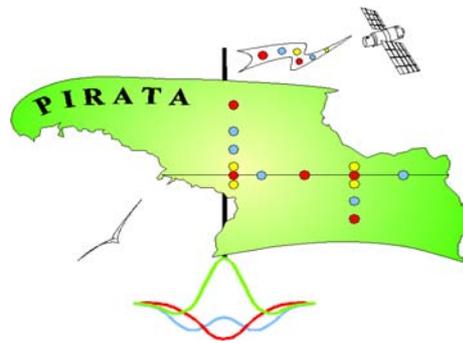


OBSERVATOIRE DE RECHERCHE POUR L'ENVIRONNEMENT :

PIRATA

(Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic)



DOCUMENT DE SYNTHÈSE

Document rédigé pour la CSOA
(Commission Spécialisée « Océan Atmosphère »)
de l'INSU/CNRS

(Avril 2005)

Contact ou renseignements :

Bernard BOURLES,
Centre IRD de Bretagne,
BP 70, 29280 PLOUZANE
Tél : 02 98 22 46 65
Fax : 02 98 22 45 14

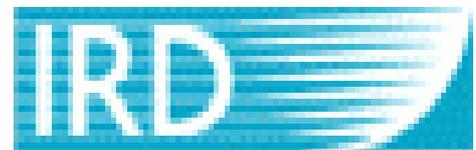
Courriel : bernard.bourles@ird.fr

Ou se reporter sur le site internet :

<http://www.brest.ird.fr/pirata/>



Laboratoire d'Etudes en Géophysique
et Océanographie Spatiales



Contexte Scientifique :

Le programme expérimental PIRATA a été mis en place en 1997 dans l’océan Atlantique tropical (Servain J., A. Busalacchi, A. Moura, M. McPhaden, G. Reverdin, M. Vianna, et S. Zebiak: A Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic « PIRATA » ; *The Bulletin of American Meteorological Society*. 79, 2019-2031, 1998). Il s’est développé dans le cadre du programme international CLIVAR (CLImatic VARIability and predictability) et implique des équipes scientifiques de trois pays : la France, le Brésil et les USA. Il consiste principalement dans la maintenance d’un réseau de 10 bouées de mesures météo-océaniques localisées en des points représentatifs des modes de variabilité climatique en Atlantique Tropical. Après une phase « pilote » de 1997 à 2001, le programme est passé à une phase de consolidation jusqu’à fin 2005. Un PIRATA Resources Board (PRB) a été constitué en 1999 pour répondre aux objectifs d’engagements (financiers, humains, moyens en navire, ...) de chacun des principaux instituts partenaires du Programme PIRATA. Un Memorandum of Understanding (MoU) a été signé officiellement en août 2001 par les représentants des divers partenaires. Ce MoU engage la responsabilité des divers instituts partenaires durant toute la phase de consolidation du programme PIRATA (2001-2006). Le PRB est composé des représentants des organismes suivants :

- IRD (Jacques Boulègue) et Météo-France (Joël Poitevin) pour la France
- INPE (Maria Assunção F. Silva Dias) pour le Brésil
- NOAA (Mike Johnson) (Chair) pour les USA

Lors du Comité Scientifique de PIRATA (PIRATA 10) qui s’est tenu en décembre 2004 à Fortaleza (Brésil), les différents partenaires ont affirmé leur volonté de continuer à soutenir le programme qui sera évalué dans son intégralité fin 2005. Par ailleurs la NOAA s’est engagée sur le financement des bouées en 2006 le temps de finaliser la continuation du projet.

Depuis 2003, la partie française de PIRATA, jusqu’alors seulement financée par l’IRD et Météo-France, a reçu le label ORE (Observatoire de Recherche de l’Environnement) et en conséquence a bénéficié également d’un soutien financier du ministère de la Recherche.

Objectifs :

La variabilité du système océan-atmosphère dans l’Atlantique tropical, de l’échelle saisonnière à l’échelle multi-décennale, influe fortement sur les hydro-climats (variations pluviométriques) régionaux, et par voie de conséquence sur les économies des régions continentales environnantes (Afrique de l’ouest et Nordeste au Brésil en particulier). On a observé durant ces dernières décades que la variabilité interannuelle de l’Atlantique tropical pouvait principalement se décomposer en deux modes : un mode équatorial lié à la dynamique propre des régions équatoriales et un mode méridien lié essentiellement aux anomalies de température de surface de l’océan (SST) de part et d’autre de la zone inter-tropicale de convergence (ITCZ). Ce second mode est souvent décrit comme un gradient méridien d’anomalies de SST. De plus, il existe de nombreuses oscillations pas encore bien identifiées à l’intérieur du bassin qui perturbent l’identification de ces deux types de variabilité.

Par ailleurs, le Nord Est de l’Atlantique tropical (vers la latitude du Sénégal) est le siège de la formation de dépressions tropicales à l’origine des cyclones qui sévissent ensuite sur les régions des Antilles et du sud-est des Etats-Unis. Le rôle advectif des courants océaniques dans cette zone de cyclogénèse est encore mal cerné. On sait aussi qu’il existe une liaison entre les circulations océanique et atmosphérique des régions tropicales et celles des zones tempérées de l’Atlantique ainsi qu’un lien avec les oscillations tropicales du Pacifique liées au mode El Niño - Southern Oscillation (ENSO).

Les principales questions scientifiques à résoudre sont :

- 1) Quels sont les mécanismes de forçage et de couplage entre les composantes atmosphérique et océanique sur l’atlantique tropical ? En particulier quels sont les mécanismes de contrôle de la SST ? Et quels sont les mécanismes de contrôle des flux de chaleur ?
- 2) Quelles sont les influences de ces flux de chaleur (et de quantités de mouvement : le vent) sur la variabilité (position, intensité) de l’ITCZ et sur les systèmes convectifs du Golfe de Guinée (ce qui intéresse la mousson de l’Afrique de l’Ouest), et sur ceux de la région ouest du bassin (ce qui intéresse les pluies sur l’Amérique du Sud) ?
- 3) Quelle est la relation entre la variabilité de la SST et celle du contenu thermique en Atlantique tropical, et quelle est son influence sur les divers modes de variabilité de cette région ? Quelle

est en particulier le lien dynamique entre les pôles nord et sud du mode de variabilité méridien de l'Atlantique et entre celui-ci et le mode équatorial ?

- 4) Quelles sont les téléconnexions et leurs mécanismes entre la variabilité dans la région de l'Atlantique tropical et la variabilité dans d'autres régions (ENSO, NAO, variabilité Atlantique sud ...)?

Dans ce cadre, le programme PIRATA a plus spécifiquement pour objectifs scientifiques :

- D'améliorer la description de la variabilité saisonnière à interannuelle dans la couche supérieure (de la surface à 500 m de profondeur) de l'Atlantique tropical ;
- D'améliorer notre compréhension des contributions relatives des flux de surface et de la dynamique océanique dans la variabilité de la SST et du contenu thermique de subsurface aux échelles saisonnières et interannuelles ;
- De fournir un ensemble de données qui pourra être utilisé pour développer et améliorer les modèles de prévision du système couplé océan-atmosphère.

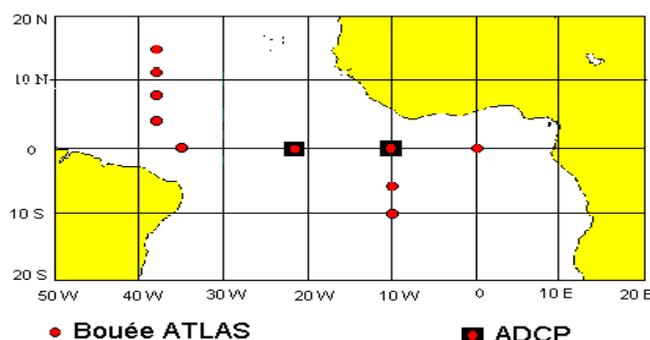
Le système de 10 bouées ATLAS du réseau PIRATA, dont les 5 sous la responsabilité de la France via l'ORE PIRATA, est rendu opérationnel par la transmission quotidienne des données par voie satellitale (système Argos), suivi d'un accès immédiat sur le réseau internet et sur le Système Mondial des Télécommunications (SMT). En plus d'une utilisation purement scientifique liée à la l'étude de la variabilité des conditions climatiques en Atlantique tropical, les observations PIRATA sont utilisées pour l'assimilation en temps quasi-réel dans les modèles atmosphériques nationaux, européens, brésiliens et étatsuniens, ainsi que dans le modèle océanique MERCATOR en France. Les informations contribuent également à établir, à améliorer ou à valider les conditions initiales météo-océaniques nécessaires pour les modèles numériques couplés utilisés pour les prévisions climatiques globales à l'échelle saisonnière.

Sites de mesures et paramètres mesurés :

a) mesures météo-océaniques à partir de bouées ATLAS :

PIRATA maintient un réseau de 10 bouées météo-océaniques de type ATLAS, dont la position géographique est adaptée pour l'étude et le suivi des modes de variabilité climatiques dominants (équatorial et méridien), et dont l'objectif principal est de permettre de décrire et de comprendre l'évolution de la structure thermique superficielle et les transferts, entre l'océan et l'atmosphère, de quantité de mouvement, de chaleur et d'eau douce (Figure 1). La France, via l'ORE-PIRATA, a la charge opérationnelle des 5 bouées ATLAS situés aux longitudes 23°W, 10°W et 0°E.

Figure 1 : Schéma actuel du réseau PIRATA. Le Brésil maintient les 5 sites ATLAS à l'Ouest de 30°W. La France maintient les 5 autres sites ATLAS ainsi que les sites ADCP de 0°N-23°W et 0°N-10°W.



Les bouées ATLAS sont équipées d'une station météorologique en surface (direction et intensité du vent, température et humidité de l'air, précipitation et radiation solaire) et de capteurs hydrologiques entre la surface et 500m de profondeur, à savoir 2 capteurs de pression (à 300m et 500m), 11 capteurs de température (à la surface, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 120m, 140m, 180m, 300m et 500m) et de 4 capteurs de conductivité -permettant de calculer la salinité- (à la surface, 20m, 40m et 120m). Les observations (moyennes journalières) sont transmises par satellite via Argos et sont disponibles en temps quasi réel sur Internet. Les mesures effectuées à haute fréquence (de 1mn à une heure en fonction des paramètres) sont stockées sur site et récupérées lors des opérations de maintenance avant d'être traitées, calibrées puis mises à disposition de la communauté.

b) mesures courantométriques à partir de mouillages :

Pour le suivi de la circulation dans la couche superficielle et de mélange, PIRATA maintient également depuis fin 2001 un mouillage courantométrique à l'équateur à la longitude 23°W, à proximité de la bouée ATLAS. L'ORE PIRATA est en charge de ce mouillage. De plus, l'ORE-PIRATA, en continuité du programme EQUALANT, composante du programme national ECLAT (Etudes Climatologiques dans l'Atlantique Tropical) dans le cadre de CLIVAR, maintient également depuis fin 2001, et ce jusqu'au printemps 2005, un mouillage courantométrique à l'équateur sur la longitude 10°W, à proximité de la bouée ATLAS.

Ces deux mouillages sont équipés d'un ADCP (courantomètre à effet Doppler) qui mesure en continu les deux composantes horizontales du courant de la surface à environ 100m de profondeur. Les mesures sont disponibles à raison d'une mesure tous les 4m à partir de 16m de profondeur à 23°W et d'une mesure tous les 8m à partir de 20m à 10°W (dépendant du type d'ADCP utilisé).

c) mesures océanographiques obtenues à partir des navires :

Lors de chaque campagne océanographique dédiée à PIRATA, il est également procédé à des mesures météo-océaniques ou à des opérations complémentaires, soit dans le cadre du programme PIRATA, soit en collaboration avec d'autres programmes associés (tel EGEE, composante océanographique du programme AMMA - Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine-) ou dédiés à l'océanographie opérationnelle (CORIOLIS et MERCATOR, composantes françaises des programmes internationaux ARGO et GODAE respectivement).

1. Mesures en continu avec les appareils du navire :

- Mesures du courant (de 0 à 700m max.) avec le(s) courantomètre(s) à effet Doppler VM-ADCP ;
- Mesures de la température et de la salinité de la surface de la mer avec un thermosalinographe ;
- Mesures météorologiques et de navigation avec les centrales d'acquisition.

2. Mesures en station :

- Stations hydrologiques avec profils CTD (mesures en continu de la pression, de la température et de la salinité entre la surface et 500m ou 1000m), notamment aux sites des bouées et le long de la radiale 10°W (tous les degrés au minimum) ;

3. Opérations en route :

- Lancers de sondes XBT (acquisition de profils de température entre la surface et 800m environ) ;
- Déploiements de bouées dérivantes de surface (SVP ; mesure de la température de surface de la mer et transmission quotidienne par satellite de cette mesure et de la position de la bouée permettant d'en déduire également les courants de surface ; en collaboration avec le programme Global Ocean Observing System -GOOS- de la NOAA/USA) ;
- Depuis 2003, déploiements occasionnels de profileurs dérivants de type PROVOR (acquisition de profils thermohalins de la surface à 2000m tous les 10 jours) dans le cadre de CORIOLIS ;
- Depuis 2003, prélèvements réguliers d'eau de mer à la surface pour l'analyse de la salinité (notamment dans le cadre de CORIOLIS et de la calibration des thermosalinographes), des sels nutritifs et des paramètres du carbone, de l'O18 et du C13 (notamment dans le cadre d'EGEE dans le Golfe de Guinée et du programme FlamenCO2/PROOF associé).
- Très occasionnellement, il est aussi procédé à des lancers de ballons sonde météorologiques et à des relevés bathymétriques par sondeur multi-faisceaux (EM12).

d) mesures de la hauteur de la mer :

A São Tomé, île située dans le Golfe de Guinée (à 6°E sur l'équateur) une station marégraphique a été installée par l'ORSTOM dès 1989 pour les besoins des programmes de recherche sur le climat (TOGA, WOCE, CLIVAR). Ce marégraphe, relié à une balise Argos pour la transmission de données en temps réel, fait partie intégrante d'un réseau global d'observation de l'Atlantique Tropical, et est depuis 1997 intégré au réseau international PIRATA. Il a été positionné par GPS pour le programme international GLOSS (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/programmes/gloss.info.html>) en décembre 2002. Les mesures acquises avec ce dispositif sont : niveau -hauteur ou pression-, température et salinité de la mer, et pression atmosphérique. Les mesures sont acquises toutes les heures et transmises quotidiennement via ARGOS.

Protocoles d'acquisition et étalonnage :

Les protocoles utilisés dépendent des mesures.

a) mesures météo-océaniques à partir de bouées ATLAS :

Tous les détails sur les capteurs, les fréquences d'acquisition, la résolution et la précision des mesures, et les procédures de traitement et d'étalonnage sont explicités sur la page internet du site de la NOAA/AOML dédiée au réseau TAO (http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/mooring.shtml), programme équivalent de PIRATA dans le Pacifique et mis en place dans les années 1980 (voir <http://www.pmel.noaa.gov/tao/>). Ces procédures permettent une qualité optimale des mesures au vu des contraintes spécifiques liées au terrain d'acquisition des mesures (en plein océan), de la durée sur site des instruments, de l'énergie (batteries) et des capacités de stockage des mesures sur site. Un résumé des instruments et des traitements est fourni dans l'annexe 1 (en anglais).

Pour résumer, le protocole suit la chronologie suivante :

- Mesures et sauvegarde in situ de chacune des variables acquises à haute fréquence (1mn à 1h) ;
- Intégration sur les dernières 24 heures de l'ensemble de ces variables via un système centralisateur travaillant par interrogations successives des capteurs ;
- Télétransmission satellitale bi-quotidienne des valeurs intégrées journalières via Argos; mise à disposition des informations sur le réseau international SMT pour l'exploitation en temps réel ;
- Validation et traitement des données transmises en temps réel au PMEL/NOAA à Seattle (USA) ;
- Mise à disposition gratuite de ces données quotidiennes auprès de la communauté scientifique via internet ;
- Traitement différé des données acquises à haute fréquence au PMEL/NOAA (incluant la validation et la mise à disposition via internet). Ceci se fait après le relevage des bouées ATLAS lors des campagnes océanographiques françaises et brésiliennes, et donc après le retour des instrumentations au PMEL (maintenance des composants électroniques) et de la récupération des mesures brutes dans les mémoires internes de ces instrumentations.

b) mesures courantométriques à partir de mouillages :

Depuis que PIRATA a obtenu le statut d'ORE début 2003, seul le mouillage courantométrique situé à 10°W-Equateur a été relevé une fois lors de la campagne PIRATA FR 12 de janvier-février 2004, après avoir été mis en place en mai 2003. Les mesures courantométriques de surface obtenues avec l'ADCP (un ADCP Narrow Band 514) ont été traitées selon des procédures détaillées dans un rapport de données dont les références sont citées ci-dessous. Une adaptation du logiciel fourni par le constructeur RDI a dû être réalisée afin de pouvoir traiter les mesures en les rétablissant sous format binaire compatible avec le logiciel de traitement. Une correction de la déclinaison magnétique et de la vitesse du son est appliquée avant de procéder à un traitement final des mesures, qui est rendu complexe en raison des réflexions des signaux à la surface. Les détails du traitement sont fournis dans le rapport. On obtient ainsi des mesures des deux composantes horizontales de la vitesse du courant entre 26m et 320m avec une résolution verticale de 8m. Pour disposer d'une estimation de la précision des mesures, une comparaison a été effectuée avec des mesures indépendantes de courant, obtenues à partir de l'ADCP de coque des navires ayant été utilisés lors de la mise à l'eau du mouillage (le N/O Beutemps Beaupré) et de sa récupération (le N/O L'Atalante).

Références :

- Kartavtseff, Annie, Mouillage courantométrique PIRATA 10°W ; Mai 2003- Février 2004 ; *Rapport interne du LODYC, n°2004-01*, mai 2004.

c) mesures océanographiques obtenues à partir des navires :

Les mesures acquises pendant les campagnes dédiées au programme PIRATA sont de différents types, et ont toutes subi un traitement adapté lorsque nécessaire.

- Les données hydrologiques obtenues avec une sonde CTD (Seabird SBE19 ou SBE911+) ont été traitées selon les normes internationales à l'aide de la chaîne de traitement fourni par le constructeur (SEABIRD ; « SBEProcessing »), et, lorsque des échantillons d'eau de mer sont disponibles, permettant des analyses précises de la salinité et de l'oxygène, les procédures mises en place

respectant les normes internationales WOCE, et en partie développées à l'IRD lors des programmes ETAMBOT et EQUALANT, ont été appliquées (voir Références : Gouriou, Y., *Calibration des mesures CTD-O₂, dans « Campagne ETAMBOT 2, Recueil de données, Vol.1/2 : Introduction, Mesures 'en route', Courantométrie ADCP, mesures CTDO₂, Coupes de distributions verticales », Doc. Scient. du Centre ORSTOM de Cayenne, O.P. 24, 1997 ; Chuchla, R., B. Bourlès et Y. Gouriou, *Calibration des mesures CTD-O₂, Campagne EQUALANT 99, N.O. Thalassa 13 juillet – 21 août 1999, Rapport de campagne à la mer, Rapport interne LODYC n°2000-01, 2000 ; Chuchla, R., et B. Bourlès, *Calibration des mesures CTD-O₂, Campagne Equalant-2000, rapport de campagne à la mer, Doc. Scient. et Techn. du Centre IRD de Bretagne, n°2001-89, 2001).***

- Les données de courant par ADCP de coque ont été traitées, en fonction de l'ADCP disponible et donc des navires utilisés, soit par le logiciel CODAS (Référence : « *Common Oceanographic Data Access System, version 3, développé à l'Université d'Hawaii* » eg Bahr, F., E. Firing and S. Jiang, *Acoustic Doppler current profiling in the western Pacific during the US-PRC TOGA Cruises 5 and 6, JIMAR Contr. 90-0228, U. of Hawaii, 162 pp., 1990*), soit à l'aide du logiciel CASCADE mis au point au Laboratoire de Physique des Océans à Brest (Référence : « *Cascade* » : un logiciel de traitement des données ADCP de Coque, version 3.0, par C.Kermabon et F.Gaillard, *Rapport interne DRP/LPO 02/03, 2002*).

