COMITE INTER-ORGANISMES ENVIRONNEMENT

Dossier à remplir pour l'évaluation des systèmes d'observation labellisés (Reconduction pour la période 2010-2013)

Nom du service : SSS (*Sea Surface Salinity*)

Nom du responsable : Dr. Thierry Delcroix, DR1/IRD

- Cf. CV Annexe F

Laboratoire : LEGOS / Toulouse

OSU ou Etablissement de rattachement : OMP / Toulouse

Autres laboratoires intervenant dans le fonctionnement du service (pour chaque laboratoire concerné ou équipe impliquée, indiquer en deux lignes maximum, le mode d'intervention, hors exploitation scientifique):

- **US191 IMAGO/IRD: Installation et suivi technique des navires marchands. Validation des données. Développement logiciel : acquisition, validation.**
- **Centre IRD de Nouméa : Support scientifique et administratif lié aux observations réalisées sur les navires marchands du Pacifique tropical.**
- **LOCEAN / Paris : Support scientifique et administratif lié aux observations réalisées sur les navires marchands de l'Atlantique Nord et Tropical.**
- **CSIRO / Hobart : Support scientifique, technique et administratif lié aux observations réalisées sur l'Astrolabe en Antarctique**
- **CSIRO / Perth: Interventions techniques sur le navire Lavender dans l'Indien**

I. Motivations scientifiques, contexte national et international

II. Description du système d'observation

II.1. Plateformes et instruments utilisés

II.2. Echantillonnage spatio-temporel

II.3. Précision attendue

II.4. Traitement des données

II.4.1. Traitement des données temps réel

II.4.2. Traitement des données temps différé

II.4.3. Archivage et mise à disposition. Produits dérivés.

II.5. Système de management de la qualité

II.6. Gouvernance

II.7 Exploitation scientifique des données

II.8 Ouverture et insertion du SO

III. Perspectives

III.1. Données temps réel

III.1.1. Amélioration technique

III.1.2. Utilisation scientifique

III.2. Données temps différé

III.2.1. Amélioration technique

III.2.2. Utilisation scientifique

III.3. Extension thématique

Annexe A : Moyens financiers et humains affectés au SO

Annexe B : Publications de rang A répertoriées ayant utilisé les données de l'ORE-SSS en 2005-2009 (directement ou indirectement)

Annexe C : Description du système d'observation de fCO_2, actuellement en place sur deux navires de l'ORE-SSS

Annexe D : Références utilisées dans le texte

Annexe E. Figures types illustrant la variabilité temporelle et spatiale des signaux analysés.

Annexe F. CV du responsable du SO

I. Motivations scientifiques, contexte national et international

La salinité de surface[1] des océans est mesurée par les océanographes depuis plus d'un siècle. Sa variabilité spatiale et temporelle fut, à l'origine, analysée pour tenter d'améliorer les pêches, puis comme traceur 'passif' permettant d'identifier des masses d'eaux. Ce n'est que vers le milieu du XX siècle que les océanographes ont utilisé la SSS afin d'en déduire des informations qualitatives sur la **variabilité du climat et du cycle de l'eau** (cf. Wust, 1964 ; Smed, 1943). Faisant suite à de nombreuses études et publications, la SSS est aujourd'hui une des variables climatiques *essentielles*[2] dont l'observation pérenne est recommandée par les grands programmes internationaux placés sous l'égide du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) de l'Organisation Météorologique Mondiale (http://www.wmo.ch), tels que CLIVAR (http://www.clivar.org) et GOOS (http://www.ioc-goos.org). L'importance de la SSS pour la compréhension de la variabilité du climat et du cycle de l'eau, en particulier dans le contexte actuel du réchauffement global, a de surcroît récemment motivé le développement de programmes ambitieux de mesures de la SSS depuis l'espace, via les satellites SMOS (Kerr et al., 2001) et Aquarius (Koblinski et al., 2003) des agences spatiales européennes (ESA) et américaines (NASA).

Aux cours des 10 à 30 dernières années, s'appuyant sur la collecte de mesures in situ de SSS réalisées pour la plupart à partir de bateaux marchands, les océanographes français ont contribué de manière significative à renforcer l'intérêt scientifique de la communauté internationale pour cette variable. Sans être exhaustif, l'analyse d'observations in situ de la SSS s'est avérée extrêmement précieuse pour : a) décrire et mieux comprendre la variabilité climatique des basses (Donguy et Hénin, 1976 ; Delcroix et Hénin, 1991), moyennes (Frankignoul et al. 1998) et hautes (Reverdin et al., 1994) latitudes, aux échelles saisonnières à décennales, b) tester des processus physiques, notamment ceux associés aux mécanismes du phénomène El Niño (Delcroix et Picaut, 1998), c) évaluer et donc améliorer la qualité des sorties de modèles océaniques (Vialard et al., 2002), d) parfaire le réalisme de la couche de mélange océanique modélisée, via des techniques novatrices d'assimilation (Durand et al., 2002), e) quantifier le rôle de la salinité sur la variabilité du niveau de la mer (Delcroix et Gautier, 1987 ; Maes, 1998), f) estimer le flux de CO_2 à l'interface air-mer dans des régions d'upwelling (Loukos et al., 2000), et g) étalonner des estimations de paléo salinité et ainsi élargir le spectre temporel de nos connaissances de la variabilité du climat (Lebec et al., 2000).

La reconnaissance nationale et internationale du besoin de mesures de SSS, ainsi que le rôle et l'avancée relative de la communauté française quant à la collecte et l'interprétation physique de ces mesures, ont donc logiquement motivé la création d'un Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) dédié à la SSS, labellisé par le Ministère de la Recherche en 2003 (cf. Roux et al., 2003 ; PIGB, 2005). L'ORE / Service d'Observation (SO) a depuis lors évolué, notamment depuis 4 ans, avec le souci d'améliorer la communication entre les scientifiques français issus de différents instituts (IRD, CNRS, CNAP, IFREMER) impliqués dans la collecte et/ou l'analyse de mesures SSS, la mutualisation de nombreux outils et techniques de mesures, l'uniformisation progressive des méthodes d'acquisition et du contrôle qualité, la mise en ligne des données récoltées et leur transfert aux centres d'océanographie opérationnelle par l'intermédiaire de CORIOLIS, ainsi que la réalisation de travaux scientifiques.

Dans la suite de ce rapport, nous présentons l'état actuel du système d'observation (chapitre II), puis nos perspectives et idées d'évolution pour les années 2010-2013 (chapitre

[1] Nous la noterons 'SSS' dans la suite de ce rapport, pour *Sea Surface Salinity*.
[2] Voir la table 5 dans : http://www.wmo.int/pages/prog/gcos/Publications/gcos-129.pdf

3). Ce rapport est complété par des annexes (A-F) relatives aux moyens financiers, aux ressources humaines, aux publications scientifiques et techniques pour la période 2005-2009, etc…. De nombreux éléments d'information de ce rapport sont issus du site web de l'ORE-SSS (http://www.legos.obs-mip.fr/fr/observations/sss/), y compris des pages web dont l'accès est restreint suite à la demande de certaines compagnies maritimes (pour des raisons de sécurité) ou parce qu'elles incluent des informations internes sans intérêt national ou international. Le login et le mot de passe de ces pages à accès restreint, potentiellement utiles pour les besoins de l'évaluation sont 'sos2009' et 'Si1otfv'[3] : merci de les oublier rapidement !

II. Description du système d'observation

II.1. Plateformes et instruments utilisés

Les mesures de SSS sont obtenues à partir de thermosalinographe (TSG) de type SeaBird SBE21, en général couplé à un piège à bulles. L'ensemble est installé en salle machine de navires de commerces, le plus près possible de la prise d'eau de mer utilisée pour le circuit de refroidissement du moteur[4]. La cellule de conductivité et la thermistance du TSG fournissent des mesures de conductivité et de température. Le TSG est relié via un câble de liaison à un PC portable situé, en général de 30 à 40 m plus haut, à la passerelle du navire. Ce PC contient un programme spécifique de traitement, développé sous Labview (Varillon, 2009 / US IMAGO)[5] qui, entre autre, calcule la valeur de salinité à partir de ces deux paramètres. Simultanément, un GPS, dont l'antenne est fixée dans la mâture, donne l'heure TU et la position géographique du navire (cf. Figure 1)[6]. Les données de temps, position, température et salinité sont enregistrées sur le PC à des intervalles réguliers, paramétrables. Une partie des données ainsi enregistrées est transmise en temps réel à des intervalles réguliers (aussi paramétrables) via le système Inmarsat (ou Iridium) dont l'antenne émettrice se trouve également dans la mâture.

A noter que les conclusions de la récente conférence internationale Oceanobs09 (http://www.oceanobs09.net/), visant à évaluer globalement la pertinence et le besoin d'observations océaniques pour les 10 prochaines années, ont clairement recommandé la maintenance et le renforcement des mesures in situ de SSS, notamment à partir de TSG installés sur bateaux marchands (Voir par exemple les *Community White Papers* de : Lagerloef et al. ; Smith et al., etc..).

[3] 'Si1otfv' : noter que le '1' est le chiffre UN et non la lettre 'l'.

[4] Pour autant, chaque installation est unique et doit se faire en coordination étroite avec les chefs mécaniciens des compagnies maritimes. A noter que la profondeur échantillonnée, entre 5 et 10 m, est variable selon les navires. Compte tenu du brassage vertical engendré par le navire, ce que nous appelons SSS est en réalité plutôt représentatif de la moyenne de la salinité sur la couche 0-10 m. La comparaison avec les futures mesures satellitaires de la SSS devra donc se faire avec précaution (cf. Hénocq et al., 2009).

