



HAL
open science

Expédition OceanoScientific 2016-2017: Étude des mesures de température et de salinité de surface

Thierry Reynaud, Gilles Reverdin, Nicolas Metzl, Yvan Griboval

► **To cite this version:**

Thierry Reynaud, Gilles Reverdin, Nicolas Metzl, Yvan Griboval. Expédition OceanoScientific 2016-2017: Étude des mesures de température et de salinité de surface. 2018. hal-02343960

HAL Id: hal-02343960

<https://hal.science/hal-02343960>

Submitted on 3 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ODE/LOPS

Reynaud Thierry, Reverdin Gilles, Metzl Nicolas, Griboval Yvan

Date :18/12/2018

Expédition OceanoScientific 2016-2017 : Étude des mesures de température et de salinité de surface



Fiche documentaire

Titre du rapport : Expédition OceanoScientific 2016-2017 : Étude des mesures de température et de salinité de surface.	
Référence interne : LOPS/18-05 Diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : AAA/MM/JJ <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	Date de publication : 15/12/2018 Version : 1.2.0 Référence de l’illustration de couverture Yvan Griboval Langue(s) : Français
Résumé / Abstract : Le <i>Programme OceanoScientific</i> initié en 2006 a permis la création d’un équipement spécifique : l’ <i>OSC System</i> , pour mesurer des paramètres physiques à l’interface air-mer. Des mesures de température et salinité sont ainsi effectuées par cet équipement à la surface des océans. Le voilier <i>OceanoScientific Explorer "Boogaloo"</i> équipé de l’ <i>OSC System</i> a effectué un tour du monde du 17/11/2016 au 02/06/2017, dont 60 jours sous le 40° Sud, objet du présent rapport. Les mesures de température et de salinité collectées lors de cette campagne sont discutées dans ce rapport ainsi que le fonctionnement du thermo-salinomètre.	
Mots-clés/ Key words : Mesures, température, salinité, surface, Oceanoscientific, Boogaloo, Antarctique / temperature, salinity, SST, SSS, measurements, antarctic	
Comment citer ce document :	
Disponibilité des données de la recherche :	
DOI :	

Commanditaire du rapport :	
Nom / référence du contrat :	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif (réf. interne du rapport intermédiaire : LOPS/18-05)	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) :	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
auteur 1 thierry.reynaud@ifremer.fr	ODE/LOPS/OH
auteur 2 gilles.reverdin@locean-ipsl.upmc.fr	LOCEAN/IPSO
auteur 3 nicolas.metzl@locean-ipsl.upmc.fr	LOCEAN/ECO2
auteur 4 gribo@oceanoscientific.org	OceanoScientific
Encadrement(s) :	
Destinataire :	
Validé par :	

Sommaire

Table des matières

1. Introduction	5
1.1 Historique	5
1.2 La campagne 2016-2017	6
2. Le suivi technique de l' <i>OSC-Water</i>	7
2.1 <i>OSC-Water</i> et métrologie	7
2.2 Nettoyage de l' <i>OSC Water</i>	8
2.3 Les échantillons d'eau de mer	9
3. Fonctionnement de l' <i>OSC-Water</i>	10
3.1 Mise en route du TSG et présence de bulles d'air	10
3.2 Analyse du débit d'eau de mer	11
4. Sondes externes de température	13
4.1 Installation et programmation	13
4.2 Éléments statistiques entre les mesures de température	17
4.3 Contrôles métrologiques sur les capteurs de température S2T	17
4.4 Ajustage des mesures de température de l' <i>OSC-Water</i>	18
4. Données de l' <i>OSC-WATER</i>	18
5. Conclusions	20

1. Introduction

1.1 Historique

Après une carrière de coureur au large professionnel et de journaliste de presse écrite et TV, puis de chef d'entreprise organisateur d'événements nautiques, Yvan Griboval a imaginé en 2005-2006 que les voiliers de compétition océanique engagés dans des tours du Monde par les trois caps : Bonne-Espérance, Leeuwin et Cap Horn, c'est-à-dire qui naviguent tous les deux ou quatre ans dans le Courant Circumpolaire Antarctique, pourraient probablement apporter une contribution à la communauté scientifique internationale pour une meilleure connaissance de l'Océan et, par conséquent, pour mieux appréhender les causes et les conséquences du changement climatique.

Le 14 novembre 2006, l'éminent glaciologue Jean-Claude Gascard a mis Yvan Griboval en contact avec un groupe de scientifiques alors en réunion dans les locaux parisiens du LOCEAN (UPMC - CNRS), dirigé à ce moment-là par Laurence Eymard et, notamment : avec Fabienne Gaillard (Ifremer), Gilles Reverdin et Nicolas Metzl (LOCEAN).

Le *Programme OceanoScientific* a été créé à cette date. Son développement a été piloté dès lors par Fabienne Gaillard - décédée la veille du passage du Cap Horn par Yvan Griboval en solitaire à bord de l'*OceanoScientific Explorer "Boogaloo"*, la navigation objet du présent rapport. Puis, le 7 janvier 2011, un groupe de bénévoles réunis par Yvan Griboval a fondé l'association philanthropique d'intérêt général *OceanoScientific*. Enfin, le 14 décembre 2017, le Conseil d'Administration de *OceanoScientific* a créé un "*Comité Scientifique Fabienne Gaillard*" dont la direction a été confiée à Laurence Eymard, entourée de onze membres.



Figure 1: Fabienne Gaillard à bord de l'*OceanoScientific Explorer Boogaloo*

Le principal défi du *Programme OceanoScientific* a été de concevoir un matériel spécifique : l'*OceanoScientific System (OSC System)*, capable de répondre aux attentes des scientifiques en fonctionnant dans l'environnement hostile d'un petit voilier (15 à 20 mètres) de course tout en carbone, pauvre en énergie.

De surcroît, il était nécessaire que l'*OSC System* fonctionne en autonomie totale, tant en collecte des données toutes les six secondes - pour un traitement en temps différé - qu'en transmission automatique par iridium d'une médiane réalisée entre H-10 et H, pour un traitement en temps quasi-réel. Il a fallu concevoir et de développer le logiciel *OSC-Software* : une originalité de l'*OSC System* toujours unique à ce jour.

Entre le 14 octobre 2009, date à laquelle le premier prototype de l'*OSC System* a été déclaré opérationnel dans le port de Caen et le 17 novembre 2016, départ de l'*Expédition OceanoScientific 2016-2017* de Monaco, il a été nécessaire de financer et de développer l'*OSC System*. Bon nombre de tests ont ainsi été effectués sur le trois-mâts *Bark Europa*.



