostrophic transports in the central tropical Pacific during 1979-84, *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 97-122, 1987.
- Kessler, W.S., Interannual variability of the subsurface high salinity tongue south of the equator at 165°E, *J. Phys. Oceanogr.*, 29, 2038-2049, 1999.
- Kilbourne H., T. Quinn, F. Taylor, T. Delcroix and Y. Gouriou, 2004. El Niño – Southern Oscillation – related salinity variations recorded in the skeletal geochemistry of a

- Porites coral from Espiritu Santo, Vanuatu. *Paleoceanography*, 19, PA4002, doi:10.1029/2004PA001033.
- Kleeman, R., J. McCreary, and B. Klinger, A mechanism for generating ENSO decadal variability, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 1743-1746, 1999.
- Knutson, T. R., and S. Manabe, 1998: Model assessment of decadal variability and trends in the Tropical Pacific Ocean, *J. Climate*, 11(9), 2273-2296, 1998.
- Kobayashi, F., K. Takahashi, 2002. Distribution of diatoms along the equatorial transect in the western and central Pacific during the 1999 La Niña conditions. *Deep Sea Research* 49, 2801-2821.
- Koblinski, C., P. Hildebrand, D. LeVine, F. Pellerano, Y. Chao, W. Wilson, S. Yueh, G. Lagerloef, Sea surface salinity from space : science goals and measurements approach. *Radio Science* 38-4, doi:10.1029/2001RS002584, 2003.
- Kuroda, Y., M. McPhaden, 1993. Variability in the western equatorial Pacific ocean during Japanese Pacific Climate Study cruises in 1989 and 1990. 1993. *Journal of Geophysical Research* 98, 4747-4759.
- Lagerloef, G., T. Delcroix, 2001. Sea surface salinity : a regional case study for the tropical Pacific. In: *Observing the Ocean in the 21st Century*. Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia, 137-148.
- Latif, M., Dynamics of interdecadal variability in coupled ocean-atmosphere models, *J. Climate*, 11, 602-624, 1998.
- Le Bec N., A. Juillet-Leclerc, T. Correge, D. Blamart, and T. Delcroix, 2000. A coral $\delta^{18}\text{O}$ record of ENSO driven sea surface salinity variability in Fiji (South – Western Tropical Pacific). *Geophys. Res. Letter*, 27, 3897-3900.
- LeBorgne et Rodier, 1997.
- Lehodey, P., M. Bertignac, J. Hampton, A. Lewis, and J. Picaut, ENSO and tuna in the western Pacific, *Nature*, 389, 715-718, 1997.
- Lemasson, S., et B. Piton, Campagnes Alizé 1, 1968.
- Levitus S., 1982, Climatological atlas of the world ocean, NOAA Prof. Pap., 13, 173 pp., US Govt. Print. Office, Washington, DC, 1982.
- Levitus, S., Annual cycle of salinity and salt storage in the world ocean, *J. Phys. Oceanogr*, 16, 322-343, 1986.
- Levitus, S., J. Antonov, T. Boyer, and C. Stephens, Warming of the World Ocean, *Science*, 287, 2225-2229, 2000.
- Linsley, B. K., R. B. Dunbar, G. M. Wellington, D. A. Mucciarone, A coral-based reconstruction of intertropical convergence zone variability over Central America since 1707, *J. Geophys. Res.* 99 (C5), 9977-9994, 1994.
- Linsley, B., A. Kaplan, Y. Gouriou, J. Salinger, P. de Menocal, G. Wellington, and S. Howe, Tracking the extent of the South Pacific Convergence Zone since the early 1600s. *Geoch. Geophys. Geosys.*, vol. 7-4, doi:10.1029/2005GC001115, 2006.
- Loukos, H., F. Vivier, P. Murphy, D. Harrison, C. Le Quéré, 2000. Interannual variability of equatorial Pacific CO₂ fluxes estimated from temperature and salinity data. *Geophysical Research Letters* 27, 1735-1738.
- Lukas R. and E. Lindström (1991) The mixed layer of the western equatorial Pacific ocean. *Journal of Geophysical Research*, 96, 3343-3358.
- Lukas, R., Freshening of the upper thermocline in the North Pacific subtropical gyre associated with decadal changes in rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3485-3488, 2001.
- Maes, C., Estimating the influence of salinity on sea level anomaly in the ocean, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 3551-3554, 1998.
- Maes, C., J. Picaut, and S. Belamari, Salinity barrier layer and onset of El Niño in a Pacific coupled model, *Geophys. Res. Lett.*, 29, doi:10.1029GL016029, 2002.

- Maes, C., J. Picaut, Y. Kuroda, and K. Ando, Characteristics of the convergence zone at the eastern edge of the Pacific warm pool, *Geophys. Res. Lett.*, 31, doi10.1029/2004GL019867, 2004.
- Maes, C., K. Ando, T. Delcroix, W. Kessler, M. McPhaden, and D. Roemmich, 2006. Observed correlation of surface salinity, temperature and barrier layer at the eastern edge of the western Pacific warm pool. *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi:10.1029/2005GL024772.
- Mann, M.E., and Park, J., Global scale modes of surface temperature variability on interannual to century time scales, *J. Geophys. Res.*, 99, 25819-25833, 1994.
- Mann, M., R. Bradley, and M. Hughes, Northern hemisphere temperatures during the past millennium: interferences, uncertainties, and limitations, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 759-762, 1999.
- Mantua, N., and S. Hare, The Pacific Decadal Oscillation, *J. Oceanogr.*, 58, 35-44, 2002.
- Mantua, N., S. Hare, Y. Zhang, J. Wallace, and R. Francis, A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon productions, *Bull. Amer. Met. Soc.*, 78-6, 1069-1079, 1997.
- McCreary, J., and P. Lu, Interaction between the subtropical and the tropical equatorial ocean circulations: the subtropical cell, *J. Phys. Oceanogr.*, 24, 466-497, 1994.
- McPhaden, M., P. Freitag and A. Shepherd, Moored salinity time series measurements at 0°, 140°W, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 4, 568-575, 1990.
- McPhaden, M. J., A. J. Busalacchi, R. Cheney, J-R. Donguy, K. S. Gage, D. Halpern, M. Ji, P. Julian, G. Meyers, G. Mitchum, P. P. Niiler, J. Picaut, R. W. Reynolds, N. Smith, and K. Takeuchi, The Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) observing system: A decade of progress, *J. Geophys. Res.*, 103, 14169-14240, 1998.
- McPhaden, M. J., and D. Zhang, Slowdown of the meridional overturning circulation in the upper Pacific Ocean, *Nature*, 415, 603-608, 2004..
- Minobe, S., T. Manabe, and A. Shouji, Maximal wavelet filter and its application to bidecadal oscillation over the Northern Hemisphere through the twentieth century, *J. Climate*, 15, 1064-1075, 2002.
- Neelin, J. D., 1989, Interannual oscillations in an ocean general circulation model coupled to a simple atmosphere model, *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A*, 329, 189-205.
- Neumann, G., 1969. Seasonal salinity variations in the upper strata of the western tropical Atlantic ocean, I., sea surface salinities. *Deep Sea Research* 16, 165-177.
- Nitta, T. and S. Yamada. 1989. Recent warming of tropical sea surface temperature and its relationship to the northern hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 67, 375-383, 1989.
- OCEANOBS99
- Overland, J., and I. Salo, Salinity signature of the Pacific decadal oscillation, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 1337-1340, 1999.
- Philander G., El Niño, La Niña, and the southern oscillation, 293 pp., Academic Press, San Diego, Calif., 1989.
- Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix and M.J. McPhaden, Mechanism of the zonal displacements of the Pacific Warm Pool, implications for ENSO. *Science*, 274, 1486-1489, 1996.
- Picaut J., M. Ioualalen, T. Delcroix, F. Masia, R. Murtugudde, and J. Vialard, The oceanic zone of convergence on the eastern edge of the Pacific Warm Pool: A synthesis of results and implications for ENSO and biogeochemical phenomena. *J. Geophys. Res.*, 106, 2363-2386, 2001.
- Picaut, J., and R. Tournier, Monitoring the 1979-1985 equatorial Pacific current transports with expendable bathythermograph data, *J. Geophys. Res.*, 96 suppl., 3263-3277, 1991.

- Power, S., T. Casey, C. Folland, A. Coleman, and V. Metha, Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia, *Clim. Dyn.*, 15, 319-324, 1999.
- Prunier-Mignot, M., D. Varillon, L. Foucher, J.-M. Ihily, B. Buisson, F. Masia, C. Hénin, M. Ioualalen, T. Delcroix, 1999. Users guide for thermosalinograph installation and maintenance aboard a ship. Notes techniques, Sciences de la Mer, Océanogr. Phys., Centre ORSTOM de Nouméa, New Caledonia, 13, 102 pages.
- Rayner, N., D. Parker, E. Horton, C. Folland, L. Alexander, D. Rowell, E. Kent, and A. Kaplan, Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the nineteenth century, *J. Geophys. Res.*, 108, doi:10.1029/2002JD002670, 2003.
- Reverdin, G., D. Cayan, and Y. Kushnir, 1997. Decadal variability of hydrography in the upper northern North Atlantic in 1948-1990. *J. Geophys. Res.*, 102, 8505-8531.
- Reverdin, G., A. Kaplan and M. Cane, Sea level from temperature profiles in the tropical Pacific ocean, *J. Geophys. Res.*, 101, 18,105-18,119, 1996.
- Reverdin, G., C. Frankignoul, E. Kestenare, and M.J. McPhaden, Seasonal variability in the surface currents of the equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 99, 20323-20344, 1994.
- Reverdin, G., D. Cayan, H. Dooley, D. Ellett, S. Levitus, Y. duPenhoat, and A. Dessier, 1994. Surface salinity of the North Atlantic : can we reconstruct its fluctuations over the last one hundred years. *Progr. Oceanogr.*, 33, 303-346.
- Reverdin, G., P. Blouch, J. Boutin, P. Niiler, J. Rolland, W. Scuba, A. Lourenco, and A. Rios, Surface salinity measurements - COSMOS 2005 experiment in the Bay of Biscay. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, submitted, 2006.
- Reynolds, D., and T. Smith, Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation, *J. Climate*, 7, 929-948, 1994..
- Rodgers, K., P. Friedrichs, and M. Latif, Tropical Pacific decadal variability and its relation to decadal modulations of ENSO, *J. Climate*, 17, 3761-3774, 2004.
- Roemmich, D., M. Morris, W. Young, and J.R. Donguy, Fresh equatorial jets, *J. Phys. Oceanogr.*, 24, 540-558, 1994.
- Roemmich, D, 2000. The Argo Project : Global ocean observations for understanding and prediction of climate variability. *Oceanography* 13, 45-50.
- Ropelewski, C., and M. Halpert, Quantifying Southern Oscillation - precipitation relationships, *J. Climate*, 9, 1043-1059, 1996.
- Roux et al., La Météorologie, 2003.
- Saur, J., 1980. Surface salinity and temperature on the San Francisco – Honolulu route, June 1966 – December 1970 and January 1972 – December 1975, *Journal of Physical Oceanography*, 1669-1680.
- Schneider, N., A decadal spiciness mode in the tropics, *Geophys. Res. Let.*, 27, 257-260, 2000.
- Shinoda, T., and R. Lukas, Lagrangian mixed layer modeling of the western equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 100, 2523-2541, 1995.
- Smed, J., Annual and seasonal variations in the salinity of the North Atlantic surface water, in *Rapports et Proces-Verbaux des Reunions*, vol. CXII, Hydrography, pp. 79– 94, And. Fred. Host and Fils, Copenhagen, Denmark, 1943.
- Smith, T., and D. Reynolds, Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854-1997), *J. Climate*, 16, 1495-1510, 2003.
- Soloviev, A., and R. Lukas, Observation of large diurnal warming events in the near-surface layer of the western equatorial Pacific warm pool, *Deep Sea Res.*, 44, 1055-1076, 1997a.
- Soloviev, A., and R. Lukas, Sharp frontal interfaces in the near-surface layer of the ocean in the western equatorial Pacific warm pool, *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 999-1017, 1997b.

- Sprintall J. and M. Tomczak (1992) Critère MLD.
- Sprintall, J., and M. J. McPhaden, Surface layer variations observed in multiyear time series measurements from the western equatorial Pacific, *J. Geophys. Res.*, 99, 963-979, 1994.
- Sprintall, J., D. Roemmich, 1999. Characterizing the structure of the surface layer in the Pacific ocean. *Journal of Geophysical Research* 104, 23297-23311.
- Stoens, A., C. Menkes, M.H. Radenac, Y. Dandonneau, N. Grima, G. Eldin, L. Memery, C. Navarette, J.M. Andre, T. Moutin, and P. Raimbault, The coupled physical new production system in the equatorial Pacific during the 1992-1995 El Niño, *J. Geophys. Res.*, 104, 3323-3339, 1999.
- Sverdrup, H., M. Johnson, and R. Fleming, *The Oceans : their physics, chemistry and general biology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1942.
- Taylor, An atlas of Pacific islands rainfall, Department of Meteorology Publication 25, The University of Hawaii, Rep. HIG 73-8, 165 pp, Honolulu, HI 96822, USA, 1973.
- Timmermann, A., and F.-F. Jin, A nonlinear mechanism for decadal El Niño amplitude changes, *Geophys. Res. Lett.*, 10.1029/2001GL013369, 2002.
- Timmermann, *Symétrie EN / LN*, 2003.
- Ueki, I., K. Ando, Y. Kuroda, K. Kutsuwada, 2002. Salinity variation and its effect on dynamic height along 156°E in the Pacific warm pool. *Geophysical Research letters* 29, doi:10.1029/2001GL013993.
- Urban, F., J. Cole, and J. Overpeck, Influence of mean climate change on climate variability from a 155-year tropical Pacific coral record, *Nature*, 407, 989-993, 2000.
- Vialard, J., and P. Delecluse, An OGCM study for the TOGA Decade. Part II: Barrier-Layer Formation and Variability, *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 1089-1106, 1998.
- Vialard, J., P. Delecluse et C. Menkes, A modeling study of salinity variability and its effects in the tropical Pacific ocean during the 1993-1999 period, *J. Geophys. Res.*, 107, doi.10.1029/2000JC000858, 2002.
- Wang, B., and S.I. An, A mechanism for decadal changes of ENSO behavior: roles of background wind changes, *Clim. Dyn.*, 18, 475-486, doi:10.1007/s00382-001-0189-5, 2002.
- Wang, B., and S.I. An, Why the properties of El Niño changed during the late 1970s, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 3709-3712, 2001.
- Wang, C., and J. Picaut, Understanding ENSO physics – a review, In: *Earth's Climate : the ocean-atmosphere interaction*, AGU Geophysical Monograph Series 147, 21-48, doi:10.1029/147GM02, 2004.
- WCRP, CLIVAR: A study of climate variability and predictability, science plan, World Climate Research Program publications series #89, August 1995.
- WCRP, TOGA-COARE, 1998.
- Webster, P., and R. Lukas, The tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment (COARE), *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 73, 1377-1416, 1992.
- Wust G. 1964. The major deep-sea expeditions and research vessels 1873–1960: a contribution to the history of oceanography. *Progress in Oceanography* 2: 3–52.
- Xie, P., and P. Arkin, Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2539-2558, 1997.
- Xue, Y., T. Smith, and R. Reynolds, Interdecadal changes of 30-yr normals during 1871-2000, *J. Climate*, 16, 1601-1612, 2003.
- Yaremchuk, M, Sea surface salinity constrains rainfall estimates over tropical oceans, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L15605, doi:10.1029/2006GL026582, 2006.