[5] Le manuel d'utilisation est en accès restreint sur le site web de l'ORE-SSS : onglets '*publications*', puis '*reports*', chapitre 'Documents Techniques' (SODA)

[6] Un manuel d'installation et de maintenance du TSG est en accès libre sur le site web de l'ORE-SSS : onglets '*publications*', puis '*other publication*', chapitre *Technical Documents.*

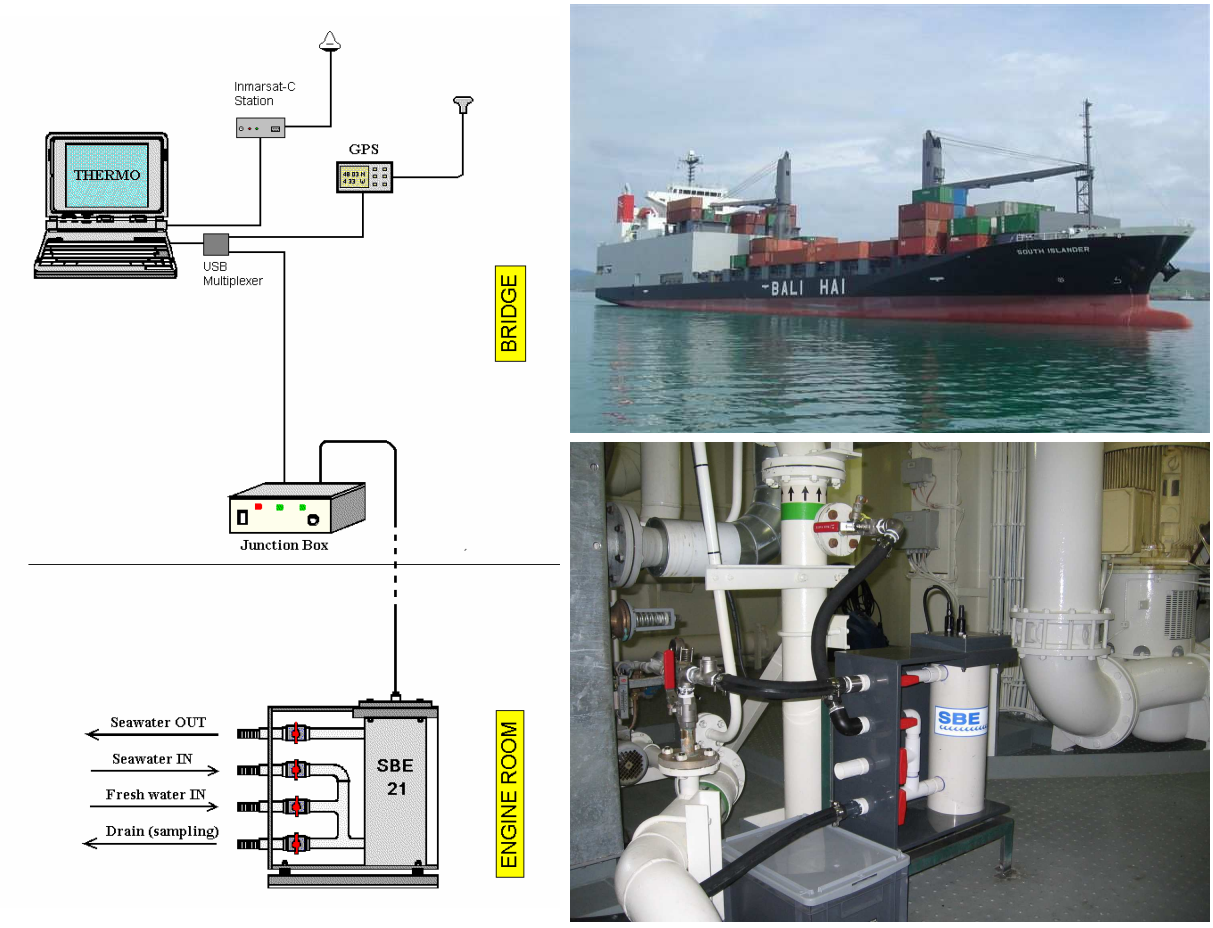

Figure 1. (A gauche) Schéma de principe des instruments de mesures utilisés pour la collecte des observations de SSS. (En haut à droite) Un exemple de 'plateforme' de mesures dans le Pacifique tropical : le porte containeur *South Islander* dans la grande baie de Nouméa. (En bas à droite) Photographie du TSG installé en salle machine du navire *Nokwanda* dans l'Atlantique Nord.

II.2. Echantillonnage spatio-temporel.

Le choix des routes maritimes sélectionnées repose sur des critères scientifiques et doit également tenir compte de la possibilité d'intervention lors des escales. La répartition spatiale des routes maritimes échantillonnées en 2005-2009, et prévues pour 2010-2013, est présentée sur la Figure 2. Elle correspond aux thématiques scientifiques liées aux études de la variabilité climatique à 'grande' échelle spatiale, pour des échelles temporelles saisonnière à décennale ainsi que des tendances climatiques, pour les régions tropicales des océans Pacifique, Atlantique et Indien, pour l'Atlantique Nord et l'Océan Austral. La liste précise des navires actifs en 2005-2009 et leurs principales caractéristiques sont données sur notre site web[7].

[7] Onglets '*Monitoring System*', puis '*Presently selected ships*' ou '*Formerly Selected Ships*'

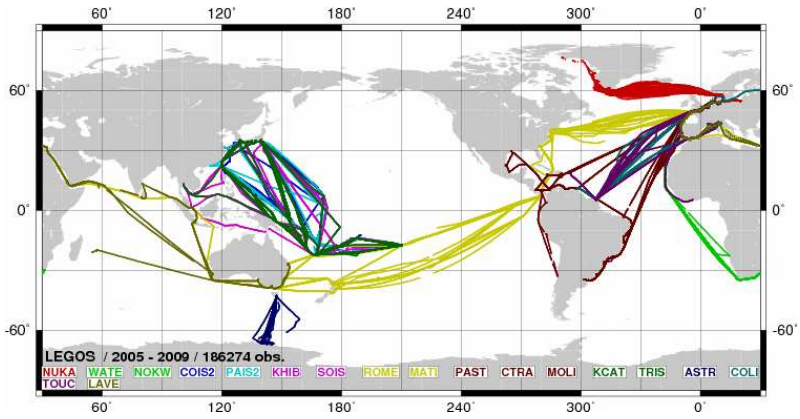

Figure 2. Distribution spatiale des observations de SSS réalisées entre janvier 2005 et août 2009. Chaque couleur représente un navire particulier (ex : **NOKW** : Nokwanda).

En moyenne, les routes maritimes sont parcourues tous les 1 à 3 mois pour chaque navire. La fréquence d'acquisition des mesures le long des routes est de 15 secondes. Des valeurs médianes sur 5 minutes sont ensuite calculées par le programme interne afin de filtrer le bruit instrumental (cf. Hénin et Grelet, 1996). Les valeurs médianes sont stockées sur PC puis récupérées lors des escales. Elles correspondent à une résolution spatiale d'environ 3 km (pour un navire filant 20 noeuds), bien en deçà des échelles spatiales étudiées. Les valeurs médianes les plus proches des heures rondes sont émises en temps quasi réel, pour la télésurveillance des instruments et les besoins de l'océanographie opérationnelle. L'émission d'une valeur médiane calculée sur 5 minutes toutes les heures s'est avérée suffisante pour diagnostiquer une anomalie instrumentale. Le besoin éventuel d'augmenter cette fréquence d'émission temps réel, pour l'océanographie opérationnelle et/ou pour l'étalonnage et la validation des futures mesures satellitaires reste à définir[8].

II.3. Précision attendue.

Compte tenu des caractéristiques instrumentales du TSG SBE21 (cf. http://www.seabird.com/), la précision théorique sur la salinité est de l'ordre de ±0,01 pss[9]. Cette précision instrumentale nécessite l'étalonnage régulier des TSG, celui ci se faisant au SHOM (Brest) dans le cadre de CORIOLIS ou chez SeaBird (Seattle, USA). L'analyse de l'historique des dérives instrumentales (et du budget disponible) nous a conduit à effectuer cet étalonnage tous les ans.

La précision théorique est cependant susceptible de se dégrader rapidement en raison de l'apparition de salissure biologique (*biofouling*) sur les cellules, en particulier dans les ports. Des échantillons d'eau de mer sont donc prélevés en utilisant des flacons standard de type WOCE, depuis 2005, au niveau du TSG, à intervalles réguliers (1 fois par jour en moyenne) afin d'estimer la dérive des capteurs liée aux salissures. Ces échantillons sont pris par les marins du bord selon un protocole normé rappelé lors des visites à bord et affiché en permanence en salle machine[10]. Les échantillons sont récupérés lors des escales des navires, puis analysés sur des salinomètres de type Portasal (http://www.oceanscientific.com/) en

[8] Noter que l'échantillonnage spatio-temporel du navire ravitailleur l'Astrolabe dans l'Antarctique est quelque peu différent de celui des navires marchands. Pour l'Astrolabe, les mesures n'ont lieu qu'en été Austral (6 à 10 sections par an), un observateur est à bord ce qui permet de parfaire la prise d'échantillons (3 rinçages assurés), les mesures sont effectuées toutes les 10 sec, les valeurs moyennes sont calculées sur 1 min, et la transmission temps réel se fait vers le LEGOS via Iridium.

[9] Rappelons que la salinité s'exprime sans unité, *pss* désigne ici l'usage de la *Practical Salinity Scale* définie par l'Unesco en 1978. Une nouvelle définition de la salinité a été récemment proposée par le *SCOR/IPASO working group 127).*

[10] Ces affiches sont disponibles sur les pages web à accès restreint du site web de l'ORE-SSS.

laboratoire à l'aide de solutions étalons (IAPSO Standard SeaWater). La prise d'échantillons au niveau du TSG requiert la participation volontaire (et rémunérée) des marins du bord en sus de leur activité principale. Certains voyages peuvent ainsi, hélas, ne comporter aucun prélèvement et/ou être entachés d'erreur (position, temps, numérotation des flacons). A noter que le *biofouling* des cellules nécessite le nettoyage systématique des cellules du TSG (à l'aide d'une solution au Triton) par le personnel lors de chaque escale. L'utilisation d'*antifouling* sur les cellules du TSG, adoptée au début de l'ORE, a été abandonnée car peu probant et de faible efficacité dans le temps. En résumé, la précision attendue en SSS, pour un TSG bien entretenu, étalonné à intervalle régulier, pour lequel nous disposons d'échantillons d'eau de mer journalier, est de l'ordre de 0,02. L'amplitude des signaux climatiques analysés est de 10 à 20 fois supérieure à cette précision (cf. Annexe E).

II.4. Traitement des données.

Nous présentons tour à tour le traitement des données temps réel et les outils de contrôle à distance, le traitement des données temps différé, puis l'archivage et la mise à disposition des données[11]. Un schéma des traitements effectués est présenté Figure 3.

II.4.1. *Traitement des données temps réel*

Pour mémoire, ces données sont essentiellement exploitées par l'océanographie opérationnelle (e.g., Coriolis/Mercator) et utilisées pour la télésurveillance des instruments. Les valeurs médianes sur 5 minutes, échantillonnées toutes les heures, sont envoyées vers une adresse de messagerie électronique dédiée au LEGOS à Toulouse. Le message reçu déclenche automatiquement un logiciel basé sur des modules écrits en langage Perl. Environ 25 emails sont reçus par jour. Le logiciel décode la télémesure contenue dans le message et extrait les données brutes. Les valeurs physiques sont calculées à partir des données brutes, puis la vitesse du navire (utilisée dans le contrôle qualité) est calculée.

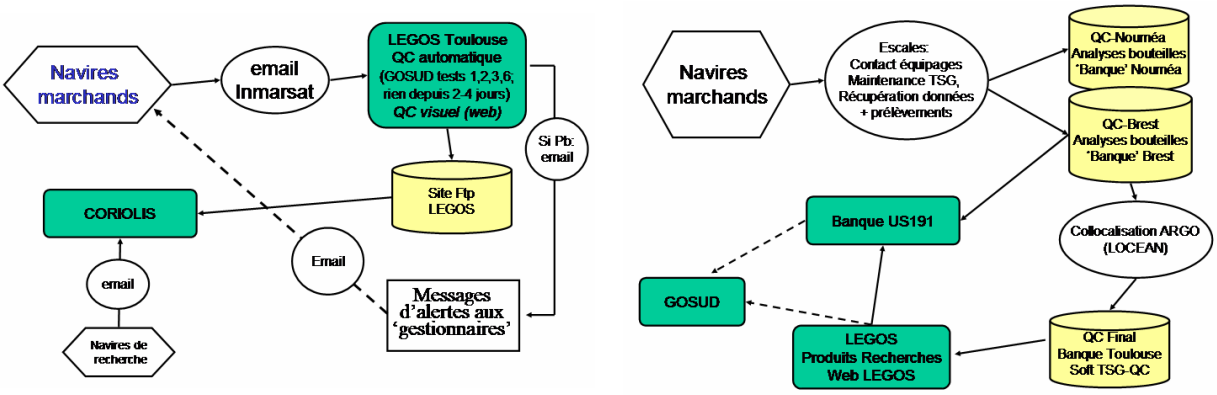

Figure 3. Trajectoires de traitement des données temps réel (à gauche) et temps différé (à droite).