Figure 2: *OCS-System* à bord du *Bark Europa*

1.2 La campagne 2016-2017

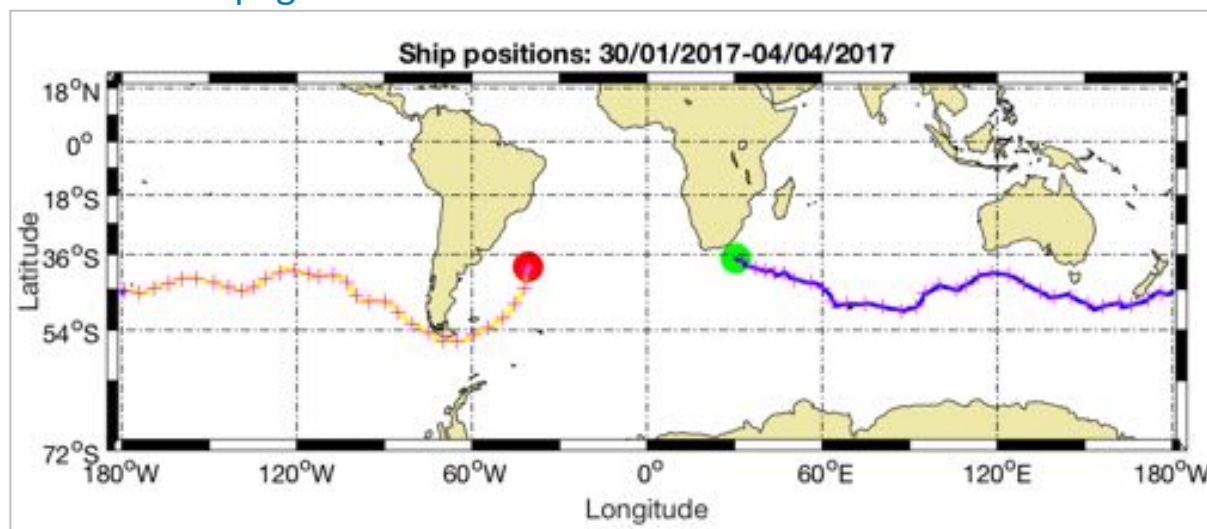


Figure 3 : Parcours de *Boogaloo* dans les Quarantièmes Rugissants et les Cinquantièmes Hurlants, sous 40° S

A bord du voilier monocoque de performance *OceanoScientific Explorer "Boogaloo"* (16 mètres), Yvan Griboval a réalisé un tour du monde en solitaire de Monaco à Monaco, du 17 novembre 2016 au 2 juin 2017. Soit 152 jours de mer et quelques escales, dont 60 jours sans arrêt sous le quarantième parallèle Sud et les trois grands caps continentaux : Bonne-Espérance, Leeuwin et le Cap Horn (Figure 3).

Ce voilier était équipé de l'*OSC System* qui effectue des mesures à l'interface air-mer dans l'atmosphère et dans l'océan : vent, pression atmosphérique, humidité, ph, pCO₂, fluorescence, température et salinité de l'eau de mer. La composante "océan" de cet équipement est appelée *OSC-Water* (Figure 4). Le choix des capteurs est déterminé par les seuls scientifiques. La cellule du thermo-salinomètre (TSG) est composée de capteurs Sea-Bird Scientific.

Il s'agit ici de regarder les données de l'*OSC-Water* avec une attention particulière aux mesures de température et de salinité effectuées après l'escale en Afrique du Sud au Cap (Figure 3). Rappelons que nous nous intéressons aux données traitées en temps différé. Les données horaires transmises par satellite au GTS via Météo-France, ne sont pas discutées ici.

Nous nous intéresserons à la préparation du thermo-salinomètre (TSG), aux capteurs de température fixés sur la quille, aux échantillons prélevés par le skipper dans le Courant Circumpolaire Antarctique (Figure 1) et aux données obtenues.

Nous nous concentrerons sur la température et la conductivité de l'eau de mer. Rappelons que la salinité n'est pas directement mesurée. C'est une propriété de l'eau de mer calculée à partir de la conductivité et de la température.

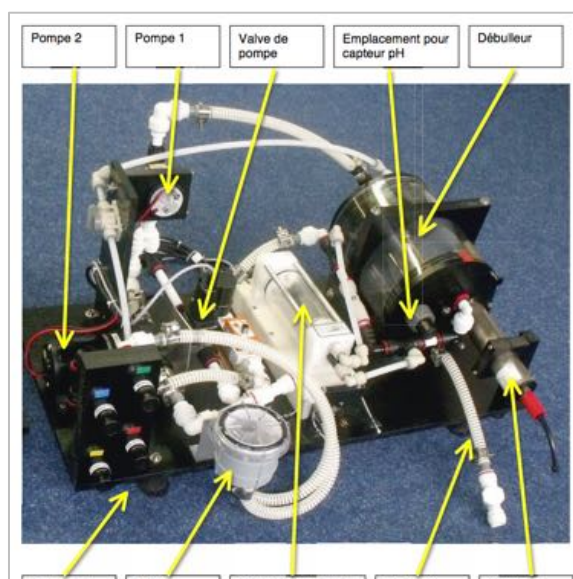


Figure 4: Vue de l'*OSC-System*

2. Le suivi technique de l'OSC-Water

2.1 OSC-Water et métrologie

Le suivi des capteurs est une étape essentielle. En prévision de ce long périple, les sondes de température et de conductivité ont été extraites de l'OSC System et expédiées pour contrôle aux Etats-Unis chez Sea-Bird Scientific qui les a fabriquées.

La dernière calibration datait de 2013, année de leur achat. Une vérification complète et une calibration des capteurs a donc été effectuée en octobre 2016, permettant une mise à jour des constantes de calibration.

Ce sont ces constantes qui permettent de transformer les sorties mesurées par les capteurs en grandeur physique, que ce soit pour la température ou la conductivité.

En effet, le capteur de température fournit en sortie la valeur "n" qui est incorporée à l'équation suivante :

$$\text{Eq 1} \rightarrow T = 1 / \{A0 + A1 * \ln(n) + A2 * \ln^2(n) + A3 * \ln^3(n)\} - 273.15$$

Elle nous donne ainsi la température en °C dans la norme ITS-90.

Les valeurs de A permettent le calcul de la température. Elles sont fournies par le constructeur Sea-Bird Scientific qui réalise l'ajustement.

L'évolution des valeurs est présentée dans le Tableau 1 ci-dessous :

Constantes	11/08/2013	03/11/2016	07/03/2018
A0	-9.173328e-005	-6.841927 e-005	-7.561708e-005
A1	3.064775e-004	3.010245e-004	3.026941e-004
A2	-4.555638e-006	-4.129912e-006	-4.258139e-006
A3	2.060944e-007	1.949953e-007	1.982539e-007

Tableau 1: Valeurs des coefficients Seabird pour la température

Pour la conductivité la démarche est similaire. Le capteur mesure une fréquence instrumentale : "freq", qui est transformée de la manière suivante :

$$\text{Eq. 2} \rightarrow f = \text{freq} * (1.0 + \text{WBOTC} * t)^{1/2} / 1000.0$$

WBOTC est une constante fournie par le constructeur et t est la température en °C.