- Les profils thermiques obtenus à partir des sondes XBT ont été traités avec le logiciel MK12 du constructeur SIPPICAN. Les profils ou éléments de profils douteux repérés visuellement sont éliminés. Les données disponibles et mises à disposition sont brutes et non interpolées. Depuis 2003, les profils acquis à partir de navires de la flotte nationale sont transmis en temps réels au projet CORIOLIS, et donc disponibles également via le site internet de ce programme (<http://www.ifremer.fr/coriolis/>) ou via le site du Centre de Données Océanographiques de l'IFREMER, le SISMER (Système d'Informations Scientifiques pour la Mer, à l'adresse <http://www.ifremer.fr/sismer/>).

- Les mesures de température et de salinité de la surface de la mer réalisées avec les thermosalinographes des navires ne sont pas traitées. Les mesures sont acquises toutes les 10 à 15 secondes et une valeur médiane est archivée toutes les 5 à 10 minutes, les intervalles de temps variant d'un navire à l'autre. Sur les navires de l'IFREMER, en plus de la température mesurée au sein de l'appareil situé souvent à distance de la prise d'eau, des mesures de température de coque sont disponibles avec un capteur SeaBird externe. Dans ce cas ce sont ces dernières qui sont considérées.

Toutes les données des campagnes dédiées au programme PIRATA ont été traitées au Centre IRD de Bretagne et ont fait l'objet de rapports individuels et d'un rapport de données global et détaillé, directement accessible sur le site internet de PIRATA (http://www.brest.ird.fr/pirata/infos_fr.html), et régulièrement mis à jour au fur et à mesure des campagnes à la mer.

La référence de ce rapport est la suivante :

- Grelet Jacques, Jacques Servain, Joao Lorenzetti & Marcio Vianna, avec la participation d'Annie Kartavtseff, Rémy Chuchla & Bernard Bourlès, *Recueil de Données Météo-Océaniques effectuées durant les Campagnes PIRATA: Années 1997-2003, Centre IRD de Bretagne, B.P. 70, 29280 Plouzané, Septembre 2003.*

d) mesures de la hauteur de la mer :

Les mesures acquises avec le marégraphe de São Tomé sont : hauteur, température et salinité de la mer, et pression atmosphérique. Les mesures sont acquises toutes les heures et transmises quotidiennement via ARGOS au LEGOS, à Toulouse, où elles sont archivées, mise à disposition de la communauté et également contrôlées. La procédure de contrôle appliquée est celle du réseau d'observation ROSAME (programme reconnu labellisé « Service d'Observations INSU » depuis 1997). Les données peuvent ainsi être récupérées en temps réel sur le site du Service d'Observations et d'Archives du LEGOS (<http://www.legos.obs-mip.fr/fr/soa/>). Les données complètes sont également accessibles via le site PIRATA (<ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/ird/pirata/maregraphe>).

Historique de la production des données sur la durée du Service :

a) mesures météo-océaniques à partir de bouées ATLAS :

Le programme PIRATA a été mis en place dès 1997 dans le cadre du programme international CLIVAR (voir <http://www.clivar.org/>). Dès 1997, la première bouée ATLAS du réseau a été déployée par l'IRD dans le Golfe de Guinée, et l'ensemble des 5 bouées sous la responsabilité de la France, situées à 0°E-Equateur, à 10°W-10°S, 10°W-6°S, 10°W-Equateur, et à 23°W-Equateur (au départ sous responsabilité du Brésil, puis sous celle de la France depuis 2001 en raison de la maintenance simultanée du mouillage courantométrique situé au même point que le Brésil ne pouvait assurer), a été intégralement mis en place dès 1999.

Les périodes de fonctionnement des bouées ATLAS sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Mouillages ATLAS de PIRATA	Périodes de fonctionnement (mois/année)
23°W-0°N	01/1999 à 01/2005
10°W -0°N	09/1997 à 11/1997
	02/1999 à 12/2000
	11/2001 à 01/2002
	01/2003 à 05/2004
10°W-6°S	01/1999 à 01/2005
10°W-10°S	01/1999 à 01/2005
0°W-0°N	01/1998 à 12/1998
	08/2000 à 01/2002
	01/2003 à 05/2004

On remarque que les mouillages situés le long de l'équateur à 10°W et 0°E présentent des périodes pendant lesquelles les bouées ne fonctionnent pas. En effet, ces bouées sont souvent l'objet de vandalisme (nous reviendrons sur ce problème plus loin). Elles se trouvent dans des zones très poissonneuses et jouent de fait le rôle de DCP (Dispositifs à Concentration de Poisson). La concentration importante de petits poissons sous ces bouées attire les thons et par voie de conséquence les flottilles de pêche qui détériorent voire détruisent les bouées ou les arrachent avec leurs filets... La durée de l'absence de données dépend alors de la possibilité de se rendre sur place ! De fait, pour la maintenance des bouées, il faudrait (compte tenu du fonctionnement optimal des batteries, de la concentration de matière organique sur les capteurs -notamment pour la salinité via le 'fouling'-, de l'effet de la corrosion sur les dispositifs de fixation de la bouée et des câbles du mouillage...) que les bouées soient remplacées deux fois par an. Au vu de la difficulté à obtenir du temps navire (nous reviendrons également sur ce problème plus loin), cet objectif n'a jamais pu être atteint, et en général chaque bouée est remplacée au mieux une fois par an. De fait, les deux bouées 10°W-0°N et 0°W-0°N qui semblent avoir été détruites en mai 2004 (plus aucune réception de données), n'ont pas pu être remplacées et ne le seront que lors des prochaines campagnes de 2005.

Les 13 campagnes françaises réalisées depuis 1997 pour le programme PIRATA sont résumées dans le tableau ci-dessous:

PIRATA-FR1	9 septembre 1997	16 septembre 1997	Antéa
PIRATA-FR1b	30 janvier 98	3 février 1998	Antéa
PIRATA-FR2	30 octobre 1998	10 novembre 1998	Antéa
PIRATA-FR3	23 janvier 1999	1 février 1998	Antéa
PIRATA-FR4	13 juillet 1999	21 août 1999	Thalassa
PIRATA-FR5	25 octobre 1999	8 novembre 1999	Antéa
PIRATA-FR6	8 mars 2000	19 mars 2000	Le Suroit
PIRATA-FR7	23 juillet 2000	21 août 2000	Thalassa
PIRATA-FR8	17 novembre 2000	3 décembre 2000	Atalante
PIRATA-FR9	20 octobre 2001	11 novembre 2001	Atalante
PIRATA-FR10	6 décembre 2001	21 décembre 2001	Atalante
PIRATA-FR11	17 décembre 2002	3 janvier 2003	Le Suroit
PIRATA-FR12	28 janvier 2004	20 février 2004	Atalante

La prochaine campagne PIRATA FR13 est programmée du 23 mai au 5 juin 2005 avec le N/O Le Suroît, afin d'intervenir sur le site 23°W-Equateur. En raison d'un classement par la Commission nationale « Océanographie Physique Chimique et Biologique » (OPCB) peu favorable en 2004, aucune campagne PIRATA n'a été programmée en 2005 par la Commission nationale « Flotte et Engins », attribuant le temps navire. En conséquence, l'IRD a dû affréter un navire de la flotte nationale pour l'occasion (le N/O Le Suroît), moyennant un coût de 70.000 €.. Les quatre bouées situées dans le Golfe de Guinée seront maintenues ou remises en état pendant la campagne EGEE 1 du programme AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), programmée du 7 juin au 5 juillet également à bord du N/O Le Suroît.

b) mesures courantométriques à partir de mouillages :

Les mesures courantométriques obtenues dans les couches de surface à partir d'un ADCP ont été produites en deux endroits et selon deux calendriers différents. Les périodes de fonctionnement des ADCP sont résumées dans le tableau ci-dessous :

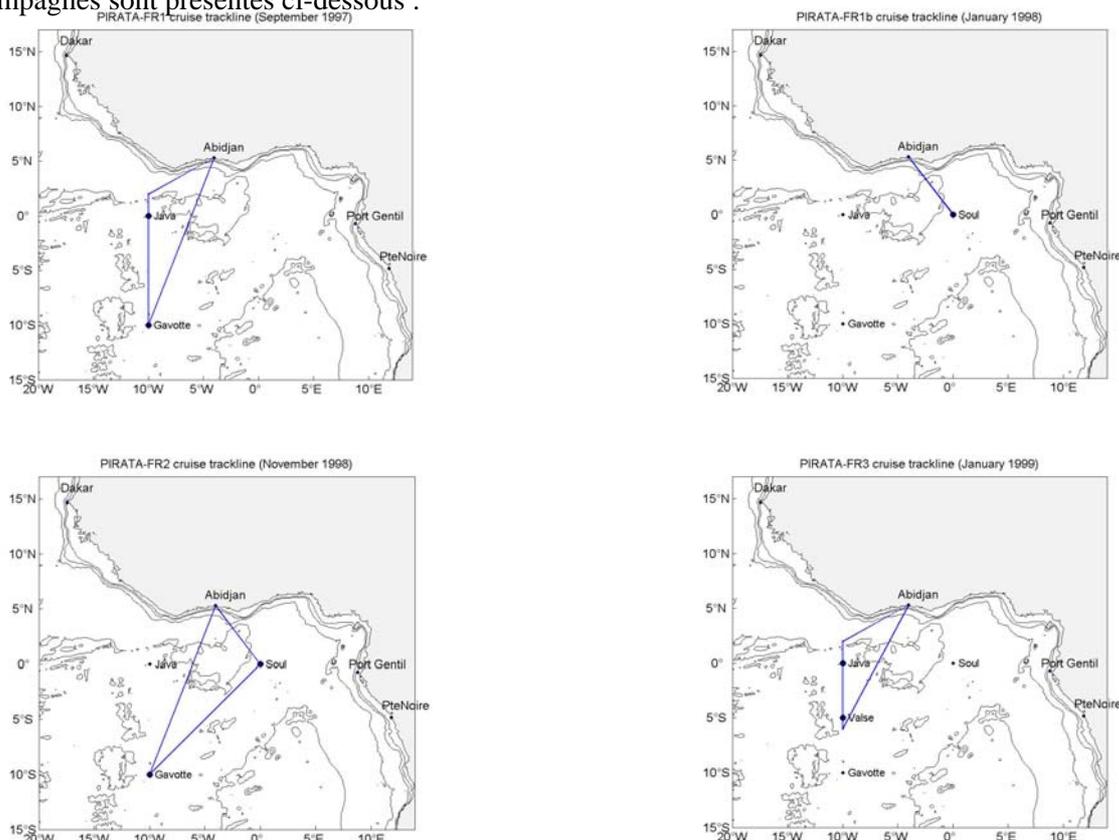
Mouillages courantométriques PIRATA	Périodes de fonctionnement (mois/année)
23°W-0°N	12/2001 à 12/2002
	02/2004 à 05/2005 *
10°W -0°N	12/2001 à 12/2002
	05/2003 à 02/2004
	02/2004 à 06/2005 *

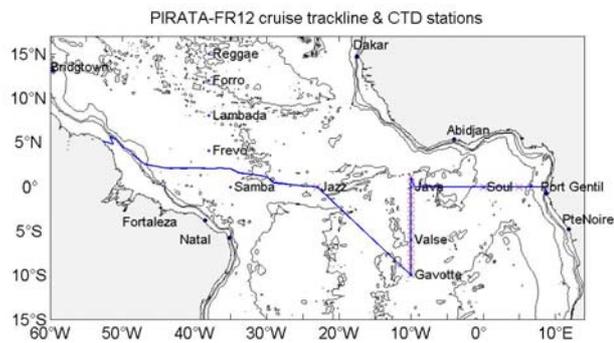
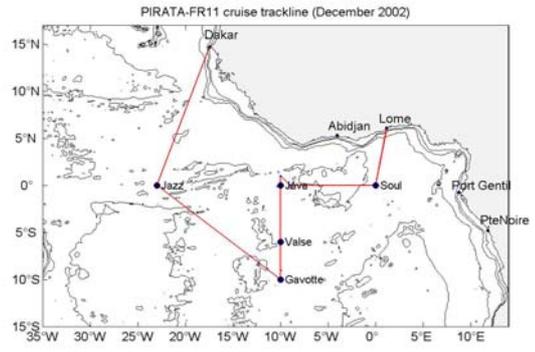
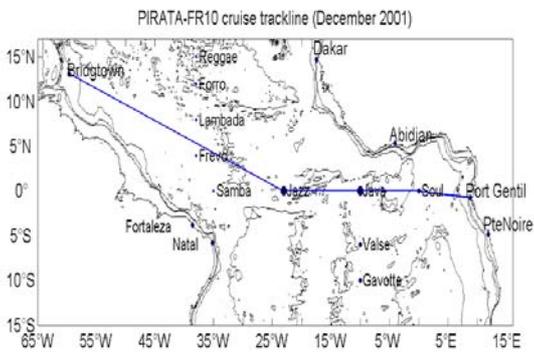
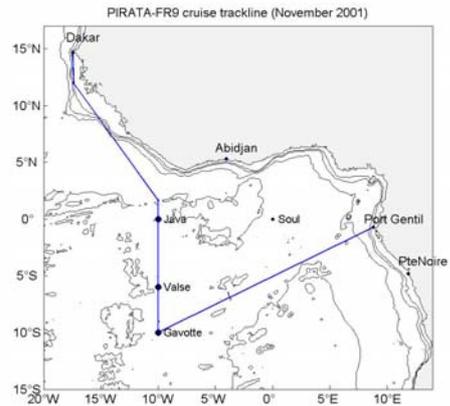
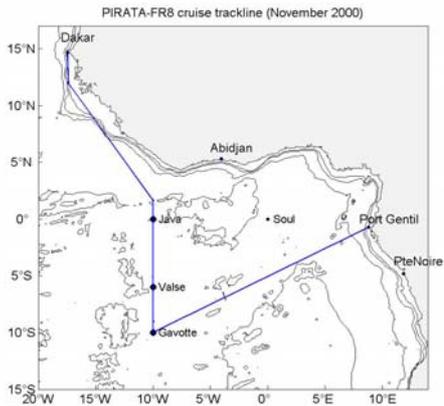
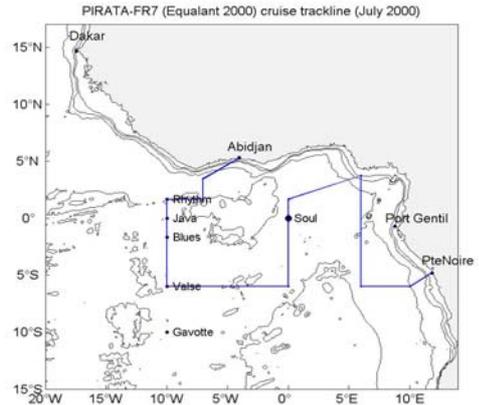
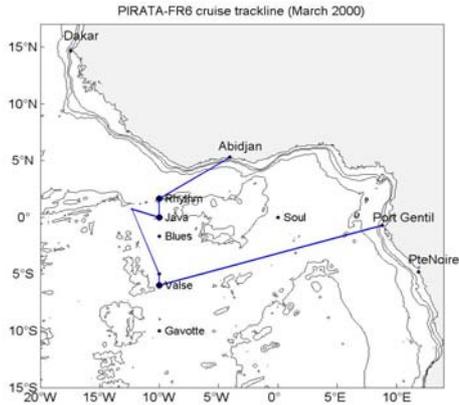
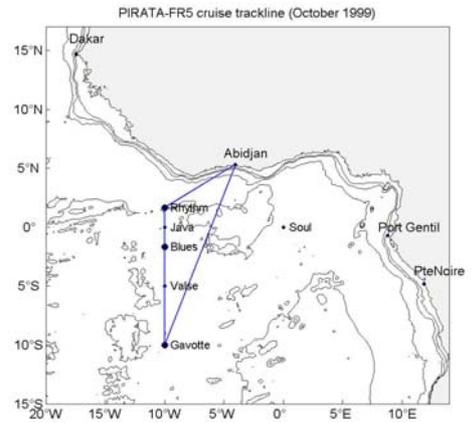
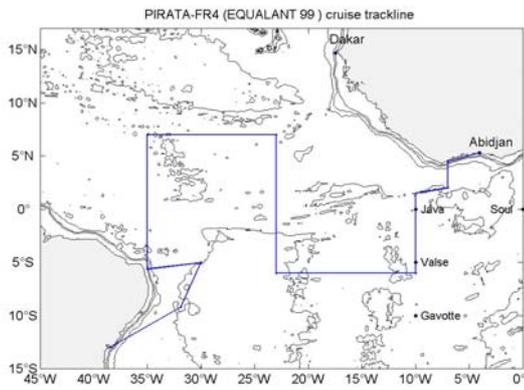
Les deux ADCP du programme PIRATA ont été déployés en décembre 2001 sur les deux sites. De fait, nécessitant un entretien, aucun n'a pu être remis immédiatement après leur relevage de décembre 2002. Seul le mouillage ADCP de 10°W-0°N a pu être remis à l'eau en mai 2003 grâce à un transit valorisé du navire Beautemps Beaupré du SHOM, et aucune mesure de courant n'a pu être acquise à 23°W-0°N pendant l'année 2003.

* : Les mouillages seront relevés pendant les prochaines campagnes PIRATA FR13 et EGEE 1. Les dates de fin de fonctionnement correspondent donc ici aux mois de relevage des mouillages et non pas aux mois de fin de disposition des mesures, qui dépendront du bon fonctionnement des courantomètres pendant leur immersion.

c) mesures océanographiques obtenues à partir des navires :

Les différentes mesures acquises à partir des navires ont pu l'être lors des 12 campagnes dédiées au programme présentées précédemment. Les mesures sont acquises le long de la route du navire et pendant des stations hydrologiques réalisées le long de la section 10°W. Les plans des campagnes sont présentés ci-dessous :





d) mesures de la hauteur de la mer :

Le marégraphe de São Tomé a été positionné par GPS pour le programme international GLOSS (<http://www.pol.ac.uk/psmsl/programmes/gloss.info.html>) en décembre 2002. Depuis cette date, les mesures acquises (niveau -hauteur ou pression-, température et salinité de la mer, et pression atmosphérique) toutes les heures et transmises quotidiennement via ARGOS l'ont été sans interruption, si ce n'est quelques heures pendant les opérations de maintenance qui ont eu lieu en octobre 2003 et août 2004. Les rapports détaillés des missions relatives à ces opérations d'installation et de maintenance du marégraphe, couplées avec celles de maintenance de la station météorologique implantée également à São Tomé dans le cadre du programme EGEE/AMMA, peuvent être trouvés soit sur le site internet du Centre IRD de Bretagne (http://www.brest.ird.fr/activites/act_LEGOS_Brest.htm), soit sur le site ftp « anonyme » suivant : <ftp://ifremer.fr/ifremer/ird/bourles/saotome>.

Mise à disposition des données à la communauté scientifique :

Une des priorités du programme international PIRATA et de l'ORE PIRATA est de mettre les mesures à la disposition de la communauté scientifique dès que possible via internet, c'est-à-dire :

- en temps quasi réel pour les données (moyennes quotidiennes) des bouées ATLAS, les données marégraphiques de São Tomé et les profils thermiques obtenus pendant les campagnes ;
- aussi rapidement que possible pour la plupart des données acquises pendant les campagnes dédiées au programme et des données courantométriques, une fois les phases éventuelles de traitement et de validation des mesures effectuées.

- L'accès aux jeux de données des bouées ATLAS peut se faire directement via internet, à l'adresse réservée aux mesures sur le site PIRATA, à savoir à l'adresse suivante : http://www.pmel.noaa.gov/tao/data_deliv/deliv-pir.html.

- L'accès aux jeux de données des campagnes océanographiques dédiées peut se faire soit directement via le site internet du programme PIRATA au Centre IRD de Bretagne à la page : http://www.brest.ird.fr/pirata/infos_fr.html, soit directement à l'adresse ftp où elles sont déposées : <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/ird/pirata/pirata-data>. Il faut cependant noter que les mesures courantométriques faites à partir des ADCP de coque des navires nécessitent des traitements et contrôles relativement complexes (notamment ces mesures doivent être traitées en considérant d'autres paramètres mesurés à bord, tels les paramètres de navigation ou de l'attitude du navire par ex.) et donc peuvent demander des délais plus importants avant d'être mis à disposition de la communauté (par déontologie, les données doivent être auparavant scientifiquement validées...). On peut noter ici qu'un groupe de travail a été formé en octobre 2004 par l'intermédiaire du Groupe Science du projet CORIOLIS dont le rôle est de favoriser, simplifier et sécuriser l'acquisition, le contrôle et le traitement des mesures de courant à partir des ADCP de coque des navires de la flotte nationale. Les comptes rendus de l'activité et des réunions de ce groupe peuvent être demandés directement aux responsables de ce groupe : Yves Gouriou (yves.gouriou@ird.fr) ou Bernard Bourlès (bernard.bourles@ird.fr).