Des contrôles automatiques interviennent à chaque étape du traitement. La messagerie électronique est utilisée comme un système d'alarme pour remonter les éventuels problèmes aux utilisateurs en charge des TSG. A la réception des messages, un email d'alerte est envoyé et le message reçu n'est pas traité si : a) l'adresse d'expédition du message est inconnue, b) le contenu de l'email est vide, c) le type de traitement à effectuer ne peut pas être identifié[12].

[11] A noter que le traitement des données du navire ravitailleur l'Astrolabe, faisant une route entre Hobart et la Terre Adélie, avec un observateur à bord, est sensiblement différent du traitement des autres navires présenté ici. Le traitement des données de l'Astrolabe n'est pas détaillé ici, par souci de concision.

[12] Noter que la chaîne de traitement, mutualisée pour l'ORE-SSS et l'ORE ROSAME, gère différents formats de transmission de données de marégraphes et de TSG

Pendant le décodage de la télémesure un email d'alerte est envoyé si : a) le code d'identification et/ou le code radio sont inconnus, b) le TSG est inconnu (test n° 1 GOSUD), c) les dates et heures de mesure ne sont pas réalistes (test n° 2 GOSUD), d) le format de la télémesure est inconnu.

Un premier contrôle qualité, sommaire, est réalisé automatiquement et permet de détecter des valeurs en dehors de limites climatiques. Un email d'alerte est envoyé à la liste de diffusion des remontées d'alerte du navire si les mesures sont en dehors de plages données (tests n° 3 et n° 6 GOSUD)[13]. Si les mesures sont à l'intérieur de ces limites, un code de traitement égal à 1 est associé aux mesures. Un code de traitement égal à 0 signifie qu'il n'y a pas de précision concernant la qualité des mesures.

Un second contrôle qualité, également sommaire, est réalisé automatiquement et permet de comparer les mesures de salinité aux valeurs moyennes de salinité (prise à 10 m) de la climatologie du *World Ocean Atlas* 2005 (WOA ; Antonov et al., 2006). Les mesures de température sont aussi comparées aux valeurs moyennes hebdomadaires de température de surface de Reynolds (Reynolds et al., 2002) de la semaine précédente (récupérées automatiquement chaque semaine). Des plages limites sont définies (test n° 10 GOSUD)[14]. Si les mesures sont à l'intérieur de ces limites, le code de traitement associé aux mesures est égal à 2. Si les mesures sont en dehors de ces limites, le code de traitement associé aux mesures reste égal à 1. Si le code de traitement d'une mesure de SSS (respectivement, de SST) est égal à 1 ou 2, l'écart entre cette mesure et la valeur moyenne SSS WOA 2005 (respectivement, SST Reynolds) correspondante est calculé. Il faut donc bien garder à l'esprit que l'ORE-SSS ne fait qu'affecter un code de traitement (0, 1 ou 2) en interne à chaque mesure temps réel. Nous considérons en effet qu'il n'est pas réaliste de valider une observation de SSS en temps réel avec précision.[15]

Pour la télésurveillance des instruments, des outils de visualisation des données temps réel ont été mis en place et sont accessibles sur des pages web dynamiques à accès restreint. Une carte des trajets des TSG pour les 15 derniers jours (durée paramétrable) est tracée chaque heure avec un script Perl (Figure 4, à gauche). En cliquant sur la dernière position d'un navire sur la carte, ou sur le nom d'un navire dans la liste, on accède au suivi temps réel du TSG pour les 15 derniers jours : la banque de données est lue, les courbes sont tracées avec un module Perl. Les mesures réalisées par le TSG de chaque navire sont disponibles dans différents formats sur des pages différentes. On y trouve notamment une comparaison entre les mesures TSG et la climatologie (Figure 4, à droite). Outre les messages d'alerte décrits précédemment, la consultation journalière de ces informations par le personnel en charge des TSG des navires permet de détecter les anomalies instrumentales en temps quasi-réel, de prévenir le bord pour réparation éventuelle par leur soin[16], et/ou de préparer l'intervention aux escales (où le navire peut ne rester que quelques heures), tout ceci afin de maximiser la collecte de données à bord.

[13] $-90\,° \leq$ latitude $\leq +90°$, $-180\,° \leq$ longitude $\leq +180$, $1 \leq$ salinité ≤ 50 , $-5\,°C \leq$ température $\leq 35\,°C$

[14] SSS WOA 2005 - 3 écarts type ≤ salinité ≤ SSS WOA 2005 + 3 écarts type ; SST Reynolds - 3 écarts type ≤ température ≤ SST Reynolds + 3 écarts type. Les méthodes de calculs des écarts type SSS-WOA et SST-Reynolds sont détaillées sur le site web de l'ORE-SSS.

[15] Il est prévu d'intégrer les codes de traitement associés aux mesures temps réel ainsi que les écarts aux valeurs moyennes SSS WOA 2005 aux fichiers récupérés sur le site FTP du LEGOS par CORIOLIS.

[16] Il peut s'agir, parfois, de simplement rappeler d'ouvrir les vannes d'alimentation du TSG.

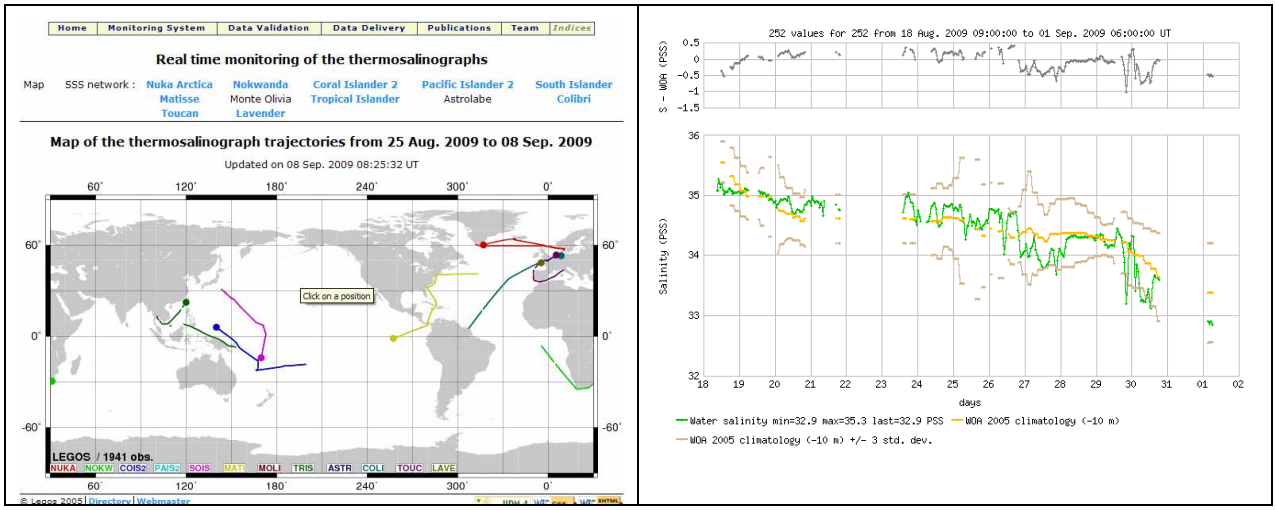

Figure 4. Outils de visualisation des données SSS temps réel. (A gauche) Distribution spatiale des trajectoires des navires au cours des 15 derniers jours glissants. (A droite) Un exemple d'informations obtenues en cliquant sur le nom ou la position d'un navire avec (en haut) les anomalies de salinité relative à la climatologie du WOA05 le long d'une trajectoire, et (en bas) les comparaison entre les valeurs mesurées en temps réel et la climatologie à ±3 écarts-type.

II.4.2 *Traitement des données temps différé*

Pour mémoire, ces données sont exploitées essentiellement dans une optique recherche (de type CLIVAR) Les valeurs médianes sur 5 minutes stockées sur PC sont récupérées lors de l'intervention aux escales des navires, de même que les échantillons d'eau de mer. Le contrôle qualité est ensuite effectué en deux étapes à l'aide du logiciel TSG-QC[17] développé par l'US IMAGO en 2008.

Dans un premier temps, les responsables techniques de l'US IMAGO à Brest et Nouméa évaluent de manière qualitative, pour chaque voyage, la qualité des données de salinité du TSG par comparaison visuelle avec les données de température, la vitesse et la position du navire, la moyenne et l'écart type climatologique (WOA 2005) en température et salinité le long du trajet. Un code qualité (type ARGO) au choix parmi 6 définis[18] est appliqué par section le long de la série de SSS et matérialisé par un code couleur dans TSG-QC (Figure 5). Cette étape permet notamment de signaler des problèmes de mesure dont la cause a pu être identifiée par le personnel lors de sa visite à bord du navire (corps étranger sur la cellule de conductivité, problème de circulation dans la tuyauterie).

Plus tard, lorsque les échantillons d'eau de mer ont été analysés par l'US IMAGO, la deuxième étape du contrôle qualité est effectuée au LEGOS à Toulouse. Les données de salinité du TSG sont alors comparées à celles des échantillons journaliers, plus précis, ainsi qu'aux données ARGO de surface colocalisées, extraites de la base CORIOLIS par un traitement automatique effectué au LOCEAN. On constate en général, du fait du *biofouling*, un biais négatif des données TSG par rapport aux données externes, qui croît linéairement avec le temps ou augmente brusquement lors des escales du navire[19]. Ce biais est donc estimé

[17] Une notice explicative est en cours de rédaction : cf site Web ORE-SSS, Onglets '*Publications*', puis '*Reports*', chapitre III Documents Techniques. Le logiciel est disponible en ligne : http://www.ird.fr/us191/spip.php?article28

[18] 0 : pas de contrôle effectué ; 1 : données bonnes ; 2 : données probablement bonnes ; 3 : données probablement mauvaises ; 4 : données mauvaises ; 5 : données 'port'.

[19] Données ARGO à 5 m de profondeur mesurées dans un rayon spatial (temporel) de 50 km (5 jours) par rapport aux coordonnées du navire.

par un ajustement linéaire aux sens des moindres carrés, si besoin par morceaux, et retiré des valeurs SSS pour produire une série de SSS corrigée, à laquelle l'erreur liée à l'ajustement est associée (Figure 5). Cette correction n'est appliquée que sur les données considérées bonnes ou probablement bonnes. Noter que le format NetCDF de sortie permet de conserver dans un même fichier les données originales et les données corrigées.

Le logiciel TSG-QC n'étant disponible que depuis 2008, une ré-analyse des données 2003-2008 est en cours. Un contrôle qualité en temps différé vient ainsi d'être effectué sur les données Pacifique 2003-2008. Un travail similaire est en cours sur les données Atlantique.