La valeur de "f" est calculée à partir de l'équation no 2 et est ensuite incorporée dans l'équation ci-dessous, permettant le calcul de la conductivité en Siemens/m :

$$\text{Eq. 3} \rightarrow C = (g + h*f^2 + i*f^3 + j*f^4) / (1 + CT_{cor}*t + CP_{cor}*p)$$

Les constantes à connaître pour la conductivité sont donc : g, h, i, j, CT_{cor}, CP_{cor} et WBOTC.

De la même manière les constantes concernant la conductivité ont été ajustées par Sea-Bird Scientific, telles que présentées dans ci-dessous (Tableau 2) :

Constantes	11/08/2013	03/11/2016	07/03/2018
g	-9.836619e-001	-9.882038e-001	-9.515115e-001
h	1.285753e-001	1.296038e-001	1.301035e-001
i	-2.655023e-004	-5.293591e-004	-6.340288e-004
j	3.773021e-005	5.593729e-005	6.304596e-005
CP _{cor}	-9.5700e-008	-9.5700e-008	-9.5700e-008
CT _{cor}	3.2500e-006	3.2500e-006	3.2500e-006
WBOTC	5.1125e-007	5.1125e-007	5.1125e-007

Tableau 2 : Valeurs des coefficients Seabird pour la conductivité

L'ajustement en laboratoire de métrologie permet aussi d'assurer la précision des mesures. Un ajustement similaire a été effectué en mars 2018.

Les coefficients ajustés doivent être correctement saisis pour décoder précisément les signaux des sondes. Ces coefficients ont été saisis dans l'OSC System par l'équipe EMS Systemas de Barcelone (Espagne) lors d'une escale à Cartagena (Espagne) spécifiquement à ce titre, avant que l'OceanoScientific Explorer "Boogaloo" ne quitte la Méditerranée pour son périple autour du Monde.

Pour les physiciens, une mesure est associée à une barre d'erreur. C'est un couple indissociable.

2.2 Nettoyage de l'OSC Water

Des bio-salissures se développent dans l'eau de mer sur les coques des navires, sur leurs appendices et sur les sondes mises en place. Si elles ont peu d'impact sur les mesures de température, elles réduisent la conductivité et donc les estimations de la salinité.

L'OceanoScientific Explorer "Boogaloo" a fait une escale au Cap en Afrique du Sud le 10 janvier 2017 pour près de trois semaines. Un nettoyage de la chambre et de la cellule de conductivité a été effectué

par l'équipe de Sea Technology Services (STS), société spécialisée, référencée par les fabricants de capteurs, dont SeaBird Scientific.

Il n'a pas été prévu de nettoyer le TSG durant la campagne. L'*OSC System* est installé dans un espace peu accessible en cours de navigation lorsque les conditions sont difficiles du fait de la grande vitesse de ce voilier, dont le pont est régulièrement submergé.

2.3 Les échantillons d'eau de mer

Le nettoyage de l'*OSC-Water* n'a pu être effectué pour les raisons évoquées ci-dessus. Pour pallier cela, il a été prévu de contrôler la dérive du capteur de conductivité en prélevant de l'eau de mer quotidiennement, généralement vers 18h00 TU, stockée dans des flacons OSIL selon le protocole GOSUD et scellés par un opercule et un bouchon après que le goulot ait été rincé à l'eau douce, selon la procédure imposée. 58 échantillons auront été prélevés par le skipper.

Les échantillons ont été remis au LOPS le 3 juillet 2017. Les analyses ont été effectuées Les 17 et 18 juillet 2017 en utilisant le salinomètre de type Portasal - Guildline du LOPS garantissant une précision de 0.003 PSU.

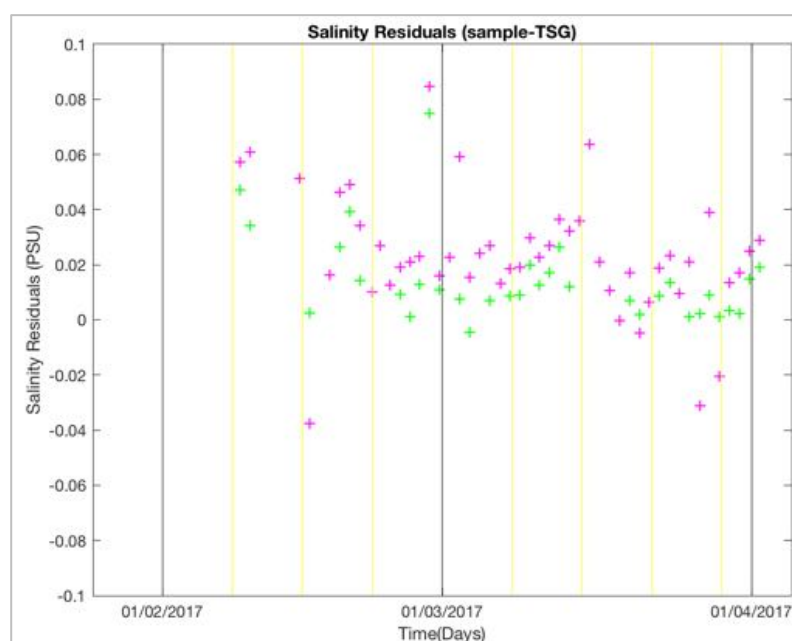


Figure 5 : Résidus de salinité mesurés à partir des échantillons

La série temporelle des résidus sur les mesures de salinité apparaît ci-dessus (Figure 5). Nous nous sommes concentrés sur les valeurs entre -0.1 et 0.1. Ces valeurs représentent la différence entre la salinité de l'échantillon et celle de l'*OSC System*. Sur cette figure :

- les lignes verticales noires représentent le 1^{er} du mois
- les jaunes verticales représentent les 8, 22 et 29 du mois.
- Les valeurs positives indiquent que les échantillons sont plus salés que les mesures de l'*OSC System*.

Nous sommes confrontés à deux difficultés : l'âge des échantillons car six mois est un âge avancé pour les flacons qui ne sont malheureusement jamais complètement étanches ; l'heure approximative - à quelques minutes près - des prélèvements.

A ce sujet, précisons que le skipper a navigué en solitaire et il devait s'équiper pour prélever de l'eau de mer au seau, dans des conditions complexes, parfois dangereuses. Les heures consignées dans le carnet des prélèvements représentent le moment où l'opération est menée, avec une tolérance de quelques minutes.

Ne connaissant donc pas l'heure exacte des prélèvements, nous avons combiné les mesures prises par l'*OSC-Water* et un intervalle de prélèvement de plus ou moins neuf minutes autour des heures consignées par le skipper, afin d'étudier les écarts en salinité entre les échantillons et le TSG. **La Figure 5 présente donc des valeurs minimales (vert) et maximales (magenta) des résidus sur l'intervalle de 18 minutes centré sur les heures de prélèvements fournis par le skipper.**

On n'y voit aucune tendance. Tout juste un biais de 0.02 PSU. On se serait attendu à ce que le TSG se salisse dans le temps, sous-estimant alors la salinité. Ce n'est pas flagrant et c'est donc à souligner. Les valeurs élevées les plus anciennes, en début de périple, sont probablement imputables à des flacons qui ne sont pas parfaitement hermétiques, malgré le soin apporté aux collectes d'échantillons par le skipper en solitaire.

