

INFORMATIONS DETAILLEES SUR LE SO PIRATA :

Contexte scientifique, historique et institutionnel

Description du réseau PIRATA et de ses composantes sous responsabilité du SO PIRATA

Quelques apports scientifiques notables de PIRATA

Collaborations internationales

Objectifs des campagnes annuelles PIRATA-FR

1. Contexte scientifique, historique et institutionnel

La variabilité climatique du couplage océan-atmosphère dans l'Atlantique tropical, de l'échelle saisonnière (voire intra) 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). La variabilité interannuelle de l'Atlantique tropical peut se décomposer principalement en deux modes climatiques : un mode équatorial liée à la dynamique propre des régions équatoriales et un mode méridien (ou inter-hémisphérique), lié essentiellement aux anomalies de température de surface de l'océan (SST) de part et d'autre de la zone intertropicale 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, ce qui perturbe l'identification de ces deux types de variabilité.

En plus de la forte influence climatique du couple océan-atmosphère sur les proches régions continentales de l'Afrique et de l'Amérique du Sud, la partie nord de l'Atlantique tropical est le siège de la genèse des cyclones qui sévissent ensuite sur les régions des Antilles et du sud-est des Etats-Unis. Le rôle des conditions océaniques dans cette zone de cyclogenèse 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 que des connexions avec les oscillations tropicales du Pacifique liées à El Niño-Southern Oscillation (ENSO) et sans doute de l'océan Indien (dipôle).

Les principales questions scientifiques à résoudre sont :

- (i) 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 ?
- (ii) 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 à l'est (en lien avec la mousson de l'Afrique de l'Ouest), et à l'ouest du bassin (en lien avec les pluies sur l'Amérique du Sud et le Nordeste) ?
- (iii) 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 la relation dynamique entre les pôles nord et sud du mode de variabilité inter-hémisphérique de l'Atlantique et entre celui-ci et le mode équatorial ?
- (iv) 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, Oscillation Nord-Atlantique, variabilité en Atlantique sud, dipôle de l'océan Indien...) ?

C'est dans ce contexte que le programme expérimental PIRATA a été mis en place à partir de 1997 dans l'océan Atlantique tropical (*Servain et al., BAMS, 79, 2019-2031, 1998*), par l'installation et la maintenance d'un réseau de bouées fixes de mesures météo-océaniques de type ATLAS, similaires à celles du réseau TAO/TRITON mis en œuvre dans le Pacifique dans les années 1980s. Le programme PIRATA a plus spécifiquement pour objectifs :

- D'améliorer la description de la variabilité saisonnière à interannuelle des couches limites atmosphérique et océanique (étendue à la couche 0-500 m) en 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 intra-saisonnières à interannuelles ;
- De fournir un ensemble de données utilisables pour développer et améliorer les modèles de prévision du système couplé océan-atmosphère ;
- De documenter les interactions entre le climat de l'Atlantique tropical et la variabilité climatique en dehors de cette région ;
- De maintenir (et si possible développer) un réseau de bouées océaniques et de collecter et transmettre un jeu de données océaniques et atmosphériques, en temps réel via satellites, afin de suivre et d'étudier l'océan superficiel et l'atmosphère en Atlantique tropical et d'alimenter en données *in situ* les systèmes opérationnels.

Ce réseau d'observation PIRATA s'est développé dans le cadre du programme international CLIVAR et implique des équipes scientifiques de trois pays : la France (IRD, Météo France, et avec la participation de l'IFREMER, et le soutien du CNRS/INSU et de l'OMP), le Brésil (DHN et INPE) et les USA (NOAA/PMEL et NOAA/AOML). Le Service National d'Observation PIRATA constitue donc la composante française d'un observatoire international. Après une phase « pilote » de 1997 à 2001 (d'où le nom initial du programme : « *Pilot Research moored Array in the Tropical Atlantic* »), les organismes partenaires (IRD, Météo-France, INPE, DHN et NOAA) se sont engagés via un Memorandum Of Understanding -MoU- en 2001 et le programme a été mené dans une phase de consolidation jusqu'à fin 2005. En novembre 2005, les partenaires ont affirmé leur volonté de continuer à soutenir le programme, qui a été évalué très positivement dans son intégralité en 2006 par CLIVAR et OOPC, à partir d'un document rédigé par les membres du Comité Scientifique International (*Bourlès et al.:*

Accomplishments of PIRATA 1997-2005: Status and perspectives, 89pp, avril 2006). Par ailleurs la NOAA s'était engagé dès 2005 sur le financement des bouées jusqu'en 2008, le temps de définir les conditions de la continuation du projet via la finalisation d'un nouveau MoU en 2007-2008 (le précédent MoU s'achevait fin 2005 et avait été prolongé de deux ans afin d'assurer la continuité du programme). Un nouveau MoU a été finalisé par le PIRATA international Scientific Steering Group (PIRATA SSG) et le PIRATA Resources Board (PIRATA PRB) en 2008 et signé en février 2009 lors du meeting annuel PIRATA/Tropical Atlantic Variability. C'est en 2008 que l'intitulé du programme a été modifié en « *Prediction and Research moored Array in the Tropical Atlantic* » (Bourlès et al., *BAMS*, 89(8), 1111-1125, 2008). Suite au meeting annuel PIRATA de 2013, le MoU (arrivant à terme en juillet 2014) a été prolongé par avenant le 25 juillet 2014 pour une durée de 5 ans, soit jusqu'en juillet 2019.

En France, la composante française de l'observatoire PIRATA avait le label ORE (Observatoire de Recherche de l'Environnement) de 2001 à 2009. Fin 2009, PIRATA a été évalué positivement par le CIO-E et obtenu en 2010 le label SOERE (Système d'Observation et d'Expérimentation, sur le long terme, pour la Recherche en Environnement). En 2011, PIRATA a obtenu le label SO-OA (Service d'Observation Océan-Atmosphère), avec les extensions d'une 6^{ème} bouée ATLAS à 6°S-8°E et des mesures en continu des paramètres du CO₂ au site 6S-10°W. La reconduction du SO national PIRATA a été recommandée en août 2015 suite à une nouvelle évaluation de la CSOA et a également reçu en mai 2015 le « label Sud » suite à une évaluation interne par l'IRD. PIRATA constitue depuis 2011 une des composantes du SOERE CTDO2 (Coriolis-Temps Différé Observations Océaniques).

2. Description du réseau PIRATA et de ses composantes sous responsabilité du SO PIRATA.

Les observations océaniques (température et salinité entre la surface et 500m de profondeur) et météorologiques (vent, humidité relative, température de l'air, pluviométrie) des bouées météo-océaniques du réseau PIRATA sont transmises par satellite et sont disponibles en temps quasi réel sur Internet. PIRATA a maintenu de 1997 à 2005 un réseau de 10 bouées de type ATLAS, de 13 bouées d'août 2005 à juin 2006 (3 bouées financées par les brésiliens ont complété le réseau en août 2005 : 8°S-30°W, 14°S-32°W, 19°S-34°W), de 16 bouées de juin 2006 à juin 2007 (2 bouées financées par les USA à 23°W-4°N et 23°W-11°N et une bouée financée par l'Afrique du Sud -BCLME- à 6°S-8°E ont complété le réseau en mai-juin 2006), et de 17 bouées de juin 2007 à juin 2013 (2 bouées financées par les USA à 23°W-20°N et 38°W-20°N, et récupération de la bouée à 6°S-8°E après un an de phase de test). L'extension Sud-Est du réseau à 6°S-8°E a été déployée en juin 2013 pendant la campagne PIRATA FR23, suite au financement d'une 2^{nde} bouée (nécessaire pour son remplacement annuel) par le programme EU PREFACE (effectué en 2014). Elle est désormais systématiquement remplacée tous les ans par la France, qui s'est engagée en 2008 dans le MoU à maintenir les 6 sites situés à l'est de 23°W. Le réseau comporte donc désormais 18 bouées de mesures météo-océaniques. La répartition spatiale des bouées répond à des objectifs scientifiques précis : le réseau initial de 10 bouées a été établi afin de suivre les deux modes de variabilité principaux (équatorial et méridien) de l'Atlantique tropical ; l'extension Sud-Ouest est nécessaire pour suivre l'influence de la Zone de Convergence de l'Atlantique Sud sur le climat du Nordeste brésilien et la Zone de Convergence Inter-Tropicale Sud ; l'extension Nord-Est est justifiée par le suivi et l'étude des cyclones tropicaux, et l'extension Sud-Est par les interactions entre les régions équatoriale et sud-est du bassin, affectée par de fortes variations interannuelles (de type « Bengula Niño ») le long des côtes africaines.

Depuis fin 2015, les systèmes ATLAS ont commencé à être progressivement remplacés par des système T-FLEX. En effet, le PMEL de la NOAA a développé ces dernières années un nouveau système de bouées pour remplacer les ATLAS, le système T-FLEX. Ce système avait été testé avec succès (8 bouées T-FLEX déployées à proximité de bouées ATLAS) dans les océans Indien (dans le cadre de RAMA) et Atlantique (dans le cadre de PIRATA US) de 2011 à 2014 et les T-FLEX vont donc être désormais utilisés et mis en place progressivement pour à terme remplacer tout le parc de bouées ATLAS.