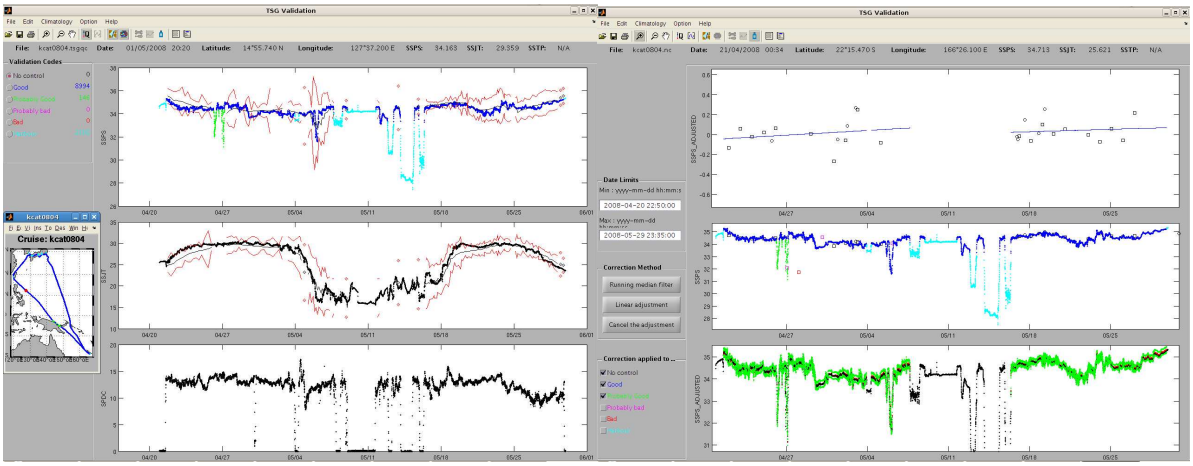

Figure 5. Logiciel de validation des données SSS temps différé. (A gauche) Attribution de codes qualité aux données de SSS par comparaison à une climatologie, aux séries de température TSG et vitesse du navire. (A droite) Correction et attribution d'erreur aux données de SSS TSG par comparaison aux données externes.

II.4.3. *Archivage et mise à disposition. Produits dérivés.*

Les données temps réel sont archivées au LEGOS dans une banque de données au format Berkeley DB. Ces données temps réel ne sont accessibles que pour le GDAC (Global Data Acquisition Center) CORIOLIS qui les récupère tous les jours sur un site ftp du LEGOS. Les données sont ensuite archivées à CORIOLIS et mises à disposition de la communauté scientifique, en particulier de l'océanographie opérationnelle, par année et par navire, sur leur propre site web (ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/gosud/). Ces données, accessibles via ftp, ne sont pas mises sur le GTS à la demande de certaines compagnies maritimes.

Les données temps différé validées de la période pré - ORE (1950-2002) et ORE (2003-..), ainsi que des produits dérivés dans le cadre de publications scientifiques, sont mis à disposition sur le site web de l'ORE[20]. On y trouve actuellement : a) les données SSS validées des trois océans tropicaux Atlantique, Indien et Pacifique (30°N-30°S ; 1950 à 2003), b) les valeurs moyennes et écarts type le long de 13 rails de navigation moyen dans les tropiques (cf. Fig. E3), c) les valeurs mensuelles d'une année type le long de ces même rails, d) les valeurs interpolées sur des points de grille 3D dans la Warm Pool du Pacifique tropical (140°E-180° ; 10°N-10°S, 1992-2001), dans le Pacifique tropical (140°E-80°W ; 30°N-30°S ; 1969-1995) et dans l'Atlantique (20°S-50°N, 1970-2003). A noter que les données ainsi collectées et rassemblées par l'ORE-SSS, notamment par l'ORSTOM puis l'IRD, constituent environ 60% des données SSS de l'ICOADS (*International Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set* ; http://icoads.noaa.gov/). Les données ORE-SSS post 2003, en cours de validation, ainsi que

[20] Onglets '*Data Delivery*', puis '*Research Products*'

des champs 3D sur le Pacifique et l'Atlantique tropical, seront mis en ligne dans les mois à venir.

II.5. Système de management de la qualité

Fonctionnement du réseau. Le suivi du bon fonctionnement du réseau est réalisé grâce aux outils suivants :

- Suivi constant des mouvements des navires par les gestionnaires. Les changements de ligne sont fréquents et les démontages et réinstallation sur de nouveaux navires prennent du temps (6 mois à un an),
- Acquisition et transmission temps réel sur l'ensemble des navires (http://www.insu.cnrs.fr/a2403),
- Système de visualisation des données et messages d'alertes en temps réel vers les gestionnaires, destiné à minimiser la perte de données,
- Construction automatique de chronogramme pour l'ensemble des bateaux (Figure 6),
- Statistiques automatiques sur le nombre et la qualité des données (données émises vs reçues, données par bateau, données 'bonnes' ou 'mauvaises')[21].

Cohérence du réseau. La cohérence du réseau entre les différents chantiers géographiques est obtenue via des outils communs :

- Logiciel commun d'acquisition temps réel des données et des meta-données (SODA),
- Logiciel commun de validation et de correction des données temps différés (TSG-QC),
- Documentation en accès libre, en français et en anglais, de nos méthodes de collecte et de traitement de données (cf. site internet),
- Réunion annuelle des gestionnaires et scientifiques (cf. II.6).

Qualité des données. L'acquisition de données de qualité (précision attendue 0,02) est obtenue grâce aux outils suivants :

- Visite des navires à chaque escale (nettoyage des capteurs, remplacement éventuel des TSG, PC, émetteurs Inmarsat, récupération des données, etc.),
- Etalonnage des capteurs sur une base annuelle,
- Prélèvement d'un échantillon journalier par les marins du bord,
- Sensibilisation des marins à la prise d'échantillon,
- Colocalisation systématique des mesures TSG avec des mesures externes (flotteurs ARGO),
- Evaluation des mesures par les gestionnaires : attribution de codes qualités (type ARGO),
- Correction 'finale' des mesures par un scientifique expert (G. Alory, poste CNAP 2008) à partir des mesures « externes » : échantillons prélevés par les marins, données des flotteurs ARGO.

[21] Onglets '*Real Time monitoring*', puis '*Statistics*'

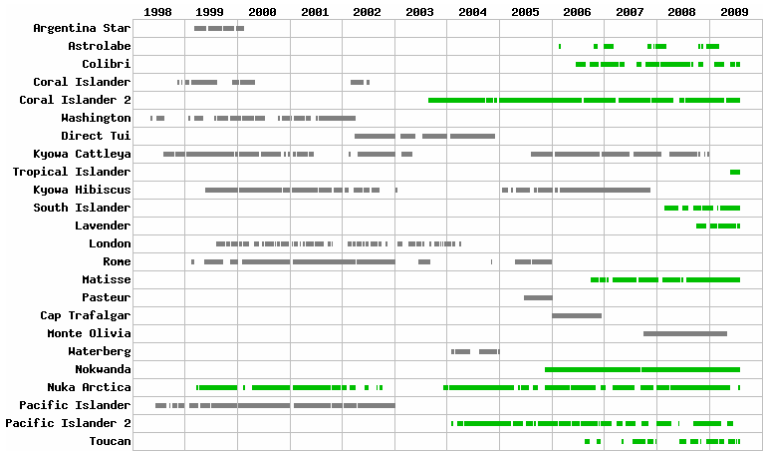

Figure 6. Chronogramme (distribution temporelle) des observations SSS émises en temps réel par navire depuis 1998. Les courbes vertes correspondent aux navires actuellement équipés de TSG.

II.6. Gouvernance

Les taches respectives de chaque personne sont résumées en Annexe B. Concernant l'organisation d'ensemble, le SO SSS est structuré en cinq chantiers géographiques avec des responsables techniques et scientifiques pour chacun (Figure 7) :

1. Les navires « Pacifique tropical et tour du monde» sont gérés à Nouméa (gestionnaire D. Varillon, responsable scientifique C. Maes),
2. Le navire « Atlantique Nord » est géré à Brest, visité à Aalborg (gestionnaire D. Diverrès, responsable scientifique G. Reverdin),
3. Le navire « Indien» est géré au Havre, (gestionnaire D. Diverrès, responsable scientifique : G. Alory),
4. Les navires « Atlantique tropical » sont gérés à Rotterdam et au Havre, (gestionnaire D. Diverrès, responsable scientifique G. Reverdin),
5. Le navire « océan Austral» est géré lors des escales à Hobart (gestionnaire CSIRO, responsable scientifique R.M. Morrow et CSIRO).

Cette co-responsabilité par chantier permet d'avoir un suivi pratiquement en continu de l'activité des navires. Elle permet également au gestionnaire d'avoir un appui scientifique pour la validation des mesures (attribution de code qualité).

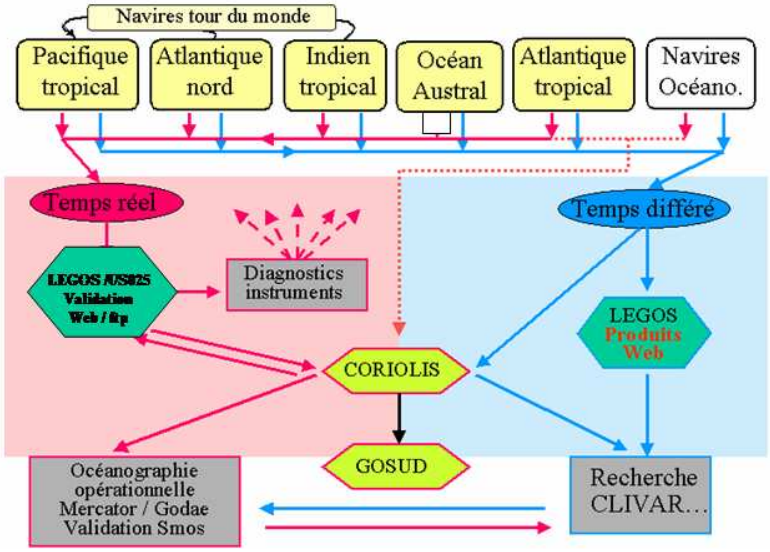

Figure 7. Organisation schématique du SO SSS.

Les réunions annuelles où se retrouvent les responsables techniques et scientifiques des 5 chantiers permettent :

- de présenter les résultats scientifiques récents liés à l'analyse des données de SSS,
- de faire un bilan de l'activité annuelle des réseaux par chantier géographique,
- de faire le bilan de la validation et de la correction des données,
- de faire un bilan financier,
- d'uniformiser, si besoin, les méthodes de travail des chantiers,
- de définir les améliorations à apporter au SO (techniques, logiciels, etc.),
- de définir un tableau de bord des tâches à accomplir dans l'année.

Les exposés effectués lors de ces réunions, le bilan annuel, et les priorités de l'année à venir sont rassemblés dans des rapports annuels consultables sur la page web à accès restreint[22] du SO SSS. Ces pages incluent également des exposés scientifiques réalisés par les membres du SO lors de meeting nationaux et internationaux.

II.7 Exploitation scientifique des données

Les données temps différé de l'ORE-SSS étant en accès libre sur notre site web, sans compteur d'entrée à ce jour (cf. Perspective), il nous est impossible de comptabiliser le nombre de publications ayant utilisé nos données. Il faut également garder à l'esprit que les données SSS alimentent les bases de données internationales, de type ICOADS (cf. II.4.3) sur lesquelles nous n'avons aucun contrôle, ni de retour.