En l'état l'ajustage suivant est proposé : 0.02 +/- 0.05 PSU, ce qui donne :

$$\rightarrow S_{\text{final}} = S_{\text{TSG}} + 0.02 \pm 0.05 \text{ PSU}$$

3. Fonctionnement de l'*OSC-Water*

3.1 Mise en route du TSG et présence de bulles d'air

Dès le départ du Cap, les équipes à terre se sont inquiétées des valeurs transmises relatives à la température et la salinité de l'eau de mer. Les débits transmis étaient bons mais les valeurs de SST et SSS ne l'étaient pas. Après vérification à notre demande expresse, le skipper a constaté l'existence d'une grosse bulle d'air dans la chambre du TSG bloquant semble-t-il le flux d'eau.

Les équipes à terre ont compris que la chambre du TSG avait effectué une malencontreuse rotation de 180° au remontage dans les ateliers américains de Sea-Bird Scientific en 2016, lors du contrôle et du calibrage du SBE45. Sur recommandation de Denis Diverrès (IRD), le skipper est intervenu en mer pour rétablir la situation.

Il faut donc considérer que la période d'acquisition de l'*OSC-Water* va du **7 février 2017 à 17h02 jusqu'au 2 avril 2017 à 21h21**. Le TSG a en effet été volontairement arrêté lors du franchissement du parallèle 40° Sud en Atlantique Sud, considérant dès son origine que l'*Expédition OceanoScientific* ne concernerait que la partie d'Océan comprise sous cette limite géographique.

3.2 Analyse du débit d'eau de mer

Il s'agit maintenant de regarder le débit d'eau qui alimente le TSG, sachant que l'*OSC-Water* est alimenté par deux pompes. Or, sur les navires de petite taille - 16 mètres ici - la réduction de la consommation énergétique est une obligation permanente.

Afin de diminuer la sollicitation des pompes, donc la consommation d'énergie - produite exclusivement par des hydro-générateurs (Watt&Sea), c'est-à-dire sans aucun rejet de CO₂ - l'*OSC-Water* exploite la vitesse du voilier pour faire circuler de l'eau de mer puisée par deux écopés installés à l'arrière du navire, dans une zone toujours immergée. Soit une sur chaque bord, pour qu'une écope soit toujours en action en fonction de la gite du voilier monocoque sous l'effet du vent.

On peut conserver en tête le chiffre de 1.8 litre/minute recommandé par SeaBird Scientific sur ses TSG SBE 45 dont est dérivée la cellule de conductivité de l'*OSC System*, car le skipper dispose d'un retour écran sur l'ordinateur de bord et il veille aussi souvent que possible à ce que le flux d'eau de l'*OSC-Water* soit conforme à nos recommandations.

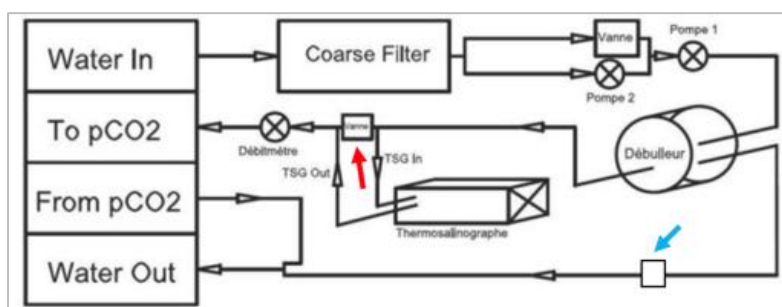


Figure 6 : Circuit de l'eau dans l'*OSC Water*

Nous ne disposons d'aucune information sur le fonctionnement des deux pompes (Figure 6). Un débitmètre est installé sur le circuit d'eau de mer en sortie de la chambre de l'*OSC-Water* avant l'alimentation du capteur de pCO₂. Cependant l'existence d'un by-pass sur le circuit complique la donne car nous ne savons pas exactement quel débit alimente la branche du TSG (Figure 6).

Le débit dans le circuit est un critère pour filtrer les mesures de température et de salinité.

Il s'agit maintenant d'explorer le lien qui unit vitesse du voilier et débit, en conservant en tête que nous ne savons pas quand les pompes sont en service, puisqu'elles sont déclenchées automatiquement lorsque le flux d'eau engendré naturellement par la vitesse diminue. C'est à la fois un atout et un inconvénient pour nous.

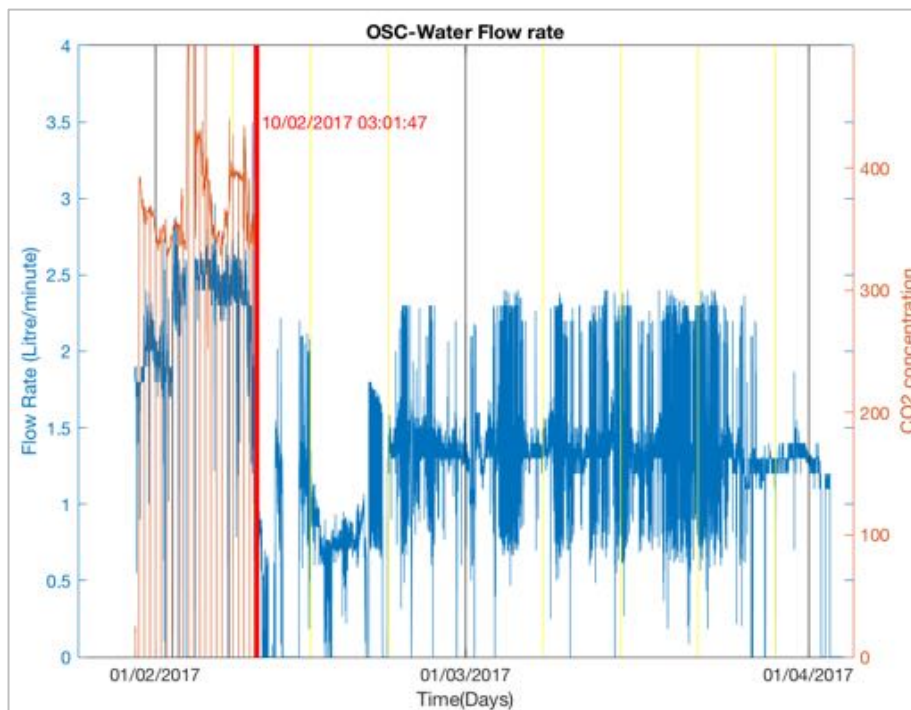


Figure 7 : Séries temporelles du débit et de la concentration de pCO₂

La Figure 7 ci-dessus présente deux séries temporelles : celle du pCO₂ (données brutes non calibrées) superposée à celle du débit d'eau dans le circuit. Les mesures de pCO₂ tombent à zéro le 10/02/2017 à 3h00 TU (ligne rouge sur la Figure 7). Le skipper a en effet volontairement déconnecté le capteur de pCO₂ SubCtech, considérant que celui-ci n'était pas adapté sur un navire rapide et, de ce fait, il ne souhaitait pas que les données produites par ce capteur soient transmises toutes les heures au GTS via Météo-France.