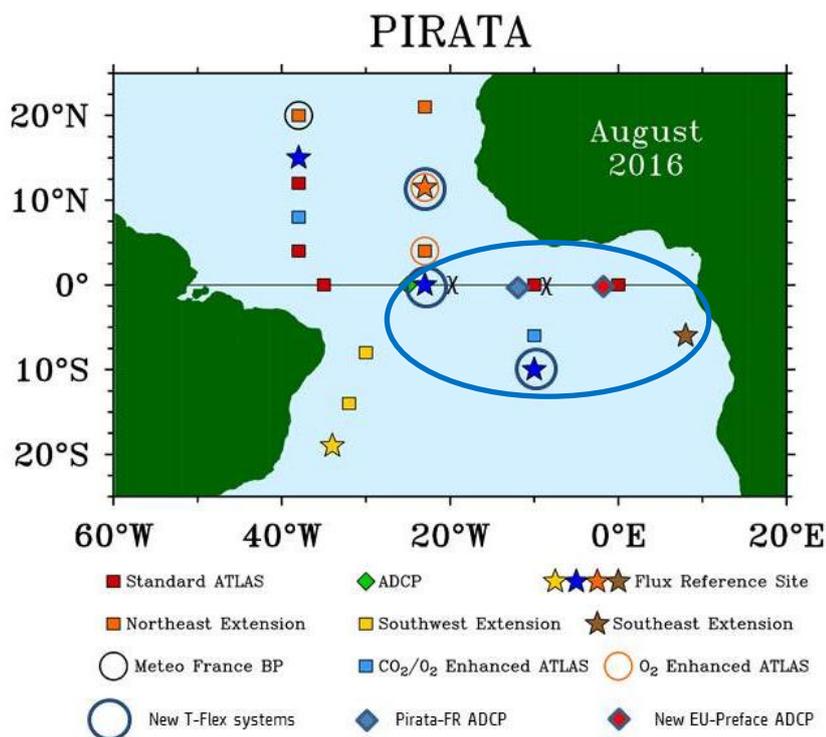
Ce système de bouées T-FLEX permet notamment :

- de mettre en place le long de la ligne de mouillages plus de capteurs océanographiques dont la transmission des données pourra être assurée en temps réel ;
- d'assurer une télétransmission des données plus fiable et avec une résolution temporelle plus importante (toutes les heures via Iridium, au lieu d'Argos pour les systèmes ATLAS) ;
- de doubler des capteurs atmosphériques afin de limiter les pertes d'acquisition éventuelles induites par des défaillances des capteurs ;
- d'ajouter des capteurs de courant systématiquement en sub-surface (de type Aquadopp) ;
- d'augmenter la sécurisation des capteurs pour limiter la conséquence d'actes éventuels de vandalisme ou de chocs ;
- d'assurer une plus grande flexibilité sur le type de capteurs pouvant être ajoutés sur les mouillages (et donc d'être beaucoup moins limité par la technologie des capteurs) ;
- d'assurer une plus grande autonomie des mouillages (actuellement de 12 mois, elle pourrait être étendue à 18 mois) ;
- d'être également déployé aux plus hautes latitudes (donc pouvant résister à des conditions de surface -vent, houle- plus rigoureuses qu'aux latitudes équatoriales) ;

A ce jour (septembre 2016), 3 bouées de type T-FLEX ont déjà été déployées avec succès: une à 23°W-12°N (par les USA fin 2015) et deux à 23°W-0°N et 10°W-10°S (par la France en mars 2016). D'autres systèmes ATLAS seront remplacés par des T-FLEX en 2017 (notamment un à 8°E-6°S lors de la prochaine campagne PIRATA-FR27). Le remplacement des sites « Flux Reference » est privilégié dans un 1^{er} temps.

Réseau du programme PIRATA :

Les bouées météo-océaniques du réseau de base sont représentées par des carrés rouges. Les trois bouées de l'extension Sud-Ouest sont colorées en jaune ; les quatre bouées de l'extension Nord-Est sont colorées en orange ; l'extension Sud-Est est représentée par une étoile marron. Les bouées représentées par des étoiles sont des sites caractérisés « Flux Reference » et équipées de radiomètres ondes-longues et de courantomètre. La bouée entourée d'un cercle noir est équipée d'un baromètre (Météo-France). Les carrés bleus représentent les bouées équipées d'un système de mesure du CO₂ en continu (IRD). Les bouées entourées d'un cercle orange sont équipées de capteurs d'O₂ (à 300m et 500m ; GEOMAR). Trois mouillages courantométriques ADCP, représentés par des losanges, sont également maintenus à l'équateur aux longitudes 23°W, 10°W et 0°E (IRD). Les bouées équipées de systèmes T-FLEX sont entourées d'un cercle bleu. Toutes les bouées sont équipées avec un récepteur OTN et les deux bouées équipées de capteurs de turbulence (chipods) sont indiquées par la lettre χ (voir texte page 7). La partie du réseau sous la responsabilité du SO PIRATA est encerclée.



Ainsi, en août 2016 le réseau PIRATA regroupe 18 bouées météo-océaniques (15 de type ATLAS, 3 de type T-FLEX), trois mouillages courantométriques ADCP (à l'équateur, aux longitudes 23°W, 10°W et 0°E ; ce dernier a été installé en 2016 dans le cadre du programme EU- PREFACE et associé à PIRATA). Il comporte également des stations météorologiques (à Fernando de Noronha et St Pierre St Paul ; Brésil). A noter que le marégraphe et la station météorologique maintenus à São Tomé par l'IRD ne sont plus maintenus (de fait depuis 2010 suite à des défaillances matérielles, et officiellement depuis 2015 suite à la recommandation de la CSOA ; voir-ci-dessous). D'autres capteurs sont progressivement installés sur des bouées, comme explicité ci-dessous.

La France, via le SO PIRATA, a la charge opérationnelle de :

- 6 bouées météo-océaniques (4 ATLAS et 2 T-FLEX à ce jour) aux positions 23°W-0°N, 10°W-0°N, 0°E-0°N, 10°W-6°S, 10°W-10°S et 6°S-8°E;
- un 1^{er} mouillage courantométrique ADCP à 23°W-0°N, à proximité de la bouée ATLAS, faisant partie du réseau PIRATA international depuis 2001;
- un 2nd mouillage courantométrique ADCP à 10°W-0°N, à proximité de la bouée ATLAS, maintenu de 2001 à 2005 en continuité du programme EQUALANT, et depuis 2006, initialement dans le cadre d'EGEE/AMMA et TACE/CLIVAR, maintenu dans le cadre du SO PIRATA ;
- un 3^{ème} mouillage courantométrique ADCP à 0°E-0°N, à proximité de la bouée ATLAS, installé en 2016 lors de la campagne PIRATA FR26 et financé dans le cadre du programme EU-FP7 PREFACE pour PIRATA (et contribuant aussi au programme EU-H2020 AtlantOS) ;
- les capteurs des paramètres du CO₂ (CARIOCA), installés depuis 2006 sur la bouée ATLAS située à 6°S-10°W (PI : Nathalie Lefèvre, IRD/LOCEAN) ; mesures labellisées et donc maintenues dans le cadre du SO ;
- le marégraphe à São Tomé, installé par l'ORSTOM dès 1989 pour les besoins des programmes de recherche sur le climat (TOGA, WOCE, CLIVAR), et relié à une balise Argos pour la transmission de données en temps réel, faisait partie intégrante du réseau PIRATA depuis 1997. Il avait été positionné par GPS pour le programme international GLOSS en décembre 2002. Il est tombé en panne en août 2010 et avait été remplacé en 2012 par un appareil conçu par l'INSU. Cet appareil n'ayant pas fonctionné, au vu des coûts nécessaires pour sa maintenance (missions, matériel etc) et de la recommandation de la CSOA, cet appareil ne sera plus maintenu et définitivement abandonné. Le matériel doit être récupéré par l'INSU en automne 2016.
- De même, une station météorologique avait été installée à São Tomé en octobre 2003, ainsi qu'un capteur de température de surface de la mer à proximité en septembre 2005, dans le cadre initial d'EGEE/AMMA puis intégrés à PIRATA en 2008. Cette station a été abandonnée en août 2010, faute de moyens pour l'entretenir et de retours pertinents sur son intérêt scientifique...

a) Détails sur les bouées météo-océaniques :

Les bouées ATLAS sont toutes équipées des capteurs suivants (version minimale) :

- Mesures océaniques :
 - Capteurs de température à 1, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 180, 300 et 500 m ;
 - Capteurs de salinité à 1, 20, 40 et 120 m ;
 - Capteurs de pression à 300 et 500m.
- Mesures atmosphériques :
 - Température de l'air ;
 - Humidité relative ;
 - Vent (vitesse et direction) ;
 - Radiation ondes courtes ;
 - Pluviométrie.

Les bouées situées à 23°W-0°N et 10°W-10°S (depuis 2005) et 6°S-8°E (depuis 2013) sont également équipées de capteurs supplémentaires de :

- température à 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 180, 300 et 500 m;
- salinité à : 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 et 120 m ;
- radiation ondes longues ;
- pression atmosphérique ;
- courant horizontal (Sontek) à 12m de profondeur.

Elles constituent des bouées de référence pour OceanSITES (<http://www.oceansites.org/OceanSITES/>).

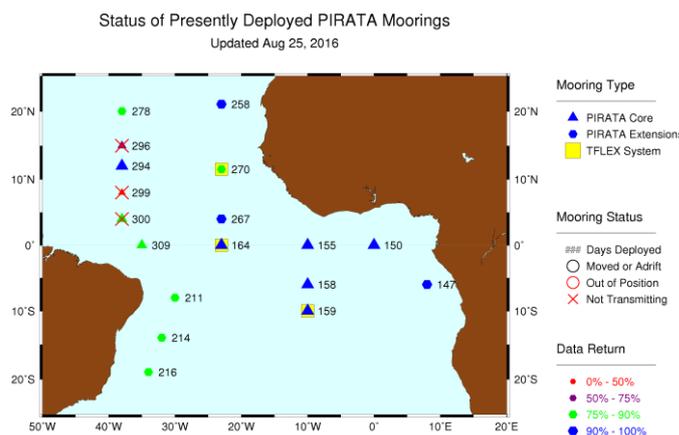
Tous les détails sur les différents capteurs (atmosphériques et océaniques), les procédures de traitement et d'étalonnage, leur archivage et mise à disposition sont fournis dans le paragraphe «2.8 : Analyse et traitement ». Leurs distributions est disponible sur le site : <http://www.pmel.noaa.gov/pirata/availability.html>.