A notre connaissance, en se basant sur un suivi bibliographique régulier de nos propres sujets d'intérêts, les données temps différé mise à disposition par l'ORE-SSS ont été utilisées par 32 publications (donc 5 soumises) en 2005-2009 (cf. Annexe D), 2 HDR, 5 thèses et plus de trois douzaines de communications dans des conférences internationales. A titre d'exemple, le résultat le plus récent dans le Pacifique tropical (http://www.insu.cnrs.fr/a2963/) met en évidence une baisse notable de la salinité de surface depuis 1950, et une augmentation de la surface des eaux de 'faible' salinité, en lien avec le réchauffement global (Figure 8). Il est clair que seules des séries longues de plusieurs décennies permettent d'obtenir ce type de résultats et celles-ci sont extrêmement rares à l'échelle globale (voir http://www.oceansites.org/).

Pour les données temps réel, nous n'avons pas à ce jour évalué de manière rigoureuse le poids de l'assimilation des données de l'ORE-SSS dans des modèles de prévision opérationnelle (cf. Perspective). La méthode à utiliser pour ce type d'évaluation reste à définir, notamment en France en concertation avec MERCATOR.

[22] Onglets '*Publications*', puis '*Reports*', chapitre 'Rapports des Réunions Annuelles de Coordination'

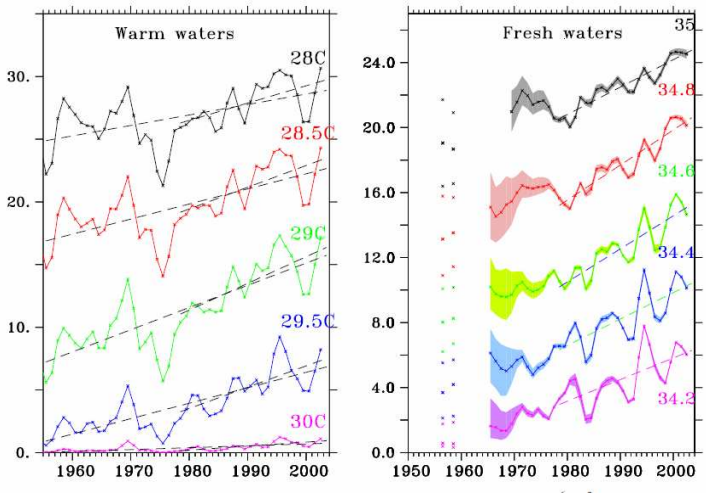

Figure 8. Variabilité temporelle et tendance des aires couvertes par des eaux de surface plus chaudes que les isothermes indiquées et moins salées que les isohalines indiquées, pour le Pacifique tropical. Les échelles verticales sont en en 10^6 km^2. (D'après Cravatte et al., 2009).

II.8 Ouverture et insertion du SO

Liens avec d'autres SO. La chaîne de traitement réalisée au LEGOS des données temps réel de l'ORE-SSS est mutualisée avec celle de l'ORE-ROSAME (cf. II.4). Par ailleurs, les mesures SSS issues des mouillages maintenus en Atlantique tropical par l'ORE PIRATA (et des mesures réalisées lors des campagnes de maintenance de ces mouillages) sont utilisées pour les travaux scientifiques analysant la SSS.

Diffusion d'expertise. La savoir-faire acquis dans le cadre de l'ORE-SSS nous a permis de partager notre expertise et nos outils avec la communauté nationale dans de nombreux domaines (installation d'un TSG sur le TARA[23] ; validation des données des navires de recherche français dans le cadre de Coriolis ; validation des données des bouées dérivantes avec capteurs SeaBird, mise à disposition du soft TSG-QC, etc…).

*Insertions nationale, européenne et internationale***.** Comme noté au chapitre II.4, les données temps réel de l'ORE-SSS sont récupérées tous les jours sur un site ftp du LEGOS par le GDAC (Global Data Acquisition Center) CORIOLIS[24]. Ces données sont mises à la disposition de la communauté scientifique internationale via le site web CORIOLIS. Elles représentent aujourd'hui la contribution la plus importante au programme international GOSUD (Global Ocean Surface Underway Data ; http://www.gosud.org/) piloté par CORIOLIS au niveau international. Via ce portail CORIOLIS, les données de l'ORE-SSS sont aussi utilisées par MERCATOR, partenaire du projet MyOcean (http://www.myocean.eu.org/) pour la partie '*Marine Service*' du '*Global Monitoring for Environment and Security*' **(**GMES : http://www.gmes.info/). Les données temps différé, disponibles sur le site web ORE-SSS, constituent environ 60% des données SSS des banques mondiales, tel que l'ICOADS (*International Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set* ; http://icoads.noaa.gov/).

III. Perspectives

Nous distinguons ci dessous les perspectives liées aux données temps réel et temps différé, à la fois pour les aspects techniques et scientifiques. Noter que ces perspectives seront

[23] http://www.locean-ipsl.upmc.fr/~TaraTSG
[24] Cf. Convention-cadre inter-organismes CORIOLIS, 2009-2012. Vers un service pérenne en données in-situ pour l'océanographie opérationnelle.

hiérarchisées lors de la prochaine réunion annuelle de l'ORE-SSS (23-24/11/2009). Une proposition d'extension thématique à la mesure de fCO2 est également présentée.

III.1 Données temps réel

III.1.1 *Amélioration technique*

Le contrôle qualité des données temps réel est perfectible : a) en intégrant les codes de traitement associés aux mesures temps réel ainsi que les écarts à la climatologie dans les fichiers mis à disposition sur le site FTP du LEGOS pour CORIOLIS, b) en utilisant la colocalisation temps réel des données TSG avec les données ARGO, selon l'approche adoptée avec les données temps différé. La partie (a) est en cours de réalisation au LEGOS, la partie (b) nous semble du ressort de CORIOLIS avec qui nous partagerons l'expertise acquise avec les données temps différé.

Les deux parties (a) et (b) peuvent s'avérer très pertinentes dans le cas d'un contrôle qualité 'rapide' des futures données SMOS (et Aquarius). Dans cette optique, la fréquence d'émission des données temps réel (toutes les heures actuellement) pourrait facilement être augmentée, si nécessaire (avec transmission Iridium au lieu d'Inmarsat, selon le coût).

Face au nombre croissant de mesures temps réel reçues au LEGOS, notamment si la fréquence d'émission augmente, la gestion des données temps réel devra être améliorée. Les données seront archivées dans une base de données standardisée SQL, facilitant ainsi leur traitement futur. A noter que les programmes de traitement devront être portés sous Linux (en lien avec l'évolution du système informatique du LEGOS).

III.1.2 *Utilisation scientifique*

L'utilisation scientifique majeure des données TSG temps réel du prochain quadriennal consistera très probablement à étalonner et/ou valider les futures mesures satellitaires SMOS (et Aquarius). Nous mettrons, de notre côté, l'accent sur des zones étalons définies dans le cadre de la proposition ESA financée par le CNES (via le TOSCA).

Il conviendra également de quantifier, si possible, le poids de l'assimilation des données de SSS dans les modèles de prévision, par exemple en utilisant des techniques de type *cut-and-try*, en concertation étroite avec MERCATOR. Des approches ont déjà été initiées en ce sens avec des données simulées (Durand et al., 2002 ; Tranchant et al., 2008).

III.2 Données temps différé

III.2.1 *Amélioration technique*

Les mesures SST du TSG, utilisées pour le calcul de la conductivité, présentent un biais chaud, variable selon les navires, en raison du transit de l'eau de mer dans le circuit de refroidissement moteur. Ce biais peut être estimé à partir de mesures complémentaires simultanées (type XBT) ou via l'ajout de capteurs de température de coque (type SBE38). Des travaux sont en cours pour tenter de récupérer de 'bonnes' mesures de SST via le TSG, et/ou d'estimer le biais par des méthodes statistiques. La récupération de mesures in situ de SST est très souhaitable, notamment dans des régions clefs (e.g., la warm pool du Pacifique) où la couverture nuageuse réduit la précision des mesures satellites.

Les travaux de validation des données temps différé ont mis en évidence le besoin d'estimer le débit d'eau de mer en l'entrée du TSG, comme source supplémentaire d'information. Un débitmètre est déjà installé sur les navires Astrolabe et Lavender. La généralisation de l'installation sur l'ensemble des navires (et les modifications des softs d'acquisition et de QC) sera étudiée et réalisée selon les financements. L'utilisation de bouton - poussoir au niveau du TSG (déjà actif sur l'Astrolabe), utilisé pour enregistrer la

date précise des prélèvements d'échantillons au niveau PC, sera également étudiée pour les navires marchands.

Une étude précise analysant le besoin, ou non, de stocker les mesures haute résolution (15 s actuellement mais possibilité de descendre à 10 s) au lieu de la médiane sur 5 minutes devra être entreprise. Des tests de sensibilité peuvent être réalisés assez facilement car plusieurs voyages ont déjà été réalisés avec des mesures haute résolution. Les conséquences du surplus éventuel de données pour le traitement TSG-QC devront aussi être analysées.

L'utilisation scientifique des données de l'ORE-SSS étant impossible à quantifier, des méthodes (existantes) seront mises en oeuvre afin de comptabiliser les téléchargements de 'nos' données. A noter qu'un indice de citation basé sur l'utilisation de données est actuellement à l'étude au niveau international.

III.2.2 *Utilisation scientifique.*

La continuité des observations de SSS sur des lignes régulières permettra de poursuivre les travaux scientifiques visant à améliorer notre compréhension de la variabilité du climat et du cycle de l'eau, en particulier dans le contexte actuel du réchauffement global. Les approches seront basées sur l'analyse des données in situ de SSS, sur l'analyse conjointe de données de paléo-salinité reconstituées après étalonnage et sur l'analyse de sorties de modèles après validation.

Des travaux importants d'étalonnage, de validation et de combinaison optimale de données in situ, incluant celles de l'ORE-SSS, de données satellitaires SMOS et Aquarius seront menés par de nombreuses équipes au niveau international. Pour ce qui nous concerne, on notera en particulier nos travaux futurs (sur des régions clefs identifiées) dans le cadre de deux propositions SMOS (Gaillard et al., 2007) et Aquarius (Busalacchi et al., 2009), auxquelles participent plusieurs membres de l'ORE-SSS. Ces propositions ont été acceptées et financées, respectivement par le CNES (via le TOSCA) et la NASA.

Des produits grillés basés sur des mesures in situ multi plateformes (ORE-SSS, mouillages PIRATA et TAO/TRITON, bouées ARGO, CTD, mesures bouteilles, etc..) sont en cours de réalisation au LEGOS pour les océans Pacifique et Atlantique, pour la période 1950-2008. Ces produits seront utilisés pour nos propres travaux scientifiques et seront mis à la disposition de la communauté internationale sur le site web de l'ORE-SSS, probablement tous les ans compte tenu de la période d'étalonnage annuelle des capteurs. Le même type d'approche sera réalisé pour les autres bassins océaniques en fonction de la densité d'observations.

La mise à disposition d'indicateurs du changement climatique basés sur la variabilité de la SST et la SSS au voisinage des DOM-TOM sera poursuivie dans le cadre de l'ONERC (cf. Delcroix et Cravatte, 2009 ; http://www.ecologie.gouv.fr/-ONERC-.html). Des indicateurs des grands signaux climatiques (de type ENSO) seront également proposés.