- Yasunaka, S., and K. Hanawa, Regime shifts and El Niño/Southern Oscillation events in the global sea surface temperatures. *Int. J. Climatol.*, 25, doi:10.1002/joc.1172, 913-930, 2005.
- Yin, X., A. Gruber, P. Arkin, Comparison of the GPCP and CMAP merged gauge-satellite monthly precipitation products for the periods 1979-2001, *J. Hydromet.*, 5, 1207-1222, 2004.

ANNEXE A : SYNOPSIS (1986 – 2006)

Production scientifique

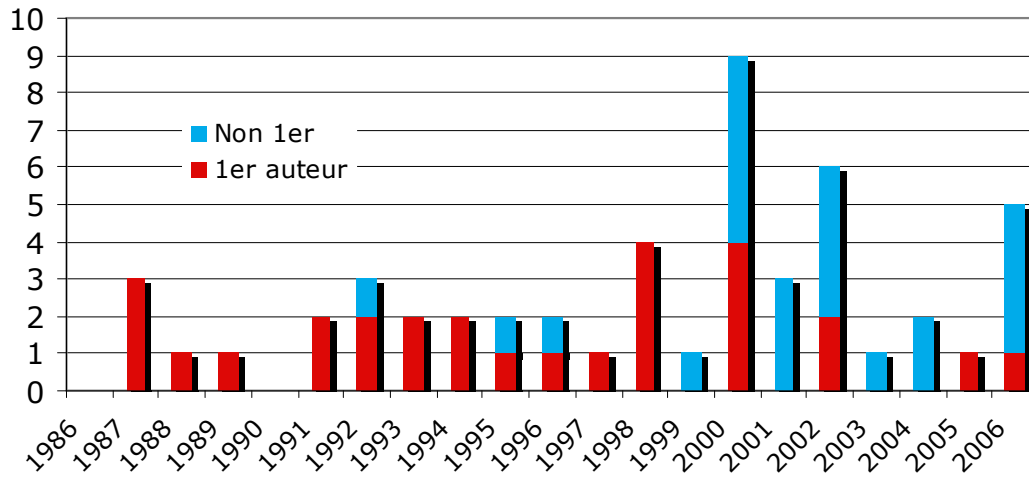


Figure 1. Nombre d'articles de rang A publiés par année, comme 1^{er} auteur (en rouge) et auteur secondaire (en bleu).

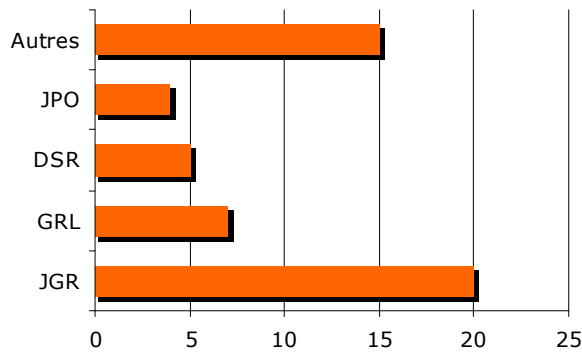


Figure 2. Nombre d'articles de rang A publiés en 1986-2006 pour le Journal of Physical Oceanography (JPO), Deep Sea Research (DSR), Geophysical Research Letters (GRL), Journal of Geophysical Research (JGR) et les Autres revues.

Communications

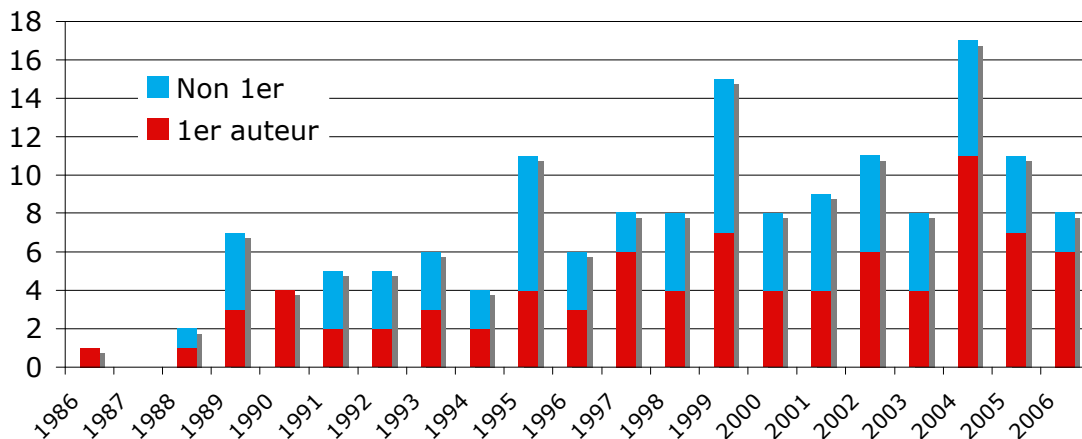


Figure 3. Nombre de communications dispensées à des congrès nationaux et internationaux par année, comme 1^{er} auteur (en rouge) et auteur secondaire (en bleu).

Montage de projets

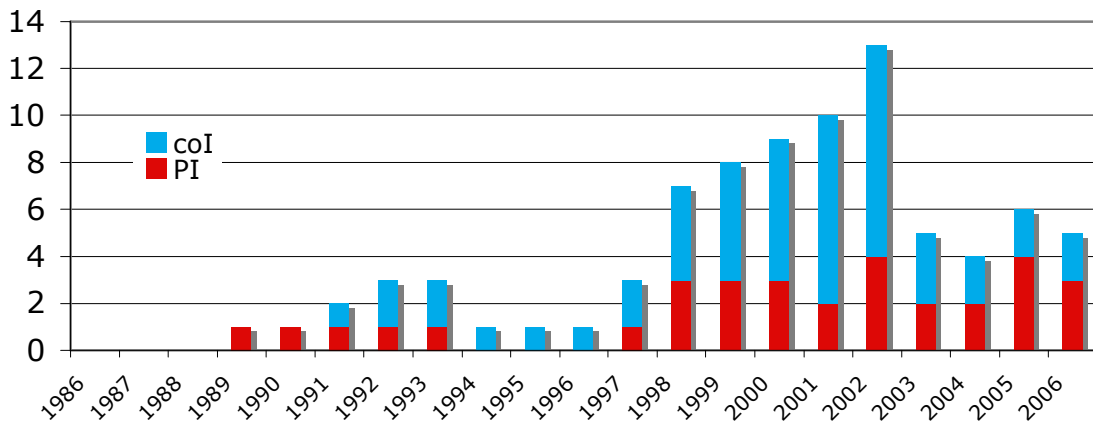


Figure 4. Nombre de projets de recherche acceptés et financés par année, comme 1^{er} auteur (en rouge) et auteur secondaire (en bleu).

Encadrements

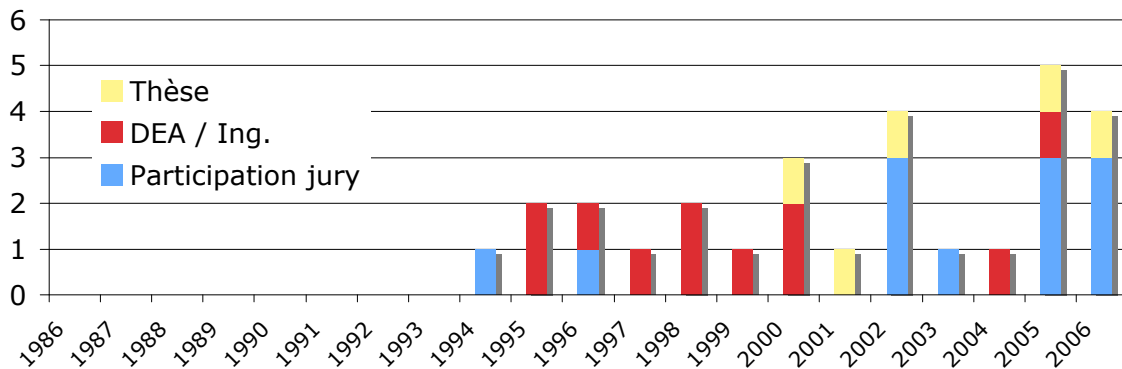


Figure 5. Nombre d'encadrements de stages de DEA, master et écoles d'ingénieurs (en rouge), d'encadrements de thèses (en jaune) et de participations à des jurys de thèses et HDR (en bleu).

ANNEXE B : Articles dans des revues à comité de lecture

(Classement par année)

1. 87-1. Delcroix T., 1987. Net heat gain of the tropical Pacific ocean computed from subsurface ocean data and wind stress data. *Deep Sea Research*, 34, 33-44.
2. 87-2. Delcroix T. et C. Gautier, 1987. Estimates of heat content variations from sea level measurements in the central and western tropical Pacific from 1979 to 1985. *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 725-734.
3. 87-3. Delcroix T., G. Eldin et C. Hénin, 1987. Upper ocean water masses and transport in the western tropical Pacific (165°E). *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 2248-2262.
4. 88-1. Delcroix T. et C. Hénin, 1988. Observations of the equatorial intermediate current in the western Pacific ocean (165°E). *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 363-366.
5. 89-1. Delcroix T. et C. Hénin, 1989. Mechanisms of subsurface thermal structure and sea surface thermohaline variabilities in the southwestern tropical Pacific during 1979-85. *J. Mar. Res.*, 47, 777-812.
6. 91-1. Delcroix T., J. Picaut et G. Eldin, 1991. Equatorial Kelvin and Rossby waves evidenced in the Pacific ocean through GEOSAT sea-level and surface current anomaly. *J. Geophys. Res.*, 96, 3249-3262.
7. 91-2. Delcroix T. et C. Hénin, 1991. Seasonal and interannual variations of sea-surface salinity in the tropical Pacific ocean. *J. Geophys. Res.*, 96, 22135-22150.
8. 92-1. Delcroix T., F. Masia et G. Eldin, 1992. Comparison of profiling current meter and shipboard ADCP measurements in the western equatorial Pacific. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 9, 867-871.
9. 92-2. du Penhoat Y., T. Delcroix et J. Picaut, 1992. Interpretation of Kelvin/Rossby waves in the Equatorial Pacific from model-data intercomparaison during the 1986-87 El Niño. *Oceano. Acta*, 15-5, 545-554.
10. 92-3. Delcroix, T., G. Eldin, M.H. Radenac, J. Toole and E. Firing, 1992. Variations of the western equatorial Pacific ocean, 1986-1988. *J. Geophys. Res.*, 97, 5423-5447.
11. 93-1. Delcroix T., G. Eldin, M. McPhaden et A. Morlière, 1993. Effects of westerly wind bursts upon the western equatorial Pacific ocean, February-April 1991. *J. Geophys. Res.*, 98, 16379-16385.
12. 93-2. Delcroix T., 1993. Seasonal and interannual variability of sea-surface temperatures in the tropical Pacific, 1969-1991. *Deep Sea Res.*, 40, 2217-2228.
13. 94-1. Delcroix T., J.P. Boulanger, F. Masia et C. Menkes, 1994. GEOSAT-derived sea level and surface-current anomalies in the equatorial Pacific, during the 1986-1989 El Niño and La Niña. *J. Geophys. Res.*, 99, 25093-25107.
14. 94-2. Eldin G., T. Delcroix, C. Hénin, K. Richards, Y. duPenhoat, J. Picaut et P. Rual, 1994. Large-scale structure of currents and hydrology during the COARE Intensive Observation Period. *Geophys. Res. Letter*, 21, 2681-2684.
15. 95-1. Picaut J. et T. Delcroix, 1995. Equatorial wave sequence associated with the warm pool displacement during the 1986-1989 El Niño and La Niña. *J. Geophys. Res.*, 100, 18393-18408.
16. 96-1. Delcroix T., C. Hénin, V. Porte et P. Arkin, 1996. Precipitation and sea-surface salinity in the tropical Pacific. *Deep Sea Res.*, 43, 1123-1141.
17. 96-2. Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix et M.J. McPhaden, 1996. Mechanism of the zonal displacements of the Pacific Warm Pool, implications for ENSO. *Science*, 274, 1486-1489.
18. 97-1. Delcroix T. et O. Lenormand, 1997. ENSO signals in the vicinity of New Caledonia, south-western Pacific. *Oceano. Acta*, 20, 481-491.

19. 98-1. Delcroix T. et J. Picaut, 1998. Zonal displacement of western equatorial Pacific “fresh pool”. *J. Geophys. Res.*, 103, 1087-1098.
20. 98-2. Delcroix T., 1998. Observed surface oceanic and atmospheric variability in the Tropical Pacific at seasonal and ENSO time scales: a tentative overview. *J. Geophys. Res.*, 103, 18611-18633.
21. 98-3. Delcroix T., L. Gourdeau et C. Hénin, 1998. Sea surface salinity changes along the Fiji-Japan shipping track during the 1996 La Niña and 1997 El Niño period. *Geophys. Res. Letter*, 25, 3169-3172.
22. 99-1. Alory G. et T. Delcroix, 1999. Climatic variability in the vicinity of Wallis, Futuna and Samoa islands (13°S-15°S; 180°-170°W). *Oceano. Acta*, 22, 249-263.
23. 00-1. Corregge T., T. Delcroix, J. Recy, W. Beck, G. Cabioch et F. Le Cornec, 2000. Evidence for stronger El Niño Southern Oscillation (ENSO) events in a mid-Holocene massive coral. *Paleoceanography*, 15, 465-470.
24. 00-2. Delcroix T., B. Dewitte B., Y. Dupenhoat., F. Masia, et J. Picaut, 2000. Equatorial waves and warm pool displacements during the 1992-98 ENSO events. Observations and modelling. *J. Geophys. Res.*, 105, 26045-26062.
25. 00-3. Durand F. and T. Delcroix, 2000 : A note on the variability of the tropical Pacific thermal structure during the 1979-1996 period, as deduced from XBT sections. *J. Phys. Oceanogr.*, 30, 3261-3269.
26. 00-4. Gourdeau L., J. Verron, T. Delcroix, A. Busalacchi et R. Murtugudde, 2000. Assimilation of Topex/Poseidon altimetric data in a primitive equation model of the tropical Pacific ocean, 1992-96. *J. Geophys. Res.*, 105, 8473-8488.
27. 00-5. Le Bec N., A. Juillet-Leclerc, T. Corregge, D. Blamart, and T. Delcroix, 2000: A coral $\delta^{18}\text{O}$ record of ENSO driven sea surface salinity variability in Fiji (South – Western Tropical Pacific). *Geophys. Res. Letter*, 27, 3897-3900.
28. 00-6. Nicet J.B. et T. Delcroix, 2000: ENSO-related precipitation changes in New Caledonia, South Western Tropical Pacific. 1969-1998. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 3001-3006.
29. 01-1. Picaut J., M. Ioualalen, T. Delcroix, F. Masia, R. Murtugudde, et J. Vialard, 2001. The oceanic zone of convergence on the eastern edge of the Pacific Warm Pool: A synthesis of results and implications for ENSO and biogeochemical phenomena. *J. Geophys. Res.*, 106, 2363-2386.
30. 01-2. Corregge, T., T. Quinn, T. Delcroix, F. Le Cornec, J. Recy et G. Cabioch, 2001 : Little Ice Age sea surface temperature variability in the southwest tropical Pacific, *Geophys. Res. Let.*, 28, 3477-3480.
31. 01-3. Radenac, M.H., C. Menkes, J. Vialard, C. Moulin, Y. Dandonneau, T. Delcroix, C. Dupouy, A. Stoens, et P.-Y. Deschamps, 2001 : Impacts of dynamics on nitrate and new production in the equatorial Pacific during the 1997-98 El Niño: a synthesis from models and observations. *J. Geophys. Res.*, 106, 26879-26889.
32. 02-1. Alory, G., et T. Delcroix, 2002 : Interannual sea level changes and associated mass transports in the tropical Pacific from TOPEX-Poseidon data and linear model results (1964-1999). *J. Geophys. Res.*, 107, C10, 3153, doi:10.1029/2001JC001067.
33. 02-2. Delcroix, T. et M. McPhaden, 2002 : Interannual sea surface salinity and temperature changes in the western Pacific warm pool during 1992-2000. *J. Geophys. Res.*, 107, 8002, C12, doi:10.1029/2001JC000862.
34. 02-3. Delcroix, T., et R. Murtugudde, 2002 : Sea surface salinity changes in the East China Sea during 1997-2001 : influence of the Yangtze river. *J. Geophys. Res.*, 107, 8008, C12, doi:10.1029/2001JC000893.