Les nouveaux systèmes T-FLEX sont (pour l'instant) équipés des mêmes capteurs. A partir de 2017, et en partie grâce aux financements obtenus par le programme EU-H2020 AtlantOS, des capteurs supplémentaires (T/C et courantomètres) seront progressivement installés sur des systèmes T-FLEX. Ainsi 2 capteurs T/C seront installés à 5m et 10m sur la bouée 10°W-0°N, et 3 capteurs de courant seront installés à 10m sur les bouées situées à 38°W-8°N, 35°W-0°N et 10°W-0°N. De même, toujours grâce au financement via AtlantOS, un capteur CO2 en continu devrait pouvoir être installé sur la bouée à 8°E-6°S, et des capteurs d'O2 le long de 23°W, avec transmission en temps réel. Enfin, grâce à une proposition (évaluée positivement par le PIRATA SSG) et un financement de la FUNCEME (Fortaleza, Brésil), des capteurs T/C seront ajoutés sur la verticale à 38°W-4°N et 38°W-8°N.

Fonctionnement des bouées :

Certains mouillages équatoriaux situés dans le Golfe de Guinée, plus précisément ceux de 10°W-0° et 0°-0°, ont présenté de fréquentes périodes pendant lesquelles les bouées n'ont pas fonctionné. Ces bouées ont en effet été l'objet fréquent de vandalisme. Elles se trouvent dans des zones de pêche et jouent le rôle de DCP (Dispositifs à Concentration de Poisson). La concentration importante de poissons présente sous ses bouées attire les flottilles de pêche. Cependant, ces actes de vandalisme ont été moins nombreux de 2003 à 2008, et aucune disparition ou destruction de bouées n'ont été constatée de mi-2006 à mi-2008. En avril 2008 et avril 2010, ces problèmes sont réapparus avec la disparition de la bouée située à 0°E-0°N. Mais aucun nouveau problème grave (disparition de bouée) n'a été mentionné depuis 2010 (sauf capteurs endommagés ou détruits sur certains sites). Le taux de récupération des bouées sur l'ensemble du programme (226 opérations de remplacement) est de 221/226 (soit 98%, contre 88% en 2005) ce qui est très satisfaisant, voire excellent pour un réseau de cette ampleur...

La figure ci-dessous montre l'état de fonctionnement actuel des bouées du réseau, à la date du 25 août 2016. Les chiffres indiquent le nombre de jours depuis leur dernier remplacement (lors des campagnes annuelles respectives des USA, du Brésil et de la France). On peut noter que la plupart des bouées ont un taux de données transmises en temps réel supérieur à 90% (notamment celles sous responsabilité du SO PIRATA, remplacées en mars-avril 2016, donc le plus récemment), exceptées celles (au nord-ouest du réseau) sur lesquelles les interventions sont les plus anciennes. Ainsi, trois bouées ne transmettent plus de données en temps réel à ce jour. Les données sont cependant enregistrées et seront récupérées lors des campagnes à venir.



Le tableau ci-dessous résume les périodes de fonctionnement de toutes les bouées sous la responsabilité du SO PIRATA, de septembre 1997 (1^{er} déploiement à 10°W-0°N) jusqu'en août 2016 :

Mouillage PIRATA	Période de fonctionnement
23°W-0°N	01/1999 à 08/2016
10°W -0°N	09/1997 à 11/1997
	02/1999 à 12/2000
	11/2001 à 01/2002
	01/2003 à 03/2004
	06/2005 à 01/2006 *
	06/2006 à 08/2016 ***
10°W-6°S	01/1999 à 09/2005 **
	06/2006 à 08/2016
10°W-10°S	01/1999 à 08/2016
0°W-0°N	01/1998 à 12/1998
	08/2000 à 01/2002
	01/2003 à 04/2004
	06/2005 à 04/2008 ****
	09/2008 à 04/2010 *****
	09/2010 à 08/2016
6°E-8°S	06/2006 à 07/2007
	06/2013 à 08/2016

* Grâce aux contacts établis dans le cadre du programme EGEE avec des partenaires de différents pays d'Afrique de l'ouest (notamment Bénin, Togo, Ghana, Nigeria, Côte d'Ivoire), la bouée de 10°W-0°N partie en dérive en janvier 2006 (suite à du vandalisme lié aux activités de pêche) a pu être suivie et sa partie supérieure récupérée au large du Ghana grâce à des collègues de l'institut des pêches d'Accra et l'intervention de la Marine de ce pays. Les capteurs atmosphériques et l'émetteur ARGOS ont ainsi pu être expédiés aux USA à la NOAA/PMEL.

** La bouée à 10°W-6°S a subi en septembre 2005 des dommages suite à du vandalisme lié aux activités de pêche. De fait, tous les capteurs atmosphériques et l'émetteur ARGOS ont été complètement détériorés, et donc aucun paramètre atmosphérique n'est disponible pendant cet intervalle de temps. Par contre, les mesures océaniques ont pu être récupérées.

*** Une intervention en janvier 2008 du N/O US Swift a permis de remettre des capteurs atmosphériques à 10°W-0.

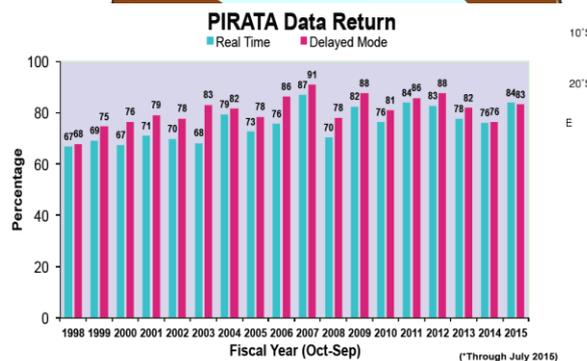
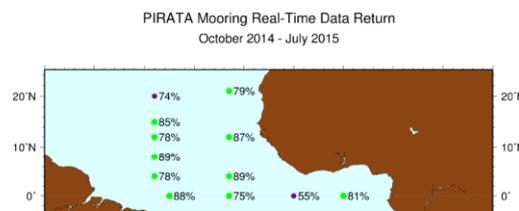
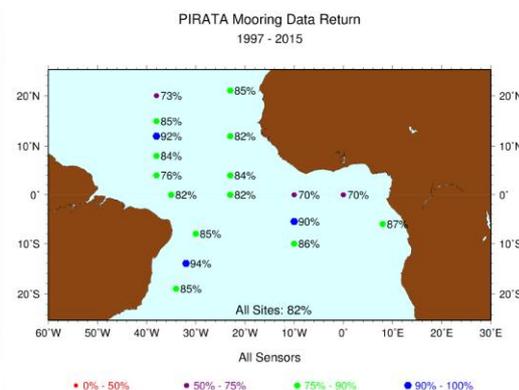
**** La bouée 0-0, après 3 années sans problème, a disparu en avril 2008. Remplacée début septembre 2008 pendant PIRATA-FR18, elle a de nouveau subi des actes de vandalisme 10 jours après et redéployée fin septembre 2008 pendant la même campagne dont le programme a dû être modifié.

***** La bouée 0-0 n'a plus émis de signal à partir du 20 avril 2010. Vandalisée, mais sur place, elle a été récupérée par le R/V Ron Brown pendant un transit une semaine plus tard, le 27 avril 2010. Elle a été redéployée en septembre 2010.

La figure ci-jointe présente le taux de retour des données en temps différé, soit le total des données disponibles et transmises en temps réel et après calibration des capteurs, pour l'ensemble de la période de septembre 1997 à juillet 2015 (dernière information à disposition, datée d'août 2015). Elle fait clairement ressortir l'influence des problèmes rencontrés jusqu'en 2005-2006 dans le Golfe de Guinée à l'équateur, et le fort taux de retour pour les autres sites. Sur l'ensemble du réseau, le taux de retour sur cette période est de 82%, ce qui est très satisfaisant au vu notamment du grand nombre de capteurs installés sur les bouées et équivalent, voire meilleur, de celui obtenu par le réseau TAO dans le Pacifique.

La figure ci-jointe montre le taux de retour en temps réel des bouées PIRATA sur la période d'octobre 2014 à juillet 2015. Le faible taux noté i) à 10°W-0°E est lié à des pêcheurs ayant endommagé des capteurs atmosphériques et la transmission des données de subsurface en temps réel (récupérées ensuite en temps différé), et un problème avec le capteur de vent lors son déploiement en avril 2015 ; ii) à 38°W-20°N et 34°W-19°S est induit par des problèmes de transmission de capteurs de subsurface et de vent ... Le taux global est de 84%, ce qui est très satisfaisant.

De fait, ce taux est supérieur aux taux notés lors des deux années précédentes, comme illustré sur la figure suivante, qui fournit l'évolution de 1998 à 2015 du pourcentage de retour des données en temps réel et différé. Elle indique une augmentation régulière de ce taux jusqu'en 2007, signature d'une meilleure fiabilité de l'ensemble des capteurs et de la diminution du nombre de bouées vandalisées dans des zones « à risque ». Les actes de vandalisme ont été notables en 2008 (dans le Golfe de Guinée à 0°-0° mais aussi à 12°N-23°W, suite à la perte d'un mouillage, et 19°S-34°W, suite à la disparition des capteurs météorologiques). En 2010, la bouée située à 0°-0° a de nouveau été vandalisée en avril mais récupérée quelques jours plus tard avec l'ensemble des capteurs. La bouée située à 8°N-38°W a également été vandalisée et récupérée quelques jours plus tard sans les capteurs de subsurface. En 2013-2014, plusieurs problèmes de capteurs ont été rencontrés, deux bouées sont



parties en dérive dans l'ouest du bassin et les campagnes des USA et du Brésil ont dû être retardées en 2013 et 2014, expliquant en partie la légère baisse du taux de retour de données au cours de ces 2 années. Il est à noter que la situation aux USA explique aussi en grande partie cela, depuis l'arrêt de fonctionnement (en juin 2012) du navire de la NOAA dédié à la maintenance du réseau TAO dans le Pacifique, non remplacé. Depuis cette période, le Ron Brown (habituellement utilisé dans l'Atlantique) a été mis en priorité dans le Pacifique et le délai de réalisation des campagnes PIRATA-US dans l'Atlantique est lié au temps nécessaire pour l'affrètement d'un autre navire.