- L'accès aux jeux de données du marégraphe de São Tomé peut se faire via la page internet de PIRATA, sur le site <ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/ird/pirata/maregraphe> ou directement à l'adresse suivante : <http://www.legos.obs-mip.fr/fr/soa/>.

- L'accès aux données courantométriques des mouillages se fait à ce jour directement par demande à la responsable de ces mesures, à savoir : Mme Christine PROVOST au LOCEAN (courriel : cp@lodyc.jussieu.fr). De même que pour les mesures de courant obtenues à partir des navires, ces données nécessitent des traitements et contrôles relativement complexes et donc peuvent demander des délais plus importants avant d'être mis à disposition de la communauté. Les données obtenues à 23°W de 2001 à 2002 ont été transmises début 2004 à la NOAA/PMEL de Seattle afin qu'elles soient mises sur le même site d'accès que les données des bouées ATLAS ; elles sont désormais mises à disposition via internet à l'adresse <http://www.pmel.noaa.gov/tao/disdel/>. Les données acquises depuis 2003 devraient être également mises à disposition via internet très prochainement, ainsi que sur le site de l'ORE PIRATA au Centre IRD de Bretagne. Le but visé est qu'elles soient accessibles environ 6 mois après le relevage des mouillages.

Insertion dans des réseaux internationaux et politique de pérennisation des données :

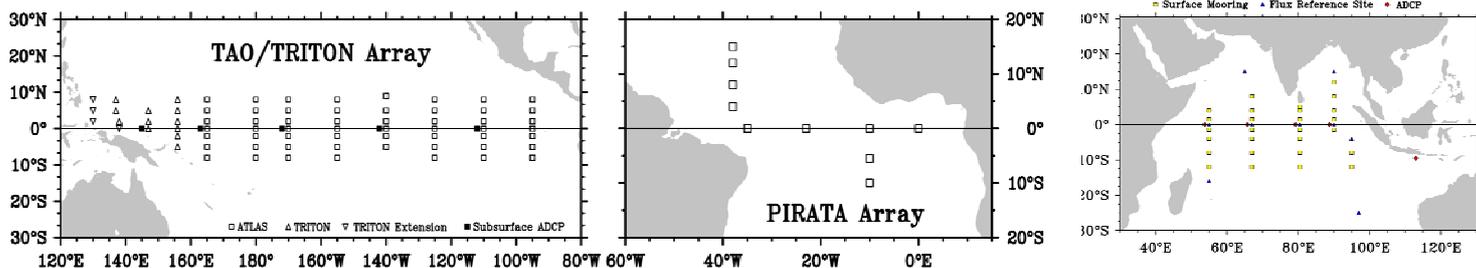
L'ORE PIRATA est depuis 2003 la composante française du programme international PIRATA, programme tripartite entre les USA, le Brésil et la France, qui après une phase « Pilote » de 1997 à 2001, est à l'heure actuelle en fin de phase de consolidation (2001-2005). PIRATA constitue donc d'ores et déjà un réseau international constitué de 10 bouées météo-océaniques de type ATLAS, réparties en Atlantique Tropical, les 5 bouées situées à l'Ouest étant sous responsabilité du Brésil, les 5 bouées situées au centre et à l'Est du bassin sous la responsabilité de la France via l'ORE PIRATA, également responsable de deux mouillages courantométriques et d'un marégraphe. Ce réseau est soutenu notamment par les programmes internationaux CLIVAR, OOPC et GLOSS.

On peut également considérer PIRATA comme étant le volet Atlantique d'un ensemble de réseaux d'observations des conditions météo-océaniques sur l'ensemble des tropiques (Tropical Moored Buoy), mis en place à partir des années 1980 dans le Pacifique avec le programme TAO/TRITON développé par les USA (NOAA/PMEL), le Japon (JAMSTEC), et avec une contribution de l'IRD (voir le site <http://www.pmel.noaa.gov/tao/index.shtml>), et avec le développement d'un réseau de bouées ATLAS dans l'Océan Indien, proposé et déjà en cours d'installation par la NOAA en collaboration principalement avec le Japon, l'Australie et l'Inde (Une présentation des trois réseaux peut être trouvée sur le site du CLIVAR Global Synthesis and Observation Panel -CGSOP-, à l'adresse suivante :

http://www.clivar.org/organization/gsop/implementation/GSOP_1/reports/GSOP_TIP_2004.pdf)

L'ensemble des réseaux Pacifique, Atlantique et du projet final du réseau dans l'Indien est présenté sur les trois figures ci-dessous.

Le devenir de PIRATA, qui vise à être



pérennisé, et de sa future configuration va se décider pendant ces années 2005-2006. En effet, lors de la dernière réunion du Comité Scientifique de Pirata qui s'est tenu en décembre 2004 à Fortaleza (Brésil) pendant le congrès PIRATA 10, les différents partenaires ont affirmé leur volonté de continuer à soutenir le programme. La NOAA s'est d'ores et déjà engagée sur le financement des bouées à remplacer en 2006, et ce le temps de finaliser les documents nécessaires pour définir la continuation du projet. Le Memorandum of Understanding (MoU) signé par les organismes partenaires en 2001, et arrivé à terme en septembre 2004, a été prolongé en l'état pour une durée de deux années par les mêmes partenaires lors du dernier congrès PIRATA 10. Lors de ce congrès, il a été décidé que le programme PIRATA devait être évalué dans son intégralité par les grands programmes internationaux qui le soutiennent (CLIVAR, OOPC, GOOS, GLOS ...) avant de définir dès le début de 2006 un nouveau texte scientifique et contractuel (un nouveau Memorandum of Understanding) définissant la future configuration du réseau PIRATA et des règles permettant de le maintenir en état.

Il a été donc décidé que le prochain congrès international du programme, d'ores et déjà programmé du 12 au 14 octobre 2005 à Toulouse, soit le lieu de cette évaluation et de cette réflexion. A ce congrès, qui sera organisé par le LEGOS, METEO-FRANCE et le CNRS/INSU, des membres des Comités Scientifiques de programmes CLIVAR (et plus particulièrement CLIVAR-Atlantic) et OOPC seront invités pour l'évaluation du programme. Ce congrès devra être l'occasion de fournir une présentation objective 1) des travaux scientifiques réalisés grâce au programme, 2) des avancées que ce programme a permis pour la météorologie et l'océanographie opérationnelles, 3) de la configuration du futur réseau, compte tenu des problèmes rencontrés lors de la maintenance du réseau actuel (voir chapitre suivant) et de l'évolution des connaissances scientifiques pouvant éventuellement suggérer des modifications de la position des bouées et de leur nombre, du type des

capteurs, de leur nombre et de leur positionnement selon la verticale le long des lignes de mouillages,... et 4) des conditions optimales de continuation de la maintenance du futur réseau de bouées.

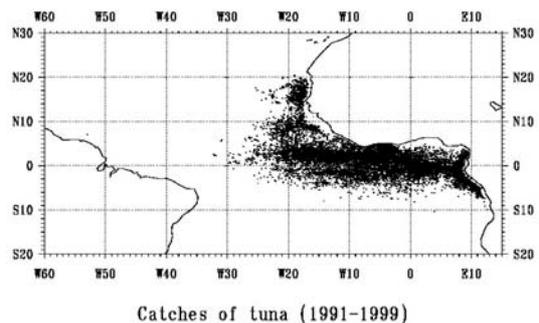
Le prochain congrès PIRATA 11 sera donc d'une grande importance pour la définition des conditions de continuation du programme et de sa pérennisation, pérennisation qui devrait selon toute vraisemblance être décidée (notamment au vu des soutiens d'ores et déjà exprimés par certains organismes et programmes nationaux et internationaux, par ex. GLOSS, NOAA aux USA, GMMC en France). La continuation de PIRATA au-delà de 2006 est également une priorité pour les programmes en cours de développement en Atlantique Tropical, dont principalement les programmes AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), et sa composante océanique EGEE en France, TACE (Tropical Atlantic Climate Experiment, proposé principalement par la communauté tropicaliste de CLIVAR-Atlantic et soutenu par CLIVAR après évaluation), mais aussi pour les programmes internationaux d'océanographie opérationnelle ARGO et GODAE, et donc leurs composantes en France qui sont respectivement les programmes CORIOLIS et MERCATOR. On peut ainsi considérer que le réseau PIRATA est un outil devenu indissociable des études climatiques en Atlantique Tropical.

Problèmes posés par la maintenance du réseau PIRATA :

En France, les problèmes rencontrés pour maintenir le réseau des 5 bouées ATLAS du réseau PIRATA sont de deux ordres : 1) les problèmes liés au vandalisme dans le Golfe de Guinée, et 2) les problèmes liés à l'obtention de temps d'utilisation des navires de la flotte nationale. En effet, les problèmes de vandalisme liés aux activités de pêche rencontrés dans le Golfe de Guinée et le problème du temps navire disponible soulèvent la question du maintien dans sa configuration actuelle du réseau sous la responsabilité française via l'ORE PIRATA. Cependant, au vu de ce qui a été annoncé par la NOAA lors du congrès PIRATA 10 et de la prolongation du MoU jusqu'en 2006, la continuation du réseau actuel jusqu'à la fin de 2006 est acquise.

1) Problèmes liés au vandalisme :

Il a été mentionné précédemment de nombreuses périodes sans mesures (se manifestant par l'absence de transmission de données via ARGOS) pour les deux bouées situées à l'équateur aux longitudes 10°W et 0°E. Lors de la phase « pilote » du programme, de 1997 à 2001, nous avons ainsi eu à déplorer la perte de 4 bouées (quelques fois quelques semaines seulement après leur déploiement). De fait, dans le programme PIRATA initial deux bouées supplémentaires étaient installées à 10°W aux latitudes 1°30'N et 1°30'S, qui toutes les deux ont rapidement été vandalisées et il a donc été décidé de les supprimer définitivement du réseau dès 2000. Il s'est avéré lors des opérations d'intervention sur place que les bouées ATLAS avaient bien disparu ou étaient complètement détruites, et ce essentiellement en raison d'actes de vandalisme liés à la présence d'une importante flottille de thoniers senneurs et palangriers, comme cela est illustré sur la figure ci-contre qui montre les prises de thons de 1991 à 1999, et ce seulement par les pêcheurs français... Par contre, les sites éloignés de l'équateur, ainsi que ceux de la partie Ouest du réseau n'ont pas fait l'objet de tels actes de vandalisme. Ainsi, seule l'année 2003 a permis d'obtenir un retour de données complet sans aucun vandalisme constaté sur l'ensemble du réseau de bouées.



La maintenance des bouées situées à l'équateur à 10°W et 0°E pose donc un vrai problème pour la suite du programme. Une option serait qu'elles soient supprimées ou déplacées en un autre endroit du bassin (discussion entamée lors du dernier congrès PIRATA 11). Une solution partielle serait de maintenir sur place uniquement des mouillages océanographiques non visibles de la surface et ne jouant pas le rôle de dispositif à concentration de poissons. L'expertise préalable en cours des mesures météorologiques de la station de São Tomé, installée en 2003 dans le cadre du programme EGEE/AMMA, devrait permettre de vérifier si les mesures obtenues en cet endroit sont représentatives des conditions océaniques alentours, permettant ainsi de pallier en partie la suppression de la bouée située à 0°E-0°N.... Cela devra être clarifié et discuté lors du congrès PIRATA 11.

2) Problèmes liés à la disposition de temps navire :

Pour réaliser les opérations de maintenance du réseau de bouées ATLAS et courantométriques du programme PIRATA, il faut bien entendu un navire. L'IRD, maître d'œuvre initial du projet, s'est engagé dans le programme PIRATA avec la certitude de pouvoir engager son navire le N/O ANTEA dans les opérations de maintenance des bouées ATLAS... Malheureusement, ce navire est sujet à des problèmes techniques et judiciaires depuis... novembre 1999 ! Cela sous-entend qu'il faut depuis 1999 pour la Commission Nationale « Flotte et Engins » compter sur un navire disponible en moins pour les interventions et campagnes en mer en Atlantique tropical.

Le problème se pose donc du temps bateau nécessaire au maintien du réseau PIRATA, et plus généralement aux actions en mer effectuées dans le cadre de l'océanographie opérationnelle. En effet, le temps bateau dédié aux mesures utilisées en opérationnel, et donc au réseau PIRATA, devrait sans doute dans les années à venir pouvoir être attribué sans avoir à passer systématiquement tous les ans pour évaluation scientifique par la commission « Océanographie Physique, Chimique et Biologique » de l'IFREMER, si ce n'est pour des besoins nécessaires et évidents de programmation, et un contrôle logique du bon suivi du programme. De fait, les missions d'intervention réalisées dans le cadre de PIRATA devraient être reconnues aussi comme opportunité pour les actions dans le cadre de CORIOLIS et d'ARGO, dans des régions assez peu échantillonnées. Il semble donc que le Groupe Mission Mercator Coriolis (GMMC) devrait pouvoir soutenir les demandes de temps navire dédiées à l'océanographie opérationnelle, qui pourraient être de l'ordre de deux mois par an et qui serait donc en partie réservée à PIRATA. Si cela était possible, la France ferait alors partie des rares pays à dédier du temps navire à l'opérationnel, avec les USA et le Japon (pour la maintenance du réseau TAO/TRITON dans le Pacifique), ce qui renforcerait sa position de leader dans ce domaine. Enfin et surtout, cela permettrait d'éviter :

- 1) d'avoir de longues périodes de temps sans pouvoir intervenir sur site, comme cela est arrivé de décembre 2002 à janvier 2004, soit à la limite de la durée d'autonomie et de sécurité des bouées ATLAS ;
- 2) qu'un organisme national de recherche ait à affréter un navire de la flotte nationale pour se rendre sur site afin de satisfaire les engagements internationaux pris via un « Memorandum of Understanding », comme le fait l'IRD pour la prochaine campagne PIRATA FR13...

Il faut noter ici qu'une réflexion a été engagée par Jacques Servain, initiateur du programme PIRATA en France, visant à envisager la mise à disposition à moyen terme d'un navire dédié à l'océanographie opérationnelle en Atlantique Tropical, ce qui permettrait de fait de maintenir un réseau complet de bouées ATLAS et de déployer également des sondes de type XBT, des bouées de type SVP et des profileurs de type PROVOR dans le cadre des programmes ARGO et CORIOLIS. Cette réflexion a donné lieu à la réalisation d'un projet de navire (Cf. : Marchand P. et J. Servain: *The NOR-50: A Tool for Operational Oceanography ; Sea Technology, Vol. 43, N° 6, 2002*). Cette idée de navire dédié « NOR 50 » a permis d'initier une réflexion globale sur les diverses possibilités de disposition de temps navire sur l'Atlantique Tropical, et ce à partir des pays de la façade Atlantique potentiellement susceptibles d'assurer une telle maintenance. Cette réflexion a donné lieu à la création, sur l'initiative du PIRATA Ressource Board lors du congrès PIRATA 9 de janvier 2003, d'un Comité (l'Atlantic Observations Working Group) nommé pour réfléchir sur la question et dont le rapport final a été dévoilé en novembre 2004 lors du congrès PIRATA 10 (Cf : Annexe 4). Il s'avère à la lecture de ce rapport que la difficulté à disposer du temps bateau régulièrement pour l'océanographie opérationnelle n'est pas prête de se résoudre... La solution actuellement privilégiée étant celle d'une plus grande utilisation des navires disponibles sur zone.

Budget de l'ORE PIRATA (depuis 2003) :

Le tableau suivant présente le budget de PIRATA en 2003 et 2004 et les perspectives pour les deux années 2005 et 2006 (il est à noter que le coût du temps navire, les salaires et les infrastructures des laboratoires impliqués ne sont pas pris en compte):

	IRD	METEO FRANCE	CNRS/INSU (soutien ORE)	Total:
2003:	38,000 €	22,430 €	11,287 €	71,717 €
2004:	67,000 €	22,430 €	20,317 €	109,747 €
2005:	35,000 €*	22,430 €	15,900 €(estimation)	73,330 €
2006:	???	22,430 €	12,396 €(estimation)	???

*: Il faut ajouter ici les 70k€ de l'affrètement du Surôit pour la campagne PIRATA FR13 de mai 2005, soit un total de 105k€ pour la contribution de l'IRD à l'ORE PIRATA en 2005.

De fait, ce budget est en grande partie utilisé pour pallier les coûts des transports du matériel 1) lié au remplacement des bouées ATLAS, notamment de leur lieu de fabrication à Seattle (USA) aux ports d'escale, 2) lié à l'expédition par avion des capteurs récupérés lors des remplacements de ces bouées du port d'arrivée à la NOAA/PMEL (Seattle, USA) où sont effectuées les étalonnages des capteurs, le traitement des mesures, et la remise en état des éléments électroniques,... 3) lié au transport du matériel de base de Brest (Centre IRD de Bretagne, US025) aux ports d'escale, et 4) aux missions des intervenants.

L'augmentation notable du budget en 2004 est liée à un problème d'acheminement du matériel de Seattle (USA) à Port-Gentil (GABON) qu'il a finalement fallu expédier par avion, d'où un surcoût d'environ 30k€ intégralement pris en charge par l'IRD pour la campagne PIRATA FR12.

Le budget restant est utilisé pour l'organisation de réunions, la remise en état du matériel de base (lignes de mouillage), l'entretien du marégraphe et les missions attenantes, et les éventuelles missions de formation ou de remise à niveau (lors de changement ou ajouts de capteurs sur les lignes de mouillages ATLAS) des ingénieurs électroniciens de l'US025 de l'IRD à Seattle.

Il faudrait donc pouvoir compter en moyenne annuelle sur un budget de 75 à 80k€, ce pour assurer en toute sécurité la maintenance du réseau en l'état actuel et un minimum d'entretien et de fonctionnement (donc sans aucun développement technologique supplémentaire...).

Equipes impliquées et ayant la responsabilité des campagnes à la mer PIRATA:

- UR065 de l'IRD (UMR LEGOS « Laboratoire d'Etudes en Géodésie et Océanographie Spatiale »): Bernard Boulès (responsable ORE), Jacques Servain (jusqu'à mi-2004), Yves DuPenhoat, Yves Gouriou (jusqu'à fin 2004), Rémy Chuchla ; Elodie Kestenare ;

- US025 de l'IRD (« Interventions à la Mer et Réseaux d'Observations ») : Yves Gouriou (Directeur de l'US depuis janvier 2005), Jacques Grelet, Fabrice Roubaud, Francis Gallois, Denis Diverres ;

- LOCEAN (Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques , ex LODYC : UR182 de l'IRD) : Jacques Servain (depuis mi-2004), Christine Provost (responsable courantométrie), Annie Kartavtseff, Jacky Lanoisellé, Thierry Monglon ; Lourenco Antonio ; Sylvain Morvan ;

Il faut retenir qu'environ 300 jours de temps ingénieur est dédié à PIRATA en France par an pour 1) la préparation et la réalisation des campagnes, et 2) le traitement des données et leur diffusion.