35. 02-4. Durand F., G. Gourdeau, T. Delcroix et J. Verron, 2002. Assimilation of sea surface salinity in a tropical OGCM: a twin experiment approach. *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2001JC000849.
36. 02-5. Gouriou, Y. et T. Delcroix, 2002. Seasonal and ENSO variations of sea surface salinity and temperature in the South Pacific Convergence Zone during 1976-2000. *J. Geophys. Res.*, 107, C12, 8011, doi:10.1029/2001JC000830.
37. 02-6. Le Borgne, R., R. Barber, T. Delcroix, H. Inoue, D. Mackey, et M. Rodier, 2002 : Pacific warm pool and divergence : temporal and zonal variations on the equator and their effects on the biological pump. *Deep Sea Res.*, 49, 2471-2512.
38. 03-1. Durand, F., L. Gourdeau, J. Verron, and T. Delcroix, 2003: Can we improve the representation of modelled ocean mixed-layer by assimilating surface-only satellite-derived data ? A case study for the tropical Pacific during the 1997-98 El Niño. *J. Geophys. Res.*, 108 (C6), 3200, doi:10.1029/2002JC001603.
39. 04-1. Eldin, G., T. Delcroix, and M. Rodier, 2004 : The frontal area at the eastern edge of the western equatorial Pacific warm pool in April 2001. *J. Geophys. Res.*, 109 (C7), doi:10.1029/2003JC002088.
40. 04-2. Kilbourne H., T. Quinn, F. Taylor, T. Delcroix and Y. Gouriou, 2004. El Niño – Southern Oscillation – related salinity variations recorded in the skeletal geochemistry of a Porites coral from Espiritu Santo, Vanuatu. *Paleoceanography*, 19, PA4002, doi:10.1029/2004PA001033.
41. 05-1. Delcroix, T., M. J. McPhaden, A. Dessier, and Y. Gouriou, 2005. Time and space scales for sea surface salinity in the tropical oceans. *Deep Sea Res.*, 52/5, 787-813, doi:10.1016/j.dsr.2004.11.012.
42. 06-1. Reverdin, G., E. Kestenare, C. Frankignoul, and T. Delcroix, 2006. Surface salinity in the Atlantic Ocean (30°S-50°N). *Progr. Oceanogr.*, accepted.
43. 06-2. Maes, C., K. Ando, T. Delcroix, W. Kessler, M. McPhaden, and D. Roemmich, 2006. Observed correlation of surface salinity, temperature and barrier layer at the eastern edge of the western Pacific warm pool. *Geophys. Res. Let.*, 33, doi:10.1029/2005GL024772.
44. 06-3. Gouriou, Y., T. Delcroix, and G. Eldin, 2006 : Upper and intermediate circulation in the western equatorial Pacific ocean in October 1999 and April 2000. *Geophys. Res. Let.*, 33, doi:10.1029/2006GL025941 (Selected as AGU Journal Highlight).
45. 06-4. Juillet-Leclerc, A., S. Thiria, P. Naveau, T. Delcroix, N. Le Bec, D. Blamart, and T. Corrége, 2006. SPCZ migration and ENSO events during the 20th century, as revealed by climate proxies from a Fiji coral. *Geophys. Res. Let.*, 33, doi:10.1029/2006GL025950.
46. 06-5. Delcroix, T., S. Cravatte, and M. McPhaden, 2006 : Decadal variations and trends in tropical Pacific sea surface salinity since 1970. *J. Geophys. Res.*, accepted.

ANNEXE C : Contributions orales ou affichées à des congrès

(Classement par année)

- 83-1. Merle J. et T. Delcroix, 1983. Seasonal oscillations of the thermocline in the tropical Atlantic ocean. *IUGG inter-disciplinary symposia: general assembly*, Hambourg, 15-27 août 1983.
- 84-1. Delcroix T. et C. Gautier, 1984. Seasonal variations of heat content and sea level in the tropical Pacific. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, Novembre 1984.
- 86-1. Delcroix T., 1986. Water masses and transport variability in the western tropical Pacific ocean. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 8-12 décembre 1986.
- 88-1. Delcroix T. et C. Hénin, 1988. Sea surface thermo-haline and subsurface thermal structure variabilities in the southwestern tropical Pacific ocean during 1979-85. *Symposium on western tropical air-sea interactions*, Beijing, P.R.C., 15-17 novembre 1988.
- 88-2. Toole J., T. Delcroix, G. Eldin, E. Firing, M. Francis, C. Hénin, S. Jiang, L. Mangum, R. Millard, J. Picaut, S. Pu, M.H. Radenac, Z. Wang et E. Zou, 1988. Evolution of the western Pacific ocean during the 1986-87 El Niño. *Symposium on western tropical air-sea interactions*, Beijing, P.R.C., 15-17 novembre 1988.
- 89-1. Picaut J., T. Delcroix, B. Camusat, M. McPhaden et A. Busalacchi, 1989. In situ and altimeter derived sea level and equatorial geostrophic current during the 1986-87 El Niño. *First meeting of the international TOPEX/POSEIDON working team*, Pasadena, U.S.A., 21-24 février 1989.
- 89-2. Picaut J., B. Camusat, T. Delcroix, M. McPhaden et A. Busalacchi, 1989. Surface equatorial flow anomalies in the Pacific ocean during the 1986-87 ENSO using GEOSAT altimeter data. *Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*, Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989.
- 89-3. Eldin G. et T. Delcroix, 1989. Vertical thermal structure variability along 165°E during the 1986-87 ENSO event. *Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*, Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989.
- 89-4. Delcroix T., G. Eldin et J. Picaut, 1989. Major GEOSAT sea level anomalies in the western tropical Pacific during the 1986-87 El- Niño, elucidated as equatorial Kelvin and Rossby waves. *Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*, Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989.
- 89-5. Delcroix T. et C. Hénin, 1989. Mechanisms of subsurface thermal structure and sea surface thermohaline variabilities in the southwestern tropical Pacific during 1979-85. *Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*, Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989.
- 89-6. Delcroix T., J. Picaut et G. Eldin, 1989. GEOSAT sea level and surface current anomalies in the tropical Pacific, elucidated as equatorial Kelvin and Rossby waves. *Second meeting of the science working team of the TOPEX/POSEIDON project*, Toulouse, France, 17-20 octobre 1989.
- 89-7. Picaut J., R. Tournier, T. Delcroix et C. Hénin, 1989. Thermal and current variabilities during 1979-85 in the western and central tropical Pacific deduced from XBT data. *International symposium on Japanese Pacific Climate study (JAPACS)*, Tsukuba, Japon, 19-20 octobre 1989.
- 90-1. Delcroix T., G. Eldin, M.H. Radenac, J. Toole et E. Firing, 1990. Variations of the western equatorial Pacific ocean, 1986-88. *International TOGA Scientific Conference*, Honolulu, 16-20 juillet 1990.

- 90-2. Delcroix T. et C. Hénin, 1990. Seasonal and interannual variations of sea surface temperature and salinity in the tropical Pacific ocean. *International TOGA Scientific Conference*, Honolulu, 16-20 juillet 1990.
- 90-3. Delcroix T., G. Eldin, M.H. Radenac, J. Toole et E. Firing, 1990. Variability of the western equatorial Pacific ocean, 1986-1988. *PRC/US TOGA Data Display and Analysis Workshop*, Qingdao, Chine, 5-9 novembre 1990.
- 90-4. Delcroix T., G. Eldin et J. Picaut, 1990. Variations du niveau moyen et des courants de surface du Pacifique tropical pendant l'El Niño de 1986-87, déduites des données de GEOSAT. *Journées "PIX-ILES 90"*, Nouméa, 19-24 Novembre 1990.
- 91-1. Delcroix T., 1991. L'altimétrie satellitaire: observer et comprendre l'océan à partir de l'espace. Journées de la Recherche dans le Pacifique Sud, Nouméa, 30 avril - 3 mai 1991 en présence de M^r H. Curien, Ministre de la Recherche.
- 91-2. Picaut J., A. Busalacchi, T. Delcroix, G. Eldin et M. McPhaden, 1991. Equatorial Kelvin and Rossby waves in the Pacific evidenced during the 1986-87 El Niño trough GEOSAT sea level and derived surface current. *Summer workshop on the physics of the equatorial oceans*, Rhodes Island, 26-28 juin 1991.
- 91-3. Delcroix T., Y. duPenhoat et J. Picaut, 1991. Interprétation des ondes équatoriales de Kelvin et Rossby observées par GEOSAT, à partir d'un modèle numérique. *Journées Altimétrie Satellitaire pour l'Océanographie*, Toulouse, 17-18 octobre 1991.
- 91-4. Picaut J., A. Busalacchi, B. Camusat, T. Delcroix et M. McPhaden, 1991. Courants géostrophiques associés aux ondes équatoriales de Kelvin et de Rossby déduits de mesures altimétriques GEOSAT dans le Pacifique. *Journées Altimétrie Satellitaire pour l'Océanographie*, Toulouse, 17-18 octobre 1991.
- 91-5. Picaut J., A. Busalacchi, T. Delcroix et M. McPhaden, 1991. Rigorous open-ocean validation of TOPEX/POSEIDON sea level in the western equatorial Pacific. *TOPEX/POSEIDON science working team*, Toulouse, 22-25 octobre 1991.
- 92-1. Delcroix T., 1992. Moyens d'études de la variabilité du niveau de la mer à l'échelle saisonnière et interannuelle (implication du groupe SURTROPAC au sein du programme international TOGA). *Second South Pacific Research Environment Program meeting on climate changes and sea level rise in the south Pacific region*, Nouméa, 6-10 avril 1992.
- 92-2. Picaut J., Y. duPenhoat et T. Delcroix, 1992. Interpretation of Kelvin/Rossby waves in the equatorial Pacific from model-Geosat data intercomparison during the 1986-87 El Niño. *Western Pacific TOGA Scientific Symposium*, Taipei, 5-6 mai 1992.
- 92-3. Picaut J., J.P. Boulanger, T. Delcroix, C. Menkes et Y. duPenhoat, 1992. Equatorial waves in the Pacific ocean and ENSO. *Tokyo Symposium on Climate Changes and the Pacific Ocean*, Tokyo, 9-12 juin 1992.
- 92-4. Delcroix T., 1992. Response of the equatorial Pacific ocean to westerly wind bursts. *Invited speaker. American Geophysical Union Western Pacific Geophysics Meeting*, Hong-Kong, 17-21 août 1992.
- 92-5. Picaut J., J.P. Boulanger, T. Delcroix, C. Menkes et Y. duPenhoat, 1992. Equatorial waves in the Pacific ocean and ENSO. *American Geophysical Union Western Pacific Geophysics Meeting*, Hong-Kong, 17-21 août 1992.
- 93-1. Picaut J., A. Busalacchi, T. Delcroix, M. McPhaden et E. Katz, 1993. Status of TOPEX/POSEIDON validation in the western equatorial Pacific. *TOPEX/POSEIDON validation workshop*, Pasadena, Californie, 22-25 février 1993.
- 93-2. Delcroix T., G. Eldin, M. McPhaden et A. Morlière, 1993. Effects of westerly wind bursts upon the western equatorial Pacific ocean, February-March 1991. *Fourth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, Hobart, Tasmanie, Australie, 29 mars - 2 avril 1993.

- 93-3. Eldin G., T. Delcroix, C. Hénin et K. Richards, 1993. First results on the large scale current structure and hydrology along 156°E during the COARE IOP, December 1992 - February 1993. *Fourth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*, Hobart, Tasmanie, Australie, 29 mars - 2 avril 1993.
- 93-4. Delcroix T., J. Picaut et F. Masia, 1993. Influence of equatorial waves in the basin-wide displacement of the warm pool during the 1986-1988 El Niño and La Niña, as inferred from GEOSAT. *Symposium International Altimétrie Satellitaire et Océanographie*, Toulouse, 29 novembre - 3 décembre 1993.
- 93-5. Eldin G., T. Delcroix, C. Hénin et K. Richards, 1993. On the large scale current and hydrology variability along 156°E during the COARE Intensive Observation Period. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 6-10 décembre 1993.
- 93-6. Delcroix T., J. Picaut et F. Masia, 1993. On the role of equatorial waves in the zonal displacement of the warm pool during the 1986-1988 El Niño and La Niña. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 6-10 décembre 1993.
- 94-1. Richards K., M. Inall, T. Delcroix, G. Eldin, et C. Hénin, 1994. The response of the upper ocean to atmospheric forcing during TOGA-COARE. *European Geophysical Society*, Grenoble, avril 1994.
- 94-2. Delcroix T. et J. Picaut, 1994. Equatorial wave sequence associated with the warm pool displacement during the 1986-1989 El Niño and La Niña. Invited Speaker. The Oceanographic Society, *Pacific Basin Meeting*, Honolulu, 19-22 juillet 1994.
- 94-3. Delcroix T., C. Hénin, V. Porte, P. Arkin et J. Janowiak, 1994. A comparison between OLR-derived precipitation and sea-surface salinity in the tropical Pacific, 1974-89. The Oceanographic Society, *Pacific Basin Meeting*, Honolulu, 19-22 juillet 1994.
- 94-4. Eldin G., T. Delcroix, C. Hénin et K. Richards, 1994. On the large scale current and hydrology variability along 156°E during the COARE Intensive Observation Period. *TOGA-COARE International Data Workshop*, Toulouse 2-11 août 1994.
- 95-1. Picaut J., T. Delcroix, M. Ioualalen et C. Maes, 1995. Diagnostic of the zonal displacement of the warm pool during El Niño and La Niña. *TOGA95 International Scientific Conference*, Melbourne, 2-7 avril 1995.
- 95-2. Picaut J., J.P. Boulanger, A. Busalacchi, T. Delcroix, L. Gourdeau, M. McPhaden, C. Menkes et Y. duPenhoat, 1995. ENSO and altimetry. *TOGA95 International Scientific Conference*, Melbourne, 2-7 avril 1995.
- 95-3. Delcroix T. G. Eldin, E. Firing, C. Hénin, S. Pu, M.H. Radenac, P. Rual et J. Toole, 1995. Variability of upper ocean water masses and transports in the western equatorial Pacific during the TOGA period. *TOGA95 International Scientific Conference*, Melbourne, 2-7 avril 1995.
- 95-4. Delcroix T. G. Eldin, C. Hénin, P. Rual et M.H. Radenac, 1995. Variability of upper ocean water masses and transports in the western equatorial Pacific, 1984-1992. *Carbon Cycle of the Equatorial Pacific, NATO Advanced Research Workshop*, Nouméa, 19-23 juin 1995.
- 95-5. Delcroix T. et J. Picaut, 1995. Equatorial wave sequence associated with the warm pool displacement during the 1986-1989 El Niño and La Niña. *International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO), XXI General Assembly*, Honolulu, Hawaï, 5-12 août 1995.
- 95-6. Menkes C., T. Delcroix, R. Murtugudde et A. Busalacchi, 1995. Contrasting the evolution of the 1986-89 and 1992-94 ENSO events. Colloque Océanographie Opérationnelle et Observation Spatiale, Biarritz, 16-20 octobre 1995.
- 95-7. Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix et M. J. McPhaden, 1995. Zonal displacement of the western Pacific warm pool during El Niño and La Niña. Colloque Océanographie Opérationnelle et Observation Spatiale, Biarritz, 16-20 octobre 1995.