Cette figure met en lumière que l'arrêt volontaire de fonctionnement du capteur de pCO₂ - par décision du skipper - a un impact direct sur le débit d'eau mesuré.

En effet, on constate que les débits moyens enregistrés avant le 10 février 2017 à 3h00 du matin sont supérieurs à 2 litres/minute et qu'après cette date ils tombent à 1.4 litre/minute.

On note aussi que le débit est plus bruité après cette date tombant à ~0.65 litre/minute et grimpant à plus de 2 litres/minute sur une courte période de temps.

On constate enfin que la circulation s'est momentanément interrompue en février lorsque le circuit d'eau a été obturé par des algues à l'Est des Kerguelen.

La Figure 8 ci-dessous permet d'explorer le lien entre la vitesse du voilier et le débit. Elle confirme que les débits les plus élevés étaient atteints lorsque le capteur de pCO₂ était en activité (voir les points rouges), c'est-à-dire que l'OSC System fonctionnait tel qu'il avait été conçu et testé préalablement.

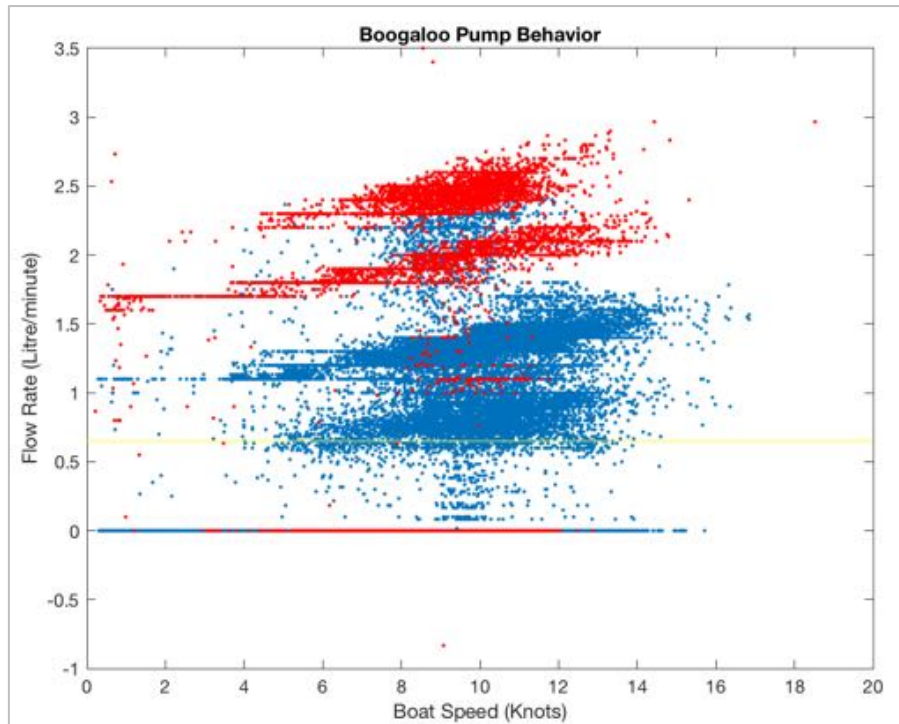


Figure 8 : Débit d'eau en fonction de la vitesse de l'*OceanoScientific Explorer "Boogaloo"*

Il faut distinguer le débit du TSG qui est inconnu et le débit du circuit d'eau qui fait l'objet de cette discussion. On sait donc que les pompes sont partiellement utilisées mais on remarque qu'à partir de quatre nœuds un débit supérieur à 0.65 litre/minute (Figure 8 - Ligne jaune) qui nous apparaît comme un seuil d'exploitation des données. On pense que les petits morceaux d'algues qui se promenaient dans le circuit d'eau entre l'écope et le filtre de l'*OSC-Water*, ont perturbé la bonne circulation du flux d'eau de mer.

L'importante variabilité du débit nous apparaît comme un point essentiel à améliorer avant une prochaine *Expédition OceanoScientific* et des solutions, fruit de cette expérience, sont proposées par l'équipe technique de *OceanoScientific*.

4. Sondes externes de température

4.1 Installation et programmation

L'*OSC-Water* est raccordé aux prises d'eau de mer (écopes) par un tuyau. L'eau de mer prélevée subit donc en théorie un échange thermique avec l'intérieur du navire le long de son trajet vers l'*OSC-Water*. Cet échange thermique est réduit : d'une part du fait que ce bateau en carbone (matière très conductrice) n'est équipé d'aucune source de chauffage / climatisation ; d'autre part grâce à l'installation d'une gaine isolante mise en place autour des tuyaux. De ce fait, la température mesurée dans la chambre de l'*OSC-Water* pourrait-être légèrement différente de celle l'eau de mer de surface. Il s'agit maintenant de quantifier cet échange.

On imagine aisément que l'eau de mer stagnante sera en équilibre thermique avec son environnement, soit l'intérieur du navire. Outre le contraste thermique entre l'intérieur du navire et l'eau de surface, le temps de résidence de l'eau de mer dans la tuyauterie est donc un facteur important qui dépend du diamètre, de la longueur du tuyau et du débit.

Un tuyau d'une longueur de trois mètres et d'un diamètre de 17 mm a un volume de 0.6809 litre. L'eau met donc 45 secondes à une minute pour atteindre les capteurs de température du TSG en fonction du débit (de 0.65 litre/minute à 1.4 litre/minute).

Aucune sonde externe de température n'a été prévue dans cette version de l'*OSC-Water*. L'installation d'une telle sonde aurait impliqué des modifications matérielles et logicielles assez lourdes, tant techniquement que financièrement.

A la place, deux sondes autonomes S2T du fabricant NKE ont été fixées sur la quille (Figure 9).



Figure 9 : Une sonde externe de température a été installée de part et d'autre de la quille - Ici à tribord

Rappelons que ces sondes ont une précision limitée de 0.05°C et une constante de temps assez élevée de deux minutes.

Ces sondes ont été programmées et mises à l'heure au LOPS (Ifremer) en septembre 2016 et fixées tête bêche de part et d'autre de la quille en octobre 2016 (Tableau 3) par l'équipe technique de Oceanoscientific.