La figure ci-jointe présente le nombre de fichiers de données PIRATA transmis via la page web du PMEL de 1999 à 2015. Les données reçues directement au PMEL par ARGOS et celles transmises par ARGOS sur le SMT sont prises en compte. Jusqu'en mai 2005, la fréquence d'observations acquises par rapport au nombre théorique maximal de données par bouée restait faible (10 à 20%) principalement en raison de la durée limitée des fenêtres d'émission des données vers les satellites ARGOS. Cependant, depuis mai 2005, le nombre de satellites ARGOS a augmenté et la fenêtre de transmission des bouées ATLAS a été élargie à 16h par jour, ce qui a permis le quadruplement, voire le quintuplement, de la fréquence d'observations acquises et de la transmission de données par ARGOS. Ceci a permis d'accroître également le nombre de données mises à disposition à la communauté scientifique via la page web du programme PIRATA. Le pic observé en 2008 peut s'expliquer par les nombreuses expériences numériques effectuées suite aux années d'observation du programme AMMA (2005-2007). La diminution du nombre de fichiers transmis via la page web à partir de 2009 s'explique par la possibilité de récupérer les fichiers également via ftp depuis 2007, dont le nombre augmente régulièrement et qui est désormais plus de deux fois plus important (non montré, voir texte inséré dans la figure). Depuis 2011, la forte augmentation de données transmises par ftp s'explique par le fait que le JAMSTEC utilise désormais également le site ftp du PMEL pour récupérer les données PIRATA, ce qui est très marqué en 2012, où l'on commence à noter une baisse sensible des données récupérées directement via le web. Par contre, on note une nette augmentation en 2013 du nombre de fichiers transmis directement via la page web, suggérant une importance scientifique croissante de l'utilité du réseau PIRATA. Cette augmentation peut être liée à la mise en place du programme EU PREFACE (lancé en novembre 2013) ayant incité de nombreuses expériences numériques sur le climat en Atlantique et sur le biais observé dans l'Atlantique Sud-Est dans les simulations numériques couplées. Le nombre total de fichiers récupérés par le web et ftp aura été supérieur à 350000 en 2015...

Ainsi, et pour conclure, le taux de retour de données des bouées est globalement excellent (supérieur à 80%) sur l'ensemble du programme (1997-2016) et des sites (18 bouées).

Autres informations :

Depuis 2014, suite à une demande officielle soumise au PIRATA SSG et après une procédure d'évaluation et acceptation en 2013 (voir chapitre « gouvernance »), les bouées ATLAS de PIRATA servent également de plateformes pour :

- Le programme « Ocean Tracking Network » (OTN ; voir <http://oceantrackingnetwork.org/>) de l'université Dalhousie d'Halifax (Canada). Ce programme a pour but le suivi à l'aide de capteurs acoustiques sur l'ensemble des océans du globe de mammifères marins préalablement marqués. Ainsi, les 18 bouées du réseau PIRATA (dont les 6 sous la responsabilité du SO PIRATA) sont depuis 2014 équipées de capteurs autonomes placés à 200m de profondeur et remplacés lors de chaque campagne. Ce programme développé récemment (2010) constitue une contribution au programme GOOS de l'OMM ainsi qu'au programme EU-H2020 AtlantOS.

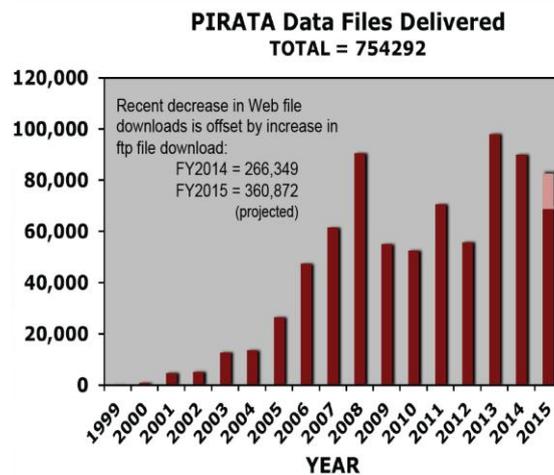
- Un programme du « Ocean Mixing Group » de l'Université de l'état d'Oregon (PI: J.Moum ; voir <http://mixing.coas.oregonstate.edu/>) et soutenu par la National Science Foundation (NSF, USA) pour une durée de 5 ans, consistant à étudier le mélange turbulent au sein des couches de la mélange océanique. Cela repose sur le déploiement de capteurs de turbulence (Chipods). Deux Chipods ont ainsi été installés pendant la campagne PIRATA FR24 par le SO PIRATA aux sites 23°-0°N et 10°-0°N à 20m de profondeur ; ces Chipods ont été relevés en 2015 et 10 chipods (5 à chaque site) ont été de nouveau déployés, entre 20 et 80m de profondeur, en 2015 et 2016. Ils seront ainsi maintenus jusqu'en 2019.

b) Autres composants du réseau PIRATA sous responsabilité du SO PIRATA-France :

Mouillages ADCP :

La France assure également la maintenance, depuis 2001, d'un mouillage courantométrique à 23°W-0°N. Ce mouillage fait partie intégrante du réseau international PIRATA. De même, le programme PIRATA-France assure la maintenance d'un mouillage courantométrique à 10°W-0°N. Ce mouillage a été mis en place en juin 2006 pendant une campagne du METEOR de l'IFM-GEOMAR, associée aux programmes AMMA et PIRATA. Un troisième mouillage courantométrique a été déployé en 2016 à 0°E-0°N pendant la PIRATA FR26, pour répondre aux objectifs scientifiques du projet EU-FP7-ENV PREFACE (continuation de CLIVAR/TACE) dans lequel PIRATA (et donc PIRATA-FR) est engagé, et contribuant aussi au projet H2020 AtlantOS. Ces trois mouillages sont situés à côté des bouées ATLAS du réseau PIRATA.

Pour la maintenance de ces mouillages, des ADCP ont été achetés par l'IRD en 2006 (ainsi que la flottabilité adaptée), 2011 et 2014 (ce dernier sur financement PREFACE pour 0°-0°). Du matériel pour leur maintenance (câbles, largeurs, balises) ont également été acquis en 2016 (financement CNRS-INSU). Ces courantomètres ADCP, tous identiques permettant des mesures avec les mêmes configurations, sont immergés à plus de 300m, permettant ainsi un suivi du Sous-Courant Equatorial. Ils sont remplacés généralement tous les 2 ans. Celui à 10°W-0°N a été remplacé en avril 2014 pendant la campagne PIRATA FR24, puis (suite à un problème de batteries noté en 2014, et afin de vérifier son bon fonctionnement) de nouveau en mars 2015 pendant PIRATA FR25. Le mouillage situé à 23W-0°N est maintenu depuis 2006 par le GEOMAR qui



mène depuis 2006 un programme de mesures et maintient plusieurs mouillages courantométriques le long de la section 23°W, notamment dans le cadre du programme TACE/CLIVAR (voir <http://tace.geomar.de/index.html>), mené en étroite collaboration avec PIRATA. Ce mouillage a été remplacé en mai 2014 et en novembre 2015. Il le sera de nouveau courant novembre 2016. Quant au 3^{ème} mouillage, il aurait dû être déployé lors de la campagne PIRATA FR25, mais les opérations ont échoué (rupture d'une terminaison de câble parafil...). Son déploiement a été réalisé avec succès en 2016.

Les informations relatives au traitement des mesures courantométriques obtenues à partir des ADCP installés sur les mouillages sont fournies dans le paragraphe «2.8 : Analyse et traitement ».

- Mesures CO₂ :

La bouée située à 6°S-10°W comporte depuis 2006 un capteur des paramètres du CO₂ (système CARIOCA), installé dans le cadre du programme CARBOOCEAN (PI : Nathalie Lefevre, IRD/LOCEAN) et composante labellisée du SO en 2011, qui est également remplacé lors de chaque campagne PIRATA (voir : <http://www.locean-ipsl.upmc.fr/CO2tropiques/>).

Une seconde bouée (remplacée lors des campagnes PIRATA-Brésil) est équipée d'un CARIOCA à 8°N-38°W. Les bouées PIRATA équipées d'un capteur CARIOCA ont été choisies afin d'obtenir des séries temporelles dans des régions différentes. La bouée à 6°S-10°W est située dans le SEC tandis que la bouée à 8°N-38°W se trouve dans le Contre-Courant Equatorial Nord (CCEN) et voit passer les eaux amazoniennes lors de la rétroflexion du courant Nord Brésil (NBC) en automne. Sur chaque bouée, les mesures se font à une fréquence horaire afin d'obtenir une série temporelle qui permette d'étudier aussi bien la variabilité haute fréquence que l'évolution saisonnière et à long terme de la fugacité de CO₂ dans l'océan de surface.

Un troisième capteur doit être installé sur la bouée située à 6°S-8°E en 2017 ou 2018, sur un système T-FLEX, grâce au financement et dans le cadre du programme EU H2020 AtlantOS.

Les informations relatives au traitement des mesures obtenues par le capteur CARIOCA sont fournies dans le paragraphe «2.8 : Analyse et traitement ».