- 95-8. Delcroix T., G. Eldin, C. Hénin, M.H. Radenac et P. Rual, 1995. Variability of upper ocean water masses and transports in the western equatorial Pacific during the TOGA period. Poster, réunion d'évaluation du PNEDC, Carcassonne, 13-14 novembre 1995.
- 95-9. Eldin G., T. Delcroix, Y. duPenhoat, C. Hénin, J. Picaut et P. Rual, 1995. Variability of the oceanic upper layer in the western Pacific during the COARE Intensive Observing Period. Poster, réunion d'évaluation du PNEDC, Carcassonne, 13-14 novembre 1995.
- 95-10. Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix et M. McPhaden, 1995. Déplacement zonal de la "warm pool" dans le Pacifique ouest durant El Niño et La Niña. Poster, réunion d'évaluation du PNEDC, Carcassonne, 13-14 novembre 1995.
- 95-11. Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix et M. McPhaden, 1995. Zonal displacements of the western Pacific warm pool associated with a series of ENSO events *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 11-15 décembre 1995.
- 96-1. Merle J. et T. Delcroix, 1996. ENSO and Sea Level Rise. Science and Impacts of Climate Change in the Pacific Islands, Apia, Western Samoa, 29 avril - 3 mai 1996.
- 96-2. Delcroix T., L. Gourdeau, F. Masia, Y. duPenhoat et J. Picaut, 1996. Événements climatiques El Niño - Oscillation Australe et Observations Altimétriques Satellitales. Exposition Océanopolis, Brest, juillet-septembre 1996.
- 96-3. Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix et M. McPhaden, 1996. Maintenance and ENSO Displacements of the Warm Pool. *American Geophysical Union Western Pacific Geophysics Meeting*, Brisbane, Australie, 23-27 juillet 1996.
- 96-4. Delcroix T. et J. Picaut, 1996. Zonal Displacement of the Western Equatorial Pacific Fresh Pool During the 1986-1989 El Niño and La Niña. *American Geophysical Union Western Pacific Geophysics Meeting*, Brisbane, Australie, 23-27 juillet 1996.
- 96-5. Delcroix T., 1996. Sea Surface Salinity Balance in the tropical Pacific at Seasonal and ENSO Time Scale. Invited Speaker. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 15-20 décembre 1996.
- 96-6. Picaut J., M. Ioualalen, C. Menkes, T. Delcroix, M. McPhaden et J. Vialard. Zonal Displacements of the Pacific Warm Pool. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 15-20 décembre 1996.
- 97-1. Alory G. et T. Delcroix, 1997. Variability of Surface Atmosphere and Ocean near Wallis, Futuna and Samoa Islands. *VIII Pacific Science Inter-Congress*, Suva, Fidji, 13-19 juillet 1997.
- 97-2. Delcroix T., 1997. Observed Oceanic and Atmospheric Variability in the Tropical Pacific at the ENSO Time Scale. *VIII Pacific Science Inter-Congress*, Suva, Fidji, 13-19 juillet 1997.
- 97-3. Delcroix T. et P. Rual, 1997. On sea Level Changes in the Tropical Pacific During El Niño Southern Oscillation Events. *Third SPREP meeting on climate change and sea level rise in the Pacific*, 18-22 août 1997, Noumea, Nouvelle Calédonie.
- 97-4. Gourdeau L., J. Verron et T. Delcroix, 1997. Monitoring Sea Level in the Tropical Pacific from observations and models. *Third SPREP meeting on climate change and sea level rise in the Pacific*, 18-22 août 1997, Noumea, Nouvelle Calédonie.
- 97-5. Delcroix T. et C. Hénin, 1997. ENSO signals in the vicinity of New Caledonia: past, present and probable near-future anomalies. *Third SPREP meeting on climate change and sea level rise in the Pacific*, 18-22 août 1997, Noumea, Nouvelle Calédonie.
- 97-6. Delcroix T., F. Masia et J. Picaut, 1997. Equatorial waves and warm pool displacement during the 1992-1996 ENSO events. *International Symposium on Monitoring the oceans in the 2000's: an integrated approach*. Biarritz, 15-17 octobre 1997.
- 97-7. Delcroix T., L. Gourdeau, P. Rual, et R. Murtugudde, 1997. Zonal and meridional mass redistribution in the tropical Pacific during El Niño Southern Oscillation events.

- International Symposium on Monitoring the oceans in the 2000's: an integrated approach.* Biarritz, 15-17 octobre 1997.
- 97-8. Delcroix T., 1997. Observed surface oceanic and atmospheric variability in the whole tropical Pacific at the ENSO time scale: an overview. *Seminario Internacional Consecuencias Climaticas e hidrologicas del evento El NIÑO a escala regional y local, Incidencia en America del Sur.* Quito, Equateur, 26-29 novembre 1997.
- 98-1. Delcroix T., F. Masia, J. Picaut, Y. duPenhoat et B. Dewitte, 1998. Equatorial waves and warm pool displacements during the 1992-96 ENSO period. *1998 Western Pacific Geophysics Meeting*, Taipei, Taiwan, 21-24 juillet 1998.
- 98-2. Delcroix T., 1998. Sea surface salinity changes along the Fiji-Japan shipping track during the 1996-1997 La Niña / El Niño period. *1998 Western Pacific Geophysics Meeting*, Taipei, Taiwan, 21-24 juillet 1998.
- 98-3. Delcroix T., F. Masia, J. Picaut, Y. duPenhoat et B. Dewitte, 1998. Equatorial waves and warm pool displacement during the 1992-97 ENSO events. *International Conference on Satellites, Oceanography and Society*, Lisbonne, Portugal, 17-21 août 1998.
- 98-4. Picaut J., E. Hackert, et T. Delcroix, 1998. Basin-wide adjustment of mass and warm pool displacement during the 1997-98 El Niño-La Niña. *Seventh Session of the TAO Implementation Panel*, Abidjan, Côte d'Ivoire, 11-13 Novembre 1998.
- 98-5. Delcroix T., L. Gourdeau et C. Hénin, 1998. Sea surface salinity changes along the Fiji-Japan shipping track during the 1996-1998 La Niña / El Niño period. *Seventh Session of the TAO Implementation Panel*, Abidjan, Côte d'Ivoire, 11-13 Novembre 1998.
- 98-6. Picaut J., E. Hackert, T. Delcroix et R. Murtugudde, 1998. Warm pool displacement and basin-wide adjustment of mass during the 1997-98 El Niño-La Niña. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 6-10 décembre 1998.
- 98-7. Picaut J., E. Hackert et T. Delcroix, 1998. Upper Ocean Currents derived from TOPEX/Poseidon and the 1997-98 El Niño-La Niña. *Science Working Team Topex/Poseidon*, Keystone, 13-16 octobre 1998.
- 98-8. Gourdeau L., J. Verron et T. Delcroix, 1998. Impact of the 1992-96 Topex/Poseidon data on the equatorial Pacific surface and sub-surface circulations using data assimilation in a primitive equation model. *Science Working Team Topex/Poseidon*, Keystone, 13-16 octobre 1998.
- 99-1. Delcroix T., B. Dewitte, Y. duPenhoat, F. Masia et J. Picaut, 1999. Equatorial waves and warm pool displacement during the 1992-97 ENSO events. *Workshop Climate and Surface Oceania Variation in Oceania*, National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Auckland, Nouvelle-Zélande, 12-13 avril 1999.
- 99-2. Alory G. et T. Delcroix, 1999. Sea level variations in the tropical Pacific during the 1992-98 ENSO period. *Workshop Climate and Surface Oceania Variation in Oceania*, National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA), Auckland, Nouvelle-Zélande, 12-13 avril 1999.
- 99-3. Delcroix, 1999. Sea surface salinity in the tropical Pacific : in situ measurements and variability. *Workshop Sea Surface Salinity and Sea Ice Working Group*, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 19-21 avril 1999.
- 99-4. Gourdeau L., T. Delcroix et J. Verron, 1999. Contribution of the assimilation of Topex/Poseidon altimeter data to the modeling of the tropical Pacific ocean (1992-1996), Third WMO *International Symposium on Assimilation of Observations in Meteorology and Oceanography*, Quebec, 7-11 juin 1999.
- 99-5. Delcroix, 1999. Sea surface salinity in the tropical Pacific : in situ measurements and variability. *International Workshop on the Upper Ocean Thermal and Salinity Network*, Melbourne, 9-13 août 1999.

- 99-6. McPhaden M. , T. Delcroix, K. Hanawa, Y. Kuroda, G. Meyers, J. Picaut, and M. Swenson, 1999 : The ENSO Observing System. *International conference on the ocean observing system for climate*, StRaphael, 18-22 october 1999.
- 99-7. Delcroix T., C. Henin, M. Ioualalen, M. McPhaden, K. Ando, J. Picaut, and L. Gourdeau, 1999 : Monitoring and understanding sea surface salinity changes in the tropical Pacific during the 1992-99 ENSO period. *International conference on the ocean observing system for climate*, St Raphael, 18-22 october 1999.
- 99-8. Gourdeau L., J. Verron, T. Delcroix, and A. Busalacchi, 1999 : Improvement of the modeling of the tropical Pacific ocean (1992-96) through the assimilation of TOPEX/Poseidon altimeter data. *International conference on the ocean observing system for climate*, StRaphael, 18-22 october 1999.
- 99-9. Lagerloef G. and T. Delcroix, 1999 : Sea-surface salinity : a regional case study for the tropical Pacific. *International conference on the ocean observing system for climate*, St Raphael, 18-22 october 1999.
- 99-10. Smith N., D.E. Harrison, R. Bailey, O. Alves, T. Delcroix, K. Hanawa, B. Keeley, G. Meyers, B. Molinari, and D. Roemmich, 1999 : The role of XBT sampling in the ocean thermal network *International conference on the ocean observing system for climate*, StRaphael, 18-22 october 1999.
- 99-11. Delcroix T., B. Dewitte, Y. duPenhoat, F. Masia and J. Picaut, 1999. Equatorial waves and warm pool displacement during the 1992-98 ENSO events : observations and modelling. Science Working Team Meeting Topex/Poseidon and Jason, StRaphael, 25-27 October 1999.
- 99-12. Ioualalen M., C. Hénin, and T. Delcroix, 1999 : Thermo-haline variability of the western tropical Pacific during 1995-1998 using a Ship-Of-Opportunity Programme data set. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 13-17 december 1999.
- 99-13. Le Bec N., T. Correge, A. Juillet-Leclerc, D. Blamart, F. Le Cornec et T. Delcroix, 1999 : Coupled analysis of stable oxygen isotopes (del_018) and trace elements (Sr/Ca and U/Ca) in corals to document SST and SSS variability in the tropics. *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 13-17 december 1999.
- 99-14. Delcroix T., C. Henin, M. Ioualalen, M. McPhaden, K. Ando, J. Picaut, et L. Gourdeau, 1999 : Monitoring and understanding sea surface salinity changes in the tropical Pacific during the 1992-99 ENSO period. Réunion du Programme National d'Etudes de la Dynamique du Climat, Toulouse, 13-14 décembre 1999.
- 99-15. Delcroix T., B. Dewitte, Y. duPenhoat, F. Masia and J. Picaut, 1999. Equatorial waves and warm pool displacement during the 1992-98 ENSO events. Réunion du Programme National d'Etudes de la Dynamique du Climat, Toulouse, 13-14 décembre 1999.
- 00-1. Le Borgne R., R. Barber, T. Delcroix, Y. Inoue, M. Lewis, D. Mackey, M. Rodier and D. Turk 2000. Zonal variability of the equatorial Pacific HNLC area. JGOFS Open Science Conference, 13-17 April 2000, Bergen, Norvège.
- 00-2. Delcroix T., C. Hénin et M. McPhaden, 2000: Sea Surface Salinity Changes in the Western Pacific Warm Pool During 1992-1999 : Implications for Future Satellite Observations. *Invited presentation*, Session spéciale "Scientific Applications of Surface Salinity Measurements from Space", Western Pacific Geophysics Meeting, Tokyo, 27-30 juillet 2000.
- 00-3. Durand F., L. Gourdeau, J. Verron et T. Delcroix, 2000: Assimilation of in situ and satellite salinity data in an OGCM: a preliminary assessment. Session spéciale "Scientific Applications of Surface Salinity Measurements from Space", Western Pacific Geophysics Meeting, Tokyo, 27-30 juillet 2000.