Equipes ayant utilisé ou utilisant les données PIRATA :

(en France ; listes non exhaustives ; thésards ou stagiaires non mentionnés)

- UR065 de l'IRD (UMR LEGOS) : Bernard Boulès, Jacques Servain, Yves DuPenhoat, Frédéric Marin, Gérard Eldin ; Christophe Maes, Boris Dewitte ;

- US025 de l'IRD : Yves Gouriou, Jacques Grelet, Dominique Dagorne ;

- LOCEAN : Christine Provost, Sabine Arnault, Alban Lazar, Serge Janicot, Jean-Luc Mélice ;

- Météo-France / Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM-Toulouse): Serge Planton, Guy Caniaux, Hervé Giordani ;
- Météo-France / Centre de Météorologie Spatiale (CMS-Lannion) ; Pierre Le Borgne, Gérard Legendre, Anne Marsouin ;
- Equipe Projet MERCATOR – Océan : Fabrice Hernandez, Eric Greiner, Pierre Bahurel ;
- IFREMER / Centre ERS d'Archivage et de Traitement (CERSAT) : Abderrahim Bentamy, Hervé Ludos Ayina, Yves Quilfen, Sylvain Michel ;
- IFREMER / Laboratoire de Physique Océanographique (LPO) : Michel Arhan, Anne-Marie Tréguier, Lien Hua ;

Principaux thèmes d'utilisation des données PIRATA :

1) Etudes de processus océaniques en Atlantique Equatorial (LOCEAN, LEGOS, US025 IRD):

Ces études ont pour buts principaux de :

- Améliorer la description et la compréhension de la variabilité saisonnière à interannuelle de la circulation et des conditions hydrologiques dans les couches supérieures de l'Atlantique tropical.
- Améliorer notre compréhension des contributions relatives des flux de surface et de la dynamique océanique dans la variabilité de la température de surface de la mer, de la couche de mélange et du contenu thermique de subsurface aux échelles saisonnières et interannuelles.

Elles sont menées notamment dans le cadre de stages et de thèses effectuées au LEGOS et au LOCEAN, et ont donné lieu à plusieurs publications et/ou communications (voir listes ci-dessous). Certains résultats peuvent être trouvés dans les rapports des réunions ou congrès mis à disposition sur le site PIRATA, à l'adresse suivante : http://www.brest.ird.fr/pirata/infos_fr.html

2) Etudes des flux à l'interface air-mer (CNRM, CERSAT, CMS)

Ces études ont pour buts principaux de :

- Développer des méthodes d'estimation des flux de surface à partir des observations satellite
- Développer des méthodes directes et inverses pour la restitution des paramètres de surface à partir des mesures satellitales.
- Estimer des caractéristiques spatio-temporelles des flux turbulents
- Générer, suivre, et maintenir une base de données collocalisées satellite / bouées.
- Etudier l'impact des forçages satellite dans un modèle de circulation océanique.

Elles sont menées notamment au CERSAT, CMS et CNRM, et ont donné lieu à plusieurs publications et/ou communications (voir listes ci-dessous ainsi que sur les rapports des réunions ou congrès sur le site http://www.brest.ird.fr/pirata/infos_fr.html).

3) Assimilation dans les modèles numériques (Météo-France, LEGOS, MERCATOR)

- Modèles atmosphériques :

Les données atmosphériques des bouées ATLAS sont utilisées en temps quasi-réel (grâce à leur transmission par le Système Mondial de Télécommunication) pour assimiler dans les modèles de prévision atmosphériques (ex. : modèle ARPEGE ; plus généralement les données PIRATA sont utilisées par les services de prévision météorologique de Météo-France, du Centre Européen de Prévision à Moyen Terme ou encore de l'UK Met-Office). Depuis la mise en place du réseau, le nombre d'observations PIRATA assimilées est en constante augmentation. Cette augmentation traduit une amélioration du fonctionnement des capteurs et des transmissions associées sur les mouillages. Des études d'impact faites à Météo-France (CNRM) montrent que les données recueillies sur les mouillages PIRATA présentent un fort potentiel d'amélioration des états initiaux des prévisions météorologique dans la région. Cependant, la fréquence d'observations acquises par rapport au nombre maximal théorique par bouée était faible (10 à 20%) jusqu'à maintenant, principalement en raison de la durée limitée des fenêtres d'émission des données vers les satellites ARGOS. En 2005, le passage en multi-satellites par ARGOS va permettre de doubler la durée des fenêtres d'émission des données et donc la transmission des mesures en Atlantique tropical via le SMT, et ainsi renforcer l'apport de PIRATA pour les modèles de prévision climatique.

- Modèles océaniques :

Les données océaniques des bouées ATLAS sont utilisées en temps quasi-réel (grâce à leur transmission par le Système Mondial de Télécommunication) dans le cadre du projet d'océanographie opérationnelle MERCATOR (voir http://www.mercator-ocean.fr/html/mercator/index_fr.html). Le réseau PIRATA fournit des moyennes journalières des mesures de températures (10 entre la surface et 500 mètres) et de salinité (4 entre la surface et 120 mètres). Ces observations sont utilisées pour contraindre le prototype opérationnel de Mercator, et ont une influence attendue dans ces prévisions opérationnelles. Ces mesures permettent, dans une région faiblement échantillonnée par ailleurs et à la dynamique particulière, de contraindre la dynamique équatoriale, de fournir un bon contenu thermique tropical, ce qui est essentiel pour le transport de chaleur extra-tropical. De plus, la fréquence d'observation permet l'observation des ondes tropicales qui déforment la thermocline. Ainsi, l'apport de l'assimilation des données PIRATA dans PSY2-V1 est aussi très positif du moins dans l'état actuel de développement des prototypes système Mercator et des réseaux d'observation en place dans l'Atlantique Equatorial. Une analyse dédiée à l'impact des données PIRATA dans le système MERCATOR a été l'objet de l'étude PERENE. Cette analyse a donné l'objet d'un rapport interne notamment rédigé pour ce document, et mentionné en Annexe 2 (Hernandez, communication personnelle, 2005).

Projets, propositions et perspectives :

1) Extension du réseau :

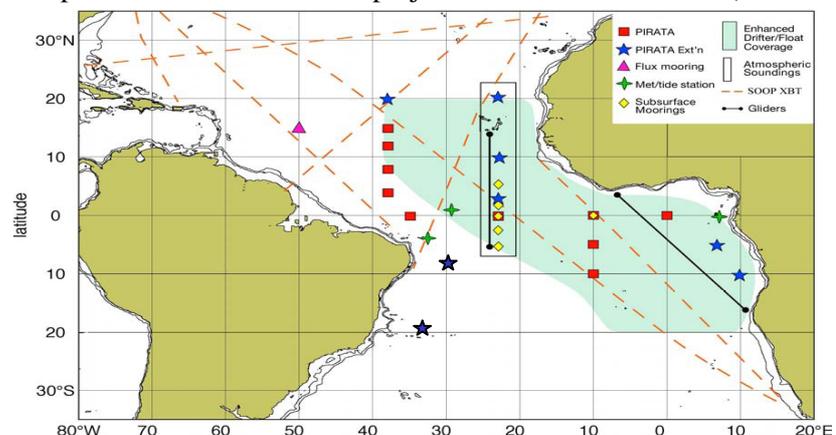
Au niveau international, le réseau PIRATA est amené à se développer, et ce dès cette année. En effet, des propositions d'extension ont été déposées dès 2001-2002 par le Brésil, pour l'extension Sud-Ouest, et par l'Afrique du Sud, pour l'extension Sud-Est. Ces extensions ont été évaluées et ont reçu en 2004 le soutien du « Scientific Steering Committee » et de CLIVAR-Atlantic.

Ainsi, dès 2005, deux bouées ATLAS vont pouvoir être financées et installées dans la région Sud-Ouest du bassin Atlantique Tropical, dans le cadre du projet d'extension brésilien (bouées représentées par des étoiles noires dans la figure ci-contre, et situées à 30°W-8°S et 32°W-20°S).

L'extension Sud-Est est en attente d'un soutien financier, afin au moins de déployer un mouillage dès 2006 à titre expérimental. Si ce soutien est obtenu, et que l'achat d'une bouée par le Benguela Current Large Marine Ecosystem (BCLME) peut être assuré, le déploiement d'une bouée pourrait être réalisé avec l'aide et l'assistance de l'ORE PIRATA à la position 6°S-6°E lors d'une des campagnes EGEE/AMMA de l'été 2006 (une des deux bouées situées au sud du Golfe de Guinée et représentées par une étoile bleue sur la figure ci-contre).

En 2004, la NOAA a proposé une extension du réseau de bouées ATLAS dans la région Nord et Nord-Est du bassin tropical, à savoir à 38°W-20°N, 23°W-20°N, 23°W-10°N, et 23°W-4°N. Cette extension, essentiellement envisagée dans le cadre du programme AMMA aux Etats-Unis, devrait obtenir après évaluation le « label » PIRATA en 2005, et ce lors du prochain congrès PIRATA 11. De fait, le financement de ces bouées est d'ores et déjà assuré et leur déploiement est programmé en avril-mai 2006, avant la Période d'Observations Intensives du programme AMMA.

Il est à noter que la configuration d'un tel réseau, regroupant donc 17 bouées ATLAS, représente le support de base pour l'obtention de mesures météo-océaniques dans le cadre des études des processus climatiques saisonniers à interannuels à l'échelle du bassin Atlantique Tropical prévues dans le contexte du programme TACE (Tropical Atlantic Climate Experiment), prévu de 2006 à 2010.



2) Projets associés en France :

La maintenance d'un réseau en milieu hauturier constitue une opportunité unique pour ajouter des capteurs sur les bouées afin de mesurer d'autres paramètres essentiels pour les études climatiques.

Ainsi, le programme CARBOAT [Carbone dans l'Océan Atlantique Tropical, proposé par N.Lefevre et N.Metzl (LOCEAN) dans le cadre du programme national PROOF], propose d'effectuer des mesures de paramètres du carbone à partir de l'été 2006 à partir d'une bouée ATLAS. Les études techniques préalables ont été initiées à l'INSU, un test en conditions réelles devrait être réalisé dans la rade de Brest courant 2005, et les premiers capteurs devraient être mis en place lors de la campagne EGEE 3 / AMMA de juin 2006, sur la bouée ATLAS située à 6°S-10°W, jusqu'alors jamais sujette à des actes de vandalisme. L'installation d'un second système de mesures de paramètres CO₂ est prévue en 2007 sur la bouée localisée à 38°W-4°N.

Le programme EGEE (volet océanographique en France du programme national, européen et international AMMA) repose sur la récolte d'un grand nombre de paramètres météorologiques et océanographiques dans le Golfe de Guinée, notamment pendant la Période d'Observations Intensives de ce programme en 2006. De fait, la maintenance du réseau de bouées ATLAS et courantométriques est une priorité pour EGEE. Les campagnes océanographiques EGEE, prévues à raison de deux campagnes par an de 2005 à 2007 et d'ores et déjà programmées en 2005 et 2006, permettront notamment la maintenance du réseau pour les 4 bouées situées dans le Golfe de Guinée ainsi que l'acquisition de mesures météorologiques et hydrologiques au lieu des bouées lors de stations (points fixes) de longues durées (minimum 24h), permettant ainsi une inter-comparaison et a posteriori une validation des paramètres mesurés et une évaluation du cycle diurne de ces paramètres.

3) Conclusions et réflexions sur le devenir de l'ORE PIRATA en France ;

Il est désormais clair que le programme PIRATA, et donc en France l'ORE PIRATA, est devenu un outil indissociable des études climatiques en Atlantique Tropical (et notamment EGEE/AMMA à partir de 2005 et TACE à partir de 2006). Les mesures du réseau PIRATA ont montré toute leur utilité :

1. dans des expériences de validation des modèles numériques de l'océan;
2. pour l'amélioration des modèles numériques de prévision, tant atmosphérique (ARPEGE) qu'océanique (MERCATOR).

Les problèmes de vandalisme, liés aux activités de pêche dans le Golfe de Guinée, et le problème du temps navire disponible soulèvent la question du maintien du réseau dans sa configuration actuelle. Pour l'instant les engagements internationaux garantissent le maintien du réseau dans sa configuration actuelle jusqu'à la fin 2006; les conditions de sa pérennisation seront discutées, évaluées et décidées à l'issue du prochain congrès PIRATA 11 de Toulouse, en octobre 2005.

La poursuite de ce programme d'observations in situ nous paraît indissociable des programmes opérationnels nationaux (CORIOLIS/MERCATOR) et internationaux (ARGO/GODAE) et devrait donc être envisagée dans ce contexte, de concert avec ces programmes. Il nous semble qu'il faudrait considérer PIRATA comme un programme essentiellement dédié à l'opérationnel (pour l'océanographie mais aussi la météorologie). Le projet CORIOLIS arrive à terme fin 2005, mais sera prolongé a priori avec son mode de fonctionnement actuel jusqu'en 2006. L'année 2005 verra donc naturellement son évaluation, ainsi qu'une réflexion sur son mode de fonctionnement futur. Un groupe de travail mandaté par le Comité Des Organismes (CDO) a été mis en place et doit rendre ses conclusions pour la fin de l'année 2005. Le fait que PIRATA soit soumis en France à un calendrier similaire permet d'envisager plus aisément qu'il puisse être intégré dans le, ou associé implicitement au, programme MERCATOR/CORIOLIS, au même titre que l'ORE SSS, les profileurs ARGO, les réseaux marchands XBT et les mesures thermosalinographiques etc... La prise en compte de PIRATA par CORIOLIS permettrait notamment à d'autres organismes français de contribuer à ce programme (sous la forme de temps ingénieur par exemple). Bien que METEO-FRANCE et le Ministère de la Recherche, via le soutien aux ORE, et le CNRS, contribuent pour l'instant également au financement de PIRATA, l'IRD assure une grande partie de ce financement et surtout toute la logistique et la mise en œuvre des 5 bouées ATLAS. Il serait justifié que cet investissement soit reconnu comme une contribution à CORIOLIS. Il faut préciser ici que cette réflexion a déjà été portée à la connaissance du Comité chargé de réfléchir sur la continuité du projet CORIOLIS au-delà de 2006.

**Liste des publications, communications et rapports
ayant utilisé les données PIRATA :**

Publications de rang A :

- Avant 2003:

- Bentamy A., K B. Katsaros, M. Alberto, W. M. Drennan, E. B. Forde: Daily surface wind fields produced by merged satellite data. *American Geophys. Union*, 343-349, , 2002.
- Bentamy A., Y. Quilfen, and P. Flament : Scatterometer wind fields - a new release over the decade 1991 – 2001. *Can. J. Remote Sensing*, 28, 3, 431-449, 2002.
- Pailler, K., Bourlès, B., and Gouriou, Y., : The barrier layer in the western tropical Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 2069-2072, 1999
- Servain, J., A. J. Busalacchi, M. J. McPhaden, A. D. Moura, G. Reverdin, M. Vianna, S. E. Zebiak: A Pilot Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA). *Bulletin of the American Meteorology Society*, 79 (10), 2019-2031, , 1998.
- Vauclair F., Y. du Penhoat : Interannual variability of the upper layer of the tropical Atlantic ocean from in-situ data between 1979 and 1999, *Clim. Dyn.*, 17, 527-546, 2001.

- Depuis 2003:

- Ayina L. H., and Servain J. : Spatial-temporal evolution of the low frequency climate variability in the tropical Atlantic. *Interhemispheric Water Exchange in the Atlantic Ocean (Elsevier Oceanographic Series)*, Edited by G. J. Goni and P. Malanotte-Rozzoli, 475-495, 2003.
- Ayina L. H., and Servain J. : Spatial-temporal evolution of the low frequency climate variability in the tropical Atlantic. *Interhemispheric Water Exchange in the Atlantic Ocean (Elsevier Oceanographic Series)*, Edited by G. J. Goni and P. Malanotte-Rozzoli, 475-495, 2003.
- Ayina, L.H., A. Bentamy, A. M. Mestas-Nuñez, et G. Madec : The Impact of Satellite Winds and Latent Heat Fluxes in a Numerical Simulation of the Tropical Pacific Ocean. *Submitted to J. of Climate*, 2005.
- Bentamy A., K B. Katsaros, M. Alberto, W. M. Drennan, E. B. Forde, and H. Roquet: Satellite Estimates of wind speed and latent heat flux over the global oceans, *J. Climate*, 16, 637 – 656, 2003.
- Bunge L., C. Provost, J. Lilly, M. D’Orgeville, A. Kartavtseff and J.L. Melice : Structure of the horizontal velocity in the first 1600 m of the water column at the equator in the Atlantic at 10 W, submitted to *J.Phys..Oceanogr.*, in revision, 2005
- Clauzet G., I. Wainer, et J. Servain: Escalas variabilidade de alta frecuencia nos dados da rede de boais PIRATA reveladas atraves da analise de ondaletas. *Sous Presse dans Revista Brasileira de Meteorologia*, 2005.
- Curry, J.A., A. Bentamy, M.A. Bourassa, D. Bourras, E.F. Bradley, M. Brunke, S. Castro, S.H. Chou, C.A. Clayson, W.J. Emery, L. Eymard, C.W. Cairall, M. Kubota, B. Lin, W. Perrie, R.A. Reeder, I.A. Renfrew, W.B. Rossow, J. Schulz, S.R. Smith, P.J. Webster, G.A. Wick, and X. Zeng. SEAFUX. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 85, 409-424, doi:10.1175/BAMS-85-3-409, 2004.
- Dourado, M., and G. Caniaux: One-dimensional modelling of the oceanic boundary layer using PIRATA data at 10S, 10W. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.2, 217-226, 2004.
- Durand B., Servain J., Laurent H., and Machado L. A.: Tropical Atlantic latent heat flux, convection over Northeastern Brazil and PIRATA. *Sous presse dans J. Climate*, 2005.
- Grodsky, S.A., J.A. Carton, C. Provost, J. Servain, J.A. Lorenzetti, and M.J. McPhaden, Tropical Instability Waves at 0°N-23°W in the Atlantic: a case study using Pirata mooring data, in revision in *J. Geophys. Res.*, 2005.
- Katsaros, K.B., A.M. Mestas-Nuñez, A. Bentamy, E.B. Forde: Wind bursts and enhanced evaporation in th tropical and subtropical Atlantic Ocean. *In Interhemispheric Water Exchange in the Atlantic Ocean, G. Goni and P. Malanotte-Rizzoli (eds.). Elsevier Oceanographic Series.* 463 – 474, 2003.
- Mestas Nuñez, A.M., A. Bentamy, and K.B. Katsaros: Seasonal and El Niño Variability in Weekly Satellite Evaporation over the Global Ocean During 1996-1998. *submitted to J. of Climate*, 2005.
- Patoux, Jérôme, Foster, Ralph C., Brown, Robert A: Global Pressure Fields from Scatterometer Winds. *Journal of Applied Meteorology*: Vol. 42, No. 6, pp. 813–826, 2003.

- Provost, C., S. Arnault, N. Chouaib, A. Kartavtseff, L. Bunge, and E. Sultan, TopexPoséïdon and JASON equatorial sea surface slope anomaly in the Atlantic in 2002 : comparison with wind and current measurements at 23°W, *Mar. Geodesy*, 27:31-45, 2004.
- Provost, C., S. Arnault, L. Bunge, N. Chouaib, and E. Sultan, Interannual variability of the zonal sea surface slope in the equatorial Atlantic during the 1990s, submitted in *Advances in Space Research Special issue COSPAR*, 2004.
- Servain, J., G. Clauzet, and I. C. Wainer: Modes of tropical Atlantic climate variability observed by PIRATA. *Geophysical Research Letters*, 30 (5), doi:10.1029/2002GL015124, 2003.
- Vauclair, F., du Penhoat, Y., Reverdin, G.: Heat and Mass Budgets of the Warm Upper Layer of the Tropical Atlantic Ocean in 1979–99. *J. Phys. Ocean.*, Vol. 34, No. 4, pp. 903–919, 2004.
- Wainer, I., G. Clauzet, J. Servain, and J. Soares: Time scales of upper ocean temperature variability inferred from the PIRATA data (1997-2000). *Geophysical Research Letters*, 30 (5), doi:10.1029/2002GL015147, 2003.
- Weill, A., Eymard, L., Caniaux, G., Hauser, D., Planton, S., Dupuis, H., Brut, A., Guerin, C., Nacass, P., Butet, A., Cloché, S., Pedreros, R., Durand, P., Bourras, D., Giordani, H., Lachaud, G., Bouhours, G.: Toward a Better Determination of Turbulent Air–Sea Fluxes from Several Experiments. *Journal of Climate*, Vol. 16, No. 4, pp. 600–618, 2003.

