
Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 0/47

Rapport de Calibration des données CTD-02 De la campagne PIRATA-FR25

DOI : 10.17600/15001800

Juin 2017

Version papier non gérée

Sommaire

1. Procédure de calibration.....	4
1.1. Acquisitions des mesures	4
1.1.1. CTD-O ₂	4
1.1.2. Chimiques.....	6
1.2. Méthode de calibration.....	7
2. Traitement des données	8
2.1. Etalonnage des capteurs	9
2.2. Nettoyage et correction des données	10
3. Ajustement des profils aux données externes.....	11
3.1. Analyse des données chimiques	11
3.2. Ajustement en Conductivité	15
3.3. Ajustement en Oxygène Dissous.....	20
4. Validation et contrôle qualité des données	24
5. Références	28
6. Annexe 1 - Procédure de traitement schématisée.....	29
7. Annexe 2 - Date et position des stations CTD-O ₂ effectuées pendant PIRATA-FR25.....	33
8. Annexe 3 - Carte des stations CTD-O ₂ effectuées pendant la campagne PIRATA-FR25	34
9. Annexe 4 - Signification des codes de qualité.....	35
10. Annexe 5 – Analyses chimiques.....	36
11. Annexe 6 – Détection des inversions de densité.....	37
12. Annexe 7 – Profils ajustés et réduits sur 1dbar.....	38
13. Suivi des versions de ce document	46

Abstract

CTD-O2 data issued from this report have been adjusted using pre- and post-campaign calibration coefficients, taking into account the sensor drift. Dynamic corrections applied from model have been checked and optimized, and, based on the difference between chemical analysis and sensor measurements, polynomial have been applied and calibrations coefficients have been optimized using statistical methods to adjust the salinity and the oxygen concentration CTD-O2 data. The profiles have been carefully examined and corrected from each anomaly. Except for the transmissometer and the fluorimeter profiles, these data are consistent with the international WOCE standard. Concerning transmissometer and fluorimeter data, only the relatives' measurements along a profile make sense. An offset have been applied to these measurements in the view to pass the validation tests. The circuit 1 sensors have been preferred because the circuit 2 oxygen sensor have been calibrated too long time before the campaign.

Version papier non officiel

Résumé

La campagne PIRATA-FR25 est la 25^{ème} de la série des campagnes annuelles organisées par la France au sein du programme international PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*). Elle a été menée par l'IRD à bord du N/O Thalassa du 18/03/2015 au 16/04/2015 dans l'Atlantique tropical. Au cours de cette campagne, 8 stations hydrologiques ont été effectuées (annexes 2 et 3). Lors de ces stations, une sonde CTD-O₂ (*SeaBird 911+*) était déployée permettant la mesure continue sur la colonne d'eau de différents paramètres physico-chimiques : température, conductivité, concentration en oxygène dissous, concentration en chlorophylle-a et transmission lumineuse. Sur ces mêmes stations des prélèvements chimiques ont été réalisés à différents niveaux de profondeur, à l'aide de bouteilles Niskin, au cours des remontées de la CTD. L'analyse chimique de ces échantillons permet d'ajuster les profils obtenus par la sonde. En effet, bien que les mesures effectuées par la sonde soient supposées stables et précises, des biais, attribués aux mouvements de la sonde et aux propriétés mêmes des capteurs, subsistent généralement. Ce sont ces erreurs qui seront minimisées tout au long des étapes d'ajustement des données. Ainsi, contrairement aux données prétraitées en mer, les données issues de ce rapport ont été ajustées et validées. Les données ajustées sont étalonnées à partir des coefficients d'étalonnage pré- et post- campagne, les paramètres des corrections dynamiques sont optimisés et, à partir de méthodes statistiques et les écarts entre les mesures de la sonde et les analyses chimiques, les coefficients d'étalonnage sont optimisés (ou des polynômes appliqués) pour rendre compte de la dynamique réelle des capteurs.

La procédure de calibration suivie pour traiter les données de cette campagne est présentée dans une première partie. Ensuite sont exposés les résultats, d'une part de l'étalonnage et du nettoyage des données, et d'autre part de l'ajustement des profils de salinité et de concentration en oxygène dissous aux données chimiques. Enfin, nous présenterons dans une dernière partie les produits issus de la validation et du contrôle qualité des données.

Les capteurs de température, conductivité et oxygène dissous étant redondants, pour assurer une meilleure fiabilité des données, le circuit primaire de ces 3 capteurs a ici été privilégié pour l'utilisation des données à des fins d'exploitation scientifique ou opérationnelle. La précision finale des données de salinité et d'oxygène dissous est respectivement de 0.005 PSU et 2 $\mu\text{mol.kg}^{-1}$, ce qui est conforme aux normes internationales WOCE (Joyce, 1994). Le fluorimètre et le transmissiomètre n'ont pas été étalonnés avant et après la campagne, les mesures absolues de ces deux capteurs doivent donc être utilisées avec précaution. Seules les mesures relatives le long d'un profil ont une signification.