- 00-4. Delcroix T., 2000: ENSO signature in the tropical Pacific: a tentative overview. Workshop on Interannual Climate Variability and Pelagic Fisheries, Nouméa, New Caledonia, 6-24 Novembre 2000.
- 00-5. Barton I.J., W.G. Cowley, T. Delcroix, J.P. Duvel, A. Forbes, V.V. Gopalakrishna, C Koblinsky, R. Morrow, 2000. Indian Ocean Observations During the Decade 2001-2010, Sustained Observations for Climate of the Indian Ocean (SOCIO) meeting, Perth, Australia, 13-15 November 2000.
- 00-6. Delcroix T., 2000. Variabilité de la salinité de surface dans le Pacifique tropical ouest pendant les événements El Niño / La Niña de 1992 à 1999. Second SMOS ScienceWorkshop, CESBIO, Toulouse, November 28-30 2000.
- 00-7. Delcroix T., R. Murtugudde, and C. Birkett, 2000: Sea surface salinity changes in the East China Sea during the 1997-1999 ENSO period. PORSEC-2000 international conference, Goa, India, 5-8 december 2000.
- 00-8. Gourdeau L., J. Verron, T. Delcroix, and R.Murtugudde, 2000. How altimetric data assimilation improve the modeling of the tropical Pacific ocean (1992-1998) ? PORSEC-2000 international conference, Goa, India, 5-8 december 2000.
- 01-1. Delcroix, T., B. Dewitte, G. Eldin, L. Gourdeau, Y. Gouriou, M. Ioualalen, C. Maes, Y. duPenhoat, J. Picaut, T. Correge and J. Recy, 2000. Basin-scale observations in the tropical Pacific during CLIVAR. International workshop on the implementation of CLIVAR program, Honolulu, 5-8 February 2001.
- 01-2. Delcroix, T., 2001. An overview of IRD/Nouméa activities in physical oceanography. VI international conference on Global Ocean Data Assimilation Experiment, Nouméa (New Caledonia), February 13-16, 2001.
- 01-3. Gouriou, Y., et T. Delcroix, 2001. An overview of IRD/Nouméa activities in physical oceanography, Pacific GOOS Steering Committee Meeting, Nouméa (New Caledonia), February 17, 2001.
- 01-4. Gouriou, Y., et T. Delcroix, 2001. Tropical Pacific variability, CLIVAR Ocean Observations Panel, CSIRO, Hobart-Australia, March 27-30, 2001.
- 01-5. Delcroix, T., F. Masia et D. Varillon, 2001. Collection et diffusion des données de salinité de surface validées recueillies par navires marchands dans l'océan global. Réunion du Groupe Mission Mercator / Coriolis, Toulouse, France, 26-28 octobre 2001.
- 01-6. Delcroix, T., et M. McPhaden, 2001. Interannual sea surface salinity and temperature changes in the western Pacific warm pool during 1992-2000. First ARTS Open Sciences Meeting, Noumea, New Caledonia, 4-7 November, 2001.
- 01-7. Alory, G., et T. Delcroix, 2001. Interannual sea level changes and associated mass transports in the tropical Pacific from TOPEX-Poseidon data and model results (1964-1999). First ARTS Open Sciences Meeting, Noumea, New Caledonia, 4-7 November, 2001.
- 01-8. Gouriou, Y., et T. Delcroix, 2001. Seasonal and ENSO variations of sea surface salinity and temperature in the South Pacific Convergence Zone during 1976-2000. First ARTS Open Sciences Meeting, Noumea, New Caledonia, 4-7 November, 2001.
- 01-9. Alory, G., et T. Delcroix, 2001. Interannual sea level changes and associated mass transports in the tropical Pacific from TOPEX-Poseidon data and model results (1964-1999). *American Geophysical Union Fall Meeting*, San Francisco, 13-17 december 2001.
- 02-1. Delcroix, T., 2002. Update on national contribution to CLIVAR-Pacific. CLIVAR Pacific Panel, First Meeting, Honolulu, 7-9 February 2002.
- 02-2. Delcroix, T., and M. McPhaden, 2002. Interannual sea surface salinity and temperature changes in the western Pacific warm pool during 1992-2000. Ocean Sciences Meeting, Honolulu, USA, 11-15 February, 2002.

- 02-3. Alory, G., and T. Delcroix, 2002. Interannual sea level changes and associated mass transports in the tropical Pacific from TOPEX-Poseidon data and model results (1964-1999. Ocean Sciences Meeting, Honolulu, USA, 11-15 February, 2002.
- 02-4. Gouriou, Y. T. Delcroix, G. Eldin, and M. Ioualalen, 2002. Upper and Intermediate Circulation in the Western Equatorial Pacific Ocean in September 1999 and April 2000. Ocean Sciences Meeting, Honolulu, USA, 11-15 February, 2002.
- 02-5. Delcroix, T. and R. Murtugudde, 2002. Sea surface salinity changes in the East China Sea during 1997-2001 : influence of the Yangtze river. Réunion SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity), CNES, Paris, 8 mars 2002.
- 02-6. Delcroix, T., Y. Gouriou, and M. McPhaden, 2002. Monitoring and analysing sea surface salinity changes in the tropical Pacific. International Symposium "En route to GODAE", Biarritz, June 13-15, 2002.
- 02-7. Gourdeau, L., F. Durand, J. Verron and T. Delcroix, 2002. On the control of a modelled mixed layer from assimilation of satellite data. International Symposium "En route to GODAE", Biarritz, June 13-15, 2002.
- 02-8. Ayoub N. T. Delcroix, Y. duPenhoat, Y. Gouriou, P. Techine, G. Reverdin et A. Dessier, 2002. Validation et analyse de données de salinité de surface dans l'Atlantique nord et les Océans tropicaux à partir de mesures in situ. Réunion du groupe mission Mercator Coriolis, Toulouse, 25-26 septembre 2002.
- 02-9. Delcroix T., A. Dessier, Y. Gouriou, and M. McPhaden, 2002. Time and space scales for sea surface salinity in the tropical oceans. AGU Fall meeting, San Francisco, 6-11 December 2002.
- 02-10. Eldin G., T. Delcroix, and M. Rodier, 2002. Observations of meso-scale structures at the eastern edge of the western equatorial Pacific warm pool. AGU Fall meeting, San Francisco, 6-11 December 2002.
- 02-11. Delcroix, T., Un Observatoire de Recherche sur l'Environnement (ORE) dédié à la salinité de surface dans l'océan global. Organisation de la première réunion technique de coordination de l'ORE-SSS, Toulouse/LEGOS, 25 octobre 2002.
- 03-01. Delcroix, T., A. Dessier, R. Morrow, G. Reverdin and J. Vialard, 2003. Service d'observation de la salinité de surface dans l'océan global à partir de navires d'opportunité pour mieux comprendre le rôle des océans sur le climat et en améliorer sa prévision. Atelier Expérimentation et Instrumentation, Brest, 28-29 janvier 2003.
- 03-02. Eldin, G., T. Delcroix, M. Rodier, and R. Le Borgne, 2003. Observations of the frontal zone between the HLNC upwelling area and the oligotrophic warm pool in the equatorial Pacific, US JGOFS, Washington, mai 2003.
- 03-03. Delcroix, T., M. McPhaden, and K. Ando, 2003. Sea Surface Salinity and the ENSO Observing System, IUGG, June 30 – July 11, 2003, Sapporo, Japan.
- 03-04. Delcroix, T. 2003. Can we detect sea surface salinity changes in the western Pacific in using historical data. International Workshop on the low frequency modulation of ENSO, Toulouse, 23-25 September 2003.
- 03-05. Ayoub, N., T. Delcroix and G. Reverdin, 2003. Validation et analyse des données de salinité de surface dans l'Atlantique Nord et les Océans Tropicaux à partir d'observations in situ. Réunion du Groupe Mission Mercator/Coriolis, Centre Météo-France, Toulouse, 7-8 octobre 2003.
- 03-06. Picaut, J., S. Arnault, F. Bonjean, J-Ph. Boulanger, A. Busalacchi, J. Carton, S. Cravatte, R. Cheney, T. Delcroix, L. Gourdeau, E. Hackert, C. Holland, G. Lagerloef, C. Maes, M. McPhaden, G. Mitchum, R. Murtugudde, A. Vega, 2003. Recent progress in observing and understanding tropical ocean variability from satellite altimetry. From Topex Poseidon to Jason, Science Working Team Meeting, Arles, 17-21 Novembre 2003.

- 03-07. Halimeda, H., T. Quinn, Y. Gouriou, and T. Delcroix, 2003. SPCZ and ENSO related salinity variations recorded in the skeletal geochemistry of a porites coral from Espiritu Santo, Vanuatu , AGU Fall meeting, San Francisco, décembre 2003.
- 03-08. Delcroix, T., Un Observatoire de Recherche sur l'Environnement (ORE) dédié à la salinité de surface dans l'océan global. Organisation de la deuxième reunion technique Observatoire de Recherche pour l'Environnement de la salinité de surface. Centre IRD de Brest, octobre 2003.
- 04-01. Delcroix, T., 2004. Échelles spatio-temporelles de la salinité de surface dans les Océans tropicaux. Atelier de travail SMOS, Siège du CNES, Paris, 17 mars 2004.
- 04-02. Delcroix, T., 2004. L'ORE-SSS. La salinité de surface de la mer : pour mieux comprendre le rôle de l'océan sur le climat. Atelier Expérimentation et Instrumentation (AEI) 2004, CNRS, Paris, 23-24 mars 2004.
- 04-03. Delcroix T., 2004. Time and space scales for SSS in the tropical oceans. Joint Science Workshop on Salinity and Soil Moisture Remote Sensing (SMOS/Aquarius), Miami, 20-22 avril 2004.
- 04-04. Delcroix T., 2004. The Global Ocean Surface Underway Data project. Joint Science Workshop on Salinity and Soil Moisture Remote Sensing (SMOS/Aquarius), Miami, 20-22 avril 2004.
- 04-05. Delcroix T., 2004. On decadal sea surface salinity changes in the western tropical Pacific ocean. 1st International CLIVAR Science Conference, June 21-25, 2004, Baltimore, USA.
- 04-06. Maes C., J. Picaut et T. Delcroix, 2004. What is the role of the salinity barrier layer on El Niño dynamics and prediction ? 1st International CLIVAR Science Conference, June 21-25, 2004, Baltimore, USA.
- 04-07. Delcroix, T, 2004. Echelles temporelles et spatiales caractéristiques de la salinité de surface dans les océan tropicaux. Centre IRD de Nouméa, 13 juillet 2004.
- 04-08. Delcroix, T, 2004. L'observatoire de recherche pour l'environnement dédié à la salinité de surface. Centre IRD de Nouméa, 26 juillet 2004.
- 04-09. Alory G., T. Delcroix, S. Cravatte, T. Izumo et K. Rodgers, Redistribution zonale et meridienne de masse aux echelles ENSO et decennale dans le Pacifique tropical. Assises de la Recherche dans le Pacifique Sud, Centre IRD de Nouméa, 23-27 aout 2004.
- 04-10. Varillon, D., J.M. Ihily, P. Mazoyer, P. Waigna, P. Grimini, T. Delcroix, F. Gallois, A. Ganachaud et A. Hamard. Surveillance thermique et haline de l'océan de surface depuis l'IRD-Nouméa, pour mieux comprendre et prédire la variabilité du climat global et régional. Assises de la Recherche dans le Pacifique Sud, Centre IRD de Nouméa, 23-27 aout 2004.
- 04-11. Ganachaud A., T. Delcroix, Y. duPenhoat, G. Eldin, C. Maes et J. Picaut. El Niño et la variabilité des structures thermohalines du Pacifique tropical ouest : 20 années de campagnes océanographiques. Assises de la Recherche dans le Pacifique Sud, Centre IRD de Nouméa, 23-27 aout 2004.
- 04-12. Delcroix, T., F. Durand, G. Eldin, A. Ganachaud, L. Gourdeau, J. Grelet, C. Maes, et D. Varillon. Contribution au réseau ARGO / CORIOLIS dans le Pacifique tropical ouest : pour mieux comprendre la variabilité ENSO et décennale et en améliorer la prévision. Réunion du groupe mission MERCATOR / CORIOLIS, Toulouse, 6-7 octobre 2004.
- 04-13. Delcroix, T. Un Observatoire de Recherche sur l'Environnement (ORE) dédié à la salinité de surface dans l'océan global. Organisation de la troisième reunion technique Observatoire de Recherche en l'Environnement de la salinité de surface. Toulouse/LEGOS, 8 octobre 2004.

- 04-14. Keeley, B. , and T. Delcroix. GOSUD : the Global Ocean Surface Underway Data GODAE symposium, St Petersburg, November, 1-4, 2004.
- 04-15. Keeley, B., T. Delcroix, T. Carval, L. Petit de la Villéon, and C. Maillard. GOSUD, Global Ocean Underway Data project, a GOSUD-WESTPAC component. 2nd International conference for GODAR-WESTPAC, JODC, Tokyo, Japan, November 10-12, 2004.
- 04-16. Delcroix et collaborateurs. L'ORE-SSS : la salinité de surface de la mer pour mieux comprendre le rôle de l'océan sur le climat. Colloque Observatoires de Recherche en Environnement (ORE). Etats des lieux et prospective. Paris, 15-16 novembre 2004. (présentations orale et poster).
- 04-17. Delcroix T., 2004. Time and space scales for SSS in the tropical oceans. 5th Soil Moisture and Ocean Salinity Mission (SMOS) Workshop, ESA / Frascati, 29 November – 1 December 2004.
- 05-01. Delcroix T. et l'ORE-SSS. Monitoring temps réel de la salinité de surface dans l'océan global à partir de navires marchands. Réunion de travail SMOS, CNES-Paris, 29 mars 2005.
- 05-02. Durand F., T. Delcroix et L. Gourdeau. Vers une utilisation optimale des données de salinité de surface SMOS pour la modélisation numérique océanique. Réunion de travail SMOS, CNES-Paris, 29 mars 2005.
- 05-03. Cravatte S., G. Alory, S. Bélamari, J.P. Boulanger, G. Eldin, T. Delcroix, B. Dewitte, S. Illig, M. Lengaigne, C. Menkes, J. Picaut et al. Quel est le rôle des ondes équatoriales de Kelvin et de Rossby, de leurs réflexions et des modes baroclines associés sur la variabilité intrasaisonnière à décennale du Pacifique tropical. Colloque bilan du Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat (PNEDC), Meudon, 24-25 mai 2005.
- 05-04. Delcroix T., S. Belamari, G. Eldin, M. Lengaigne, C. Maes, M. McPhaden, J. Picaut. Variabilité de la salinité dans la warm pool et dynamique d'ENSO. Colloque bilan du Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat (PNEDC), Meudon, 24-25 mai 2005.
- 05-05. Eldin G., T. Delcroix, M. Rodier et C. Maes. Observations de la zone frontale au bord est de la warm pool du Pacifique tropical ouest. Colloque bilan du Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat (PNEDC), Meudon, 24-25 mai 2005.
- 05-06. Delcroix T., F. Durand, G. Eldin, A. Ganachaud, L. Gourdeau et C. Maes. Contribution au réseau ARGO / CORIOLIS dans le Pacifique tropical ouest : pour mieux comprendre la variabilité ENSO et décennale et en améliorer la prévision. Deuxième réunion ARGO-France, Brest, 27 mai 2005.
- 05-07. Delcroix T. Present observational efforts for the southwest Pacific ocean : a tentative overview. South West Pacific Workshop, Malenda, Australia, 19-21 August 2005.
- 05-08. Delcroix, T., S. Cravatte, and M. McPhaden. Changes in sea surface salinity of the tropical Pacific over the last three decades : decadal variations and long-term trends. International meeting, Dynamic Planet, Cairns, Australia, 22-28 August 2005.
- 05-09. Eldin G., M. Rodier, T. Delcroix and C. Maes, and R. Le Borgne. The frontal zone at the eastern boundary of the western tropical Pacific warm pool: displacements and structure variability associated with intraseasonal forcing. International meeting, Dynamic Planet, Cairns, Australia, 22-28 August 2005.
- 05-10. Delcroix, T. Un Observatoire de Recherche sur l'Environnement (ORE) dédié à la salinité de surface dans l'océan global. Organisation de la quatrième reunion technique Observatoire de Recherche en l'Environnement de la salinité de surface. Centre IRD de Brest, 15-16 novembre 2005.