Autres publications (depuis 2001):

- Busalacchi, A. J., R. Boscolo, B. Dickson, A. Piola, J. Servain and N. Zeng : Climate observing system for the Atlantic sector. CLIVAR Exchanges, Vol. 9, N° 3, pp 8-11 +p16, October 2004
- Caniaux, G., H. Giordani, B. Bourlès and Y. DuPenhoat, Air-sea interactions during the EGEE/AMMA experiment: necessary requirements, *Extended abstract for OSI SAF (Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility) Workshop, Perros-Guirec, (France)*, 15-16 mars 2005.
- Cousin, R., F. Hernandez et Y. Du Penhoat, Apport du réseau de mouillages météo-océaniques PIRATA pour l'océanographie opérationnelle, *La lettre trimestrielle MERCATOR-OCEAN*, 15, 2-8, Octobre 2004.
- Durand B., Servain J., Laurent H., and Machado L. A.: Fluxo de calor latente no Atlântico tropical, convecção sobre o Nordeste e a rede PIRATA. *Extended Proceeding XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, Brésil, 30 août - 3 septembre 2004.*
- Garzoli, S. L., and J. Servain: CLIVAR workshop on tropical Atlantic variability. Introduction to *Geophysical Research Letters Special Issue*, 30 (5), 8001, doi:10.1029/2002GL016823, 2003.
- Le Borgne, P., Gérard Legendre, Anne Marsouin, OSI SAF radiative fluxes, *Extended abstract for OSI SAF (Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility) Workshop, Perros-Guirec, (France)*, 15-16 mars 2005.
- Marchand, P., and J. Servain: NOR-50: Fast research vessel for operational oceanography - Implementing PIRATA & Argo programs in the Tropical & South Atlantic in a practical, economic way. *Sea Technology*, 43 (6), 49-54, 2002.
- Servain, J. and Lorenzetti J.: PIRATA-8 Meeting Report. *CLIVAR-Exchanges No. 22, Newsletter of the CLIVAR Program, Vol. 6, No. 4, December 2001.*
- Servain, J. : PIRATA, Pirata et Mercator : Des bouées ancrées observent l'Atlantique tropical. *Fiche Actualité MERCATOR (« Chroniques mercatoriennes »)*, 23 mars 2004. *Chronique sur PIRATA disponible sur http://www.mercator-ocean.fr/html/actualites/news/actu_pirata_fr.html*
- Servain J., B. Bourlès, et S. Planton : Le Programme PIRATA : Réalisations, Exploitation, Développement. *Recueil de communications de l'Atelier Expérimentation et Instrumentation (AEI). Paris, France, 23-24 mars 2004, 6 pp, 2004.*
- Servain J. : O Programa PIRATA: CAMISA-PIRATA, O programa PIRATA : Objetivos, Realizações, Perspectivas. *Extended Proceeding XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, Brésil, 30 août - 3 septembre 2004.*
- Servain J., Durand B, Ayina L.-H. and Bentamy A. : High resolution satellite and PIRATA derived surface turbulent fluxes over the Atlantic Ocean. *Extended Proceeding XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, Brésil, 30 août - 3 septembre 2004 (CD-Rom).*
- Vera C. S., Hazeleger, W., Wainer, I., and Servain, J. : Climate Variability in the South Atlantic Ocean. « White Document » préparé pour le « Workshop SACOS : South Atlantic Climate Observing System », Angra dos Reis, RJ, Brazil, février 2003.

Communications (depuis 2001):

- Ayina H. L., and J. Servain : Climate modulation in a general circulation model of the tropical Atlantic. *CLIVAR Tropical Atlantic Workshop, Paris, France, 3-7 septembre, 2001.*
- Boulrès, B., Présentation des projets sur les interactions océan/atmosphère en région tropicale de l'Atlantique (EQUALANT, PIRATA, EGEE), *présentation orale aux journées de perspectives «PATOM ; Programme Atmosphère et Océan à Multi échelles», Paris, France, 11-12 Octobre 2001.*
- Boulrès, B., « Présentation du programme PIRATA et de travaux associés », *présentation orale au Tropical Atlantic Meeting and Workshop, Kiel (Allemagne), 19-22 août 2002.*
- Boulrès, B., J. Servain, et S. Planton, Le programme PIRATA : Réalisation, Exploitation, Développements, *présentation orale aux Journées « Atelier Expérimentation et Instrumentation » 2004, INSU, Météo-France & Ifremer, CNRS-Paris, 23-24 mars 2004.*
- Boulrès, B., T. Delcroix, les ORE « SSS » et « PIRATA », *présentation orale au colloque « Observatoires pour la Recherche en Environnement » du CNRS/INSU, Paris, 15-16 novembre 2004.*
- Boulrès, B., J. Servain et S. Planton, l'ORE PIRATA, *poster présenté au colloque ORE du CNRS/INSU, Paris, 15-16 novembre 2004.*
- Caniaux, G., H. Giordani, B. Boulrès and Y. DuPenhoat, Air-sea interactions during the EGEE/AMMA experiment: necessary requirements, *présentation orale à l'OSI SAF (Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility) Workshop, Perros-Guirec, (France), 15-16 mars 2005.*
- Cariou S., J. Servain, R. Person, et Y. Roubaud : Study of the tuna behaviour by acoustic simulation. *CLIVAR Tropical Atlantic Workshop, Paris, France, 3-7 septembre, 2001.*
- Clauzet G., I. Wainer, et J. Servain, : Time-scales of variability from the high-frequency PIRATA data (1997-2000). *Joint IAPSO/IABO Assembly: 2001 An Ocean Odyssey. Mar del Plata, Argentina, 21-28 octobre, 2001.*
- DuPenhoat, Y., N. Ferry, C. Maes, J. Merle, S. Arnault, collab.: L. Fleury, E. Greiner, M. Benkiran, A. Lazar, G. Eldin et B. Boulrès, Validation des systèmes, MERCATOR en zone tropical: océans Pacifique et Atlantique, *Poster présenté aux journées Mercator-Coriolis, LEGOS (France), September 2002.*
- du Penhoat, Y., et B. Boulrès, AMMA et les données océaniques disponibles dans le Golfe de Guinée, *présentation orale au Colloque Journées « Atelier Modélisation de l'Atmosphère » de Météo-France : AMA 2003, Toulouse, 3-5 décembre, 2003.*
- Durand B., J. Servain, H. Laurent et L.A. Machado : Fluxo de calor latente no Atlântico tropical, convecção sobre o Nordeste e a rede PIRATA. *XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, Brasil, 30 août- 3 septembre 2004.*
- Durand B., L.H. Ayina, A. Bentamy et J. Servain : High resolution satellite-derived surface turbulent fluxes over the Atlantic Ocean. *XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Fortaleza, Brasil, 30 août- 3 septembre 2004.*
- Grodsky S. A., J.A. Carton, C. Provost, J. Servain, J.A. Lorenzetti et M. McPhaden : Tropical instability waves at 0°N-23°W in the Atlantic: A case study using PIRATA mooring data. *U.S. CLIVAR Atlantic Science Conference, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science at the University of Miami, 31 January-2 February 2005.*
- Le Borgne, P., Gérard Legendre, Anne Marsouin, OSI SAF radiative fluxes, *présentation orale à l'OSI SAF (Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility) Workshop, Perros-Guirec, (France), 15-16 mars 2005*
- Michel, S., A-M. Treguier, R. Schopp, Y. Quilfen, A. Bentamy, Comparison of two Atlantic simulations forced by ECMWF and ERS wind climatologies, *CLIVAR workshop on Tropical Atlantic Variability, Paris, septembre 2001.*
- Quilfen, Y., A. Bentamy, S. Michel, A-M. Treguier, R. Schopp, Impact of the wind from ERS satellites and from ECMWF reanalysis in the CLIPPER Atlantic model : first results, *AGU meeting on scatterometry, Los Angeles, décembre 2001.*
- Peter, A.C., et Y. du Penhoat : Etude de la couche de mélange océanique et bilan de chaleur dans le Golfe de Guinée, *poster présenté aux journées prospectives du PATOM, CIC de Météo France, Toulouse, décembre 2003.*
- Planton, S.: L'assimilation des données PIRATA à Météo-France, *journée PIRATA-France, Paris, 29 septembre 2003.*

- Servain J.: The PIRATA Program in the Tropical Atlantic. (Invité). *1st Workshop on Tropical Ocean Moorings, Seattle, WA, USA*, 11-13 septembre 2001.
- Servain J. The status and perspective of the PIRATA Program. A CLIVAR Workshop on the Dynamics and Predictability of the Atlantic ITCZ and its Regional Climatic Influences. *A CLIVAR Workshop on the Dynamics and Predictability of the Atlantic ITCZ and its Regional Climatic Influences. IRI, Palisades, NY, USA*, 18-20 September 2002.
- Servain J. : Introduction of the Session “Scientific results from the PIRATA Program (1997-2004)”. *Joint American and Canadian Geophysical Unions meeting, Montreal, Canada*, May 17-21, 2004.
- Servain J., Hervé M., and B. Durand : A real-time diagnostic analysis of the PIRATA observations. *Joint American and Canadian Geophysical Unions meeting, Montreal, Canada*, May 17-21, 2004.

+ Présentations lors des congrès PIRATA dédiés (depuis 2001).

Les rapports de tous les congrès internationaux ou nationaux PIRATA sont accessibles via le site internet de PIRATA, ou directement sur la page suivante : http://www.brest.ird.fr/pirata/infos_fr.html

- Lors du congrès international PIRATA VIII, organisé à Paris en août 2001 :

- DuPenhoat Y., Links between PIRATA and GLOSS. The needs.
- Planton, S., Pirata data assimilation in operational forecast models.
- Servain, J.: Etat des lieux de PIRATA international et PIRATA France
- Servain, J.: Atlantic tropical: The present Observing system; Defining the gaps, contemplating new needs.

Note : ce congrès a eu lieu juste après le Congrès CLIVAR-TAV pendant lequel ont eu lieu les présentations scientifiques en lien avec PIRATA, mentionnées pour la plupart dans la liste des communications ci-dessus.

- Lors de la Réunion PIRATA-France, organisée le 29 septembre 2003 à Paris (IPSL):

- Bentamy A. : Flux turbulents et radiatifs satellite
- Boulès B. : Etats des lieux de PIRATA France
- Hernandez F. : Le réseau PIRATA : une nécessité pour MERCATOR
- Planton, S. : assimilation des données PIRATA à Météo-France
- Servain, J. : Etat des lieux de PIRATA international
- Servain, J. : Des premières expériences d’assimilation de données PIRATA au Brésil
- Servain, J. : Illustrations de quelques travaux diagnostiques utilisant les données PIRATA etc...

- Lors du congrès international PIRATA IX, organisé à Angra Dos Rais (Brésil) en février 2003 :

- Bentamy A. : Flux turbulents et radiatifs satellite
- Boulès B. : Etats des lieux des campagnes PIRATA - France
- Caniaux, G : Pirata data assimilation in operational forecast models and impacts
- Durand, B. et J. Servain: On the relationship between the Tropical Atlantic heat flux variability and the convective systems : the pertinence of some Pirata sites
- Lazar A., How do subsurface teleconnections affect low latitude thermocline and sea surface temperature ?
- Provost, C. : Etat des lieux des mouillages courantométriques PIRATA
- Servain, J. : Etat des lieux de PIRATA International et PIRATA France etc...

- Lors du congrès international PIRATA X, organisé à Fortaleza (Brésil) en décembre 2004 :

- Bentamy A. : Flux turbulents et radiatifs satellite
- Boulès B. : Etats des lieux de PIRATA France
- Hernandez F. : Le réseau PIRATA : une nécessité pour MERCATOR
- Servain, J. : Etat des lieux de PIRATA international etc...

Rapports de données :

- Grelet J., Servain J., Lorenzetti J. et Vianna M. (avec la collaboration de A. Kartavtseff, R. Chuchla et B. Boulès : Recueil de données Météo-Océaniques durant les campagnes PIRATA : Années 1997-2003. *Publication IRD-Brest ; aussi disponible sur internet sur le site PIRATA et sur support CD*, 2003.
- Kartavtseff A.: Mouillages courantométriques PIRATA 10W et 23W. Décembre 2001-Décembre 2002. Rapport interne LODYC n°2003-01, 2003.
- Kartavtseff, Annie, Mouillage courantométrique PIRATA 10°W ; Mai 2003- Février 2004 ; *Rapport interne du LODYC, n°2004-01*, mai 2004.
- Boulès B., et al., Recueil de données Météo-Océaniques récoltées durant la campagne PIRATA FR12, *Doc. Scient. et Techn. du Centre IRD de Bretagne, n°2005XX, en cours de finalisation*, 2005.

Rapport du contrat ACI-Climat:

- Provost C. et J. Servain: -ACI CLIMAT PIRATA– BILAN scientifique, technique et financier de la partie mouillages équatoriaux, 2003.

ANNEXE 1 : DETAIL DES CAPTEURS SUR LES BOUEES ATLAS

ATLAS Mooring Sensors

Measurement	Sensor type	Manufacturer: Model #	Resolution	Range	Accuracy
Wind speed	Propeller	R. M. Young: 05103	0.2 m s ⁻¹	1-20 m s ⁻¹ (0.4 - 36 m s ⁻¹)	±0.3 m s ⁻¹ or 3%
Wind direction	Vane	R. M. Young: 05103	1.4°	0-355°	5° - 7.8°
	Fluxgate compass	E.G.and G. or KVH: 63764 or LP101-5	1.4°	0-359°	
Air temperature	Pt-100 RTD (Resistance Temperature Recorder)	Rotronic Instrument Corp.: MP-100	0.01°C	14-32°C (0-40°C)	±0.2°C
Relative humidity	Capacitance		0.4 %RH realtime 0.02 %RH delay mode	55-95 %RH (0-100 %RH)	±2.7 %RH
Rainfall	Capacitance	R. M. Young: 50203-34	0.2 mm hr ⁻¹	0-50 mm	±0.4 mm hr ⁻¹ on 10 min filtered data
Downwelling shortwave radiation	Pyranometer	Eppley Laboratory: PSP-TAO, Delrin case	0.4 W m ⁻²	200-1000 W m ⁻² (0-1600 W m ⁻²)	±1%
Downwelling longwave radiation	Pyrgometer	Eppley Laboratory: PIR-TAO, Delrin case, 3-output (1)	0.1 W m ⁻² 0.03°C	200 W m ⁻² @ 20°C (thermopile only)	±1%
Barometric pressure	Pressure transducer	Paroscientific: MET1-2	0.1 hPa	800-1100 hPa	±0.01% of reading
Sea surface and subsurface temperature	Thermistor	PMEL: NX ATLAS using YSI (Yellow Springs Instruments) thermistor 46006	0.001°C	6-32°C (0-40°C)	±0.02°C
Sea surface and subsurface temperature	Thermistor	Sea Bird Electronics: SBE16, SBE37	0.001°C	1-31°C (-5-35°C)	±0.003°C
Salinity	Internal field conductivity cell	Sea Bird Electronics: SBE16 (Seacat)	0.0001 S m ⁻¹	3-6 S m ⁻¹ (0-6 S m ⁻¹)	±0.02 psu
		SBE37 (Microcat)	0.00001 S m ⁻¹		
		Sea Bird cell with ATLAS module	0.002 S m ⁻¹		
Water pressure	Transducer	Paine: 211-30-660- 01	0.03 psi	400-800 psi (0-1000 psi)	±0.25% full scale (1000psi)

Measurements Sampling

Measurement	Sample rate	Sample period	Data recorded in memory	Transmitted data
Wind velocity components, air temperature, relative humidity	2-hz	2 min	10 min	Daily mean and 2-min mean from top of most recent hour
Rain rate	1-hz	1 min	1 min	Daily mean, standard deviation, and percent time raining
Shortwave radiation	1-hz	2 min	2 min	Daily mean and standard deviation
Longwave radiation (thermopile, case and dome temperatures)	1-hz	2 min	2 min	Daily mean
Barometric Pressure	2-hz	2 min	Hourly	Daily mean and most recent 2-min average
Sea surface and subsurface temperature and conductivity	1 per 10 min	instantaneous	10 min	Daily mean

QUALITY CONTROL:

Real-time ATLAS data

Real-time ATLAS data quality control is routinely performed on a daily, weekly, and monthly basis.

Daily quality control

The first step of daily quality analysis involves automatic flagging of data that fall outside of broad error specifications. Next, remaining data are checked against a narrower range of error specifications, and those that fall outside this range generate an error alert message. However, questionable data are not automatically removed. Rather, for each error alert, the suspect data are checked for validity by experienced data analysts.

In addition to the error checking program, daily comparisons are made between TAO data that are processed at PMEL and TAO data that are transmitted via the GTS. Any discrepancies between the data sets are immediately investigated and corrected.

Data quality control procedures are summarized in the table below:

Measurement	Preliminary gross automated error checking	Daily parameters that will generate error alerts	Additional daily checks
Wind direction		Compass or vane zero; compass or vane constant; direction varies more than 90° from previous day.	Visual inspection of 5-day running mean wind vectors vs climatology
Wind velocity		Speed changes more than 5 m s from previous day	
Relative humidity (RH)	RH set to missing if > 99.9%	Daily RH outside 65-99%; hourly RH outside 50-100% within past two weeks; changes >20% from previous	

		day	
Air temperature (AT)	AT set to missing if > 33.0° or < -9.0°.	Daily AT changes > 5°C from previous day; daily AT - SST > 1.4°C; daily AT outside 6-32°C; hourly AT outside 15-33°C within past two weeks	
Sea surface temperature (SST)	SST set to missing if > 33.0° or < -9.0°.	SST changes > 5°C from previous day; SST - T at 20m or 25m > 0.2°; hourly SST outside 20-30°C within past two weeks	Visual inspection 5-day running mean plot of SST vs wind vectors
Subsurface temperature (T)	T set to missing if > 99.99° or < -9.0°.	T changes > 5°C from previous day; vertical gradient between adjacent sensors checked. T conforms to the climatological values for the current quarter (+/- 3 s.d. of 90-day mean)	Visual inspection of T profiles
Rainfall	Rate > 10mm hr	Sensor output full scale; daily rainfall rate outside -0.1-10mm hr; daily rain rate > 1.0 mm hr for < 5% time raining; daily rain rate < 0.1mm hr for > 25% time raining	
Shortwave radiation (SWR)	Set to missing if > 1400 W m. If any SWR value (mean, standard deviation, maximum) reads 0, all are set to missing for that day.	Sensor output zero or full scale; daily radiation outside 50-325 W m; max radiation exceeds 1350 W m	Visual inspection and comparison with time series plots from neighboring sites.
Longwave radiation (LWR)		Daily radiation outside 350-500 W m; daily radiation changes > 50 W m from previous day; case thermistor and dome thermistor vary by more than 1°C	
Barometric pressure		BP changes > 5 mb from previous day; daily BP outside 990-1018 mb; hourly barometric pressure outside 990-1018 in past two weeks	Visual inspection and comparison with time series plots from neighboring sites.
Salinity	Computed only for conductivity in range 30.0-70.0 mS cm and T > 0.0°	Salinity changes by > 0.5 psu; salinity outside 31.0-36.5 psu; density inversions computed from daily averaged salinities and temperatures > 0.05 kg m-3; salinity conforms to the climatological values for the current quarter (+/- 3 s.d. of 90-day mean)	
Position	Data from moorings which have drifted	Buoy position changes from deployment position by >	

	more than 1 degree of latitude or 5 degrees of longitude are excluded from data base.	6nm	
--	---	-----	--

Weekly real-time quality control

Every week, the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) compiles statistics of TAO data transmitted via the GTS and compares these statistics to numerical weather prediction Medium Range Forecast (MRF) model output. Weekly mean and RMS differences of daily averaged TAO and NCEP 10 m winds are computed. Daily averaged NCEP winds in these computations are based on four 6-hourly forecasts at 00z, 06z, 12z, and 18z. Weekly mean and standard deviations for TAO air temperatures and sea surface temperatures are also computed. Based on these statistics, NCEP reports the number of suspect observations for wind, air, and sea surface temperature according to the criteria listed in the table below.

Weekly means of most variables are also compiled at PMEL and compared to COADS climatology. Conditions which generate error alerts are listed below. Anomalies are investigated by trained personnel and flagged only if there is a high probability that the data are bad. Additionally, the latest values of data that have been previously flagged are reported weekly to catch any erroneous flagging of valid data.