Type	Numéro	Profondeur	Cadence	Installation	Position
S2T	36097	2 à 3 mètres	30 secondes	Face bâbord	Capteur vers l'arrière
S2T	36098	2 à 3 mètres	45 secondes	Face tribord	Capteur vers l'avant

Tableau 3 : Détails sur l'installation des sondes externes de température

Il est à noter que faute de temps disponible pour ce faire, aucun contrôle métrologique n'a été effectué par l'Ifremer avant l'installation des sondes sur le voilier, en provenance directe du fournisseur (NKE Instrumentation - Hennebont).

Au retour de campagne, les sondes ont été retournées au LOPS. Les données ont été lues fin août 2017 via le logiciel WinMemo II.

Des dérives d'horloge considérables ont été relevées lors de l'extraction des données (Tableau 4).

Type	Numéro	Heure PC	Heure Sonde
S2T	36097	28/08/2017 15h09 35"	28/08/2017 03h48 43"
S2T	36098	28/08/2017 15h34 30"	28/08/2017 09h12 52"

Tableau 4 : Dérives d'horloge des sondes autonomes

On constate donc que les horloges des sondes retardent donc de plusieurs heures.

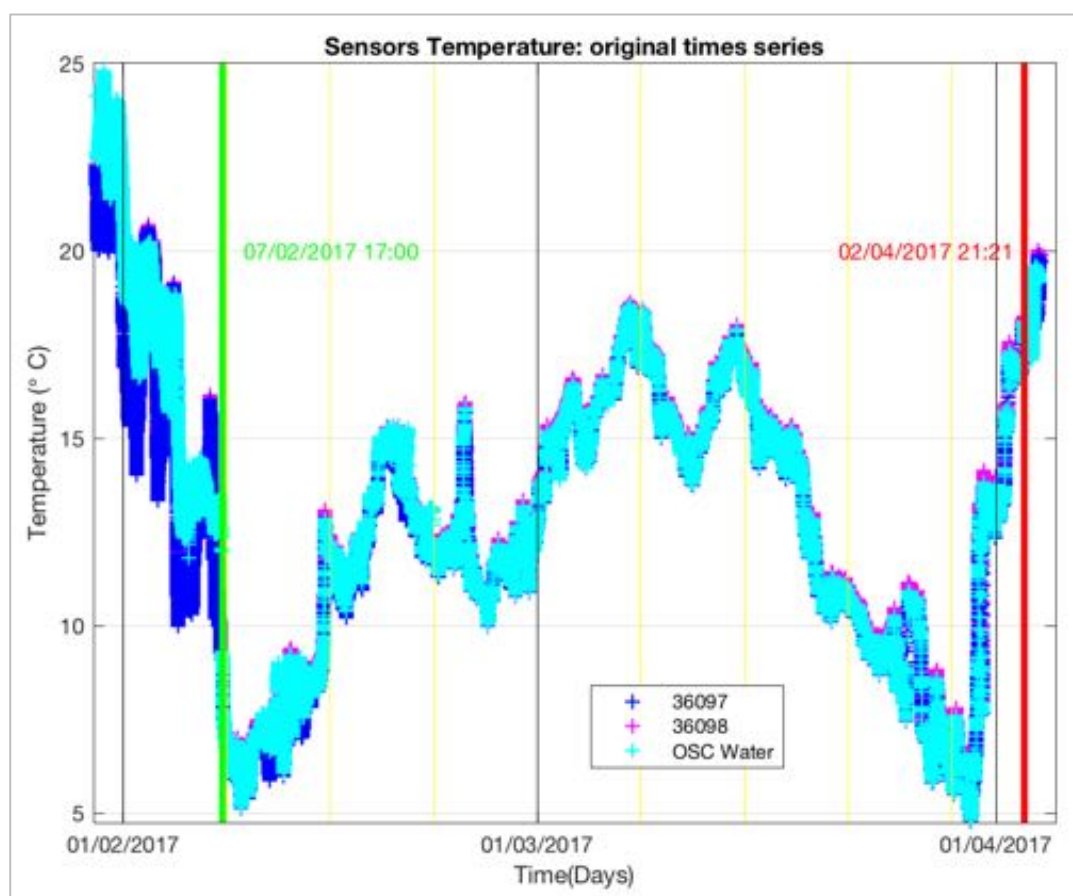


Figure 10 : Comparaisons des mesures de SST

Les séries temporelles des mesures des trois sondes de température, *OSC-Water* et deux sondes sur la quille, sont présentées ci-dessus (Figure 10).

Nous portons notre attention sur la partie de la figure comprise entre la ligne verte et la ligne rouge. Ces deux lignes correspondent à la plage fonctionnelle d'utilisation de l'*OSC-Water* sur laquelle nous nous concentrons.

La première information à relever est que **les séries temporelles des trois sondes sont en phase.**

Les dérives d'horloges importantes mentionnées plus tôt ne sont pas observées sur la période qui nous intéresse.