- 05-11. Delcroix, T. Variabilité décennale et tendance à long terme de la salinité dans le Pacifique tropical. Comité d'Evaluation du LEGOS, Toulouse, 30 novembre – 1 décembre 2005.
- 06-01. Delcroix, T., S. Cravatte, and M. McPhaden. Decadal variations and long-term trends in sea surface salinity of the tropical Pacific over the last three decades. Ocean Sciences Meeting, Honolulu, 20-24 February 2006.
- 06-02. Delcroix, T. Variabilité décennale et tendance à long terme de la salinité de surface dans le Pacifique tropical sur les trois dernières décades. Réunion de travail SMOS/TOSCA, Institut Océanographique, Paris, 23-24 mars 2006.
- 06-03. Delcroix, T., D. Diverres, Y. Gouriou, S. Jacquin, C. Maes, R. Morrow, G. Reverdin, P. Téchine, Loic Petit de la Villéon, and D. Varillon. Monitoring Sea Surface Salinity in the global ocean from ships of opportunity : the French SSS observation service. Joint GOSUD/SAMOS Workshop, Boulder, Colorado, 2-4 May, 2006.
- 06-04. Delcroix, T., S. Cravatte and M. McPhaden. Decadal variations and trends in sea surface salinity of the tropical Pacific over the last three decades, 1970-2003. US CLIVAR Salinity Workshop, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, USA, 8-10 May, 2006 (invited speaker).
- 06-05. Reverdin, G. and T. Delcroix. Thermosalinograph on Voluntary Observing Ships. US CLIVAR Salinity Workshop, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, USA, 8-10 May, 2006 (invited speaker).
- 06-06. Delcroix T., F. Durand, G. Eldin, A. Ganachaud, L. Gourdeau et C. Maes. Contribution au réseau ARGO / CORIOLIS dans le Pacifique tropical ouest : pour mieux comprendre la variabilité ENSO et décennale et en améliorer la prévision. Troisième réunion ARGO-France, Brest, 11-12 mai 2006.
- 06-07. Delcroix, T., S. Cravatte and M. McPhaden. Decadal variations and trends in tropical Pacific sea surface salinity since 1970. AGU Fall meeting, San Francisco, 11-15 December, 2006,.
- 06-08. Bosc, C. and T. Delcroix. Mechanisms of warm water volume changes in the tropical Pacific, as inferred from space-based observations. AGU Fall meeting, San Francisco, 11-15 December, 2006.

ANNEXE D : Contribution à des ouvrages collectifs

(Classement par année)

- 89-1. Picaut J., R. Lukas et T. Delcroix, 1989. Proceedings of the Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE. Edité par J. Picaut, R. Lukas et T. Delcroix. Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989, 833 pages.
- 95-1. Delcroix T. et G. Eldin, 1995. Observations Hydrologiques dans l'Océan Pacifique Tropical Ouest. Campagnes SURTROPAC 1 à 17, de janvier 1984 à août 1992, campagnes COARE156 1 à 3, d'août 1991 à octobre 1992. TDM 141, ORSTOM Editions, Paris, 78 pages.
- 98-1. Delcroix T., 1998. On ENSO-related Oceanic and Atmospheric Variability in the Tropical Pacific. In : *Climate and Environmental Change in the Pacific / James Terry editor.* – Suva, Fiji : *School of Social and Economic Development, The University of the South Pacific*, 144 pages.
- 00-1. McPhaden, M.J., T. Delcroix, K. Hanawa, Y. Kuroda, G. Meyers, J. Picaut, and M. Swenson, 2001. The El Niño/Southern Oscillation (ENSO) Observing System. In: *Observing the Ocean in the 21st Century*. Edited by C. Koblinski and N. Smith. Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia, 231-246.
- 00-2. Smith, N., R. Bailey, O. Alves, T. Delcroix, K. Hanawa, E. Harrison, B. Keeley, G. Meyers, B. Molinari, et D. Roemmich, 2001: The upper ocean thermal network. In: *Observing the Ocean in the 21st Century*. Edited by C. Koblinski and N. Smith. Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia, 259-284.
- 00-3. Lagerloef, G., et T. Delcroix, 2001 : Sea surface salinity : a regional case study for the tropical Pacific. In: *Observing the Ocean in the 21st Century*. Edited by C. Koblinski and N. Smith. Australian Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia, 137-148.

ANNEXE E : Textes de vulgarisation ou de valorisation

(Classement par année)

- 83-1. Merle J. et T. Delcroix, 1983. Double seasonal tilt of the thermocline in the tropical Atlantic ocean. *Tropical Ocean Atmosphere Newsletters*, 18, 15-16.
- 84-1. Delcroix T., 1984. EOF analysis of the thermocline depth in the tropical Atlantic ocean. *Tropical Ocean Atmosphere Newsletters*, 27, 18-19.
- 85-1. Delcroix T. et C. Gautier, 1985. Seasonal variations of heat content and sea level in the tropical Pacific. *Tropical Ocean Atmosphere Newsletters*, 29, 5-6.
- 86-1. Delcroix T., 1986. The atlantic north equatorial countercurrent inferred from dynamic height and thermocline depth. *Tropical Ocean Atmosphere Newsletters*, 35, 5-6.
- 89-1. Picaut J., B. Camusat, T. Delcroix, M. McPhaden et A. Busalacchi, 1989. Surface equatorial flow anomalies in the Pacific ocean during the 1986-87 ENSO using GEOSAT altimeter data. *Proceedings of the Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*. Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989, 301-312.
- 89-2. Eldin G. et T. Delcroix, 1989. Vertical thermal structure variability along 165°E during the 1986-87 ENSO event. *Proceedings of the Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*. Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989, 269-282.
- 89-3. Delcroix T., G. Eldin et J. Picaut, 1989. Major GEOSAT sea level anomalies in the western tropical Pacific during the 1986-87 El Niño, elucidated as equatorial Kelvin and Rossby waves. *Proceedings of the Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*. Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989, 259-268.
- 89-4. Delcroix T. et C. Hénin, 1989. Mechanisms of subsurface thermal structure and sea surface thermohaline variabilities in the southwestern tropical Pacific during 1979-85 - A preliminary report. *Proceedings of the Western Pacific international meeting and workshop on TOGA-COARE*. Nouméa, Nouvelle Calédonie, 24-30 mai 1989, 581-590.
- 89-5. Picaut J., R. Tournier, T. Delcroix et C. Hénin, 1989. Thermal and current variabilities during 1979-85 in the western and central tropical Pacific deduced from XBT data. *Proceedings of the international symposium on Japanese Pacific Climate study (JAPACS)*, Tsukuba, Japon, 19-20 Octobre 1989, 39/1-39/3.
- 89-6. Delcroix T. et C. Hénin, 1989. Atlas océanographique du Pacifique tropical sud-ouest. Série convention, science de la mer, océanographie physique, 2, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 68 pages.
- 89-7. Delcroix T. et F. Masia, 1989. Atlas des variations de température et de salinité de surface du Pacifique tropical (1969-1988). Rapports scientifiques et techniques, science de la mer, océanographie physique, 2, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 151 pages.
- 90-1. Delcroix T. et C. Hénin, 1990. Sea surface thermo-haline and subsurface thermal structure variabilities in the southwestern tropical Pacific ocean during 1979-85. *Proceedings of US-PRC international TOGA symposium*, Beijing, P.R.C., 15-17 novembre 1988, 139-152, China Ocean Press.
- 90-2. Toole J., T. Delcroix, G. Eldin, E. Firing, M. Francis, C. Hénin, S. Jiang, L. Mangum, R. Millard, J. Picaut, S. Pu, M.H. Radenac, Z. Wang, et E. Zou, 1990. Evolution of the western Pacific ocean during the 1986-87 El Niño. *Proceedings of US-PRC international TOGA symposium*, Beijing, P.R.C., 15-17 novembre 1988. 79-90, China Ocean Press.
- 90-3. Picaut J., R. Lukas, T. Delcroix, Y. Dandonneau et le groupe SURTROPAC, 1990. Organisation et résultats du "Symposium International sur le Pacifique Ouest et Réunion de Travail TOGA COARE" (24-30 mai 1989, Centre ORSTOM de Nouméa).

Sciences de la mer, Océanographie Physique, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 41 pages.

- 91-1. Delcroix T., F. Gallois, F. Masia et P. Waigna, 1991. Rapport de la campagne SURTROPAC 14 à bord du N.O. LE NOROIT (11 mars au 8 avril 1991, de 20°S à 8°N le long du méridien 165°E). Rapports de mission, sciences de la mer, océanographie physique, 4, centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie. 118 pages.
- 91-2. Picaut J., T. Delcroix, Y. duPenhoat, A. Busalacchi, C. Gautier, S. Hayes et M. McPhaden, 1991. Application of TOPEX/POSEIDON altimetry measurements to observational and modeling studies of the low-frequency ocean mass and heat circulation in the Tropical Pacific, *TOPEX/POSEIDON Science Investigations Plan*, Jet Propulsion Laboratory Publication 91-27, Pasadena, Californie, 114-117.
- 92-1. Delcroix T., 1992. On sea level changes in the tropical Pacific at seasonal and interannual time scales. *Proceedings of the second South Pacific Research Environment Program meeting on climate change and sea level rise in the South Pacific region*. Nouméa, Nouvelle Calédonie, 6-10 avril 1992, 69-74.
- 92-2. Delcroix T., G. Eldin et J. Picaut, 1992. Variations du niveau moyen et des courants du Pacifique tropical pendant l'El Niño de 1986-1987, déduites des données altimétriques de Geosat. *Actes du colloque Pix-îles 90*, Nouméa - Tahiti, 19-26 novembre 1990, 127-129.
- 92-3. Picaut J., A. Busalacchi, T. Delcroix et M. McPhaden, 1992. Rigorous open-ocean validation of TOPEX/POSEIDON sea level in the western equatorial Pacific, *TOPEX/POSEIDON Joint Verification Plan*, Jet Propulsion Laboratory Publication 92-09, Pasadena, Californie, V14-V16.
- 93-1. Delcroix T., G. Eldin, C. Hénin et col., 1993. Campagne COARE-POI à bord du N/O Le Noroit, 1^{er} décembre 1992 - 2 mars 1993. Rapports de Mission, Sciences de la mer, Océanographie Physique, 10, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 338 pages.
- 95-1. Picaut J., T. Delcroix, M. Ioualalen et C. Maes, 1995. Diagnostic of the zonal displacement of the warm pool during El Niño and La Niña. *Proceeding of the TOGA95 international scientific conference*, Melbourne, 2-7 avril 1995, World Climate Research Program-91, World Meteorological Organization-TD 717, 384-387.
- 95-2. Picaut J., J.P. Boulanger, A. Busalacchi, T. Delcroix, L. Gourdeau, M. McPhaden, C. Menkes et Y. duPenhoat, 1995. ENSO and altimetry. *Proceeding of the TOGA95 international scientific conference*, Melbourne, 2-7 avril 1995, World Climate Research Program-91, World Meteorological Organization-TD 717, 74-78.
- 95-3. Delcroix T. G. Eldin, E. Firing, C. Hénin, S. Pu, M.H. Radenac, P. Rual, et J. Toole, 1995. Variability of upper ocean water masses and transports in the western equatorial Pacific during the TOGA period. *Proceedings of the TOGA95 international scientific conference*, Melbourne, 2-7 avril 1995, World Climate Research Program-91, World Meteorological Organization-TD 717, 300-304.
- 95-4. Delcroix T. et J. Picaut, 1995. Equatorial wave sequence associated with the warm pool displacement during the 1986-1989 El Niño and La Niña. *Proceedings of the International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO), XXI General Assembly*, Honolulu, Hawaï, 5-12 août 1995, 339-340.
- 95-5. Delcroix T., 1995. Quelques éléments d'océanographie physique. Notes de cours aux personnels relevant du Ministère de l'Éducation Nationale, action de formation continue SN.03.1, relation océan atmosphère. Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 52 pages.
- 96-1. Ménard Y. et T. Delcroix, 1996. El Niño, l'enfant naturel du vent et de la mer. Pour la Science, dossier hors-série l'atmosphère, juin 1996, 36-38.

- 96-2. Masia F. et T. Delcroix, 1996. Atlas des anomalies du niveau de la mer et des courants géostrophiques de surface déduits de GEOSAT, novembre 1986 - février 1989. Documents scientifiques et techniques, science de la mer, océanographie physique, I2, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 88 pages.
- 96-3. Delcroix T., 1996. Aplicaciones satelitales al manejo litoral y estudio de la circulación oceanica. Notes de cours sur l'altimétrie et la dynamique équatoriale. École d'été organisée par le Centre National d'Étude Spatiale (CNES) et le Comité Océanographique National Chilien (CONA), Valparaiso, 25-30 mars 1996, Chili, 50 pages.
- 97-1. Delcroix T., F. Masia, et J. Picaut, 1997. Equatorial waves and warm pool displacements during 1992-1997. *Proceedings of the Topex/Poseidon Science Working Team*, Biarritz, 13-14 octobre 1997.
- 97-2. Delcroix T., L. Gourdeau, P. Rual, et R. Murtugudde, 1997. Zonal and meridional mass redistribution in the tropical Pacific during El Niño Southern Oscillation events. *Proceedings of the International Symposium Monitoring the Oceans in the 2000's: an integrated approach*, Biarritz, 15-17 octobre 1997.
- 97-3. Hénin, C., T. Delcroix et F. Masia, 1997. Le phénomène climatique El Niño: une réelle inquiétude pour les agriculteurs. *Agriculture Infos*, Magazine de la Chambre d'Agriculture de Nouvelle Calédonie, 70, 13-19.
- 97-4. Delcroix T. et P. Rual, 1997. On sea Level Changes in the Tropical Pacific During El Niño Southern Oscillation Events. *Proceedings of the Third SPREP meeting on climate change and sea level rise in the South Pacific Region*, 18-22 August 1997, 104-111, Nouméa, Nouvelle Calédonie.
- 97-5. Gourdeau L., J. Verron et T. Delcroix, 1997. Monitoring Sea Level in the Tropical Pacific from observations and models. *Proceedings of the Third SPREP meeting on climate change and sea level rise in the Pacific*, 18-22 aout 1997, Nouméa, Nouvelle Calédonie.
- 97-6. Delcroix T et C. Hénin, 1997. ENSO signals in the vicinity of New Caledonia: past, present and probable near-future anomalies. *Proceedings of the Third SPREP meeting on climate change and sea level rise in the South Pacific Region*, 18-22 August 1997, 112-118, Nouméa, Nouvelle Calédonie.
- 97-7. Delcroix T., 1997. El Niño et les déplacements est-ouest du réservoir d'eau chaude du Pacifique équatorial. *Bulletin de Liaison de la Recherche en Nouvelle Calédonie*, 1, 1-2.
- 98-1. Delcroix T., 1998. An overview of ENSO signature on the surface parameters of the Tropical Pacific. *Bull. Inst. Fr. études andines*, 27, 475-483.
- 98-2. Delcroix T., F. Masia et J. Picaut, 1998. Equatorial waves and warm pool displacement during the 1992-1996 ENSO events. *AVISO Newsletter*, 6, Special Volume TOPEX/Poseidon: 5 years of progress, 43-45.
- 99-1. McPhaden M. , T. Delcroix, K. Hanawa, Y. Kuroda, G. Meyers, J. Picaut, et M. Swenson, 1999 : The ENSO Observing System. *Proceedings of The Ocean Observing System for Climate*, solicited paper, StRaphael, 18-22 October 1999.
- 99-2. Delcroix T., C. Henin, M. Ioualalen, M. McPhaden, K. Ando, J. Picaut, et L. Gourdeau, 1999 : Monitoring and understanding sea surface salinity changes in the tropical Pacific during the 1992-99 ENSO period. *Proceedings of The Ocean Observing System for Climate*, StRaphael, 18-22 October 1999.
- 99-3. Gourdeau L., J. Verron, T. Delcroix, et A. Busalacchi, 1999 : Improvement of the modeling of the tropical Pacific ocean (1992-96) through the assimilation of TOPEX/Poseidon altimeter data. *Proceedings of The Ocean Observing System for Climate*, StRaphael, 18-22 October 1999.