Measurement	PMEL checks	NCEP checks
Wind direction	Direction differs from climatology by > 30°	
Wind vector components (U/V)		Mean and standard deviation of MRF output and TAO winds; RMS difference of MRF and TAO winds
Wind speed	Weekly average vs climatology	
Relative humidity (RH)	Weekly average < 40%	
Air temperature (AT)		Mean and standard deviation TAO AT; AT < 15.0 or > 35.0
Sea surface temperature (SST)	Weekly average different from climatology by > 2°C	Mean and standard deviation TAO SST; SST < 15.0 or > 35.0
Subsurface temperature (T)	20°C isotherm differs from climatology by > 25m	
Rainfall	Mean daily rainfall rate and standard deviation; number points since deployment where % time raining is > 30%; number points where rain rate >4mm hr	
Shortwave radiation	Mean daily radiation and standard deviation; number points since deployment where maximum daily radiation > 1350 W m ; number points where average daily radiation > 650 W m; number of points average radiation < 50 W m	
Barometric pressure		
Salinity		
Position		

Monthly real-time quality control

Daily averaged data are plotted by site for the most recent 12 months, and continuity between deployments is checked. Plots of daily mean data are also compared to COADS climatology.

Delayed mode ATLAS data

General

Raw data recovered from the internal memory are first processed using computer programs that apply pre-deployment calibrations and generate time series in engineering units. These programs also search for missing data and perform gross error checks for data that fall outside physically realistic ranges. A computer log of potential data problems is automatically generated as a result of these procedures.

Next, time series plots, spectral plots, and histograms are generated for all data. Plots of differences between adjacent subsurface temperature measurements are also generated. Statistics, including the mean, median, standard deviation, variance, minimum and maximum are calculated for each time series.

Individual time series and statistical summaries are examined by trained analysts. Data that have passed gross error checks but which are unusual relative to neighboring data in the time series, and/or which are statistical outliers, are examined on a case-by-case basis. Mooring deployment and recovery logs are searched for corroborating information such as problems with battery failures, vandalism, damaged sensors, or incorrect clocks. Consistency with other variables is also checked. Data points that are ultimately judged to be erroneous are then flagged.

For some variables, additional postprocessing after recovery is required to ensure maximum quality. These variable-specific procedures are described below.

Rain Rate

Rainfall data are collected using a RM Young rain gauge, and recorded internally at a 1-min sample rate. The RM Young rain gauge consists of a 500 ml catchment cylinder which, when full, empties automatically via a siphon tube. Data from a 3-min period centered near siphon events are ignored. Occasional random spikes, which typically occur during periods of rapid rain accumulation, or immediately preceding or following siphon events, are eliminated manually.

Rain rates computed from first differences of 1-min accumulations are often noisy because of the sensitivity of rate calculations to noise in accumulations over short time scales. To reduce this noise, 1-min accumulations are filtered with a 16-point Hanning filter, and rates are computed at 10-min intervals. Residual noise in the filtered time series may include occasional spurious negative rain rates, but these rarely exceed a few mm hr. Serra et al (2001) estimate the overall accuracy of 10-min data to be 0.3 mm hr on average.

Subsurface Pressure (and other measurements)

The majority of ATLAS moorings are taut-line moorings. Therefore, vertical excursions of the mooring line are small in most situations, and subsurface instruments do not deviate far from their nominal measurement depths. Vertical excursions of the mooring line are detected by pressure sensors typically placed at depths of 300 m and 500 m where the largest line variations typically occur (McCarty et al (1997)). Large, short-duration, upward spikes in subsurface pressure data are occasionally observed. These spikes usually indicate either purposeful or accidental interaction between fishermen and the moorings. Each spike, and its effects on the subsurface data, is individually evaluated. Data from all subsurface sensors are flagged when pressure excursions exceed the range expected for normal variability.

Salinity

Salinity values are calculated from measured conductivity and temperature data using the method of Fofonoff and Millard (1983). Surface salinity records are plotted and examined for periods of spiky data caused by response time differences between conductivity and temperature sensors. The identified spiky periods are flagged. Conductivity values from all depths are adjusted for sensor calibration drift by linearly interpolating over time between values calculated from the pre-deployment calibration coefficients and those derived from the post-deployment calibration coefficients.

A thirteen point Hanning filter is applied to the high-resolution (ten minute interval) conductivity and temperature data. A filtered value is calculated at any point for which seven of the thirteen input points are available. The missing points are handled by dropping their weights from the calculation, rather than by adjusting the length of the filter. Salinity values are recalculated from the filtered data and subsampled to hourly intervals.

The drift-corrected salinities are checked for continuity across deployments. In addition, for those deployments which had multiple depths instrumented with conductivity sensors, the records are compared to one another and checked for unusual density inversions indicating uncorrected drift of one or more instruments. If uncorrected drift is found, an attempt is made to identify the sensor at fault and adjust its data based on differences with data from adjacent depths during unstratified conditions.

The procedures used to identify and adjust problematic data are similar to those described in Freitag et al (1999) and used to correct Seacat salinity data.

Delayed mode daily salinity and density values are calculated by taking the mean of the available hourly values for the day. If there are fewer than 12 hourly values available, a daily mean value is not computed.

Quality indices and sensor drift

Instrumentation recovered in working condition is returned to PMEL for post-deployment calibration before being reused on future deployments. After post-deployment calibrations are made, the resultant coefficients are compared to the pre-deployment coefficients. A set of output values are computed by application of the calibration equation using pre-deployment coefficients to a set of input values. Input values are chosen so that the output values would range over normal environmental conditions. A second set of output values are generated by application of the calibration equation using post-deployment coefficients to the same set of input values. Sensor drift is calculated by subtracting the first set of output values from the second set of output values. The sensors are then assigned quality indices based on drift using the following criteria:

1 - Highest Quality. Pre/post-deployment calibrations agree to within sensor specifications. In most cases, only pre-deployment calibrations have been applied.

2 - Default Quality. Pre-deployment calibrations only or post-deployment calibrations only applied. Default value for sensors presently deployed and for sensors which were not recovered or not calibratable when recovered, or for which pre-deployment calibrations have been determined to be invalid.

3 - Adjusted Data. Pre/post calibrations differ, or original data do not agree with other data sources (e.g., other in situ data or climatology), or original data are noisy. Data have been adjusted in an attempt to reduce the error.

4 - Lower Quality. Pre/post calibrations differ, or data do not agree with other data sources (e.g., other in situ data or climatology), or data are noisy. Data could not be confidently adjusted to correct for error.

When a recovered sensor meets the criteria for nominal drift, the quality index is changed from the default value of "2" to "1" for highest quality data. When it does not meet the criteria for sensor drift, the index becomes "4". If an adjustment based on post-deployment calibrations or other information is later made, the index may then be set to "3" or "1". When damage or loss of an instrument due to vandalism, harsh environmental conditions, electronics failures, or loss of a mooring prevents post-deployment calibration, a default quality of "2" is assigned to the data.

Nominal drift criteria:

Measurement	Drift criteria
Air temperature	0.4°C
Relative humidity	4%
Wind velocity	0.6m s or 6%
Temperature	0.02°C
Salinity	0.04 PSU
Rainfall	0.6mm hr
Shortwave radiation	2 %

ANNEXE 2 : Apport du réseau de mouillages météo-océaniques PIRATA pour l'océanographie opérationnelle : Impact dans le prototype Atlantique de Mercator.

(cette note a été rédigée pour ce document par Fabrice Hernandez, Mercator / IRD US025; Elle reprend en partie la note de Cousin et al., 2004, parue dans la Lettre trimestrielle Mercator-Océan d'octobre 2004).

Contexte :

Mercator est le projet d'océanographie opérationnel français (voir <http://www.mercator-ocean.fr/>). Chaque semaine, des prévisions pour les quinze jours suivants de la circulation océanique sont produits et permettent de détailler l'évolution des courants et des masses d'eau dont on peut décliner de multiples applications, destinées in fine à la communauté scientifique, aux professionnels de la mer, ou encore aux besoins de la défenses, de la sécurité maritime ou de la protection de l'environnement. Ces prévisions numériques sont basées sur une modélisation de la circulation océanique avec le modèle OPA, forcé par les flux journaliers du CEPMMT. Les prévisions doivent être corrigées par assimilation avec des observations de façon à ne pas trop s'écarter de la réalité. Depuis plus d'un an, une technique d'assimilation multivariée est mise en œuvre dans le prototype Atlantique (PSY1v2). Cette technique consiste à calculer les écarts entre les variables modèle (T,S et fonction de courant) et les observations de température, salinité, en surface et sur la colonne d'eau, ainsi que les variations de hauteur de mer mesurées par les satellites altimétriques. Puis de les projeter sur des modes verticaux empiriques avant de servir à corriger la prévision du modèle en T,S et fonction de courant durant une étape d'analyse (cette correction prend en compte les erreurs des observations et de la prévision). La Figure 1 illustre les caractéristiques de ce prototype (voir aussi http://www.mercator-ocean.fr/html/systemes_ops/psy1/index_fr.html) qui utilise donc chaque semaine les mesures de température et salinité transmises par CORIOLIS pour contraindre les simulations vers plus de réalisme.

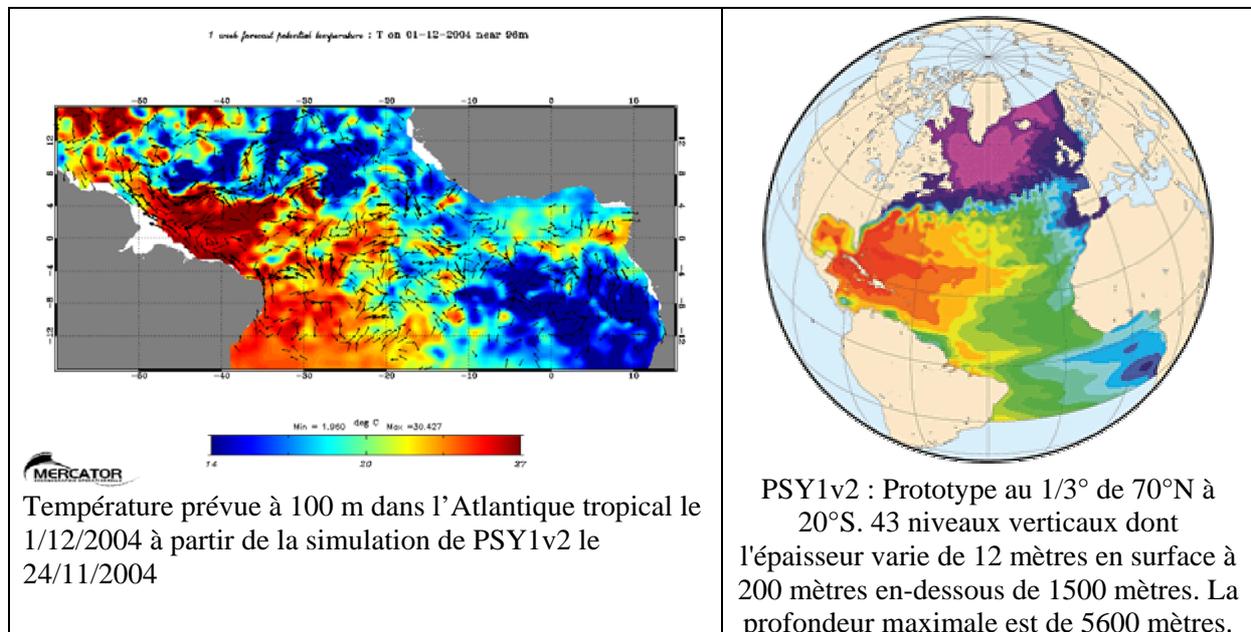


Figure 1 : Le prototype opérationnel PSY1v2 ainsi qu'une illustration de prévision le 1/12/2004.

Le réseau PIRATA, relayé par le système ARGOS en temps quasi-réel, fournit des moyennes journalière des mesures de températures (10 entre la surface et 500 mètres) et de salinité (4 entre la surface et 120 mètres). Ces observations s'ajoutent donc aux mesures in-situ issues des tirs XBT, des CTD de campagnes océanographiques, des profils verticaux fournis par les flotteurs profonds du programme ARGO, des mesures provenant des bouées dérivantes ou ancrées etc... qui sont utilisées

pour contraindre le prototype opérationnel de Mercator, ainsi que d'autres prototypes dans d'autres centres de prévision océanique. Les données PIRATA ont donc une influence attendue dans ces prévisions opérationnelles. Pour mieux la mesurer, et connaître l'influence relative des autres types de données nous avons procédé à une étude d'impact des données PIRATA dans le prototype PSY1v2 décrit ci-dessus. Cette étude vise à caractériser l'impact des données PIRATA au voisinage des mouillages, mais surtout au-delà, en terme de rectification de la circulation océanique. L'autre objectif étant de mesurer les potentialités d'extensions futures de ce réseau, en fonction de l'impact sur le prototype Mercator.

Procédure suivie

Deux simulations ont été menées en parallèle avec PSY1v2 sur l'année 2003. La première assimile toutes les données hydrographiques disponibles, la deuxième assimile toutes les données hydrographiques sauf celles issues des mouillages PIRATA (Figure 2). La température et la salinité du modèle sont initialisées à la climatologie Reynaud du mois de janvier, et le champ de vitesse est initialement nul. L'évolution des deux expériences lors de cet ajustement est illustrée par la Figure 3. On observe un fort impact là où il y a des données PIRATA. Au bout d'un mois, la structure thermique de l'océan rend compte des fines structures océaniques, horizontalement et verticalement, encore absentes dans l'expérience sans PIRATA.

Jeux de données hydrographiques préparées par CORIOLIS pour cette étude en 2003. Mouillages PIRATA en rouge. Le mouillage MOVE en bleu. XBT et CTD sont en vert (on reconnaît des lignes de bateaux marchants). Les profils des flotteurs profonds ARGO sont en jaune.

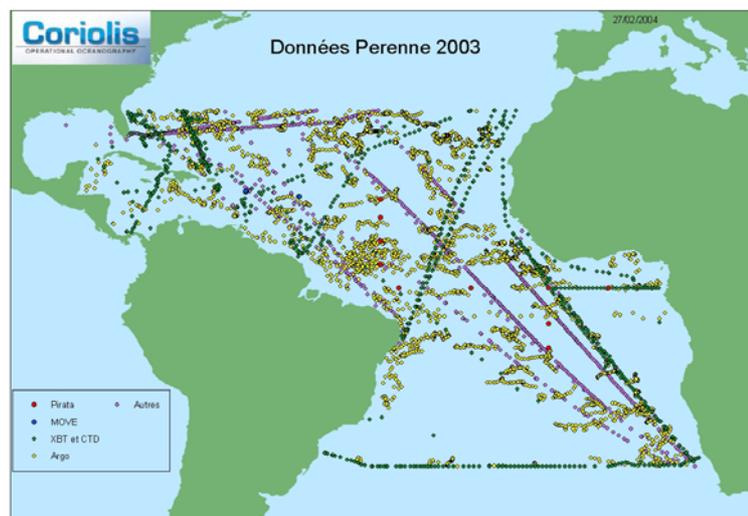


Image CORIOLIS

Figure 2 : Jeux de données in-situ

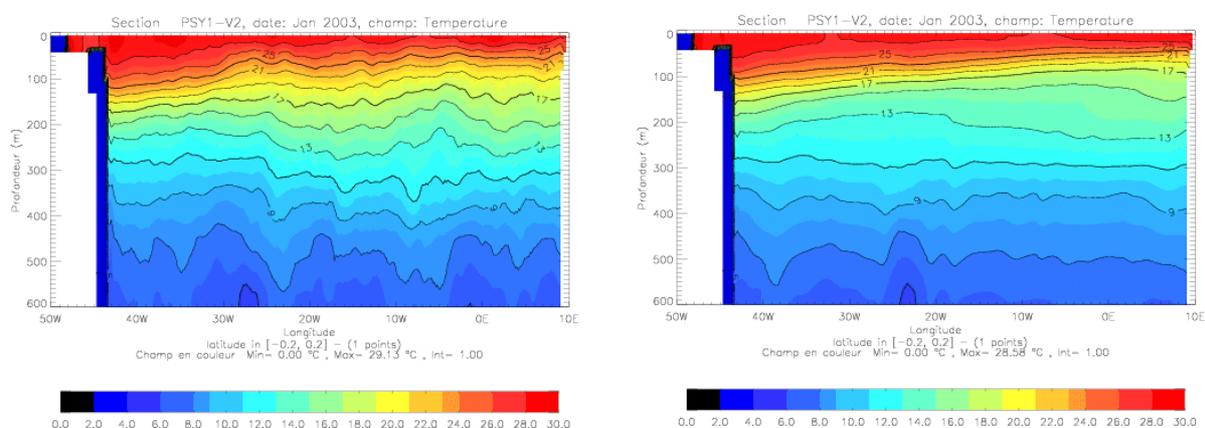


Figure 3 : Section équatoriale de température moyennée sur le mois de Janvier ; à gauche : sortie d'expérience de la simulation avec PIRATA ; à droite : sortie d'expérience de la simulation sans PIRATA

Comparaison statistique des champs de température et de salinité

Les deux simulations sont comparées aux mesures PIRATA aux points de mouillage. Les statistiques de différences, résumées sur le Tableau 1, montrent l'impact positif sur la salinité et la température dans les prévisions (à noter que ces statistiques englobent les écarts aux analyses et aux prévisions sur toute la semaine, ce qui explique en partie les écarts aux données PIRATA, même quand on les assimile). Ce gain est illustré par la Figure 4, où des biais atteignant 3°C dans la thermocline sont fortement réduits. Il subsiste cependant des différences qui révèlent les limites de la méthode d'assimilation qui ne permet pas de réduire complètement les erreurs du modèle dans la thermocline (trop diffuse), et qui montre aussi les chocs hebdomadaires qu'occasionnent dans le champ de masse cette assimilation séquentielle.

	AVEC PIRATA	SANS PIRATA
ECART EN	2.20°C	2.78°C
CORRELATION (T)	0.98	0.94
ECART EN SALINITE	0.41	0.50
CORRELATION (S)	0.69	0.49

Tableau 1 : Ecarts RMS et corrélation en T et S entre les données interpolées du modèle et les observations PIRATA.

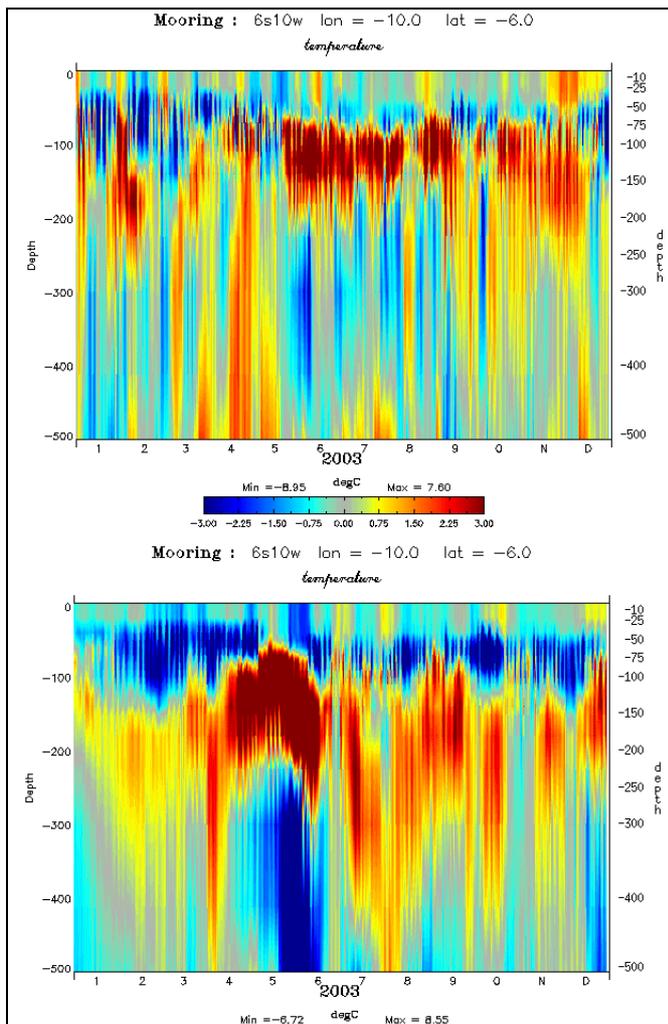


Figure 4 : Séries temporelles des différences modèle-données au mouillage PIRATA (6°W,10°S) en température pour le run complet (en haut) et sans PIRATA (en bas)

Des comparaisons analogues sont effectuées sur toute la bande tropicale (15°S-30°N) entre les deux simulations et toutes les observations in-situ, par couche de profondeur (0-30 m ; 30-50 m ; 50-100 m ; 100-300 m ; 300-700 m). La encore, les statistiques d'écart (Tableau 2) montrent l'impact positif du réseau PIRATA sur le champ de température prévu entre 15°N et 15°S, mais pas au-delà, et uniquement entre 30 et 300m. La couche de surface est dégradée en moyenne. C'est la couche la plus soumise aux contraintes externes : forçages, mais aussi présence majoritaire des autres observations assimilées. Ces écarts témoignent possiblement de conflits avec les forçages et/ou d'incohérences dans l'assimilation multivariée (SLA, SST, T, S) qui demandent une analyse plus poussée. En regard du nombre de d'observations en surface, cela montre que les données PIRATA y ont un impact sur toute la bande tropicale. Pour la salinité prévue, le gain est très marginal : il y a un nombre moindre de données PIRATA assimilées durant le premier semestre, de plus ces données se limitent aux parties superficielles des mouillages.