1. Procédure de calibration

Les données CTD-O₂ apportent des mesures fiables des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau. Cependant il est nécessaire de contrôler qu'aucun biais n'existe entre les données brutes et les mesures chimiques, ces dernières étant considérées comme références absolues. Ce biais est généralement attribué aux mouvements de la sonde et aux propriétés mêmes des capteurs. Trois grands groupes d'erreurs peuvent être identifiés : les erreurs dynamiques, les erreurs statiques et la dérive caractéristique des capteurs. Un certain nombre d'erreurs peuvent être contrôlé avant le déploiement ou au cours même de l'acquisition des données. Toutefois de nombreuses erreurs subsistent, ce sont ces erreurs qui seront minimisées tout au long des étapes du traitement des données. La procédure de traitement schématisée est présentée en annexe 1.

1.1. Acquisitions des mesures

Au cours de la campagne PIRATA-FR25, 8 stations hydrologiques CTD-O₂ ont été effectuées à bord du N/O THALASSA (annexes 2 et 3). Lors de ces stations, une sonde CTD-O₂ était déployée permettant la mesure continue sur la colonne d'eau de différents paramètres physico-chimiques : température, conductivité, concentration en oxygène dissous, intensité de fluorescence, visibilité. La profondeur de ces stations a été stable (environ 2000m), avec une profondeur maximale de 2192m. La sonde CTD-O₂ utilisée était montée sur une rosette équipée de 2 courantomètres L-ADCP et 11 bouteilles de prélèvements, qui sont fermées à différents niveaux de profondeur tout le long de la colonne d'eau à la remontée. L'eau ainsi prélevée est analysée à bord (à minima la salinité et l'oxygène dissous) permettant d'ajuster les mesures de salinité et d'oxygène dissous de la sonde. Pendant cette campagne, les analyses chimiques ont été systématiques : 88 analyses de salinité et 88 d'oxygène dissous ont été effectuées.

1.1.1. CTD-O₂

La rosette utilisée pendant la campagne était équipée d'une sonde *SEABIRD*® de type SBE911+. Cette sonde permet l'acquisition des données à une cadence de 24 mesures par secondes (24 Hz). Deux circuits de mesure T/C/O₂ (Température, Conductivité et Oxygène dissous) étaient montés en parallèle. Ainsi, la sonde était équipée :

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 5/47

- d'un capteur de pression *DigiQuartz®*: capteur piézoélectrique thermostaté. Une mesure de température interne au capteur permet de compenser thermiquement la pression calculée et ainsi réaliser des mesures de hautes précisions sur une gamme étendue de température. Ce capteur permet des mesures de 0 à 6800 dbar avec une exactitude de 0.7 dbar.

- de deux capteurs de température SBE3+ : capteurs à thermistance utilisés dans un oscillateur à pont de Wien. Ces capteurs permettent des mesures sur une gamme de -5 à 35°C avec une exactitude de 0.001°C et une résolution de 0.0002°C.

- de deux capteurs de conductivité SBE4C : capteurs composés de 3 électrodes de platine montées dans un oscillateur à pont de Wien. L'arrangement des électrodes permet une mesure de très bonne qualité indépendante de l'environnement extérieur. Ces capteurs autorisent des mesures sur une gamme de 0 à 7 S/m avec une exactitude de 0.0003 S/m et une résolution de $4 \cdot 10^{-5}$ S/m.

- de deux capteurs de concentration en oxygène dissous SBE43 : capteurs à membrane polarographique avec une valeur de tension en sortie. Une thermistance, placée sous la membrane, permet de compenser l'effet de température sur la membrane et ainsi obtenir une meilleure justesse du capteur et réaliser des profils de DO dans des gradients élevés de température. Il permet la mesure de concentration d'oxygène dissous (DO) sur une gamme de 0 à 120% de la teneur à saturation de l'eau avec une exactitude de 2% (i.e. : pour une eau avec une teneur à saturation de 4.74ml/l, le capteur est capable de mesurer des concentrations de 0 à 5.69ml/l avec une exactitude de ± 0.09 ml/l).

- d'un fluorimètre *Wetlabs®* ECO-FLD : capteur optique mesurant l'émission de fluorescence dans un petit volume d'eau, offrant une mesure relative de chlorophylle-a. La mesure de chlorophylle-a est effectuée dans une gamme de 0 à 125µg/l avec une sensibilité de 0.02µg/l.

- d'un transmissiomètre *Wetlabs®* C-Star : capteur mesurant l'atténuation de la lumière dans la gamme des 650 nm (rouge) avec une largeur de bande de ~20nm.