- 99-4. Lagerloef G. et T. Delcroix, 1999 : Sea-surface salinity : a regional case study for the tropical Pacific. *Proceedings of The Ocean Observing System for Climate*, solicited paper, St Raphael, 18-22 October 1999.
- 99-5. Smith N., D.E. Harrison, R. Bailey, O. Alves, T. Delcroix, K. Hanawa, B. Keeley, G. Meyers, B. Molinari, et D. Roemmich, 1999 : The role of XBT sampling in the ocean thermal network. *Proceedings of The Ocean Observing System for Climate*, solicited paper, StRaphael, 18-22 October 1999.
- 99-6. Lagerloef G. et T. Delcroix, 1999 : Sea-surface salinity observations for the tropical Pacific. *CLIVAR Exchanges Newsletter*, 4, 5-10.
- 99-7. Prunier-Mignot, M., D. Varillon, L. Foucher, J.-M. Ihily, B. Buisson, F. Masia, C. Hénin, M. Ioualalen and T. Delcroix, 1999. Manuel d'installation et de maintenance d'un thermosalinographe embarqué / Users guide for thermosalinograph installation and maintenance aboard a ship. Notes techniques, Sciences de la Mer, Océanogr. Phys., Centre ORSTOM de Nouméa, 13, 102 pages.
- 00-1. Gourdeau L., T. Delcroix, et J. Verron, 2000. Déplétion/réplétion de la Warm Pool dans le Pacifique tropical ouest: apport de l'assimilation de données Topex/Poseidon. *AVISO Newsletter*, 7, 44-46.
- 00-2. Ioualalen M., C. Hénin, Y. Gouriou, G. Alory, T. Delcroix, D. Varillon, F. Masia, L. Foucher, J.M. Ihily, P. Waigna and H. Walico, 2000. Haline variability of the western Pacific during 1995-1998 using a ship-of-opportunity programme network. *Proceedings of the Pacific Islands Conference on Climate Change, Climate Variability and Sea Level Rise*, Cook Islands, 3-7 April 2000.
- 00-3. Barton I.J., W.G. Cowley, T. Delcroix, J.P. Duvel, A. Forbes, V.V. Gopalakrishna, C. Koblinsky, et R. Morrow, 2000. Indian Ocean Observations During the Decade 2001-2010, *Proceedings of the Sustained Observations for Climate of the Indian Ocean (SOCIO) meeting*, Perth, Australia, 13-15 November 2000.
- 00-4. Delcroix T., R. Murtugudde, et C. Birkett, 2000: Sea surface salinity changes in the East China Sea during the 1997-1999 ENSO period. *Proceedings of the PORSEC-2000 international conference*, Goa, India, 5-8 december 2000.
- 00-5. Gourdeau L., J. Verron, T. Delcroix, et R.Murtugudde, 2000. How altimetric data assimilation improve the modeling of the tropical Pacific ocean (1992-1998). *Proceedings of the PORSEC-2000 international conference*, Goa, India, 5-8 december 2000.
- 01-1. Delcroix, T., 2001. Une campagne sur le front Est. IRD, Sciences au Sud, 10, juillet-août 2001.
- 01-2. Delcroix, T., F. Gallois, N. Gillet, D. Varillon, G. Eldin, and Y. Gouriou, 2001. Rapport de mission WESPALIS-2 à bord du N.O. ALIS du 13 avril au 12 mai 2000 , 22°S - Equateur / 165°E-180°. Rapports de Mission, Sciences de la Mer, Océanogr. Phys., 17, Centre IRD de Nouméa, 156 pages.
- 01-3. Picaut J., A. J. Busalacchi, T. Delcroix, L. Gourdeau, M. J. McPhaden, R. Murtugudde, Y. du Penhoat, and J. Verron, 2001. Testing a theory of El Niño with altimetry data: Recharge/discharge of the upper layer of the tropical Pacific Ocean. *AVISO Newsletter*, 8, 99-100.
- 01-4. Busalacchi, A., J. Picaut, R. Murtugudde, M. McPhaden, T. Delcroix, L. Gourdeau, Y. duPenhoat, et J. Verron, 2001. Application of altimetry measurements to observational and modeling studies of low-frequency upper ocean mass and heat circulation in the tropical Pacific. *AVISO Newsletter*, 8, 24-25.
- 01-5. Calmant, S., T. Delcroix, A. Cazenave, et C. Shum, The MOTEVAS project. *AVISO Newsletter*, 8, 25.

- 01-6. Verron, J., E. Blayo, J. Blum, P. Brasseur, T. Delcroix, P. deMey, G. Evensen, L. Gourdeau, F.X. Le Dimet, D. Pham et J. Schröter, 2001. Advanced altimeter data assimilation for the development of operational oceanography. AVISO Newsletter, 8, 139-141.
- 02-1. Delcroix, T., Y. Gouriou, and M. McPhaden, 2002. Monitoring and analysing sea surface salinity changes in the tropical Pacific. *Proceedings of the International Symposium "En route to GODAE"*, 217-218, Biarritz, June 13-15, 2002.
- 02-2. Gourdeau, L., F. Durand, J. Verron and T. Delcroix, 2002. On the control of a modelled mixed layer from assimilation of satellite data. *Proceedings of the International Symposium "En route to GODAE"*, 239-240, Biarritz, June 13-15, 2002.
- 02-3. Delcroix, T., F. Baurand, G. Eldin, F. Gallois, Y. Gouriou, M. Rodier et D. Varillon, 2002. Rapport de la mission FRONTALIS 1 à bord du Navire Océanographique l'Alis (Frontalis Cruise Report), 29 mars – 26 avril 2001, 22°S-5°N / 155°E-165°E. UMR LEGOS, Toulouse, document interne, 130 pages.
- 06-1. Delcroix, T. and C. Maes, Using PROVOR floats to assess the link between ENSO and the salinity variability in the western Pacific warm pool. MERCATOR Quarterly Newsletter, 21, April 2006, pages 24-29.

ANNEXE F : Mémoires ayant permis de soutenir des diplômes

(Classement par année)

- 80-1. Delcroix T., 1980. Études des trajectoires d'hydrométéores dans les nuages convectifs à l'aide de radars météorologiques. Mémoire de DEA de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. Effectué au Centre de Recherche pour l'Environnement du Centre National d'Études des Télécommunications (CRPE/CNET) à Issy-les-Moulineaux, France.
- 83-1. Delcroix T., 1983. Variations saisonnières de la profondeur de la thermocline dans l'océan Atlantique tropical: rôle des alizés. Thèse de doctorat de 3^{ième} cycle. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. Effectuée au Laboratoire d'Océanographie Physique du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

ANNEXE G : Rapports de fin de contrat

(Classement par année)

- 92-1. Delcroix T., 1992. Variability of thermal and haline structures in the tropical Pacific ocean during 1969-1988. Convention CCCE/ORSTOM/PROE: Interim report on Sept. 1, 1992. Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 294 pages.
- 93-1. Le Borgne R., T. Delcroix et C. Hénin, 1993. Ocean processes and properties: report on oceanographic measurements along 165°E (20°S-10°N) in March and July 1991. Convention PNUE/ORSTOM, Topic Review N° 58, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 147 pages.
- 93-2. Le Borgne R., T. Delcroix et C. Hénin, 1993. Ocean processes and properties: report on oceanographic measurements along 165°E (20°S-10°N) in January and August 1992. Convention PNUE/ORSTOM, South Pacific Environment Research Program, Reports and Studies N° 67, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 102 pages.
- 94-1. Delcroix T., 1994. Variabilité des structures halines et thermiques de l'océan Pacifique tropical au cours de la période 1969-1988: rapport de fin de convention. Convention CCCE/ORSTOM/PROE, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie, 106 pages.
- 98-1. Picaut J., A. J. Busalacchi, T. Delcroix, L. Gourdeau, F. Masia, R. Murtugudde, Y. du Penhoat, D. T. Pham et J. Verron, 1998. Etude de l'apport des mesures d'altimétrie spatiale pour la compréhension et la simulation des variations de transport de masse, de chaleur et de sel dans l'Océan Pacifique tropical. Compte rendu final d'activité, Convention ORSTOM-NASA-CNRS, Demande d'Aide à la Recherche N° 96/CNES/0390, 118 pages.
- 99-1. Delcroix T., 1999. Research on the El Niño Southern Oscillation (ENSO) event in the tropical Pacific. Convention IRDPROE/AFD, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, 6, Centre ORSTOM de Nouméa, Nouvelle Calédonie.
- 01-1. Delcroix, T., Y. Gouriou, F. Masia et D. Varillon, 2001. Contribution à l'étude de la variabilité climatique de l'Océan Pacifique tropical sud-ouest. Conventions, Sciences de la Mer, Océanographie Physique, 7, 56 pages.
- 03-1. Gouriou, Y., T. Delcroix et D. Varillon, 2003. Variabilité des structures thermohalines de surface de la ZEE de Nouvelle-Calédonie. Rapport ZoNéCo, 1999 à 2002. Rapport ZoNéCo, Programme d'évaluation des ressources marines de la ZEE de Nouvelle Calédonie. Septembre 2003, 17 pages.
- 03-2. Ayoub, N., T. Delcroix et G. Reverdin, 2004. Validation et analyse de données de salinité de surface dans l'Atlantique Nord et les Océans tropicaux à partir d'observations in situ. Rapport final du projet MERCATOR/CORIOLIS 2002, LEGOS-Toulouse, document interne, 15 pages.
- 05-1. Delcroix, T., F. Durand, G. Eldin, A. Ganachaud, L. Gourdeau, et C. Maes, Contribution au réseau ARGO / Coriolis dans le Pacifique tropical ouest, pour mieux comprendre la variabilité ENSO et décennale et en améliorer la prévision. Rapport interimaire sur l'état d'avancement du projet au 31/08/2005, Convention de recherche 1413458.00 – 2004 2 2425063, CNRS 040160.

ANNEXE H : Liste des programmes de coopération

(Classement par année)

- 1989-1991.** Variability in the surface haline and vertical thermal structures of the south western tropical Pacific. T. Delcroix et C. Hénin. Appel d'offre CCCE/ORSTOM/PROE.
- 1991-1995.** Application des mesures altimétriques TOPEX/POSEIDON à des études sur les observations et la modélisation de la circulation basse-fréquence de masse et de chaleur des couches superficielles de l'Océan Pacifique tropical. J. Picaut, T. Delcroix, Y. duPenhoat, A. Busalacchi, C. Gautier, S. Hayes et M. McPhaden. Appel d'offre CNES/NASA
- 1992-1993-1.** Rigorous open-ocean validation of TOPEX/POSEIDON sea level in the western equatorial Pacific. J. Picaut, A. Busalacchi, T. Delcroix et M. McPhaden. Appel d'offre CNES/NASA.
- 1992-1993-2.** Variability of thermal and haline structures in the tropical Pacific ocean during 1969-1988. T. Delcroix. Appel d'offre CCCE/ORSTOM/PROE.
- 1996-1998-1.** Application des mesures altimétriques TOPEX/POSEIDON à des études sur les observations et la modélisation de la circulation basse-fréquence de masse et de chaleur des couches superficielles de l'Océan Pacifique tropical. J. Picaut, A. Busalacchi, T. Delcroix, L. Gourdeau, M. McPhaden, Y. du Penhoat et J. Verron. Appel d'offre CNES, suite de la proposition 1991-1995
- 1996-1998-1.** Application of TOPEX/POSEIDON altimetry measurements to observational and modeling studies of the low-frequency ocean mass and heat circulation in the Tropical Pacific. Busalacchi A., R. Murtugudde, M. J. McPhaden, D. W. Moore, J. Picaut, T. Delcroix, L. Gourdeau, et J. Verron. Appel d'offre NASA, pendant de la proposition CNES ci dessus.
- 1997 :** Surveillance thermohaline de la ZEE de Nouvelle Calédonie. Delcroix T., proposition acceptée par ZoNeCo (Programme d'exploration et d'évaluation des ressources marines de Nouvelle Calédonie).
- 1997-1999.** Effects of rainfall on seasonal-to-interannual variability of tropical oceans and coupled climate predictability. R. Murtugudde, D. Chen, T. Delcroix, A. Busalacchi, M. McPhaden, et J. Picaut. Appel d'offre NASA-TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).
- 1998-2002-1.** Application of Jason-1 altimetry measurements to observational and modeling studies of the low-frequency ocean mass and heat circulation in the Tropical Pacific. Busalacchi A., J. Picaut, T. Delcroix, L. Gourdeau, M. McPhaden, R. Murtugudee, Y. duPenhoat, J. Verron. Appel d'offre CNES/NASA, suite de la proposition Topex/Poseidon 1996-1998 ci dessus.
- 1998-2002-2.** Advanced altimeter data assimilation for the development of operational oceanography. J. Verron, E. Blayo, J. Blum, P. Brasseur, T. Delcroix, P. De Mey, J.C.Gilbert, G. Evensen, L. Gourdeau, F.X. Le Dimet, C. Lemaréchal, D-T Pham, J. Schröter. Appel d'offre CNES.
- 1998-1999.** Recherches sur le phénomène El Niño Oscillation. Delcroix T. Convention IRD / Programme Régional Océanien pour l'Environnement (PROE), avec la participation de la Caisse Française pour le développement.
- 1998-1 :** Surveillance thermohaline de la ZEE de Nouvelle Calédonie. Delcroix T., proposition acceptée par ZoNeCo (Programme d'exploration et d'évaluation des ressources marines de Nouvelle Calédonie).