RMS	Température (°C)		Salinité (psu)	
	Complet	Sans	Complet	Sans
0-30m	1.65	1.60	0.45	0.48
30-50m	2.75	2.91	0.37	0.38
50-100m	3.33	3.65	0.51	0.50
100-300m	2.99	3.18	0.56	0.58
300-700m	2.30	2.26	0.32	0.30

Tableau 2 : RMS modèles/observations annuelles en T et S pour chacune des 2 simulations et pour chaque couche. En rouge les couches pour lesquelles l'assimilation des données PIRATA réduit les écarts.

Les courants tropicaux ont aussi été comparés entre les deux simulations. L'assimilation des données PIRATA entraîne une amélioration de leur structure horizontale et verticale. La thermocline est moins diffuse, et sa stratification sur une plus grande emprise du bassin équatorial s'associe à un meilleur positionnement latitudinal et à une extension plus régulière du sous-courant équatorial, même si il ne pénètre toujours pas suffisamment dans le Golfe de Guinée. En surface, le courant sud équatorial est intensifié, et le contre courant nord équatorial présente une signature saisonnière plus intense et réaliste. L'assimilation des températures et salinités PIRATA rectifie donc la structure océanique, et ce jusqu'à 500 mètres de fond et plus, tant en courant qu'en température, même si les statistiques présentées (Tableau 2) n'en rendent pas complètement compte.

Ces analyses sont corroborées par la comparaison aux mesures de courant fournies par l'ADCP mouillé à (0°N, 10°W) à 26 m, entre mai et décembre 2003. Il s'agit d'une comparaison particulièrement significative car a) ces vitesses sont indépendantes de nos simulations, et b) cela permet de mesurer l'impact sur les courants d'une rectification du champ de masse par l'assimilation des données PIRATA. Les différences avec les courants prévus par PSY1v2 (Figure 5) montrent de fortes fluctuations des vitesses modèles, causées par les sauts d'analyse, avec des variations qui peuvent dépasser les 50 cm/s. En plein dans le sous-courant, les comparaisons des vitesses méridiennes sont très bruitées. Par contre, sur la composante zonale, les données PIRATA permettent une nette amélioration, comme le montrent les corrélations et statistiques d'écart à partir de juillet. A cette date, on notera l'assimilation des données de salinité. Température et salinité du réseau PIRATA, assimilées quotidiennement, apportent donc des rectifications du champ de masse qui améliorent de façon significative le sous-courant équatorial. Des comparaisons avec des vitesses déduites de bouées dérivantes ont aussi été effectuées, mais n'apportent pas des conclusions aussi claires qu'avec les données ADCP. Ces bouées, droguées à 15m, caractérisent les courants de surface, qui dans PSY1v2 restent bruités, plus perturbés par les sauts d'analyse et dépendent plus fortement de la qualité des forçages atmosphériques.

Enfin, dernier point qui n'a pas été complètement documenté : où rajouter des mouillages pour réduire les écarts de PSY1v2 ? La Figure 6 fournis une première piste : la croissance d'erreur du modèle dans la bande tropicale est plus importante qu'au latitudes moyennes : le temps d'ajustement y sont plus rapides qu'aux autres latitudes, et les erreurs des forçages, ou autres y ont une résonance plus forte. On observe clairement deux zones de fortes erreurs : le Golfe de Guinée, et toute la zone de réflexion et du courant Nord Brésil.

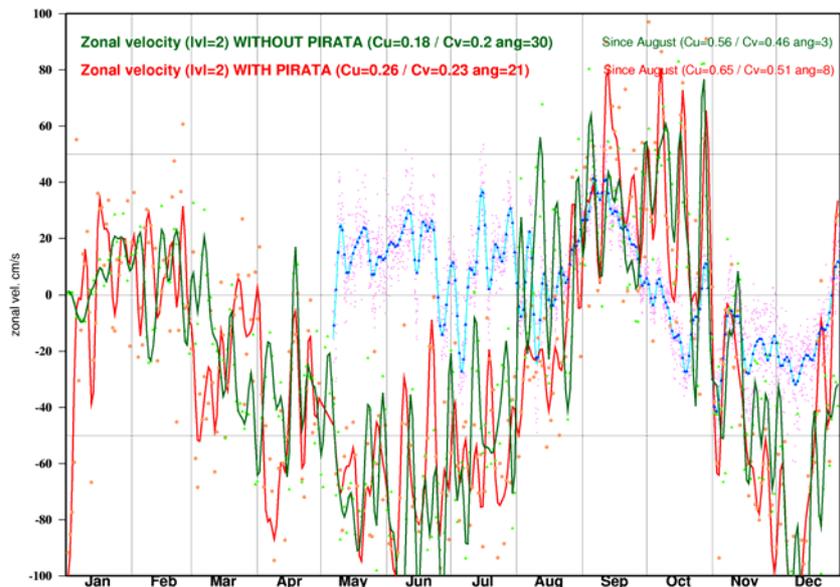


Figure 5 : Vitesses zonales ADCP bi-horaires (violet) filtrées sur 5 jours (bleu) comparées au vitesse modèle sans (points verts) et avec (points rouges) assimilation des données PIRATA (les courbes sont aussi filtrées sur 5 jours).

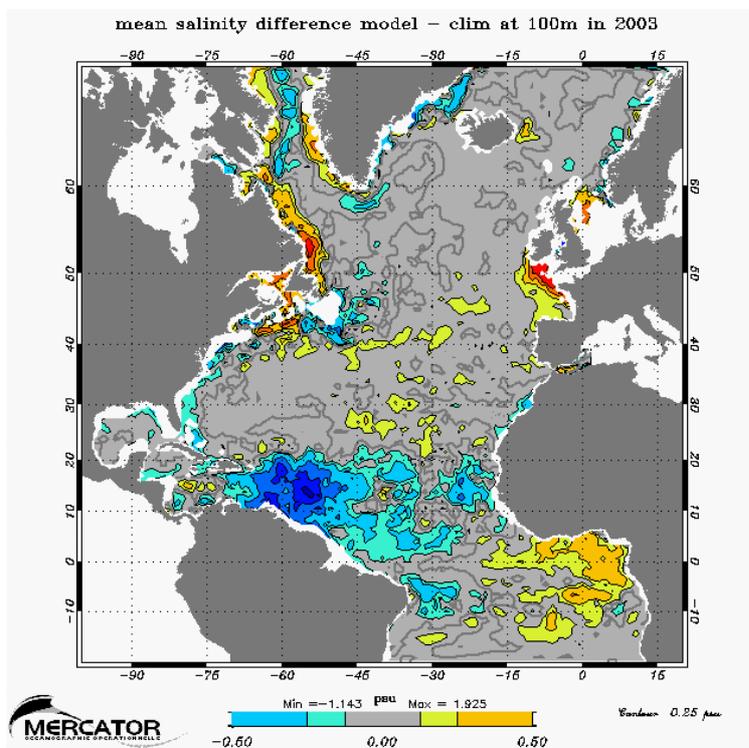


Figure 6 : Moyenne annuelle, sur 2003, des écarts entre le champs de salinité prévus à 100 mètres et la climatologie.

Conclusion

L'assimilation des données de température et de salinité du réseau PIRATA dans le système d'assimilation multivarié de MERCATOR a un impact tant sur les structures thermiques que les structures des courants, au niveau des mouillages, et jusqu'à 15° au-delà de l'équateur. Aux points de mouillages, jusqu'à 500 mètres de profondeur, les écarts en température et salinité entre observations et modèle indiquent que PIRATA améliore le système là où il se trouve : résultat attendu. Dans la zone équatoriale (15°S-15°N) et dans les profondeurs de portée du réseau, l'impact de PIRATA est à nouveau notable mais cette fois plus en température, qu'en salinité, et dans aucun cas au-delà de cette zone (i.e., au-delà de 15°N, ou à des profondeurs supérieures à 500 mètres). Les couches proches de la surface ne semblent pas non plus profiter de l'apport des données PIRATA : il y a là un champ d'investigation ouvert pour mieux comprendre le rôle et les conflits entre assimilation de SLA et SST, et les forçages dans et sous la couche de mélange dans les prototypes développés à Mercator. Les données du réseau PIRATA permettent une rectification de toute la structure des courants du système tropical : cette apport se fait essentiellement le long de l'équateur, mais semble marquer toute

la zone. Rappelons que la dynamique tropicale est très réactive, et que toute modification entraîne un ajustement rapide améliorant (ou dégradant) tout le système. Rappelons aussi que c'est dans l'Atlantique tropical que le système d'assimilation multivariée corrige le moins bien la dynamique.

Bien qu'apportant des améliorations, l'assimilation du volume important de données qu'apportent les observations quotidiennes du réseau PIRATA ne permet pas de réduire des écarts de 1 à 2°C sur toute la zone. Il s'agit là encore d'un problème inhérent à l'outil utilisé (PSY1v2) plus qu'à l'influence des données PIRATA. Cette étude doit donc être poursuivie selon deux axes : D'une part analyser les conflits d'assimilation possibles entre les différents types d'observations dans le système d'assimilation ; d'autre part continuer l'étude conjointe de différentes simulations : libre, avec/sans assimilation pour établir plus complètement l'apport du réseau PIRATA (en mode analyse et surtout en prévision à 7 et 14 jours), mais aussi proposer plus précisément des sites d'extension de ce réseau qui amélioreraient d'autant les systèmes d'océanographie opérationnelle.

ANNEXE 3 : Rapport du comité des experts chargés d'évaluer les possibilités de mettre en service un Navire Opérationnel Dédié en Atlantique Tropical.

Ship Time Needs for PIRATA and the Tropical and South Atlantic Observing System

A Special Report by the
Atlantic Observations Working Group
[Final draft for submission to the PIRATA Resources Board]

November 2004

1.0 Purpose

In February 2003, an Atlantic Observations Working Group (AOWG) was established under the auspices of the PIRATA Resources Board to assess ship time needs for PIRATA and other Tropical and South Atlantic observing system elements. The purpose of this report is to summarize the work of the AOWG.

2.0 Background

Since PIRATA was first established as a pilot array, it had been recognized that maintenance cruises on a 6-month schedule would probably be required to maintain a level of data return similar to TAO/TRITON in the Pacific. TAO/TRITON moorings are maintained on a 6-month schedule. Resources were not available, however, to support 6-month maintenance for PIRATA, and a 12-month schedule was adopted. PIRATA data return rates confirmed that the 12-month schedule was not adequate – data return for TAO/TRITON averages about 85% while data return for PIRATA averages about 65%. The PIRATA Steering Group feels that one way to improve data return would be to increase frequency of maintenance visits to 6-month turn-around. This would double the present requirement for ship time.

Three PIRATA extension projects have been proposed to the Scientific Steering Group and are presently being evaluated by PIRATA, the international Climate Variability and Predictability Programme (CLIVAR), and other regional and global programs. These extension projects have potential to add of order nine more moored stations similar to the present PIRATA moored stations, thus approximately doubling the size of PIRATA from the present 10 stations to 19 stations. This could double again the ship time requirement.

Oceanographic and meteorological observations in the Tropical and South Atlantic are rapidly becoming more important to many nations for weather and climate forecasting, and for other marine services. PIRATA has become a major contribution to the Global Ocean Observing System (GOOS) and the Global Climate Observing System (GCOS). Other moored arrays, the surface drifting buoy array, the Argo profiling float array, ship-based networks, and tide gauge stations are also contributing to Atlantic GOOS and GCOS. Consequently, ship time requirements are increasing for other observing systems in addition to PIRATA.

The international CLIVAR Programme and the Ocean Observations Panel for Climate (OOPC) jointly sponsored a South Atlantic Climate Observing System Workshop (SACOS) in February 2003 to begin scoping observational requirements in the South Atlantic region. Beginning in 2001, more than 25 institutions in Africa, Europe, and the Americas developed a plan for an African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) project to improve prediction of the West African Monsoon and Atlantic hurricanes. During 2003, the AMMA project was endorsed by CLIVAR and the Global Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX). AMMA requires long-term observations in the Atlantic Ocean through at least 2010. PIRATA is a backbone element of both the SACOS and the AMMA observing systems.

3.0 Objectives

Assessing the ship time needs for Tropical and South Atlantic observations was undertaken by the AOWG with six objectives in mind.

1. Low cost. The best course to follow would be one that can be implemented at the least possible cost.
2. System-wide needs. PIRATA and the other present and anticipated international observing system needs over the foreseeable future were considered.
3. Operational efficiency. In order to provide good observing system support, the ship time assets should be located as close as possible to the working grounds; i.e., in the Atlantic basin. The assets should be designed for supporting oceanographic and surface meteorological observations. The assets must be available for routine scheduling to support sustained observations. Because of the international aspect of building a global ocean observing system, international shipping, receiving, and transit clearance processes should be as convenient as possible.

4. Long-term solution. The solution should provide facilities for the long term. The pilot phase of PIRATA provided only a short-term solution to ship time. It is now time to look to the long term since it is becoming clear that the international demands for sustained ocean and atmospheric observations in the Atlantic basin are ever increasing.

5. Capacity building. Many of the Atlantic basin nations are only just beginning to develop the scientific capacities and capabilities to become substantial contributors to the global ocean observing system. The best solution would be one that encourages development of regional capabilities that in turn would require sustained oceanographic ship operations.

6. Political feasibility. The best solution would be the one that appears advantageous and achievable by institutions residing in several different countries, each being subject to the unique regulations of their own governments.

4.0 Options

Six options were evaluated against the objectives:

1. The status quo. In this option, Brazil would continue to provide ship time to service the western part of the PIRATA array once per year. France would provide ship time to service the eastern part of the array once per year. Once per year maintenance requires about 60 days at sea per year. In 2003 Brazil fielded 24 days and France fielded 31 days. Under the present Memorandum of Understanding for the PIRATA consolidation phase, the United States does not contribute to ship time – under the three-way partnership Brazil and France contribute ship time and the United States contributes replacement moorings and equipment.

2. U.S. ship time augmentation. The United States would augment present Brazil and France ship time by contributing approximately 60 additional ship days per year to bring the maintenance schedule to twice per year, similar to TAO/TRITON in the Pacific.

3. Augmentation with excess ship capacity from other countries. The PIRATA consortium would look for ship time from other countries/institutions in the region to augment the present Brazil and France contributions.

4. The NOR-50. French colleges have developed a prospectus for construction of a new oceanographic ship specially designed for maintenance of the PIRATA moorings. In the Pacific, the United States has adopted this philosophy – NOAA presently operates the *Ka'imimoana* which is an oceanographic vessel specially fitted for maintenance of TAO moorings. The NOR-50 prospectus is appended to this report. In summary the NOR-50 would be a small, fast ship designed to visit each PIRATA site twice per year; it would have time available to ply other Atlantic waters for rapid deployment of drifting arrays as well. The prospectus assumes that France and the United States would share in the cost of construction of the NOR-50 and that the vessel would utilize a ship base in North East Brazil as primary homeport for PIRATA operations.

5. An all-purpose dedicated oceanographic vessel. This option adopts a philosophy similar to the NOR-50 (i.e., a dedicated ship) except that in this option the ship would be designed with full oceanographic and meteorological observational capabilities. It would not be designed for just PIRATA and the drifting arrays. It would be able to also support other observational projects; e.g., repeat hydrographic and ocean carbon inventory surveys.

6. A converted ship that can perform PIRATA array maintenance and deploy drifting arrays only. This would be a dedicated ship similar to the NOR-50, but would operate at a more conventional speed. Its useful life after conversion would be about 10 years.

5.0 Evaluation

To provide an assessment of this issue, the AOWG considered each of the six objectives in turn. For each objective, the six options were rated against each other to rank their perceived ability to meet the objective most effectively.

For Objective 1, low cost, the approximate annual cost in 2003 U.S. dollars was estimated to maintain the present array of 10 moored stations, visiting each station twice per year (except for the Status Quo option which provides for only one visit per year). For the newly constructed dedicated ship options (Options 4 and 5), the estimated capital cost of construction was amortized over 20 years and added to the estimated operating cost to arrive at an estimated annual cost. The converted ship costs (Option 6) were estimated in a similar manner, except that the estimated capital cost of conversion was amortized over 10 years. The costs for the six options were ranked relative to each other.

In evaluating Objectives 2, 3, 4, 5, and 6, the AOWG members rated each option on a scale of 1 to 5. A rating of 1 indicated that the option had low probability of meeting the objective. A rating of 5 indicated that the option had an excellent probability of meeting the objective. The ratings of the AOWG members were averaged to give an overall rating. For each objective, summary comments were provided giving some of the main considerations and concerns of the AOWG members as the options were evaluated.

5.1 Objective 1: Low cost.

5.1.1 Cost estimates and relative comparison:

Annual costs were estimated to maintain the present array of 10 stations, assuming a requirement of two visits per year (approximately 120 ship days)*. The cost estimates are discussed in Annex 3. These estimates are not exhaustive and are intended for relative comparison purposes only.

	<u>Option 1</u> Status Quo	<u>Option 2</u> U.S. ship time augmentation	<u>Option 3</u> Other country ship time	<u>Option 4</u> NOR-50	<u>Option 5</u> All purpose dedicated ship	<u>Option 6</u> Dedicated conversion
Annual cost, U.S. dollars	430 K*	\$1630 K	\$800 K	\$770 K	\$2270 K	\$1620 K
Relative ranking	6	2	4	5	1	3

* The Status Quo provides only one visit per year.

5.1.2 Comments:

The lowest cost is, of course, the status quo. This option is low cost but provides limited capability that is not considered adequate to maintain an acceptable level of data delivery. The NOR-50 option proves to be relatively low cost over the long term. The highest cost option is the all-purpose oceanographic vessel. The option to provide augmentation via the U.S. research fleet is also a high cost option because the U.S. fleet is already heavily utilized and PIRATA would have to compete for ship time at full charter rates. Utilizing excess capacity available in other countries' oceanographic fleets would be less expensive than the U.S. fleet because the ships in other countries are presently under utilized and could be chartered at the marginal cost of mission expendables. The dedicated converted ship is expensive because of its slow speed and it includes the cost of a normal size crew (unlike the NOR-50 which has a small crew of 10).

5.2 Object 2: System-wide needs.

5.2.1 Ratings:

	<u>Option 1</u> Status Quo	<u>Option 2</u> U.S. ship time augmentation	<u>Option 3</u> Other country ship time	<u>Option 4</u> NOR-50	<u>Option 5</u> All purpose dedicated ship	<u>Option 6</u> Dedicated conversion
Average	1.7	2.9	4.0	3.3	4.6	3.9

5.2.2 Comments:

Option 5, an all-purpose dedicated ship, rated highest for system-wide needs. Dedicated ships allow the best response to customer requirements. Objectives of field experiments often differ from those reserved for the maintenance of an operational network like PIRATA or Argo.

Option 3, working to utilize existing oceanographic ship assets in other countries, would also provide a good solution from the system-wide perspective. This option would provide flexibility as system requirements evolve over the next few years. The SACOS effort and the AMMA project provide evidence that many nations will be looking to field oceanographic cruises that could be leveraged for routine PIRATA operations as well as the scientific experiments. Using oceanographic vessels from different countries has the disadvantage, however, in that it requires a lot of effort in programming and coordination; every country has its own procedures, lead-time, and requirements.

Option 1, status quo, and Option 2, U.S. augmentation of PIRATA rate the lowest because they focus on only one aspect of the observing system - PIRATA. It should be noted, however, that the PIRATA cruises do provide platforms of opportunity for deployment of drifting buoys, floats, and XBTs, as well as oceanographic surveys, in support of the broader ocean observing system.