- Mesures in situ réalisées lors des campagnes annuelles PIRATA dédiées :

PIRATA, comme mentionné dans le MoU, s'engage également à acquérir et à fournir à la communauté scientifique des mesures in situ hydrologiques (principalement température, salinité, et oxygène dissous, voire autres paramètres si possible) et courantométriques, notamment le long des principales radiales 38°W, 23°W et 10°W où sont positionnées plusieurs bouées ATLAS. Comme explicité plus loin, les mesures hydrologiques (température, salinité) *in situ* de campagnes sont transmises en temps réel vers CORIOLIS vont directement bénéficier à tous les centres d'océanographie opérationnelle dans le monde, et plus particulièrement à Mercator Océan. Lors de chaque campagne océanographique annuelle dédiée à PIRATA, il est donc également procédé à des mesures météo-océaniques :

1. Mesures en continu avec les appareils du navire :

- Mesures du courant (de 0 à 700m environ) avec le(s) courantomètre(s) à effet Doppler VM-ADCP des navires ;
- Mesures de la température et de la salinité de la surface de la mer avec le thermosalinographe des navires ;
- Mesures météorologiques et de navigation à partir des centrales d'acquisition des navires ;
- Si le navire est le THALASSA (comme en 2015 et 2016), les mesures acoustiques (sondeur MK60) et de fluorimétrie sont également acquises, utiles également pour d'autres programmes (PREFACE, AtlantOS).

2. Mesures en station :

- Stations hydrologiques et courantométriques « navire stoppé » avec profils CTD-O₂ (mesures en continu de la pression, de la température, de la conductivité -salinité- et oxygène dissous, entre la surface et 500m ou, le plus généralement, 2000m) et L-ADCP, notamment aux sites des bouées, le long de la radiale 10°W (tous les ½ degrés), et d'autres radiales éventuelles en fonction des campagnes. Pendant ces stations, des échantillons d'eau de mer sont également prélevés à différentes profondeurs (systématiquement les mêmes, essentiellement dans les 100 premiers mètres) pour l'analyse de différents paramètres : la conductivité -salinité- et l'oxygène dissous (nécessaires pour l'étalonnage des mesures de la CTD-O₂), mais aussi les sels nutritifs (depuis 2003), et en certaines profondeurs et positions les paramètres du carbone (A_T, DIC), le ¹³C, l'O₁₈ (de 2004 à 2015) et les pigments (depuis 2011). Ces derniers paramètres sont mesurés afin de répondre au mieux aux objectifs scientifiques de PIRATA (compréhension des processus air-mer, de la couche de mélange et de sub-surface, etc.) ainsi qu'à des objectifs d'autres SO ou programmes associés (programmes EU CARBOOCEAN/CARBOCHANGE, ICOS-Ocean, SOERE Great Gases, l'ex-programme FlamenCO2/PROOF, programme LEFE OCEANS-C13), ce qui « valorise » également les temps de campagnes (pas de temps supplémentaire nécessaire pour ces mesures).

3. Opérations en route :

- Lancers de sondes XBT (acquisition de profils de température entre la surface et 800m) ;
- Déploiements de bouées dérivantes de surface (SVP-BS ; mesure de la température de la salinité à la surface de la mer et transmission quotidienne par satellite des mesures et de la position de la bouée permettant d'en déduire les courants de surface; en collaboration avec le programme Global Ocean Observing System -GOOS- de la NOAA/USA et avec Météo-France dans le cadre de sa contribution au programme EU-H2020 AtlantOS depuis 2015) ;
- Déploiements (et ce depuis 2003) de profileurs autonomes dérivants (de type PROVOR, ARVOR ou APEX pour l'acquisition de profils thermohalins de la surface à 2000m tous les 10 jours), en contribution au programme et au SO ARGO et dans le cadre de CORIOLIS ;
- Prélèvements (également depuis 2003) d'eau de mer à la surface (tous les 2° de latitude ou de longitude environ) pour l'analyse de la salinité (notamment en contribution au SO SSS et dans le cadre de CORIOLIS, et pour la calibration des thermosalinographes), mais aussi des sels nutritifs, des pigments et des paramètres du carbone (DIC/A_T), du ¹³C et de l'O₁₈.

Les campagnes PIRATA constituant aussi des plateformes d'opportunité pour d'autres opérations, il a également été procédé lors des plus récentes campagnes:

- en 2011, à la mise en œuvre de trois gliders (dont un de la DT-INSU), en collaboration avec le GEOMAR qui effectuait une campagne quasi-simultanée, dans le cadre d'une opération conjointe TACE/PIRATA ;

- en 2014, à des lancers de ballons sonde météorologiques et à l'acquisition d'air pour l'analyse des isotopes de l'oxygène (à l'aide d'un appareil PICARRO), ces deux opérations effectuées en contribution au programme national LEFE « PIRATA 2014 : couche limite et convection dans le Golfe de Guinée » ;
- En 2015, au déploiement de deux prototypes « ARVOR NAOS » (avec alternance possible de paramètres mesurés pendant les profils) pour le SO ARGO.
- En 2016 ; à des prélèvements de plancton à l'aide d'un filet BONGO, pour l'exploitation des mesures acoustiques.

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

3. Quelques apports scientifiques notables de PIRATA.

L'ensemble des informations relatives aux opérations menées dans le cadre du SO PIRATA et à son évolution (comptes rendus des campagnes et des meetings internationaux annuels, données, bibliographie ...), ainsi que des journaux de bord rédigés en temps réel pendant les campagnes dans un but de vulgarisation, sont accessibles sur ou via le site : <http://www.brest.ird.fr/pirata/>. Des informations sont aussi fournies dans le document « valorisation des résultats des campagnes océanographiques ».

Cependant, il faut rappeler ici que les données du réseau sont mises à disposition gratuitement à la communauté scientifique internationale, et qu'il est impossible d'établir un bilan exhaustif de leur utilisation et du nombre de publications utilisant ces données. Ces dernières sont en effet utilisées tant pour des aspects opérationnels (météo et océano), pour leur intégration dans les produits et analyses (climatologies), pour la validation de mesures satellitaires et de produits issus de ces mesures... et elles sont également souvent assimilées aux mesures du réseau tropical global (avec celles des océans Pacifique et Indien) sans que PIRATA soit explicitement mentionné ! Les paragraphes ci-dessous sont donc établis au vu des informations reçues ou récupérées par les membres du PIRATA SSG, qui met à jour régulièrement la liste de publications (voir : http://www.aoml.noaa.gov/phod/pne/pdf/PIRATA_references.pdf), et consistent en une réactualisation aussi exhaustive que possible des précédents dossiers.

Aspects opérationnels :

PIRATA est un réseau en grande partie dédié à l'opérationnel, et en ce sens les données mises à disposition en temps quasi-réel via internet sont utilisées dans les modèles océaniques, atmosphériques et couplés. Nous nous limitons ici à en préciser quelques-uns pour mettre en évidence l'apport du programme PIRATA.

i) dans les modèles océaniques :

- Au niveau français, 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/>). Le réseau de bouées ATLAS de PIRATA fournit des moyennes journalières des mesures de températures et de salinité. Ces observations, après leur contrôle en temps réel au centre de données CORIOLIS (<http://www.coriolis.eu.org/>), sont utilisées pour contraindre le système opérationnel de MERCATOR, et ont une influence dans les prévisions opérationnelles. Elles permettent de contraindre la dynamique équatoriale, de fournir un bon contenu thermique tropical (essentiel pour le transport de chaleur), et l'observation des ondes tropicales. Des analyses dédiées à l'impact de l'assimilation des données PIRATA dans le système MERCATOR en ont montré les conséquences très positives, notamment sur les champs de température et de salinité, le contenu thermique, et la structure du Sous Courant Equatorial. Les profils thermiques (CTD et XBT) transmis en temps réel au centre de données CORIOLIS pendant les campagnes annuelles PIRATA (françaises, mais aussi brésiliennes et étatsuniennes) sont également utilisés par MERCATOR.

- Au niveau international, les grands centres d'océanographie opérationnelle s'appuient aussi sur la disponibilité des données PIRATA transmises en temps réel, regroupés à travers le programme GODAE OceanView (GOV, <https://www.godae-oceanview.org/>, Dombrowsky et al., *GODAE Systems in Operation, Oceanography Magazine*, 22 (3), 80-95, 2009), et leur nécessité a été soulignée (Clark et al., *An overview of observing system relevant to GODAE, Oceanography Magazine*, 22 (3), 22-33, 2009), et rappelée en 2013 au symposium GODAE OceanView (Freeland et Legler, *Pers. Comm.*, 2014).

Un autre travail mené par les centres opérationnels ces dernières années est la production de ré-analyses océaniques (appelées analyses rétrospectives). Le projet de ré-analyse GLORYS, mené par MERCATOR Océan a permis la production de 1992 à nos jours de simulations océaniques cohérentes au court du temps, pour lesquels l'apport des données PIRATA dans l'Atlantique tropical est essentiel (Ferry et al., 2012; Parent et al., 2012). Un travail préparatoire de l'ensemble des données *in situ* est nécessaire pour ces ré-analyses. CORIOLIS a ainsi contribué à cet effort en produisant le jeu de données CORA (Cabanes et al., 2012) et utilisé au niveau international. Dans le cadre de CLIVAR-GSOP (voir <http://www.clivar.org/panels-and-working-groups/gso>) et GOV, une intercomparaison de ces réanalyses a été initiée (Balmaseda et al., 2014) qui montre l'apport des mouillages ATLAS à la bonne représentation de la dynamique tropicale, et se concentre aussi sur la comparaison en temps réel des synthèses mensuelles de température océanique, avec un focus sur les océans tropicaux (Y. Xue, *Pers. Comm. to F. Hernandez*, 2014 ; voir http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/multiora_body.html).

Dans le cadre de travaux sur l'évolution du réseau PIRATA, une analyse spécifique menée en 2011 à Mercator Océan (F.Hernandez) a permis de préciser les positions et profondeurs à privilégier pour l'ajout de capteurs TC (de température et conductivité /salinité). Cette analyse a notamment été prise en compte pour l'ajout de certains capteurs à partir de 2011.