III.3. Extension thématique.

Il est clairement établi que l'océan est un puits important de CO_2 pour l'atmosphère. Son comportement présent et futur face à l'augmentation continue du CO_2 dans l'atmosphère est donc activement étudié (cf. Lefèvre et al., 2004 ; Schuster et Watson, 2007, pour l'Atlantique Nord). La communauté internationale a ainsi initié des réseaux d'observations de CO_2 dans l'océan, notamment en installant des systèmes de mesures autonomes sur des navires marchands.

Parmi les navires sélectionnés par l'ORE-SSS, quatre[25] ont été ou sont actuellement équipés de capteurs de CO_2 couplés aux TSG. Les mesures de CO_2 réalisées sur le Nuka Arctica dans l'Atlantique Nord sont sous la responsabilité des Norvégiens, celles sur l'Astrolabe dans l'Antarctique sous la responsabilité des Australiens, celles sur le Colibri et le Monte Olivia dans l'Atlantique nord et tropical sous responsabilité française dans le cadre du programme européen CARBOOCEAN (http://www.carboocean.org/) qui se termine fin 2009. Les deux navires sous responsabilité française ont été choisis pour des raisons scientifiques conformément aux recommandations du CS LEFE CYBER. Ils permettent en particulier de compléter le réseau des observations de CO_2 européen (Figure 9). La description du système d'observations sur ces deux navires est donnée en Annexe C.

Une première analyse, très encourageante, des données montre une variabilité saisonnière marquée dans l'Atlantique subtropicale et un gradient nord-sud situé vers 2°N avec des valeurs sous saturées en CO_2 au nord dans la zone du contre courant équatorial nord en contraste avec les sursaturations au sud dans le courant équatorial sud. L'extension des zones sous saturées dans l'Atlantique tropical, qui est une source de CO_2 pour l'atmosphère, est encore très mal connue. La climatologie de Takahashi et al. (2009), si elle reproduit bien le gradient nord-sud, ne restitue pas ces zones sous saturées. Des informations sur les études de la variabilité du CO_2 en Atlantique tropical peuvent être obtenues sous :http://www.locean-ipsl.upmc.fr/CO2tropiques/.

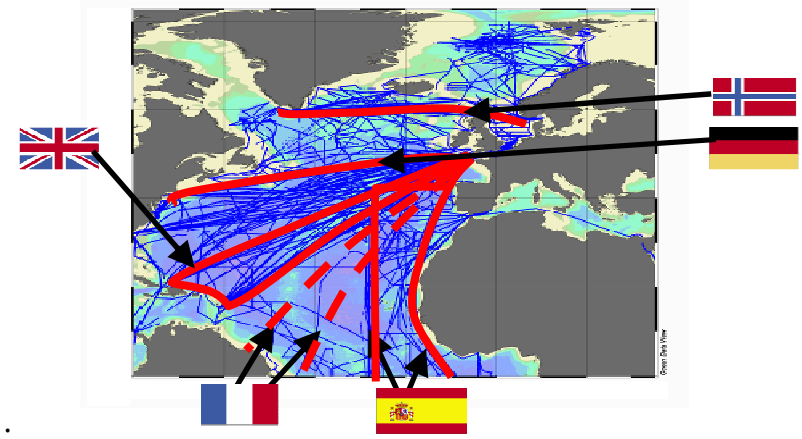

Figure 9. Réseau de navires marchands équipés d'un système de mesure autonome de fCO_2 du projet européen CARBOOCEAN (2005-2009). Les deux lignes françaises, en pointillé, sont équipées de TSG par l'ORE-SSS et de capteurs de pCO_2, l'ensemble étant maintenu par l'US IMAGO de l'IRD.

Compte tenu de la pertinence scientifique des mesures de CO_2 en plein océan, s'agissant de la même plateforme (bateaux marchands) que celle utilisée pour les mesures TSG de l'ORE-SSS, considérant que les interventions à bord sont effectuées par les mêmes personnes de l'US IMAGO, que les mesures TSG sont indispensables au calcul de fCO_2, que nous avons déjà l'expérience de ces deux types de mesures simultanées, nous proposons d'élargir la thématique de l'ORE-SSS vers la collecte, l'analyse et la mise à disposition de mesures de CO_2 réalisées simultanément aux mesures TSG.

En supposant l'aval du CIO-E pour cette extension thématique, il nous faudra homogénéiser, si nécessaire, les procédures de traitement des données de CO_2 (temps réel et temps différé), affiner la mise à disposition, la gouvernance et la démarche qualité, à la lumière de ce qui a été réalisé pour l'ORE-SSS ces dernières années. Des discussions

[25] Astrolabe, Colibri, Monte Olivia (jusqu'à mai 2009) et Nuka Arctica. Noter également un autre navire équipé, non ORE, sur la ligne AX01 (Islande – Terre Neuve) avec mesures de CO_2 et TSG.

constructives, en cours, avec la responsable de ces mesures CO_2 (N. Lefèvre, LOCEAN/Paris) montrent par ailleurs que le coût annuel supplémentaire serait de l'ordre de 12,5 k€[26] pour deux navires et que le recrutement minimum d'un demi-poste AI serait indispensable pour renforcer l'équipe intervenant sur les navires et pour le traitement des données CO_2.

L'utilisation croissante de données de SSS en paléo-océanographie, notamment en zone corallienne, nous incite par ailleurs à récupérer, valider et archiver des séries temporelles côtières. A notre connaissance, plusieurs séries longues (> 20 ans) financées par l'IRD et/ou sur contrats de recherche de courte durée existent actuellement dans le Pacifique tropical (e.g., Nouméa, Passe de Uitoé). Un inventaire de ces séries sera réalisé.

[26] Transmission iridium : 1.5 k€ ; Missions US IMAGO : 4,5 K€ ; Gaz étalons : 2,5K€ ; Connectique : 1 K€ ; Calibration des capteurs : 1 K€ ; Calibration du Licor : 1.5 K€.

Annexe A

Moyens financiers et humains affectés au SO

A- MOYENS FINANCIERS

Organismes	2005	2006	2007	2008	2009
IRD	**30 k€**	**40**	**30**	**30**	**30**
INSU		**20**	**20**	**14**	**14**
OMP	**9**	**9**	**5**	**5**	**5**

A noter que le CNES (TOSCA), via la proposition ESA / SMOS soutient une partie de l'ORE-SSS (aspects scientifique et technique) de manière non récurrente, pour environ 18 k€/an. Ce soutien, indispensable, repose sur l'acceptation de propositions de recherche annuelles.

Liste des moyens en infrastructure et équipement, ainsi que l'origine de ces crédits reçus :

Laboratoires d'analyses des prélèvements à Brest, Nouméa et centre CORIOLIS.
Laboratoires d'électronique et développement logiciel au centre IRD de Brest et Nouméa.
Pôle informatique du LEGOS à Toulouse

Des moyens supplémentaires (y compris un plan de jouvence) sont-ils nécessaires pour le fonctionnement du SO dans les quatre années à venir?

Un Licor 7000 en secours sera nécessaire pour assurer la continuité des mesures de CO2 le long des deux lignes de bateaux marchands de l'Atlantique tropical. Coût estimé : 21k€. (http://www.licor.com/env/Products/GasAnalyzers/7000/7000.jsp)

B- RESSOURCES HUMAINES

Noms, Prénoms	Responsabilité	Statut	Pays	Unité / Etablissement	% ETP
DELCROIX Thierry	Responsable du SO	DR	FR	LEGOS / IRD	30
ALORY[27] Gaël	Responsable scientifique Indien. QC données temps différé	CNAP / Physicien AdJ	FR	OMP / LEGOS	33
DAFOND Niçaise	Interventions navires	AJT	NC	Centre IRD de Nouméa	5
DIMATEO Angelo	Analyses échantillons	AJT	NC	US IMAGO / IRD	20
DIVERRES Denis	Responsable technique Atlantique. Validation données	AI	FR	US IMAGO / IRD	75
IHILY Jean Marc (en retraite en juin 2009)	Interventions navires	TCN	NC	US IMAGO / NC	80
GALLOIS Francis	Interventions navires	IE	NC	US IMAGO / IRD	5

[27] Recruté CNAP en 2008. Il prendra la responsabilité progressive de l'ensemble du SO au cours du quadriennal 2010-2013

GOURIOU Yves	D.U. / IRD. Développement logiciel TSG-QC	DR	FR	US IMAGO / IRD	15
GRELET Jacques	Développement base de données et TSG-QC	IE	FR	US IMAGO / IRD	10
DEVAUX Jean Michel (depuis 2009)	Interventions navires	AI	NC	US IMAGO / IRD	10
JACQUIN Stéphane	Interventions navire. Validation données	TR	FR	US IMAGO / IRD	80
MAES Christophe	Responsable scientifique Pacifique	CR	NC	LEGOS / IRD	10
MORROW Rosemary	Responsable scientifique Antarctique	CNAP / Physicienne	FR	OMP / LEGOS	10
REVERDIN Gilles	Responsable scientifique Atlantique	DR	FR	CNRS	20
ROUBAUD Fabrice	Dévelopement Logiciel et électronique	AI	FR	US IMAGO / IRD	10
TECHINE Philippe	Responsable informatique données temps réel	IE	FR	CNRS	20
VARILLON David	Responsable technique Pacifique. Développement base de données. Logiciel acquisition SODA	AI	NC	US IMAGO / IRD	75

L'extension thématique proposée (fCO2) nécessite de manière impérative le recrutement minimum d'un demi poste d'AI afin de contribuer à l'intervention sur les navires et à la validation scientifique des données.

Annexe B

Publications de rang A répertoriées ayant utilisées les données de l'ORE-SSS en 2005-2009
(Directement ou indirectement)

Soumis

Després A., G. Reverdin, F. d'Ovidio, 2009: Surface fronts in the North Atlantic subpolar gyre. J. Phys. Oceanogr., submitted.

Metzl N., A. Corbière, G. Reverdin, A. Lenton, T. Takahashi, A. Olsen, T. Johannessen, D. Pierrot, R. Wanninkhof, S. R. Ólafsdóttir, J. Olafsson and M. Ramonet. Acceleration of the sea surface fCO2 growth rate in the North Atlantic subpolar gyre (1993-2008), submitted, GBC, Aug 2009.

Reverdin, G. North Atlantic subpolar gyre surface variability (1895-2009). J. Climate, submitted.

Ulmann, D., G. McKinley, V. Bennington and S. Dutkiewicz, 2009. Trends in the North Atlantic Carbon sink: 1992-2006. GBC, in revision.

Watson, A.J., U. Schuster, D .C. E. Bakker, N. Bates, A. Corbiere, M. Gonzalez-Davila, T. Freidrich, J. Hauck, C. Heinze, T. Johannessen, A. Koertzinger, N. Metzl, J. Olafsson, A. Olsen, A. Oschlies, X. Padin, B. Pfeil, A. Rios, M Santana-Casiano, T. Steinhoff, M. Telszewski, D. W. R. Wallace, R. Wanninkhof, 2009. Accurately tracking the variations in the North Atlantic sink for atmospheric CO2. Science, in revision.