- 1998-2**: Variabilité climatique associée au phénomène El Niño Oscillation Australe dans le Pacifique tropical: étude de mécanismes et estimations des impacts régionaux. Delcroix T. et al., proposition acceptée par le PNEDC.
- 1999-1**. Variabilité climatique associée au phénomène El Niño Oscillation Australe dans le Pacifique tropical: mécanismes et impacts régionaux. Delcroix T. et al., proposition acceptée par le PNEDC.
- 1999-2**: Surveillance thermohaline de la ZEE de Nouvelle Calédonie. Delcroix T., proposition acceptée par ZoNeCo (Programme d'exploration et d'évaluation des ressources marines de Nouvelle Calédonie).
- 1999-2003**. Mesure de la salinité par radiométrie hyperfréquence en bande L : projet de satellite SMOS. Etcheto et col. (dont T. Delcroix)., Proposition de recherche scientifique spatiale, CNES.
- 1999-2001**. Impact de l'assimilation de données de salinité dans un modèle aux équations primitives. Gourdeau et col. (dont T. Delcroix)., Proposition MERCATOR, composante assimilation.
- 2000-1** : Contribution à l'étude de la variabilité climatique saisonnière et interannuelle (El Niño Oscillation Australe) au voisinage de la Nouvelle Calédonie et des Îles Wallis et Futuna. Delcroix et al., proposition acceptée par le FIDES.
- 2000-2**: Surveillance thermohaline de la ZEE de Nouvelle Calédonie. Delcroix T., proposition acceptée par ZoNeCo (Programme d'exploration et d'évaluation des ressources marines de Nouvelle Calédonie).
- 2000-3**: Redistribution zonale et méridienne de masse et de chaleur associée à ENSO dans le Pacifique tropical. Delcroix T., proposition ZoNeCo. Correspond à un co-financement à 50% de la première année de thèse de G. Alory (ENS Cachan) dont je suis le Directeur de thèse.
- 2000-2001**. Collection et diffusion des données de salinité de surface validées recueillies par navires marchands dans l'océan global. Delcroix et al., proposition MERCATOR, composante données.
- 2001-1**. Surveillance thermohaline de la ZEE de Nouvelle Calédonie. Delcroix T., proposition ZoNeCo (Programme d'exploration et d'évaluation des ressources marines de Nouvelle Calédonie).
- 2001-2**: Redistribution zonale et méridienne de masse et de chaleur associée à ENSO dans le Pacifique tropical. Delcroix T., proposition ZoNeCo. Correspond à un co-financement à 50% de la deuxième année de thèse de G. Alory (ENS Cachan) dont je suis le Directeur de thèse.
- 2000-2002**. Effects of freshwater forcing on seasonal-to-interannual variability of tropical oceans and Ecosystems. R. Murtugudde, T. Delcroix, C. Birkett, A. Busalacchi, and E. Hacker. Appel d'offre NASA-TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).
- 2001-2002-1**. Vers une assimilation multi données à l'aide d'un filtre SEEK régional dans le modèle d'océan global ORCA. Gourdeau L., T. Delcroix, F. Durand et J. Verron, proposition MERCATOR.
- 2000-2002-2**. Le projet MOTEVAS, proposition Jason de Calmant et al. (dont T. Delcroix).
- 2001-2002-2**. Advanced altimeter data assimilation for the development of operational oceanography. Proposition Jason de Verron et al. (dont T. Delcroix).
- 2002-1**. Surveillance thermohaline de la ZEE de Nouvelle Calédonie. Delcroix T., proposition ZoNeCo (Programme d'exploration et d'évaluation des ressources marines de Nouvelle Calédonie).
- 2002-2**. Redistribution zonale et méridienne de masse et de chaleur associée à ENSO dans le Pacifique tropical. Delcroix T., proposition ZoNeCo. Correspond à un co-financement à

50% de la troisième et dernière année de thèse de G. Alory (ENS Cachan) dont j'étais le Directeur de thèse soutenue le 18 décembre 2002.

2002-2003. Validation et analyse des données de salinité de surface dans l'Atlantique Nord et les océans tropicaux à partir d'observations in situ. PIs : Ayoub N., Delcroix T. et Reverdin G., proposition MERCATOR / CORIOLIS.

2002-2004. ENSO dans le Pacifique tropical : variabilité à long terme et prévisibilité. PIs : Picaut et Boulanger, proposition PNEDC. J'étais coordinateur du thème 1 (sur 5 thèmes au total) intitulé « Etudes de Processus dans la Warm Pool ».

2002-2005. Un Observatoire de Recherche pour l'Environnement dédié à la salinité de surface (ORE-SSS). T. Delcroix et al., proposition financée par l'IRD et le Ministère de la Recherche.

2002-2006. Mesure de la salinité par radiométrie hyperfréquence en bande L : projet de satellite SMOS, P.I. J. Etcheto puis J. Boutin, proposition SMOS. Je suis PI de la partie LEGOS.

2004-2006. Analysing ENSO mechanisms with the combined use of altimetry, geodesy, model simulations and in situ measurements. PIs : T. Delcroix et C. Maes, proposition CNES/TOSCA.

2005-2006. Observations fines, études des mécanismes de formation, et analyse du rôle de la couche barrière de sel de la warm pool dans le pré-conditionnement d'El Niño. PI : T. Delcroix, proposition PNEDC.

2005-2006. Contribution au réseau ARGO / Coriolis dans le Pacifique tropical ouest pour mieux comprendre la variabilité ENSO et décennale et en améliorer la prévision. PI : T. Delcroix, proposition MERCATOR / CORIOLIS

2005-2006 :GLOSCAL. PI : F. Gaillard, proposition SMOS soumise à l'ESA. Je suis responsable de la partie "sites étalons" de la proposition soumise. Cette partie vise à étalonner et valider les futures mesures SMOS sur deux régions types échantillonnées par l'ORE-SSS.

2007. Mesure de la salinité par radiométrie hyperfréquence en bande L : projet de satellite SMOS, P.I. J. Boutin, proposition SMOS. Je suis PI de la partie LEGOS (proposition soumise en avril 2006).

2007. Analysing ENSO mechanisms with the combined use of altimetry, geodesy, model simulations and in situ measurements. PIs : T. Delcroix et C. Maes, proposition CNES/TOSCA (soumise en avril 2006).

2007 :GLOSCAL. PI : F. Gaillard, proposition SMOS soumise à l'ESA. Je suis responsable de la partie "sites étalons" de la proposition soumise. Cette partie vise à étalonner et valider les futures mesures SMOS sur deux régions types échantillonnées par l'ORE-SSS (proposition acceptée en septembre 2006).

ANNEXE I : Liste des mémoires et diplômes de 3^{ème} cycle dirigés

(Classement par année)

- 92-1.** Membre du Comité de thèse de J.P Boulanger (ENS-Lyon) sur le sujet “Influence des ondes équatoriales sur la variabilité basse fréquence de l’océan Pacifique tropical”. Thèse de Doctorat de l’Université P. et M. Curie, Paris VI, soutenue le 21 décembre 1994.
- 93-1.** Membre du Comité de thèse de J.P Boulanger (ENS-Lyon) sur le sujet “Influence des ondes équatoriales sur la variabilité basse fréquence de l’océan Pacifique tropical”. Thèse de Doctorat de l’Université P. et M. Curie, Paris VI, soutenue le 21 décembre 1994.
- 94-1.** Membre du Comité de thèse de J.P Boulanger (ENS-Lyon) sur le sujet “Influence des ondes équatoriales sur la variabilité basse fréquence de l’océan Pacifique tropical”. Thèse de Doctorat de l’Université P. et M. Curie, Paris VI, soutenue le 21 décembre 1994. Voir publication scientifique 94-1.
- 95-1.** Responsable du stage de 3^{ème} année d’école d’ingénieur et de DEA de O. Lenormand (ESIM Marseille) sur le sujet “Les anomalies climatiques associées à ENSO ont-elles une influence au voisinage de la Nouvelle Calédonie”. Projet de fin d’études de l’École Supérieure d’Ingénieurs de Marseille, promotion ESIM-95, Option Génie Mer. DEA Sciences de l’Environnement Marin, Option Océanographie Physique Côtière et Littorale, Université d’Aix Marseille II. Mars à juin 1995. Voir publication scientifique 97-1.
- 96-1.** Responsable du stage de DEA de A. Arseguel (ENSTA, Paris) sur le sujet “Études de la signature d’ENSO dans le Pacifique tropical et des relations entre différents indices”. DEA Océanologie, Météorologie et Environnement, Option Environnement Atmosphérique, Université P. et M. Curie, Paris VI. Juillet à septembre 1996.
- 97-1.** Responsable du stage de DEA de G. Alory (ENS, Cachan) sur le sujet “Étude de l’environnement océanique et météorologique des îles Wallis - Futuna et des Samoa”. DEA Sciences de l’Environnement Marin, Option Océanographie Physique Côtière et Littorale, Université d’Aix Marseille II, Paris VI. Février à juin 1997. Voir publication scientifique 99-1.
- 98-1.** Responsable du stage de DEA de F. Durand (ENSTA, Paris) sur le sujet “ Variabilité de la structure thermique du Pacifique tropical au cours de la période 1979-1996”. DEA Océanologie, Météorologie et Environnement, Université P. et M. Curie, Paris VI et stage de 3^{ème} année d’ENSTA, Paris. Mars à juin 1998. Voir publication scientifique 00-03.
- 98-2.** Co-responsable de stage de R. Kupitz (Univ. P. Sabatier, Toulouse) sur le sujet “Mise au point d’une chaîne de traitement informatique des données altimétriques du satellite franco-américain Topex/Poseidon. Détermination d’une grille d’anomalies de niveau de la mer et des courants géostrophiques de surface correspondant sur le Pacifique tropical”. Diplôme d’Analyste Scientifique, Université Paul Sabatier, Toulouse. Avril à août 1998.
- 99-1.** Responsable du stage de DEA de J.B. Nicet (Univ. P&M Curie, Paris) sur le sujet “Les anomalies climatiques associées à ENSO ont-elles une influence sur la pluviométrie de la Nouvelle Calédonie”. DEA Océanologie, Météorologie et Environnement, Université P. et M. Curie, Paris VI. Avril à août 1999. Voir publication scientifique 00-06.
- 00-1.** Responsable du stage de DEA de N. Gillet (ENSTA, Paris) sur le sujet “Anomalies de niveau de la mer dans le Pacifique tropical pendant les événements El Niño / La Niña de 1992 à 1998”. N. Gillet a également participé à la campagne océanographique Wespalis

- 2 en avril 2000. DEA Océanologie, Météorologie et Environnement, Université P. et M. Curie, Paris VI et stage de 3^{ème} année d'ENSTA, Paris. Mars à août 2000.
- 00-2.** Responsable du stage de Maîtrise de E. Nicolas (Univ. Aix-Marseille II) sur le sujet "De l'impact d'ENSO sur l'environnement océanique et météorologique des îles Marquises". Sciences de l'Environnement Marin, Option Océanographie Physique Côtière et Littorale, Université d'Aix Marseille II. Avril à juin 2000.
- 00-3.** Directeur de thèse de G. Alory (ENS-Cachan) sur le sujet "Redistribution zonale et méridienne de masse et de chaleur associée à ENSO dans le Pacifique tropical". Thèse de Doctorat de l'Université P. et M. Curie, Paris VI. Soutenance effectuée en décembre 2002. Voir publication scientifique 02-01; section 4.1.
- 01-1.** Directeur de thèse de G. Alory (ENS-Cachan) sur le sujet "Redistribution zonale et méridienne de masse et de chaleur associée à ENSO dans le Pacifique tropical". Thèse de Doctorat de l'Université P. et M. Curie, Paris VI. Soutenance effectuée en décembre 2002. Voir publication scientifique 02-01.
- 02-1.** Directeur de thèse de G. Alory (ENS-Cachan) sur le sujet "Redistribution zonale et méridienne de masse et de chaleur associée à ENSO dans le Pacifique tropical". Thèse de Doctorat de l'Université P. et M. Curie, Paris VI. Soutenance effectuée en décembre 2002. Voir publication scientifique 02-01.
- 02-2.** Tuteur de J. Vialard, entré CR2 stagiaire à l'IRD en septembre 2001, titularisé en 2002.
- 03-1.** Responsable du stage de DEA de J. Renault, sur le sujet : Signatures océaniques du cyclone Sose au large de Vanuatu, Pacifique tropical sud-ouest. DEA. Sciences de l'Environnement Marin, Option Océanographie Physique Côtière et Littorale, Université d'Aix Marseille II. Mars à septembre 2003.
- 04-1.** Responsable du stage de DEA de C. Reigner, sur le sujet : Du rôle des ondes équatoriales de Kelvin et de Rossby détectées par altimétrie satellitaire dans le mécanisme de recharge / décharge du phénomène El Niño. DEA Océan Atmosphère Environnement, Université P. Sabatier, Toulouse. Février à juin 2004.
- 05-1.** Responsable du stage de Master 2 de A. Vellido, sur le sujet : Variabilité de la température et de la taille de la warm pool du Pacifique occidental. Master 2ième année, option Océan Atmosphère Environnement, Université P. Sabatier, Toulouse. Février à juin 2005.
- 05-2.** Directeur de thèse de C. Bosc sur le sujet "Rôle des ondes équatoriales sur la redistribution zonale et méridienne de masse et de sel dans le Pacifique tropical". Thèse de Doctorat de l'Université P. Sabatier, Toulouse.
- 06-1.** Directeur de thèse de C. Bosc sur le sujet : "Rôle des ondes équatoriales sur la redistribution zonale et méridienne de masse et de sel dans le Pacifique tropical". Thèse de Doctorat de l'Université P. Sabatier, Toulouse.

ANNEXE J : Participation à des jurys de thèse et HDR

(Classement par année)

- 94-1. Boulanger Jean Philippe. Influence des ondes équatoriales sur la variabilité basse fréquence de l'océan Pacifique tropical. Thèse de Doctorat de l'Université P. et M. Curie, Paris VI, soutenue le 21 décembre 1994.
- 96-1. Maes Christophe. Équilibre du réservoir chaud de l'océan Pacifique tropical ouest. Thèse de Doctorat de l'Université P. et M. Curie, Paris VI, soutenue le 30 janvier 1996.
- 02-1. Arnault Sabine. Variabilité de la circulation océanique des couches de surface et des transports associés en Atlantique tropical. Habilitation à Diriger des Recherches, Université P. et M. Curie, Paris VI, soutenue le 27 mai 2002.
- 02-2. Durand Fabien. Contrôle des couches superficielles des océans tropicaux par assimilation de données satellite : application au Pacifique tropical. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III, soutenue le 24 septembre 2002.
- 02-3. Corrège Thierry. La variabilité climatique interannuelle à interdécennale dans le Pacifique tropical durant l'Holocène : une perspective corallienne. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux I, soutenue le 22 novembre 2002.
- 02-4. Alory Gaël. Redistribution zonale et méridienne de masse dans le Pacifique tropical aux échelles ENSO et décennale dans le Pacifique tropical. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, soutenue le 18 décembre 2002.
- 03-1. Lengaigne Matthieu. Interaction d'échelles dans le système couplé : influence des coups de vent d'ouest sur ENSO. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, soutenue le 19 décembre 2003 (rapporteur).
- 05-1. Philipps Sabine. Restitution de la salinité de surface à partir des mesures simulées SMOS. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III, soutenue le 8 mars 2005.
- 05-2. Boutin Jacqueline. Analyse des flux air-mer de CO₂ et de la salinité à la surface de l'océan par télédétections et mesures autonomes Carioca. Habilitation à Diriger des Recherches, Université P. et M. Curie, Paris VI, soutenue le 28 avril 2005 (rapporteur).
- 05-3. de Boyer Montégut Clément. Couche mélangée océanique et bilan thermohalin de surface dans l'océan Indien nord. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, soutenue le 7 octobre 2005 (rapporteur).
- 05-4. Pous Stéphane. Dynamique océanique dans les Golfes Persique et d'Oman. Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, Brest, soutenue le 7 décembre 2005 (rapporteur).
- 06-1. Michel Sylvain. Télédétection de la salinité à la surface des océans. Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, Brest, soutenue le 10 mars 2006 (rapporteur).
- 06-2. Martinez Elodie. Circulation des eaux de la thermocline en Polynésie Française. Utilisation de données satellites, in situ, et d'un modèle de circulation océanique régional. Thèse de Doctorat de l'Université de Polynésie Française, Papeete, soutenue le 26 avril 2006 (rapporteur).
- 06-3. Terray Pascal. Rôle de l'Océan Indien dans le système couplé mousson El Nino Oscillation Australe. Habilitation à Diriger des Recherches, Université P et M. Curie, Paris VI, soutenue le 21 décembre 2006 (rapporteur).