A noter également que les données PIRATA (non seulement des bouées ATLAS et courantométriques, mais aussi les mesures *in situ* acquises lors des campagnes le long de sections répétées annuellement) sont aussi beaucoup utilisées pour la validation en temps réel des analyses/prévisions des systèmes opérationnels, ou l'évaluation de la qualité des réanalyses. Les

profils de température et salinité acquis aux mouillages PIRATA, ainsi que les autres profils, sont utilisés de façon identique pour valider plusieurs modèles (Ryan *et al.*, 2014).

ii) dans les modèles atmosphériques :

Les données atmosphériques des bouées ATLAS sont utilisées en temps quasi-réel pour les assimiler dans les modèles de prévision atmosphériques (ex. : par les services de prévision météorologique de Météo-France, du Centre Européen de Prévision à Moyen Terme -ECMWF-, du National Center for Environmental Prediction -NCEP-, du Japan Meteorological Agency -JMA- ou encore de l'UK Met-Office). 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. Une autre étude menée à l'ECMWF a montré l'importance des données de vent *in situ* pour l'amélioration des prévisions à 5 ou 10 jours sur l'Atlantique.

iii) dans les modèles couplés :

Les données PIRATA sont utilisées pour les prévisions saisonnières opérationnelles, via leur assimilation dans les modèles océaniques et atmosphériques qui fournissent les conditions initiales des modèles couplés. Notamment, des systèmes d'assimilation spécifiques ont été implémentés à l'ECMWF pour les prévisions saisonnières multi-modèles, utilisant les modèles couplés d'ECMWF, de l'UK Met-Office et de Météo-France. Aux USA, le NCEP utilise une analyse de l'océan Atlantique en temps réel en support à l'océanographie opérationnelle et à la prévision du climat du système couplé.

Les problèmes d'assimilation de données étant cruciaux à l'équateur et aux tropiques, les données collectées par le réseau PIRATA sont essentielles à la mise au point des techniques d'assimilation dites « fortes » pour les modèles couplés.

Apport du réseau et des campagnes PIRATA pour la compréhension des échanges air-mer, du climat et de la circulation océanique en Atlantique tropical:

i) Variabilité de la SST, dynamique océanique et flux air-mer:

Les mesures PIRATA permettent de mieux comprendre le rôle des flux air-mer versus la dynamique océanique sur la variabilité de la SST. Ainsi, il a pu être montré que les flux air-mer jouent un rôle fondamental sur la variabilité du contenu thermique dans la couche de mélange océanique en dehors de la bande équatoriale, tandis que les processus purement océaniques (advection horizontale et entrainement vertical) sont relativement plus importants dans la bande équatoriale (Cf. : Foltz & McPhaden, 2005, 2008, 2009 ; Yu *et al.*, 2006 ; Grodsky *et al.*, 2009 ; Wade *et al.*, 2011 ; Hummels *et al.*, 2014). Combinées aux mesures de turbulence (coll. GEOMAR) acquises pendant plusieurs campagnes PIRATA (certaines associées à EGEE) et géochimiques, les mesures des bouées PIRATA ont permis une meilleure paramétrisation des coefficients turbulents des flux air-mer, et donc d'améliorer la précision des calculs de flux à partir des bulk formulae, dans l'Atlantique est tropical (Bourras *et al.*, 2009 ; Wade *et al.*, 2010 ; Rhein *et al.*, 2010 ; Hummels *et al.*, 2013). Les processus de petites échelles temporelles (notamment diurnes) commencent à pouvoir être étudiés grâce aux mesures de données sur certaines bouées et associées aux autres paramètres (Wenegrat & McPhaden, 2015).

Des études menées à partir d'expériences numériques, validées par les mesures *in situ* PIRATA, ont permis de montrer l'importance des processus de mélanges verticaux dans le refroidissement saisonnier dans le Golfe de Guinée, induits notamment par le cisaillement vertical au niveau du Sous-Courant Equatorial (Jouanno *et al.*, 2011a, b). Le rôle important du mélange vertical sur les variations aux échelles intra-saisonnières (lors du refroidissement dans le Golfe de Guinée) a également été analysé et mis en évidence (Jouanno *et al.*, 2013).

Les données PIRATA sont utilisées pour comprendre les variations interannuelles observées dans le Golfe de Guinée, leurs liens avec la variabilité observée dans le reste du bassin, et leur impact potentiel sur la mousson africaine en été boréal lors de la mise en place de la langue d'eau froide (Marin *et al.*, 2009 ; Brandt *et al.*, 2011). De fait, les mesures mises en œuvre pendant les années d'observation EGEE/AMMA (2005-2007) et opérations additionnelles réalisées pendant les campagnes annuelles PIRATA depuis 2008 (déploiement de profileurs, bouées dérivantes, etc...) sont d'une grande utilité dans le cadre des études associées à AMMA, en particulier sur les processus en jeu lors de la mise en place de l'upwelling équatorial et de la langue d'eau froide dans le Golfe de Guinée, et sur les liens entre la langue d'eau froide et le déclenchement de la mousson africaine en début d'été boréal (e.g. : Caniaux *et al.*, 2011). L'importance des échelles intra-saisonnières dans ces processus, notamment à des périodes d'environ 15j, a pu être mise en évidence (de Coëtlogon *et al.*, 2010 ; Leduc-Leballeur *et al.*, 2011, 2013 ; Ménadier *et al.*, 2015) ainsi que les processus en jeu lors de la formation de la langue d'eau froide, générant un front thermique ayant un impact sur la basse couche atmosphérique (Giordani *et al.*, 2013, Giordani et Caniaux, 2014).

La compréhension de l'impact des variations de la salinité de surface de la mer (SSS) sur la SST est devenue ces dernières années un sujet majeur, notamment avec l'apport des nouvelles mesures satellitaires dédiées (SMOS, Aquarius). Ainsi, l'impact des précipitations (ITCZ) et des décharges des grands fleuves (l'Atlantique tropical subit les décharges des 2 plus grands fleuves mondiaux, l'Amazone et le Congo), sont l'objet de nombreuses analyses, utilisant ou validées par les données PIRATA (utilisées pour les produits de SSS et leur validation : Hernandez *et al.*, 2014) qui analysent l'impact de la SSS sur la couche de mélange et la SST et les bilans de sel en Atlantique tropical (Da Allada *et al.*, 2013, 2014a, b ; Berger *et al.*, 2014) ainsi que sur les processus à l'échelle du bassin (Tchilibou *et al.*, 2015 ; Hernandez *et al.*, 2016).

ii) Les études climatiques :

Grâce à PIRATA, plusieurs études ont porté sur les interactions entre la variabilité des paramètres couranto-hydrologiques et les échanges de CO₂ entre l'océan et l'atmosphère (Koffi *et al.*, 2010 ; Lefèvre *et al.*, 2012, 2014 ; Parard *et al.*, 2010, 2014), d'une importance primordiale pour le climat. Servain *et al.* (2014) ont mis en évidence l'évolution sur le long terme de la SST et des vents en Atlantique tropical, montrant l'augmentation sensible de la SST, plus nette dans l'Est du bassin, ainsi qu'une augmentation de l'amplitude des vents sur une grande partie du bassin. Une autre étude met en évidence

l'importante potentielle des gradients verticaux de la salinité dans l'ouest du bassin à l'échelle saisonnière et son impact probable sur le contenu thermique et les précipitations sur le Nord-est, suggérant un éventuel potentiel de prédictibilité (Hounso-Gbo et al., 2014, 2016). D'autres analyses montrent l'importance des aérosols en provenance d'Afrique sur les flux radiatifs en Atlantique tropical (Foltz et al., 2013), sur l'influence certaine de la variabilité en Atlantique Sud sur le mode équatorial et les liens entre ce dernier et ENSO (Lübekke et al., 2013, 2014).

iii) Les campagnes PIRATA et la circulation océanique en Atlantique tropical :

Les campagnes dédiées au programme PIRATA permettent l'acquisition de mesures hydrologiques et de courant répétées tous les ans, notamment le long des radiales 35°W, 23°W et 10°W. L'exploitation scientifique de ces mesures permet une meilleure connaissance des forts courants zonaux de surface et de subsurface, dont le Sous-Courant Équatorial (SCE), sa variabilité, et son évolution Ouest-Est. Ainsi, l'atténuation du transport du SCE d'ouest en est a été confirmée ; les recirculations vers l'ouest du SCE à 2°-3° de latitude de part et d'autre de l'équateur ont été clairement mises en évidence, aussi par des paramètres biochimiques (sels nutritifs) ; la variabilité des deux composantes du courant au sein du SCE aux échelles intra-saisonnières à interannuelles a été montrée, et les variations du SCE selon la verticale semblent en grande partie liées à la variabilité du vent (Brandt et al., 2008, 2011 ; Urbano et al., 2008 ; Kolodziejczyk et al., 2009, 2014 ; Jouanno et al., 2011a, 2011b ; Perez et al., 2014 ; Johns et al., 2014 ; Nubi et al., 2016).

Les séries temporelles obtenues grâce au réseau PIRATA (tant hydrologiques que courantométriques) permettent de décrire et d'étudier plus précisément les ondes tropicales d'instabilité observées dans l'Atlantique tropical en général et équatorial en particulier (Bunge et al., 2008 ; Hormann et Brandt, 2009 ; Bunge and Clarke, 2009 ; Athié et al., 2009) ainsi que les processus associés aux jets profonds (Brandt et al., 2012).