5.3 Objective 3: Operational efficiency.

5.3.1 Ratings:

	<u>Option 1</u> Status Quo	<u>Option 2</u> U.S. ship time augmentation	<u>Option 3</u> Other country ship time	<u>Option 4</u> NOR-50	<u>Option 5</u> All purpose dedicated ship	<u>Option 6</u> Dedicated conversion
Average	1.6	1.7	2.7	4.7	4.7	4.3

5.3.2 Comments:

The best operational efficiency would be obtained by having a dedicated ship, Options 4 and 5, as is done in the Pacific with the *Ka'imimoana*. The present difficulties with customs clearances in and out of Brazil could also be reduced by having routine ship operations recognized as being dedicated to this international project. The dedicated conversion, Option 6, is less efficient due to its slower speed and reduced capability compared to Options 5 and 6. Long transits from the United States adversely impact the efficiency of Option 2; although U.S. technicians and crews have the longest experience in the maintenance of mooring arrays.

Options 1, 2, and 3 are not as efficient as the dedicated ship options because they require competitive scheduling aboard ships that are intended for other missions. Whether or not ship time will be available is a year-to-year worry for the PIRATA consortium. This is not an efficient way to plan routine operations.

The availability of the ship, crew, and scientific systems is low in the first three cases compared to the higher availability for the dedicated ships. The capacity of the all-purpose dedicated ship would be higher than that of the NOR-50, however, its speed is an advantage for the NOR-50. Regarding the NOR-50, there are still some doubts on its possibilities to work and use its full potential speed in rough seas away from the equatorial zone or in the strong trade winds close to northern Brazil.

5.4 Objective 4: Long term solution.

5.4.1 Ratings:

	<u>Option 1</u> Status Quo	<u>Option 2</u> U.S. ship time augmentation	<u>Option 3</u> Other country ship time	<u>Option 4</u> NOR-50	<u>Option 5</u> All purpose dedicated ship	<u>Option 6</u> Dedicated conversion
Average	1.0	2.3	2.6	4.6	5.0	4.9

5.4.2 Comments:

The best long-term solution would be a dedicated ship for PIRATA operations, NOR-50, an all purposed oceanographic vessel, or a converted vessel, as is done for TAO/TRITON in the Pacific. Augmentation of the present Brazilian and French service schedule with charter ships from the United States or other countries (Options 2 and 3) would solve the immediate problem but PIRATA would continue to have to compete with other priorities for scheduling of the non-dedicated ships. The present situation, Option 1, is not satisfactory and thus does not provide a long-term solution. The French service schedule may increase somewhat during the next two years because of the development of the AMMA research program, but it will mainly concern the eastern equatorial area.

The existence of a dedicated ship would be the obvious long-term solutions. The capacity of an all purpose dedicated ship would be larger than that of the NOR-50 or converted ship allowing higher versatility for the other works at sea.

5.5 Objective 5: Capacity building.

5.5.1 Ratings:

	<u>Option 1</u> Status Quo	<u>Option 2</u> U.S. ship time augmentation	<u>Option 3</u> Other country ship time	<u>Option 4</u> NOR-50	<u>Option 5</u> All purpose dedicated ship	<u>Option 6</u> Dedicated conversion
Average	2.3	1.3	3.9	1.9	2.4	3.0

5.5.2 Comments:

The best solution for capacity building would be Option 3, to work with other countries to utilize oceanographic vessel capabilities that already exist but are underutilized primarily due to lack of resources in those countries. This option would, however, require maximum effort by French and U.S. institutions that presently have technical expertise to deploy ATLAS moorings. The deployment of ATLAS moorings is a specialized skill that is hazardous. Building that technical capability in other nations would be a demanding job.

The dedicated ship options would provide limited capacity building. The option for U.S. ship augmentation is the least attractive from this perspective since the U.S. would simply do the job and consequently technical and scientific expertise would not be imparted to other countries. The capacity building of the NOR-50 seems weaker taking into account the low number of crew and scientists on board, whereas the other solutions allow that.

***5.6 Objective 6: Political feasibility.**

5.6.1 Ratings:

	<u>Option 1</u>	<u>Option 2</u>	<u>Option 3</u>	<u>Option 4</u>	<u>Option 5</u>	<u>Option 6</u>
	Status Quo	U.S. ship time augmentation	Other country ship time	NOR-50	All purpose dedicated	Dedicated conversion ship
Average	3.7	4.4	3.7	1.9	1.9	2.9

5.6.2 Comments:

In the United States, Option 1, status quo, and Option 3, working with other countries, are both highly attractive politically. The U.S. strategy for implementing the global ocean observing system is founded on working through international partnerships. No one country can hope to implement a global system alone; the potential exists for both benefits and responsibilities to be shared by many nations.

In France, the status quo is not appreciated by funding agencies. It requires finding funds on short notice to “piggyback” on already scheduled cruises, and sometimes diverting money from other research programs.

In Brazil, there is concern over equitable funding for construction, maintenance and operational costs regarding the NOR-50 and dedicated ships. Who would pay for the conversion in Option 6? What flag would the ship sail under?

The NOR-50 option would be difficult to implement because, at least in the United States, shipbuilding is considered to provide economic advantage as well as scientific capacity. The U.S. would have difficulty sending money overseas for ship construction in another country. Also, within the U.S., ship construction takes many years to gain approval through government channels; acquiring funding to support this option would take probably at least five years of hard work. For this reason, the dedicated ship options, Options 5 and 6, would also be difficult to implement.

The NOR-50 would be complicated in France as well. It is already complicated today to get a ship for a dedication experiment – at least four committees in France. How would be forecasted the planning? Another committee? Another problem would be which nation would construct the ship and which would be the owner? Also, France (a joint effort of IFREMER and the French Navy) has just financed two large research vessels (the second one still in shipyard), and won't have resources to build another one soon.

On the other hand, the NOR-50 option represents a new concept in international operation oceanography. There is precedent for joint international ownership/operations in the satellite community, but not yet the ship community. This option could provide an attractive political opportunity for international partnerships especially in light of the ongoing Global Earth Observation System of Systems process, but would require political support at the highest levels of government.

6.0 Summary

6.1 Pros and Cons.

Option 1: Status Quo.

- Pros: Low cost.
- Cons: Does not provide adequate capability for maintaining PIRATA over the long term.

Option 2: U.S. ship time augmentation.

- Pros: Relatively easy to implement.
- Cons: Does not provide for capacity building. Because the U.S. research fleet is already fully committed, PIRATA would have to compete for ship time at a high charter cost.

Option 3: Augmentation with excess ship capacity in other countries.

- Pros: Excellent for capacity building. Takes advantage of presently underutilized capabilities. Provides high flexibility for satisfying the evolving system-wide requirements of SACOS, AMMA, as well as PIRATA and its extensions.
- Cons: Increased complexity in scheduling, logistics, and technical training in several countries.

Option 4: NOR-50.

- Pros: Highly efficient operations. Relatively low cost. Excellent long-term solution.
- Cons: Difficult to implement politically. Long lead time to acquire funding. Limited experience with this new ship design.

Option 5: All purpose dedicated ship.

- Pros: Efficient operations. Excellent long-term solution for both PIRATA and the broader Atlantic observing system.
- Cons: High cost. Difficult to implement politically. Long lead time to acquire funding.

Option 6: Converted dedicated ship.

- Pros: Initial limited capability, but additional capability could be added in stages if the ship selected is of sufficient size. This avoids a large initial capital cost, and ultimately the ship could have capabilities close to the all purpose ship.
- Cons: Cannot be operated at the marginal cost of consumables. Potentially could be slow (10 knots). Useful life is about half of a new ship. Long lead time to acquire funding.

6.2 Summary of rating scores.

The table below summarizes the rating scores from Section 5 and gives an overall average score. The overall average score assumes that all Objectives are of equal weight, which of course they are not. No attempt was made to weight the scores.

	<u>Option 1</u>	<u>Option 2</u>	<u>Option 3</u>	<u>Option 4</u>	<u>option 5</u>	<u>Option 6</u>
Status Quo		U.S. ship time augmentation	Other country ship time	NOR-50	AI purpose dedicated ship	Dedicated conversion
Annual cost, in U.S. dollars	\$430 K*	\$1630 K	\$800 K	\$770 K	\$2270 K	\$1620 K
Relative ranking	6	2	4	5	1	3

* *The Status Quo provides only one visit per year.*

7.0 Conclusions

The AOWG commends the PIRATA institutions for seeking a long-term solution to maintenance of PIRATA. It is clear that better data return from PIRATA is needed; the Scientific Steering Group's recommendation to increase maintenance frequency to six months is sound.

PIRATA is only one contribution to the Atlantic observing system. In addition, the "final" and permanent PIRATA design is not yet known. Yet the requirement is clear for a sustained Tropical Atlantic observing system. It would be good to have a better view of the future ship requirements for proposed/envisioned PIRATA extensions and for the other systems in the region. This would provide better arguments for comparing the Options.

The NOR-50 solution is the most economical and efficient solution for PIRATA. This option, however, is also one of the most difficult to implement politically.

The best solution for today is likely Option 3, working with other countries to utilize their capabilities. This seems relatively cost effective but implementing this option would continue to be complicated and uncertain logistically unless another country's ship time could be dedicated to cope with the PIRATA requirements on a regularly scheduled basis.

The option that achieved the highest summary rating by the AOWG was Option 6, a converted ship dedicated to PIRATA and deployment of the drifting arrays. This option achieved the highest average numerical rating, but just barely – the NOR-50 and working with other countries rated only slightly lower. The converted ship solution would be similar to the strategy that has been employed by the United States for TAO maintenance in the Pacific. This solution would be a good long-range target. The difficulties would include locating a suitable surplus vessel and then acquiring the funding needed for conversion and operations, which would probably require long lead-time and high level government commitments.

Annex 1 :

Atlantic Observations Working Group

Terms of Reference

05 February 2003

The Atlantic Observations Working Group (AOWG) is established under the auspices of the PIRATA Resources Board by institutions from Brazil, France, and the United States of America that are interested in cooperating to sustain the ocean observing system for climate in the Atlantic basin. The AOWG is a committee of limited term constituted for the purpose of delivering a special report to the participating institutions.

The purpose of the AOWG report is to define the needs for ocean observations in the Tropical and South Atlantic, options for meeting those needs, and associated ship requirements. The AOWG will consider long-term ocean monitoring requirements for:

- Sustaining the PIRATA system, including possible future evolution and expansion, as well as operational efficiency;
- Deployment and maintenance of other surface and subsurface observational subsystems planned for sustained climate and ocean observation; and
- Supporting international programs for operational oceanography as appropriate.

In evaluating options for meeting the observational requirements, the AOWG should consider possibilities of sustained collaboration among all countries interested in monitoring climate in the Atlantic basin. The options should not be limited to the PIRATA institutions if others may be interested in participation.

The AOWG will conduct business via e-mail and post whenever possible, and will meet together if necessary to complete a draft report prior to the 2004 meeting of the PIRATA Resources Board. The AOWG in coordination with the PIRATA Resources Board will finalize the report for delivery to the sponsoring institutions by July 2004.

Annex 2 :

Atlantic Observations Working Group

Chris Beaverson	NOAA PMEL	USA
Guy Caniaux	MeteoFrance	France
Edmo Campos	University of Sao Paulo	Brazil
Gerard Eldin	CNES	France
Geoffrey Fuller	NOAA NMAO	USA
Mike Johnson	NOAA OGP	USA
Yves Le Traon	CLS	France
Janice Trotte	DHN	Brazil
Elizabeth White	NOAA NMAO	USA

Annex 3:

Cost Estimates

Option 1: Status Quo

The French team estimates their annual cost for ship services is about \$260 K. This value does not include salaries, which are presently not included in the accounting of costs to PIRATA.

The Brazilian team estimates their annual cost is about \$170 K per year. Here again, PIRATA is being charged only the marginal cost for the PIRATA mission expendables.

Annual cost:

France	\$260 K
Brazil	<u>\$170 K</u>
Total	\$430 K

Option 2: U.S. augmentation

The NOAA fleet does not presently have ship time available for PIRATA. Augmentation would therefore require the program to purchase additional ship time from the UNOLS fleet or other charter at full cost. A rate of \$20,000 per day must be estimated. An additional 60 days to match the present French and Brazilian contributions, thus bringing the maintenance schedule to twice per year, would therefore cost the program \$1200 K.

Annual cost:

France	\$260 K
Brazil	\$170 K
USA	<u>\$1200 K</u>
Total	\$1630 K

Option 3: Other country augmentation

Several South American and African countries have well-equipped and staffed oceanographic vessels that they are presently unable to utilize fully because of funding constraints. These vessels could likely be made available for PIRATA's use if the program could pay for mission expendable – fuel, supplies, per diem, etc. The Argentine Navy's oceanographic ship is an example; a rough estimate of marginal costs for collaborative work aboard the Argentine PUERTO DESEADO is \$5,000 per day. Since most of these oceanographic vessels would be in home ports farther from the tropical Atlantic, estimate fourteen extra transit days or a total of 74 days to augment the present French and Brazilian contributions; total \$370 K.

Annual cost:

France	\$260 K
Brazil	\$170 K
Other countries	<u>\$370 K</u>
Total	\$800 K

Option 4: NOR-50

The NOR-50 prospectus, Annex 4, contains capital and operating costs estimates. The prospectus estimates a construction cost of \$5 million. The AOWG conducted a Feasibility and Cost Estimate Check (Annex 4) and concluded that the estimate of \$5 million appeared reasonable for design and construction in a European shipyard using aluminum. For estimating purposes \$100 K was added for post-shakedown modifications giving an estimated cost of \$5.1 million. The annual amortized cost would be \$255 K, or \$1.1 K per day (assuming a work year of 240 days for comparison purposes).

The NOR-50 prospectus estimates operating costs per day to be \$2.5 K. The AOWG cost check estimated operating cost to be \$5.1 K per day, including prorated shipyard maintenance costs. An average of these two estimates, \$3.8, was used for the purposes of this report.

The total daily cost for capital and operating expenses would therefore be \$4.9 K. The NOR-50 is a fast ship so the total PIRATA maintenance time for two visits per year would be reduced from 120 days to about 74 days. Annual cost, therefore equals about \$360 K.

The NOR-50 prospectus assumes expansion of port facilities in northeast Brazil to provide operational support. Estimate that this would require about five people (\$300 K/yr), two vehicles (\$10 K/yr), and rental of warehouse and office space (\$100 K/yr). Total \$410 K/yr.

Annual cost:

Ship	\$360 K
Port	<u>\$410 K</u>
Total	\$770 K

Option 5: All purpose dedicated oceanographic vessel

An all purpose oceanographic vessel would cost about \$35 million to construct. This gives \$1.75 million per year or about \$7.3 K per day to amortize the capital cost. The operating cost would be about \$3.2 K for crew and \$5.0 for expendables. The total daily rate would be \$15.5 K. For 120 days at sea, the estimate is \$1860 K. Port costs could be estimated similar to the NOR-50 option at \$410 K per year.

Annual cost:

Ship	\$1860 K
Port	<u>\$410 K</u>
Total	\$2270 K

Option 6: Conversion for PIRATA maintenance

A 10 to 15 year old ship could be converted to do PIRATA array maintenance only (modifications to permit installation of a crane of A frame aft, installation of a SOLAS rescue boat, no new laboratory spaces, existing accommodations retained) for between \$4 million and \$5 million, depending its condition. An average value of \$4.5 million was used. Such a vessel could carry about 8 buoys with anchors and associated gear. The life of the vessel once converted was assumed to be 10 years, which then established the amortized capital cost at \$1.9 K per day based on 240 operating days per year. Daily operating costs were assumed to be the same as the all-purpose dedicated oceanographic vessel at \$3.2 K for crew and \$5.0 K for expendables. The total daily rate was therefore \$10.1 K. For 120 days at sea, the total ship cost was \$1,210 K.

Port costs could be estimated similar to the NOR-50 option at \$410 K per year.

Annual cost:

Ship	\$1210 K
Port	<u>\$ 410 K</u>
Total	\$1620 K

Annex 4

NOAA Marine and Aviation Operations NOR-50 Feasibility and Cost Estimate Check

1.0 Purpose

In February, 2003, an Atlantic Observations Working Group (AOWG) was established to assess ship time needs for PIRATA and other Tropical and South Atlantic observing system elements. One of the options investigated to fill the ship time needs is the construction of a purpose specific vessel called the NOR-50 (Navire Oceanographique Rapide). This report provides a technical review of the feasibility and cost estimate for the NOR-50.

2.0 Background

The NOR-50 is a 52 meter long trimaran which is proposed by the French as a tool to service and maintain the oceanographic observing systems in the Tropical and South Atlantic, including the PIRATA array (Reference 1). The design goal was a fast vessel which would be relatively inexpensive to operate. A light displacement trimaran hullform was chosen with a novel approach that incorporates two operating displacements. At low speeds, the ship ballasts down until the side hulls provide stability. At its cruise speed of 22 kts the ship deballasts such that the sidehulls are raised above the static waterline. In this high speed mode, stability is provided by two active foils which protrude down from the bottoms of the sidehulls. The active foils have less resistance than the sidehulls allowing reduced powering and fuel requirements for a given speed.

3.0 Design Feasibility

A brief investigation into some of the vessel particulars presented in Ref. 1 such as displacement, endurance, space and cost was performed. The design appears to meet the mission requirements, however a few areas of concern emerged from the review:

- It was not clear if the vessel would be classed.
- The hull material was not specified. Aluminum appears to be necessary for the NOR-50 concept to be feasible.
- The design does not appear to have adequate space and weight allowances for ballasted trimaran operation in the arrival condition.
- It is not clear that this new concept will be able to withstand the rigors of high speed service in the open ocean with regard to structural strength and ship motions.

In order to immerse its outriggers, calculations show that the NOR-50 needs 35 metric tonnes of clean seawater ballast in the departure condition. In the arrival condition, additional clean seawater ballast is needed to compensate for consumed fuel. It is not clear that there is sufficient volume in the hull to satisfy these requirements for ballast water.

4.0 Construction Cost

The construction cost estimate of \$5 million for the NOR-50 contained in Ref 1 appears reasonable for design and construction in a European shipyard using aluminum. An additional \$100 thousand is added to this to allow for post-shakedown modifications to the ship in the first year after delivery.

5.0 Operating and Missions Costs

Cost estimates were prepared for the following three operational profiles and are summarized in Table 1. All costs are prorated based on 240 operating days per year. The annual cost of port facilities is not included in Table 1.

- Maintenance of the existing PIRATA array (10 buoys, two visits per year)
- Maintenance of the expanded PIRATA array (19 buoys, two visits per year)
- Maintenance of the expanded PIRATA array as well as the Argo network

Table 1: Prorated Mission Costs

	Existing PIRATA	Expanded PIRATA	Expanded PIRATA + Argo
	Prorated Costs Based on Days in Use		
Days Operating on Mission	74	148	201
Vessel Construction Cost	\$ 78,412	\$ 156,825	\$ 213,549
Crew Cost (Brazilian)	\$ 305,040	\$ 610,080	\$ 830,746
Maintenance	\$ 73,631	\$ 147,262	\$ 200,526
Fuel Cost	\$ 77,975	\$ 155,949	\$ 221,102
Total Ship Cost/Year	\$ 535,132	\$ 1,070,263	\$ 1,466,123

- Notes: 1. Vessel cost is based on \$5.1 M depreciated over 20 years.
2. Manning costs are based on 4 officers, 6 crew and 4 scientists.

2. Maintenance costs are based on costs for comparably sized US research vessels, but include an annual drydocking, which is considered necessary for a NOR-50 type vessel.
3. Fuel cost is based on \$1.25/gallon.

6.0 References

1. A Tool for Operational Oceanography in the Tropical and South Atlantic
NOR-50 Navire Oceanographique Rapide, July 2001
Jacques Servain, Philippe Marchand, and Raymond Zaharia
2. Ship Time Needs for PIRATA and the Tropical and South Atlantic Observing System
A Special Report by the Atlantic Observations Working Group, Draft, Jan. 24, 2004

Annex 5

NOR-50 Prospectus

By reference:

A Tool for Operational Oceanography in the Tropical and South Atlantic, NOR-50 Navire Oceanographique Rapide, July 2001: Jacques Servain, Philippe Marchand, and Raymond Zaharia.