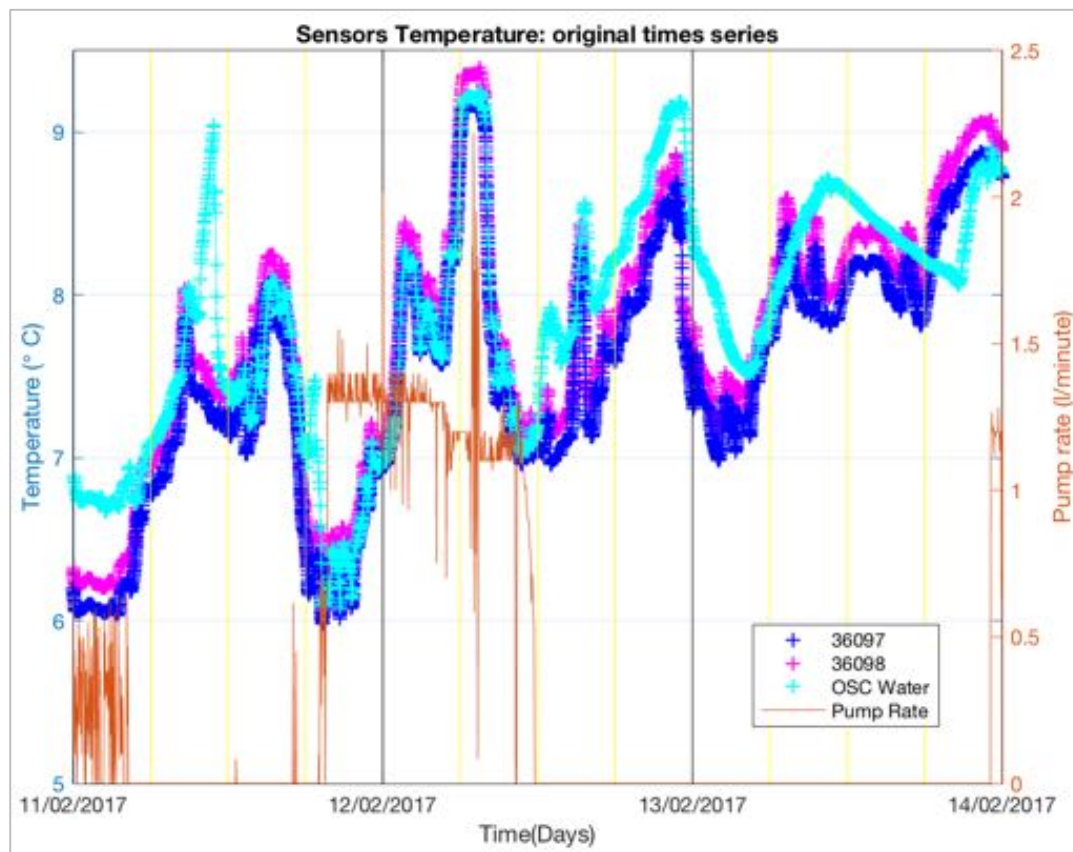


Figure 11 : Mesures de SST sur la fenêtre du 11 au 14 février 2017

Une attention particulière est portée sur la période du 11 au 14 février 2017 (voir Figure 11). Le débit est également présenté sur cette figure qui confirme que les trois capteurs sont bien en phase tant qu'il y a un débit d'eau suffisant dans l'*OSC-Water*.

En effet, un décalage apparaît entre les mesures de l'*OSC-Water* et les deux sondes de quille entre le 12 février à 12h00 et le 13 février à 21h00, alors que le débit s'interrompt du fait de la présence d'algues dans le circuit d'eau.

On constate également que les mesures de la sonde 36098 sont systématiquement supérieures à celles de la sonde 36097.

Dernière remarque, lorsque le débit est suffisant, les mesures de l'*OSC-Water* sont comprises entre celles des deux sondes de quille.

Nous verrons plus loin que cette remarque dépasse le cadre de la fenêtre temporelle de trois jours présentée ci-dessus (Figure 11).

4.2 Éléments statistiques entre les mesures de température

Il s'agit maintenant de quantifier les écarts entre les sondes de quille et les mesures de l'*OSC-Water*.

Les mesures de température des sondes de quille et celles de l'*OSC-Water* ont d'abord été interpolées sur la même trame temporelle pour pouvoir les soustraire l'une de l'autre. Des écarts ont ensuite été calculés : $T_{TSG_T_{quille}}$.

Des valeurs positives indiquent que le TSG est plus chaud que l'eau qui s'écoule sur la quille à l'extérieur du voilier et inversement.

Des valeurs négatives indiquent que le TSG est plus froid que l'eau à l'extérieur du voilier.

Nous avons ensuite calculé des moyennes et des écart-types (Tableau 5) sur les séries temporelles en filtrant les valeurs pour lesquelles les débits sont inférieures à un flux de 0.65 litre/minute et en excluant les valeurs correspondantes à un TSG non-fonctionnel (Figure 9 - Lignes verticales verte et rouge).

Sonde	< $T_{TSG_T_{quille}}$ > Moyenne (°C)	< $T_{TSG_T_{quille}}$ > STD (°C)
36097	0.0511	0.0407
36098	- 0.1213	0.0787

Tableau 5 : Moyennes et écart-types sur les capteurs de températures

Ce dernier tableau montre que la sonde S2T 36098 est en moyenne 0.1724°C plus chaude que la sonde S2T 36097, alors que l'erreur constructeur est annoncée de 0.05°C. C'est gênant, car aucun contrôle métrologique n'a été fait sur les sondes S2T avant leur installation sur la quille (lire plus haut). De ce fait, le doute ne peut donc pas être levé sur la fiabilité des mesures de ces deux sondes.

4.3 Contrôles métrologiques sur les capteurs de température S2T

Les deux sondes S2T ont été confiées à leur retour au laboratoire de métrologie de l'Ifremer en novembre 2017. Puis dans le cadre d'une inter-comparaison de sondes de température autonomes, ces deux sondes NKE ont été contrôlées par la société indépendante Trescal en juin 2018 à la demande de OceanoScientific. Les résultats sont présentés ci-dessous (Tableau 6).

Sonde	Cor. 10 °C 16/11/2017	Cor. 10 °C 08/06/2018	Cor. 15 °C 16/11/2017	Cor. 15 °C 08/06/2018	Cor. 20 °C 16/11/2017	Cor. 20 °C 08/06/2018
36097	+0.04	+0.05	+0.06	+0.044	+0.06	+0.05
36098	+0.01	+0.015	+0.02	+0.014	+0.02	+0.023

Tableau 6 : Correction aux mesures des sondes de quille

Les corrections proposées par ces deux laboratoires sont cohérentes. On établit une correction moyenne proposée ci-dessous (Tableau 7) :

Sonde	Cor. moyenne °C 16/11/2017
36097	+0.05
36098	+0.02

Tableau 7 : Correction moyenne aux mesures des sondes de quille

Ces corrections moyennes ne permettent pas de justifier les écarts moyens mesurés entre les deux sondes.

4.4 Ajustage des mesures de température de l'OSC-Water

Pour l'ajustage des données, nous nous basons sur les statistiques des écarts au capteur S2T 36097 qui, statistiquement, semblait plus "froid" avant correction, que l'eau à deux mètres de profondeur. Cela nous semble d'ailleurs plus cohérent que l'inverse. Ce, d'autant plus, que l'espace où est installé l'OSC-Water n'est ni chauffé, ni climatisé.

La correction moyenne proposée dans le Tableau 7 pour cette sonde compense l'écart statistique moyen que nous avons proposé au Tableau 5 (sonde 36097). Cela revient à se dire que les mesures de la sonde 36097 sous-évaluées, en rajoutant 0.05°C à la courbe bleue de la Figure 11, on superpose presque (sur la plage de validité pendant laquelle la pompe fonctionne) les mesures de la sonde de quille à celle de l'OSC-Water.

Nous proposons donc l'ajustage suivant pour la SST : 0.000 +/- 0.0411 °C

$$\rightarrow SST_{\text{final}} = T_{\text{TSG}} + 0.00 \pm 0.0411 \text{ °C}$$

4. Données de l'OSC-WATER

Les données brutes de l'OSC System (OSC-Water) ont été transmises au LOPS en juillet 2017.

Un filtre médian a été d'abord appliqué permettant un premier filtrage. Le logiciel TSGQC développé à l'IRD a ensuite été utilisé pour nettoyer, valider et ajuster les données. Les données sont propres et peu bruitées. Le critère de 0.65 litre/minute a été appliqué pour identifier et isoler les données suspectes. Un contrôle des données a été effectué via le logiciel TSGQC de l'IRD sur l'ensemble de la trame temporelle.