Les mesures des campagnes permettent de valider les modèles numériques de circulation océanique (ex. : le MOM au Brésil ; NEMO et ROMS en France...) utilisés pour des études portant sur la variabilité de la circulation équatoriale et tropicale. Ces études ont notamment montré que le SCE exhibe deux maxima de transport (un en été-automne, et un au début du printemps), et que deux mécanismes différents peuvent expliquer ces maxima. En été, le SCE est principalement forcé dans la bande équatoriale et alimenté à l'intérieur du bassin, tandis qu'au printemps, il est forcé à distance via le rotationnel du vent et alimenté à l'ouest du bassin par les courants de bord ouest (Cf. : Giarolla et al. 2005 ; Arhan et al., 2006). Également utilisées pour l'étude du bilan de masse et de chaleur dans la couche de mélange en Atlantique tropical, des simulations NEMO ont permis de mettre en évidence le rôle important des processus océaniques selon la verticale dans l'est du bassin (Cf. : Peter et al., 2006 ; Jouanno et al., 2011a, 2011b) et des ondes forcées par le vent, de type Rossby-gravité mixte, à de courtes périodes de temps (bandes 12-20j, 11j et 25-40j ; Jouanno et al., 2013). Les mesures PIRATA associées à des simulations ROMS sont utilisées pour l'étude de la circulation au nord du Golfe de Guinée, l'upwelling côtier et les tourbillons associés (Djakouré et al., 2014, 2016 ; Herbert et al., 2016).

Pour de plus amples informations sur le fonctionnement et la gouvernance de PIRATA, du SO, de son fonctionnement et d'une synthèse des travaux réalisés, on pourra également se reporter aux cinq documents suivants :

- Bourlès B. : « Document de synthèse relatif à l'ORE PIRATA, rédigé pour évaluation par la CSOA de l'INSU », 44pp, avril 2005, réalisé pour l'évaluation de l'ORE par la CSOA.
- Bourlès B., A.J. Busalacchi, E. Campos, F. Hernandez, R. Lumpkin, M.J. McPhaden, A.D. Moura, P. Nobre, S. Planton, J. Servain and J. Trotte: Accomplishments of PIRATA 1997-2005: Status and perspectives, 89pp, avril 2006, réalisé pour l'évaluation de PIRATA par CLIVAR et OOPC.
- Bourlès B., R. Lumpkin, M.J. McPhaden, F. Hernandez, P. Nobre, E. Campos, L. Yu, S. Planton, A.J. Busalacchi, A.D. Moura, J. Servain, and J. Trotte, The PIRATA program: history, accomplishments and future directions, Bulletin of the American Meteorological Society, 89(8), 1111-1125, doi/10.1175/2008BAMS2462.1, 2008.
- Bourlès, B., Rapport d'évaluation des systèmes d'observation labellisés (Reconduction pour la période 2010-2013), CIEO-INSU, 45pp, 2009, réalisé pour l'évaluation du SO par la CSOA.
- Bourlès, B., Rapport : « bilan et labélisation 2015-2019 d'un Service National d'Observation : PIRATA », INSU/CSOA, 74pp, 2015, réalisé pour l'évaluation du SO par la CSOA.

4. Collaborations internationales.

PIRATA constitue, et a été reconnu comme tel, un observatoire de base pour les programmes globaux GCOS, COOS, CLIVAR et régionaux tels AMMA-2, CLIVAR/Atlantic...

PIRATA constitue une composante essentielle dans le projet Européen FP7 « PREFACE » débuté en novembre 2013 dans le cadre du FP7-ENV, sous la coordination de N/Keenlyside (UIB, Norvège) et de nombreux partenaires d'Allemagne (IFM-GEOMAR, IOW, VTI...) de France (LEGOS, LOCEAN, CNRM/Météo-France, CERFACS...), d'Espagne (Univ. Madrid), des Pays-Bas (Wageningen Univ.) etc... Ce programme « PREFACE », d'une durée de 4 ans (2013-2017), dans lequel les équipes impliquées dans le SO PIRATA-Fr sont impliquées, a été lancé en novembre 2013 et a permis de financer intégralement i) une bouée ATLAS pour l'extension Sud-Est du réseau PIRATA, ii) du matériel pour les mouillages courantométriques, dont le 3^{ème} mouillage ADCP déployé en 2016 à 0°E-0°N, ou autres opérations spécifiques effectuées pendant les campagnes. Ce programme a permis le recrutement de 2 post-docs chercheurs, Gaele Herbert (LEGOS/Brest) et Olga Hernandez (LEGOS/Toulouse), chacune pour une durée de 2 ans. Gaele Herbert notamment contribué à PIRATA via le traitement des données S-ADCP des campagnes, et une valorisation scientifique des mesures in situ dans le Golfe de Guinée.

Ce programme doit être prolongé de 6 mois.

PIRATA est également une des composantes du projet Européen H2020 AtlantOS (« Optimizing and Enhancing the Integrated Atlantic Ocean Observing System ») débuté en avril 2015 dans le cadre du programme EU H2020, pour lequel il constitue (en tant que tel, via son développement) le 5^{ème} volet de la 3^{ème} composante du programme (WP3 : “Enhancement of autonomous observing networks”). Ce projet a permis l’acquisition de plusieurs capteurs (4 capteurs T/C, 6 courantomètres Aquadopp, 1 capteur CO₂, 4 capteurs O₂) qui seront ajoutés progressivement sur les bouées à partir de 2017 sur les nouveaux systèmes T-FLEX et permettant la transmission de leurs données en temps réel.

Ce programme AtlantOS est également le contexte d’une réflexion sur la définition du futur Observatoire en Atlantique « Atlantic Ocean Observing System Blueprint 2019 » dans la perspective notamment de la conférence « OceanObs19 ». PIRATA en sera une des composantes majeures (l’optimisation et le renforcement du réseau PIRATA est l’objet de 2 prochains Deliverables pour PREFACE et AtlantOS). Dans ce cadre, PIRATA est vu comme une plateforme pour renforcer le réseau avec des mesures de paramètres biogéochimiques et des mesures en profondeur (pression, courant, T/C). Cette réflexion sera également menée dans le cadre de l’évaluation internationale de PIRATA prévue en 2017-2018 et le futur MoU engageant les partenaires, qui doit être réactualisé d’ici 2018 pour signature en 2019.

Le programme PIRATA constitue également un contexte très favorable pour le partenariat et les collaborations avec l’Afrique de l’Ouest, dans la mesure où le terrain des opérations du SO PIRATA se situe essentiellement dans le Golfe de Guinée. PIRATA a contribué à initier ou renforcer des collaborations avec plusieurs pays d’Afrique de l’Ouest, et notamment la Côte d’Ivoire, le Sénégal, le Bénin, le Ghana, le Cameroun, le Congo et le Nigeria. Ces collaborations se sont développées dans le cadre du programme EGEE/AMMA (2003-2010), pendant lequel l’IRD/LEGOS a initié, à Cotonou au Bénin, un programme régional en 2007 (PROPAAO ; 2007-2010 suivi d’ALOC-GG : 2011-2014 ; voir <http://www.nodc-benin.org/fr/propao>) et une formation régionale (Master 2 d’Océanographie Physique et Applications) en 2008, établi en co-habilitation entre une Chaire UNESCO de l’Université de Cotonou (voir http://www.cipma.net/spip.php?page=article&id_article=13) et l’Université Paul Sabatier de Toulouse (voir : <http://spe.omp.obs-mip.fr/index.php/masters2/OPA>).

Les données PIRATA sont ainsi directement mises à disposition des partenaires, soit :

- i) via le lien mis en place sur la page internet de PROPAAO (via le NODC-Bénin : <http://www.nodc-benin.org/fr/propao/9-uncategorised/128-hauturier-propao>);
- ii) via les travaux scientifiques menés dans le cadre de PhD ou de stages de M2;
- iii) via demande directe des partenaires aux scientifiques IRD/LEGOS impliqués sur place et en lien avec le SO ;
- iv) via la transmission directe de données aux chercheurs et/ou étudiants d’Afrique de l’Ouest lors des colloques régionaux annuels organisés à Cotonou depuis 2008, ou lors des campagnes à ceux qui sont invités à participer aux campagnes PIRATA annuelles.

De fortes collaborations et des transmissions de données PIRATA (notamment données in situ de campagnes) sont également menées avec des partenaires du Brésil. Il faut aussi noter le développement depuis 2011 de la formation en PhD d’étudiants d’Afrique de l’Ouest (Bénin, Cameroun) en partenariat avec le Brésil (Université de Recife, UFPE/LOFEC), qui accueille et encadre des étudiants africains issus du Master 2 de Cotonou travaillant sur des thématiques liées à PIRATA (ces encadrements impliquent également des partenaires du LOCEAN et du CNRM/Météo-France). Ce dernier point concerne également l’aspect CO₂ du SO PIRATA, cette thématique et ces mesures servant également à des étudiants du Sud lors de leur PhD (coll. N. Lefèvre, IRD/LOCEAN).

5. Objectifs des campagnes annuelles PIRATA-FR

Les tâches principales des campagnes annuelles de PIRATA-FR consistent au remplacement (relève et déploiement) du réseau de mouillages dans le centre et l’est du bassin sous responsabilité du SO. Il s’agit de remplacer les 6 mouillages météo-océaniques (de type ATLAS de type T-FLEX depuis 2016) situés dans la partie Est du bassin (1 mouillage au centre du bassin et 5 mouillages dans la partie Est) et les 3 mouillages courantométriques situés à 23°W-0°N, 10°W-0°N et 0°E-0°N.

D’autres opérations sont prioritaires dans le cadre du MoU, à savoir la réalisation de profils CTD-O₂, notamment le long de la section 10°W le long de laquelle 3 bouées sont localisées (0°N, 6°S et 10°W).

Les mesures en continu effectuées grâce aux appareils des navires sont également requises (météo, SST et SSS via le thermosalinographe, et courants via le S-ADCP).