2009

Bosc C., T. Delcroix, and C. Maes, 2009. Barrier layer variability in the western Pacific warm pool from 2000-2007. J. Geophys. Res., 114, C06023, doi:10.1029/2008JC005187.

Cravatte S., T. Delcroix, D. Zhang, M. McPhaden, and J. Leloup, 2009. Observed freshening and warming of the western Pacific warm pool. Clim. Dyn., 33:565-589, doi 10.1007/s00382-009-0526-7.

Delcroix, T., et S. Cravatte, 2009. Le changement climatique: une réalité pour l'outre-mer français. La Météorologie, vol. 65, 33-38.

Reul, N., S. Saux-Picart, B. Chapron, D. Vandemark, J. Tournadre, and J. Salisbury, 2009. Demonstration of ocean surface salinity microwave measurements from space using AMSR-E data over the Amazon plume. Geophys. Res. Let., 36, L13607, doi:10.1029/2009GL038860.

Schuster, U., A.J. Watson, N. Bates, A. Corbière, M. Gonzalez-Davila, N. Metzl, D. Pierrot and M. Santana-Casiano, 2009. Trends in North Atlantic sea surface pCO2 from 1990 to 2006. *Deep-Sea Res* II, doi:10.1016/j.dsr2.2008.12.011

2008

Foltz, G. and M. J. McPhaden, 2008. Seasonal mixed layer salinity balance of the tropical North Atlantic Ocean. J. Geophys. Res., 113, C02013, doi:10.1029/2007JC004178.

Linsley, B., P. Zhang, A. Kaplan, S. Howe, and G. Wellington, 2008. Interdecadal-decadal climate records from multicoral oxygen isotope records in the South Pacific Convergence Zone region since 1650 A.D. Paleoceanogr., 23, PA2219, doi:10.1029/2007PA001539.

Maes, C., 2008. On the ocean salinity stratification observed at the eastern edge of the equatorial Pacific warm pool. J. Geophys. Res., 113, C03027, doi:10.1029/2007JC004297.

Sallée, J.B., R. Morrow, and K. Speer, 2008. Southern ocean fronts and their variability to climate modes. J. Climate, 21, 3020-3039.

Thomas, H., A.E.F. Prowe, I.D. Lima, S.C. Doney, R. Wanninkhof, R.J. Greatbatch, U. Schuster and A. Corbière, 2008. Changes in the North Atlantic Oscillation influence CO_2

uptake in the North Atlantic over the past two decades, *Global Biogeochem. Cycles, 22, GB4027*, doi:10.1029/2007GB003167.

2007

Corbière, A., N. Metzl, G. Reverdin, C. Brunet and T. Takahashi, 2007. Interannual and decadal variability of the oceanic carbon sink in the North Atlantic subpolar gyre**.** *Tellus B,* Vol. 59, issue 2, 168-179, DOI: 10.1111/j.1600-0889.2006.00232.x

Delcroix, T., S. Cravatte, and M. McPhaden, 2007. Decadal variations and trends in tropical Pacific sea surface salinity since 1970. J. Geophys. Res, 112, C03012, doi:10.1029/2006JC003801.

Durand, F., D. Shankar, C. de Boyer Montégut, S.S.C. Shenoi, B. Blanke and G. Madec, 2007. Modeling the barrier layer formation in the South-Eastern Arabian Sea. J. Climate, 20, 2109-2120.

Reverdin, G., E. Kestenare, C. Frankignoul, and T. Delcroix, 2007. Surface salinity in the Atlantic Ocean (30S-50N). Progr. Oceanogr., 73, 311-340, doi:10.1016/j.pocean.2006.11.004.

Reverdin, G., P. Blouch, J. Boutin, P. Niiler, J. Rolland, W. Scuba, A. Lourenco, and A. Rios, 2007. Surface salinity measurements - COSMOS 2005 experiment in the Bay of Biscay. J. Atmos. Ocean. Tech., 24, 1643-1654, doi:10.1175/jtech2079.1.

2006

Corrège, 2006. Sea surface temperature and salinity reconstruction from coral geochemical tracers. Palaeogeo. Palaeoclim. Palaeoeco., 232, 408-428.

Juillet-Leclerc, A., S. Thiria, P. Naveau, T. Delcroix, N. Le Bec, D. Blamart, and T. Corrège, 2006. SPCZ migration and ENSO events during the 20th century as revealed by climate proxies from of a Fiji coral. Geophys. Res. Let, 33, doi.1029/2006GL025950.

Grodsky, S., J. Carton, and F. Bingham, 2006. Low frequency variation of sea surface salinity in the tropical Atlantic. Geophys. Res. Let, 33, doi.1029/2006GL026426.

Linsley, B., A. Kaplan, Y. Gouriou, J. Salinger, P. de Menocal, G. Wellington, and S. Howe, 2006. Tracking the extent of the South Pacific Convergence Zone since the early 1600s. Geoch. Geophys. Geosys., vol. 7-4, doi:10.1029/2005GC001115.

Maes, C., K. Ando, T. Delcroix, W. Kessler, M. McPhaden, and D. Roemmich, 2005. Observed correlation of surface salinity, temperature and barrier layer at the eastern edge of the western Pacific warm pool. Geophys. Res. Let., 33, doi:10.1029/2005GL024772.

Quinn, T., F. Taylor, and T. Crowley, 2006. Coral-based climate variability in the Western Pacific Warm Pool. J. Geophys. Res., 111, doi:10.1029/2005JC003243.

Ourbak, T., T. Corrège, B. Malaizé, F. Le Cornec, K. Charlier, and J.P. Peypouquet, 2006. A high resolution investigation of temperature, salinity, and upwelling activity proxies in corals. G^3, 7-3, Q03013, doi:10.1029/2005GC001064.

Zhang, R.H., A. Busalacchi, R. Murtugudde, P. Arkin, and J. Ballabrera-Poy. 2006. An empirical parametrization for the salinity of subsurface water entrained into the ocean mixed layer (Se) in the tropical Pacific. Geophys. Res. Let., 33, doi:10.1029/2005GL024218.

2005

Asami R., T. Yamada, Y. Iryu, T. Quinn, C. Meyer, and G. Paulay, 2005. Interannual and decadal variability of the western Pacific sea surface condition for the years 1787-2000 : Reconstruction based on stable isotope record from a Guam coral. J. Geophys. Res., 110, doi:10.1029/2004JC0025555.

Delcroix, T., M. McPhaden, A. Dessier, and Y. Gouriou, 2005. Time and space scales for sea surface salinity in the tropical oceans. Deep Sea. Res., 52/5, 787-813, doi:10.1016/j.dsr.2004.11.012.

Huang, B., and V. Mehta, 2005. Response of the Pacific and Atlantic oceans to interannual variations in net atmospheric freshwater. J. Geophys. Res., 111, doi:10.1029/2004JC002830.

Phillips H., S. Wijffels, and M. Feng, 2005. Interannual variability in the freshwater content of the Indonesian-Australian basin. Geophys. Res. Let.,32, doi:10.1029/2004GL021755.

Annexe C

Le système d'observation de fCO2, actuellement en place sur deux navires de l'ORE-SSS

Les mesures de fCO_2 dans l'océan et l'atmosphère sont faites par détection infrarouge avec un système spécialement conçu pour les navires marchands. Le système utilisé est celui fabriqué aux USA et décrit par Pierrot et al. (2009). Ce système est composé de 3 boites : a) une boite humide contenant tout le système d'arrivée et d'évacuation d'eau, de vannes, b) une boite sèche contenant le détecteur infrarouge et l'électronique, c) une boite atmosphère contenant l'antenne GPS, la prise d'air, le capteur de pression atmosphérique et l'antenne iridium. Les boites sèche et humide sont installées soit dans la salle des machines, soit dans le propulseur d'étrave (Figure C1).

Figure C1. Vue du système CO_2 installé : boites sèche et humide.

Des bouteilles d'air comprimé, contenant une concentration connue de CO_2, sont utilisées pour étalonner régulièrement, au cours de la traversée, le détecteur infrarouge. La boite atmosphérique est située sur le pont du navire loin des cheminées du navire afin de pomper l'air atmosphérique non contaminé.

La transmission d'une partie des données par Iridium est actuellement en cours de mise au point afin de permettre de diagnostiquer des problèmes de fonctionnement sur le système. Le traitement des données (corrections de dérive du détecteur, de réchauffement de l'eau de mer, passage de la fraction molaire à la fugacité de CO_2) s'effectue après la récupération des données lors de l'escale en France. Les données, une fois validées, sont transmises aux bases de données de CO_2 (CARBOOCEAN, SOCAT, CDIAC).

Un capteur CARIOCA adapté aux navires marchands est actuellement en test au LOCEAN sur le MN Colibri. Les résultats de la comparaison entre les mesures par infrarouge et celles du capteur CARIOCA (colorimétrie) sont encourageants. A plus long terme le capteur CARIOCA pourra être installé sur un autre navire de l'ORE SSS afin d'augmenter la densité des mesures. Le trajet France-Afrique du sud permettrait d'augmenter la densité des observations dans l'est du bassin Atlantique.

Annexe D : REFERENCES

Antonov, J. I., R. A. Locarnini, T. P. Boyer, A. V. Mishonov, and H. E. Garcia, 2006. World Ocean Atlas 2005, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 62, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 182 pp.

Busalacchi et al., 2009, Spatio-temporal variability and error structure of SSS in the Tropics, NASA proposal, funded.

Delcroix T. et C. Hénin, 1991. Seasonal and interannual variations of sea-surface salinity in the tropical Pacific ocean. *J. Geophys. Res.,* 96, 22135-22150.

Delcroix T. et J. Picaut, 1998. Zonal displacement of western equatorial Pacific "fresh pool". *J. Geophys. Res.*, 103, 1087-1098.

Donguy J. R. and C. Hénin (1976) Relations entre les précipitations et la salinité de surface dans l'océan Pacifique tropical sud-ouest basées sur un échantillonnage de surface de 1956 à 1973. *Annales Hydrographiques*, **4**, 53-59.

Durand F., G. Gourdeau, T. Delcroix J. Verron, 2002. Assimilation of sea surface salinity in a tropical OGCM: a twin experiment approach. Journal of Geophysical Research 107(C12), 8004, doi:10.1029/2001JC000849.

Gaillard et al., 2007, GLOSCAL: Global Ocean Sea Surface Salinity: calibration and validation of SMOS, ESA proposal, funded by CNES (TOSCA) in 2006-2009

Hénin, C., and J. Grelet, 1996. A merchant ship thermosalinograph network in the Pacific Ocean. Deep Sea Res., I 43, 1833-1856.

Hénocq C, J. Boutin, F. Petitcolin, G. Reverdin, S. Arnault, and P. Lattes, 2008. Vertical variability of Sea Surface Salinity in the Tropics: Consequences for SMOS Calibration and Validation. J Atmos Ocean Technol. Revised.

Kerr, Y., .P. Waldteufel, J.P. Wigneron, J.M. Martinuzzi, J. Font, and M. Berger, Soil moisture retrieval from space: The Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission. IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing 39(8), 1729-1735, 2001.

Koblinski, C., P. Hildebrand, D. LeVine, F. Pellerano, Y. Chao, W. Wilson, S. Yueh, G. Lagerloef, Sea surface salinity from space : science goals and measurements approach. *Radio Science* 38-4, doi:10.1029/2001RS002584, 2003.