L'ajustage sur la salinité et la température a été effectué en appliquant les biais et barres d'erreur décrits dans ce rapport. Les données validées sont présentées ci-dessous (Figure 12) et sont accessibles sur <http://www.gosud.org/>

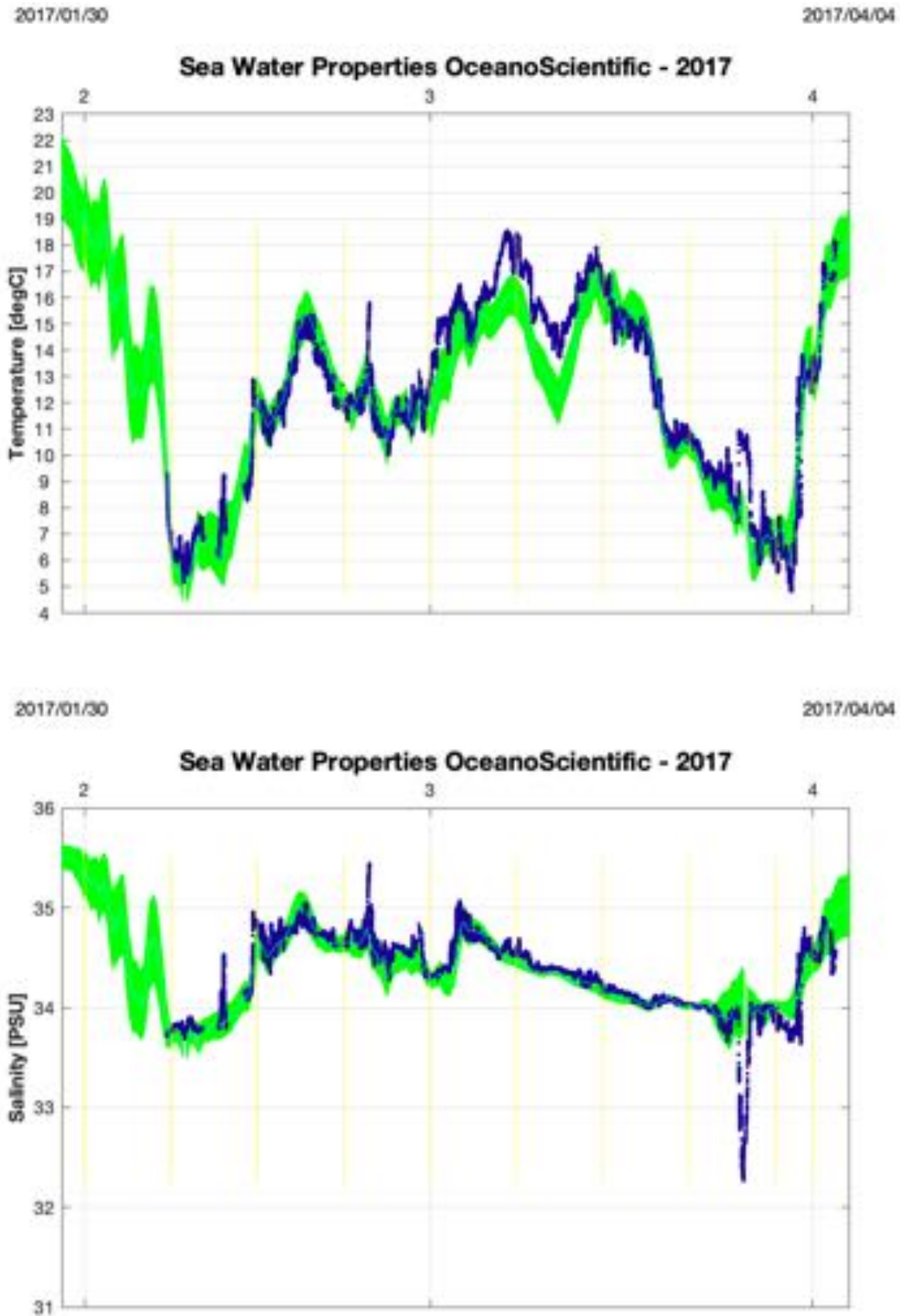


Figure 12 : Données de température et de salinité de l'Expédition OceanoScientific 2016-2017

5. Conclusions

L'OSC System (OSC-Water) a rempli son rôle durant l'Expédition OceanoScientific 2016-2017 et les données obtenues lors de son tour de l'Antarctique sont validées et de bonne qualité.

L'utilité des capteurs de température installés sur la quille est aussi démontrée.

Cette expérience permet d'envisager des améliorations aux composantes de l'OSC System : Choix des capteurs de quille ; tuyauterie ; procédures de collecte d'échantillons.

En ce qui concerne les capteurs de quille : Il faut que leurs caractéristiques se rapprochent en précision et temps de réponse à celui de la cellule du TSG. C'est pour cette raison que OceanoScientific a pris l'initiative de travailler avec Trescal, laboratoire de métrologie indépendant, avant même la conclusion des travaux relatifs à cette étude. Il faut en effet viser une précision réelle de l'ordre de 0.003°C et un temps de réponse de quelques secondes seulement. Lors du traitement des données, cela permettrait de ne plus s'inquiéter des échanges thermiques supposés entre l'eau de mer qui pénètre dans le navire et l'intérieur de celui-ci. Les mesures de la sonde externe seraient alors utilisées comme mesures de la SST. Toutefois, l'achat de ces sondes de précision (une sur chaque face de la quille) est un investissement financier significatif.

En ce qui concerne l'OSC-Water : Il faudrait améliorer le circuit d'eau, en supprimant le by-pass qui n'apporte rien. Cela permettrait un débit plus important dans la chambre de l'OSC-Water en éliminant un coude dans la circulation. Il perturbe vraisemblablement l'écoulement de l'eau lorsque le by-pass est fermé. Sa suppression permettrait en outre au débitmètre de jouer pleinement son rôle en nous renseignant sur le flux réel circulant dans la cellule du TSG.

Afin de réduire la barre d'erreur sur les mesures de salinité, il faut pouvoir nettoyer la cellule du TSG. Il faudrait donc revoir le circuit d'eau pour isoler momentanément la cellule du TSG et la nettoyer en navigation selon une procédure à définir.

En ce qui concerne les échantillons : Sur les longues navigations ils vieillissent et perdent de leur utilité. Afin de limiter l'évaporation, il faut pouvoir sceller l'opercule des flacons OSIL avec du parafilm, ou du scotch électrique, avant de mettre le bouchon.

On peut également améliorer la procédure de prélèvements des échantillons. Pour cela, Il faudrait revoir le circuit d'eau pour effectuer les prélèvements d'eau à même le circuit de l'OSC System. Il faudrait aussi être plus précis sur les heures des prélèvements, toujours notées en TU et avec une précision réelle de une à deux minutes, voire moins si possible. Il sera aisé de le faire de cette manière en équipage et non plus en solitaire.

Enfin, plusieurs autres *Expéditions OceanoScientific* sont en cours d'organisation, cette fois-ci en équipage, incluant la présence d'un(e) scientifique qui aura pour principale mission : de veiller au bon fonctionnement de l'OSC-System ; la calibration des capteurs qui le nécessitent (capteur pCO₂ par exemple) ; la collecte rigoureuse d'échantillons. Ce scientifique sera également en charge d'autres fonctions relatives aux procédures mises en place par le *Comité Scientifique Fabienne Gaillard* de OceanoScientific.