De plus, ces campagnes annuelles permettent également systématiquement de déployer :

- des profileurs autonomes (fournis par CORIOLIS/SHOM), et ce depuis 2003. Ces profileurs autonomes dérivants (de type PROVOR, ARVOR ou APEX) permettent l’acquisition de profils thermohalins de la surface à 2000m tous les 10 jours (contribution au SO ARGO, au SOERE CTDO2 et à CORIOLIS) ;
- des sondes XBT le long des transits (acquisition de profils de température entre la surface et 800m) ;
- des bouées dérivantes de type SVP-BS (PI : Gilles Reverdin, CNRS/LOCEAN et/ou Pierre Blouch, METEO-FRANCE) pour la mesure de la température, salinité et pression atmosphérique en surface, dont certaines équipées de Surplus (capteurs de la température au plus près de la surface et d’un capteur d’attitude pour en déduire la houle) ;

Les campagnes sont également valorisées en effectuant de nombreux prélèvements de surface pour la mesure de la salinité (contribution au SO SSS, au SOERE CTDO2 et à CORIOLIS, et pour la calibration des thermosalinographes) et des sels nutritifs (depuis 2003), pour les études portant sur les échanges du CO₂ entre l’atmosphère et la surface (A_T, DIC ; PI : N.Lefèvre ; IRD/LOCEAN) et de ceux du Carbone 13 et Oxygène 18 (PI : N.Metzl et C.Pierre ; CNRS/LOCEAN). Depuis 2011, les pigments chlorophylliens sont également analysés. Si le navire utilisé est le THALASSA (comme en 2015 et 2016), des mesures acoustiques (de la surface à 1000m) et de fluorimétrie (en surface) sont également réalisées en continu.

Les stations hydrologiques et courantométriques sont effectuées « navire stoppé » avec profils CTD-O₂ (mesures en continu de la pression, de la température, de la conductivité -salinité- et oxygène dissous, entre la surface et 2000m, les mesures jusqu'à cette profondeur étant utilisées pour la calibration et la validation de mesures des profileurs ARGO) et L-ADCP, notamment aux sites des bouées, le long de la radiale 10°W (tous les ½ degrés), et d'autres radiales éventuelles en fonction du parcours des campagnes. Pendant ces stations, des échantillons d'eau de mer sont également prélevés à différentes profondeurs (systématiquement les mêmes, essentiellement dans les 100 premiers mètres) pour l'analyse de différents paramètres : la conductivité -salinité- et l'oxygène dissous (nécessaires pour l'étalonnage des mesures de la CTD-O₂), mais aussi les sels nutritifs, et en certaines profondeurs et positions les paramètres du carbone (A_T, DIC), le ¹³C, l'O₁₈ (de 2004 à 2015) et les pigments. Ces derniers paramètres sont mesurés afin de répondre au mieux aux objectifs scientifiques de PIRATA (compréhension des processus air-mer, de la couche de mélange et de sub-surface, etc.) ainsi qu'à des objectifs d'autres SO ou programmes associés (programmes EU CARBOCEAN/CARBOCHANGE, AtlantOS, ICOS-Ocean, SOERE Great Gases, l'ex-programme FlamenCO2/PROOF, programme LEFE OCEANS-C13), ce qui « valorise » également les temps de campagnes (pas de temps supplémentaire nécessaire pour ces mesures). Les données d'oxygène dissous peuvent également servir à la caractérisation des variations des zones de minimum d'oxygène en subsurface dans l'Atlantique tropical Est.

A NOTER que les mesures des profils CTD et XBT sont transmises en temps quasi-réel (envoi quotidien) à CORIOLIS.

Enfin, les campagnes PIRATA-FR servent occasionnellement de plateforme pour des opérations d'opportunité. Ainsi :

- en 2011, trois gliders (dont un de la DT-INSU) ont été mis en œuvre, en collaboration avec le GEOMAR qui effectuait une campagne quasi-simultanée, dans le cadre d'une opération conjointe TACE/PIRATA ;
- en 2014, des lancers de ballons sonde météorologiques et de l'acquisition d'air pour l'analyse des isotopes de l'oxygène (à l'aide d'un appareil PICARRO) ont été réalisés, ces deux opérations ayant été effectuées en contribution au programme national LEFE « PIRATA 2014 : couche limite et convection dans le Golfe de Guinée » ;
- en 2014, récupération de 2 mouillages profonds équipés d'hydrophone à 800m (leg 1) pour des collègues de la NOAA/PMEL (PI : R.Dziak) ;
- en 2015 et 2016 des mesures acoustiques et de fluorimétrie en continu ont été acquises, avec le sondeur MK60 et le fluorimètre du N/O THALASSA. Ces mesures seront notamment utiles pour des analyses envisagées dans le cadre de PREFACE et contribuent également à AtlantOS. En 2016, des prélèvements de plancton (à l'aide d'un filet BONGO) ont également été effectués à proximité des mouillages pour valider/valoriser les mesures acoustiques.

Le réseau PIRATA (voir le schéma du réseau actuel dans le chapitre 2) est également régulièrement renforcé par l'augmentation du nombre de capteurs, soit directement dans le cadre de PIRATA (sur financement propre des partenaires) soit suite à des propositions extérieures (propositions évaluées par le PIRATA SSG et avalisées par le PRB)... Ainsi :

- en 2011, 6 capteurs supplémentaires de salinité ont pu être ajoutés (acquis grâce à un financement INSU en 2010) le long du câble des bouées ATLAS situées à 10°S-10°W et 6°S-10°W, afin de disposer de mesures de salinité/température avec une meilleure résolution verticale entre la surface et 100m de profondeur ; ainsi en ces deux bouées des capteurs sont déployés aux profondeurs suivantes : 0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120m.
- en 2012, un nouveau LADCP, identique à celui de 23°W, a été déployé à 300m sur le mouillage courantométrique à 10°W-0°N ;
- en 2013, suite au financement d'une 2nde bouée par PREFACE, la bouée de l'extension Sud-Est a été mise en place, désormais partie intégrante du réseau. Cette bouée comporte l'ensemble des capteurs nécessaires pour le programme OceanSITES (dont un mesurant le courant horizontal à 12m de profondeur).
- En 2014, les bouées situées à 23°W-0°N et 10°W-0°N ont été équipées d'un capteur de turbulence (Chipods) dans le cadre d'un projet annexe proposé par Jim Moum (Université d'Oregon, USA). Ce type de capteur mesure à haute fréquence la température et les gradients verticaux de température et fournit des informations précieuses sur les processus turbulents. Depuis 2015, grâce à un soutien de la NSF (USA), 5 capteurs de ce type seront maintenus à différentes profondeurs (entre 0 et 80m) sur ces 2 bouées.
- En 2014, des capteurs OTN ont été installés (à 200m) sur toutes les bouées pour le suivi de mammifères marins préalablement bagués, pour répondre à la requête de Frederick Woriskey (Université d'Halifax, Canada). Ces capteurs seront aussi maintenus (et donc remplacés annuellement) dans les années à venir.
- Depuis 2015, les systèmes ATLAS commencent à être remplacés par des systèmes T-FLEX (voir chapitre 2).

Pour illustrer le nombre de mesures et d'opérations généralement effectuées pendant une campagne, la liste ci-dessous se réfère à la campagne PIRATA-FR26 (les rapports des campagnes détaillés peuvent être fournis, et sont disponibles sur : <http://www.brest.ird.fr/pirata/>).

- Remplacement de l'ensemble des 6 mouillages météo-océaniques dans le Golfe de Guinée du réseau historique ainsi que le capteur CO₂ placé sur la bouée ATLAS à 10°W-6°S depuis 2006 ; 2 systèmes ATLAS ont été remplacés par des systèmes T-FLEX à 23°W-0°N et 10°W-10°S.
- Déploiement d'un nouveau mouillage courantométrique ADCP à 0°E-0°N ; le remplacement des mouillages ADCP à 10°W-0°N et à 23°W-0°N a été assuré pendant FR25 et par le GEOMAR fin 2015 respectivement ;
- Déploiement de 15 bouées dérivantes de type SVP-B (pour Météo-France, contribution à AtlantOS) ;
- Déploiement de 6 profileurs de type ARVOR (dont 3 à double programmation) ;
- 53 profils CTDO₂-LADCP de la surface à 2000m ont été réalisés, notamment le long de radiales à 10°W (entre 10°S et 1°30'N), 0°W et 6°S, avec prélèvements « bouteille » pour l'analyse de la salinité, oxygène dissous, sels nutritifs, paramètres du CO₂ et pigments) ; l'analyse de la salinité, des sels nutritifs et de l'oxygène dissous a été réalisée à bord ; les échantillons pour le CO₂ et les pigments sont conditionnés pour analyse ultérieure au laboratoire ;
- 77 profils XBT (de la surface à 800m environ) ont été réalisés, notamment pendant les transits ;

- Acquisition en continu tout le long de la campagne des mesures du Thermosalinographe, des S-ADCP, des paramètres météorologiques, de la fluorométrie de surface et acoustiques (EK60 ; capteurs verticaux et horizontal) ;
- Prise de 64 échantillons de surface à partir de la prise d'eau du TSgraph pour l'analyse de la salinité, sels nutritifs, paramètres du CO₂ et des pigments chlorophylliens;
- remplacement de 5 capteurs de turbulence océaniques (Chipods) de 20m à 81m de profondeur en 2 mouillages ATLAS (23°W-0°N et 10°W-0°N), pour des collègues de l'université d'Oregon (USA) ;
- remplacement de 6 capteurs acoustiques OTN (1 sur chaque bouée ATLAS à 200m de profondeur) pour le suivi de mammifères marqués, pour des collègues de l'université d'Halifax (Canada) ;
- Réalisation de 11 profils (0-200m) pour prélèvement de plancton (filet Bongo). Echantillons conditionnés à bord et analysés ultérieurement en laboratoire.

A noter que toutes les campagnes PIRATA effectuées de 2005 à 2014 ont permis de former des collègues et étudiants des pays africains partenaires. Si des escales (interdites depuis 2015, principalement en raison d'éventuels actes de piraterie, celle-ci ayant induit depuis 2013 l'interdiction de travaux dans toute la partie nord-est du Golfe de Guinée) sont de nouveau autorisées en Afrique de l'Ouest d'ici 2018, des escales à Abidjan seront de nouveau programmées notamment pour faciliter la participation de jeunes chercheurs et étudiants d'Afrique de l'Ouest.