Le Bec N., A. Juillet-Leclerc, T. Correge, D. Blamart, and T. Delcroix, 2000. A coral $\delta^{18}O$ record of ENSO driven sea surface salinity variability in Fiji (South – Western Tropical Pacific). *Geophys. Res. Letter*, 27, 3897-3900.

Lefèvre, N., A.J. Watson, A. Olsen, A.F. Rios, F.F. Perez, and T. Johannessen, A decrease in the sink for atmospheric CO_2 in the North Atlantic, *Geophysical Research Letters, 31* (L07306), doi:10.1029/2003GL018957, 2004.

Loukos, H., F. Vivier, P. Murphy, D. Harrison, C. Le Quéré, 2000. Interannual variability of equatorial Pacific CO_2 fluxes estimated from temperature and salinity data. Geophysical Research Letters 27, 1735-1738.

Maes, C., Estimating the influence of salinity on sea level anomaly in the ocean, *Geophys. Res. Let*., 25, 3551-3554, 1998.

PIGB, 2005. Numéro spécial ORE de la lettre PIGB-PMRC, N°18, septembre 2005 (http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim/biblio/pigbsom.htm)./

Reverdin, G., D. Cayan, H. Dooley, D. Ellett, S. Levitus, Y. duPenhoat, and A. Dessier, 1994. Surface salinity of the North Atlantic : can we reconstruct its fluctuations over the last one hundred years. Progr. Oceanogr., 33, 303-346.

Reynolds, R. W., N. A. Rayner, T. M. Smith, D. C. Stokes and W. Wang, 2002: An improved in situ and satellite SST analysis for climate. J. Climate, 15, 1609-1625.

Roux, F. G. Bergametti et B. Hamelin, 2003, Les ORE, nouveaux observatoires de recherche sur l'environnement, La Météorologie, N°40, février 2003.

Schuster, U., and A.J. Watson, A variable and decreasing sink for atmospheric CO_2 in the North Atlantic, *Journal of Geophysical Research*, *112*, doi:10.1029/2006JC003941, 2007.

Smed, J., Annual and seasonal variations in the salinity of the North Atlantic surface water, in Rapports et Proces-Verbaux des Reunions, vol. CXII, Hydrography, pp. 79– 94, And. Fred. Host and Fils, Copenhagen, Denmark, 1943.

Takahashi, T., S.C. Sutherland, R. Wanninkhof, C. Sweeney, R.A. Feely, D. Chipman, B. Hales, G.E. Friederich, F.P. Chavez, A. Watson, D.C.E. Bakker, U. Schuster, N. Metzl, H. Yoshikawa-Inoue, M. Ishii, T. Midorikawa, Y. Nojiri, C. Sabine, J. Olafsson, T.S. Arnasson, B. Tilbrook, T. Johannessen, A. Olsen, R.G.J. Bellerby, A. Kortzinger, T. Steinhoff, M. Hoppema, H.J.W. De Baar, C.S. Wong, B. Delille, and N.R. Bates, Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO_2, and net sea-air CO_2 flux over the global oceans, *Deep Sea Research*, doi:10.1016/j.dsr2.2008.12.009, 2009.

Varillon, D., 2009. SODA documentation (available from the ORE SSS web page).

Vialard, J., P. Delecluse et C. Menkes, A modeling study of salinity variability and its effects in the tropical Pacific ocean during the 1993-1999 period, *J. Geophys. Res*., 107, doi.10.1029/200JC000858, 2002.

Wust G. 1964. The major deep–sea expeditions and research vessels 1873–1960: a contribution to the history of oceanography. Progress in Oceanography 2: 3–52.

ANNEXE E

Illustration de la variabilité temporelle et spatiale des signaux analysés.

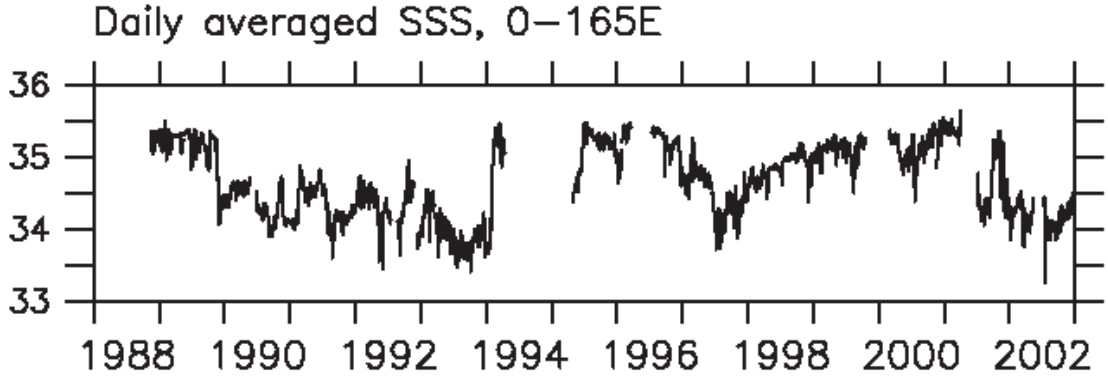

Figure E1. Variations temporelles de la SSS dans le Pacifique équatorial ouest, à 0°-165°E.

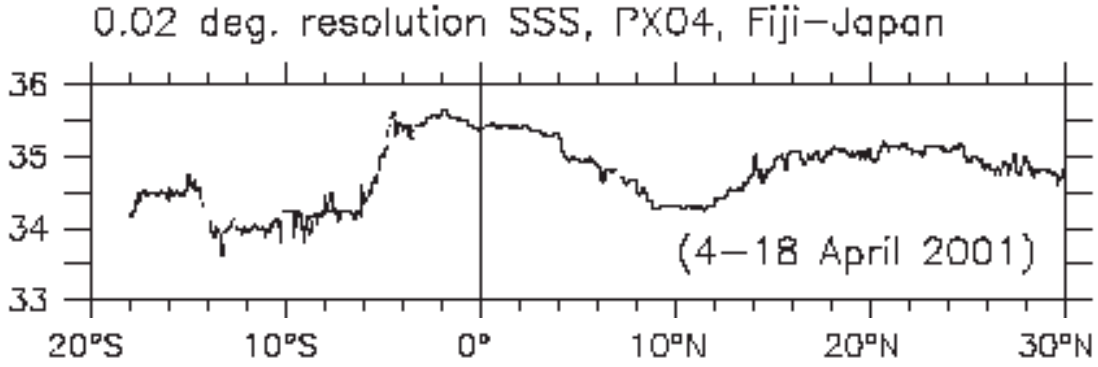

Figure E2. Variations spatiales de la salinité de surface dans le Pacifique tropical ouest, le long d'une ligne de navigation entre Fidji et le Japon.

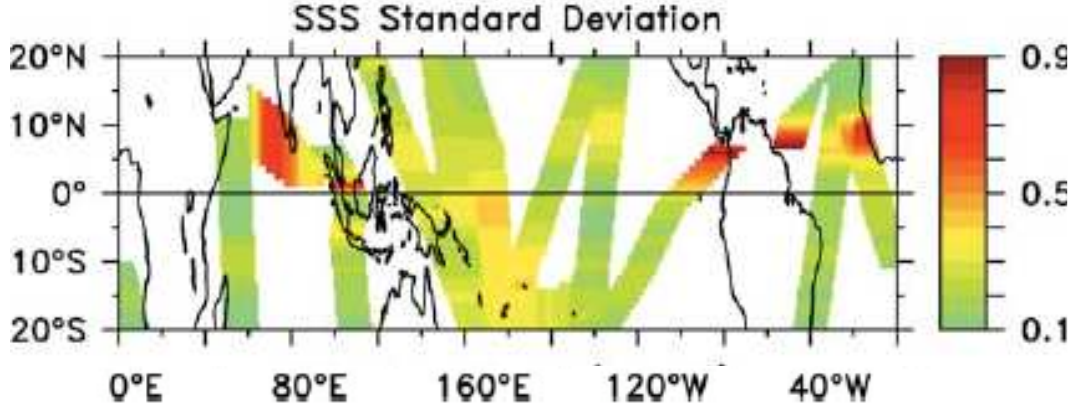

Figure E3. Ecarts type de la SSS le long de 13 rails de navigation dans l'océan tropical, calculés à partir de valeurs mensuelles sur des séries 'longues'. On notera, Figures E1-E3, l'amplitude de la variabilité temporelle et spatiale, très supérieure à la précision de la mesure de l'ordre de 0,02. (D'après Delcroix et al., 2005).

ANNEXE E.: CV du responsable.

Thierry Delcroix
53 ans ; DR1 / IRD
http://www.legos.obs-mip.fr/~delcroix/

Formation

DEA d'Océanologie et de Météorologie, Université P.&M. Curie, Paris VI, 1980.
Doctorat de 3iéme cycle, Océanographie Physique, Université P.&M. Curie, Paris VI, 1983.
Habilitation à Diriger des Recherches, Université P. Sabatier, Toulouse, janvier 2007.

Mobilité

1981-1983. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
1984-1985. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, USA.
1985. Centre ORSTOM de Brest.
1986-2001. Centre IRD de Nouméa, Nouvelle-Calédonie.
Depuis 2002. LEGOS, Toulouse.

Expertise

Océanographe physicien, spécialiste du phénomène El Niño dans le Pacifique tropical, spécialiste des mesures de salinité de surface et de leur interprétation physique.

Responsabilités.

- Animateur de l'axe Régions Tropicales du Programme National d'Etudes de la Dynamique du Climat (PNEDC) (2004-2005).
- Directeur du Laboratoire d'Océanographie Physique du Centre IRD de Nouméa, Nouvelle Calédonie (1997-2002).
- Responsable scientifique du réseau de mesures de la salinité de surface par thermosalinographes embarqués sur navires marchands dans le Pacifique tropical (1997-2002).
- Responsable de l'Observatoire de Recherche en Environnement dédié au suivi de la salinité de surface (ORE-SSS ; http://www.legos.obs-mip.fr/observations/sss/) par navires marchands dans l'Océan global (2002-actuellement).
- Membre du CLIVAR (http://www.clivar.org) Ocean Observation Panel (2000-2005).
- Membre du CLIVAR Pacific Panel (2001-2005).
- Co-chairman du Global Ocean Surface Underway Data (GOSUD; http://www.gosud.org), équivalent international de l'ORE-SSS (2002-2006).
- Membre élu de la CSS1 / IRD (2003-2007).
- Membre nommé du comité d'arbitrage du DSF / IRD (2006-2009).
- Membre de la Commission Nationale Flotte et Engins (CNFE ; 2007-actuellement).
- Direction de l'équipe Océan du Large et Variabilité Climatique (OLVAC) au LEGOS, Toulouse (2007-actuellement).
- Membre du comité de pilotage du Centre Aval de Traitement des Données SMOS (2009 -)_

Activités scientifiques.

- Auteurs de 135 publications, dont 52 avec comité de lecture, 5 chapitres d'ouvrages.
- Auteurs de 185 communications dans des conférences nationales et internationales.
- Participation à 91 propositions de recherche financées (36% comme investigateur principal).
- Encadrement de 1 à 2 stagiaires par an depuis 1992
- Membre du comité d'organisation de 5 congrès internationaux.
- Participation à 10 campagnes océanographiques.
- Membre d'une vingtaine de jurys de thèses et HDR.