- de deux pompes externes SBE5P pilotant les circuits T/C/O₂ : elles assurent la mesure d'une même parcelle d'eau et un débit constant au travers des capteurs de conductivité et d'oxygène permettant de réduire fortement des erreurs dynamiques.

La sonde était montée sur un châssis équipé d'un carrousel SBE32 constitué de 11 bouteilles de prélèvements (type Niskin) de 8 litres.

Le numéro de série des capteurs utilisés pour cette campagne sont présentés dans le tableau 1. Ce tableau présente également les dates d'étalonnages de ces différents capteurs qui ont été effectués au plus proche avant et après la campagne. La dérive du capteur de pression est reconnue très faible, le

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 6/47

suivi par étalonnage est donc moins régulier. Par contre, le transmissiomètre et le fluorimètre n'ont pas reçus d'étalonnage après campagne. Les étalonnages effectués avant campagne étant relativement ancien, les mesures obtenues avec ces capteurs doivent être utilisées avec précaution et employées plutôt comme valeurs relatives.

Instrument	Numéro de Série	Date étalonnage pré-campagne	Date étalonnage post-campagne
Pression	1209	04/12/2014	X
Température 1	5196	05/11/2014	11/05/2016
Conductivité 1	4355	06/11/2014	18/05/2016
Oxygène 1	3014	21/11/2014	18/05/2016
Température 2	5221	20/11/2014	16/05/2016
Conductivité 2	4356	06/11/2014	18/05/2016
Oxygène 2	2746	12/11/2013	18/05/2016
Transmissiomètre	CTS1210DR	26/03/2009	X
Fluorimètre	FLRTD-1367	03/10/2011	X

Tableau 1 : Numéros de série et dates d'étalonnage des capteurs de la configuration CTD-O2 utilisés pendant PIRATA-FR25.

1.1.2. Chimiques

L'analyse chimique des prélèvements bouteille a été effectuée pendant la campagne. Ces analyses ont permis de déterminer la salinité et la concentration en oxygène dissous à différents niveaux de fermeture des bouteilles. Elles ont été systématiques (sauf station 3): 88 analyses de salinité et 88 d'oxygène dissous ont été effectuées sur l'ensemble des stations. Ces mesures permettront par la suite d'ajuster les profils de conductivité et d'oxygène dissous mesurés avec la CTD par minimisation des écarts avec les mesures capteurs. L'analyse de salinité a été réalisée à partir d'un salinomètre Portasal®. Ces mesures ont ensuite été converties en conductivité *in-situ* en utilisant les mesures de pression et de température de la sonde au niveau des prélèvements. La concentration en oxygène dissous a été évaluée à l'aide de la méthode chimique de Winkler (Culberson, 1991). Les résultats ont été consignés dans un fichier synthétique «PIRATAFR25_CHIMIE.xls ». Les remarques relatives aux mesures de salinité et d'oxygène dissous faites pendant les prélèvements et les analyses ont été reportées en annexe 5.

1.2. Méthode de calibration

Nous pouvons classer les erreurs de mesures des sondes CTD en trois groupes distinctifs : les erreurs dynamiques, les erreurs statiques et la dérive des capteurs. Un certain nombre d'erreurs peuvent être contrôlées avant déploiement et au cours même de l'acquisition des données. Ainsi, la bonne manipulation et un bon suivi des capteurs sont primordiaux pour l'acquisition de mesures précises et fiables.

Les erreurs statiques peuvent être maîtrisées par le suivi régulier des capteurs par le constructeur. Les feuilles d'étalonnage fournies permettent alors de corriger les erreurs systématiques des instruments. La dérive des capteurs est, elle, contrôlée par une calibration régulière des capteurs. Une calibration pré- et post-campagne permet de corriger cette dérive en appliquant une correction aux mesures, considérant une dérive linéaire entre ces deux calibrations. Pour corriger ces deux types d'erreurs, nous parlerons d'étalonnage des capteurs.

Les erreurs dynamiques demandent à être mieux contrôlées. Les profils descentes sont privilégiés car les erreurs sont moindres par rapport aux remontées où les turbulences sont plus importantes. La sonde et ses capteurs étant placée dans le bas du châssis, la masse d'eau est moins perturbée par le châssis et les bouteilles de prélèvement lors du profil de descente que lors du profil de montée. Par ailleurs les arrêts du châssis lors du profil de montée à différents paliers pour effectuer les prélèvements bouteilles perturbent également la continuité des mesures des capteurs de la sonde. Le logiciel *SBEDataProcessing* de *SEABIRD®* permet de corriger des erreurs par l'application de différents paramètres (alignement des réponses des capteurs, erreur de masse thermique, erreur d'hystérésis,...). Ensuite une première étape de nettoyage des données est réalisée à l'aide du logiciel *CADHYAC* (Chaîne d'Ajustement des Données d'Hydrologie Après Campagne) développé au LOPS. L'ensemble de ces corrections composeront dans ce rapport la partie « Traitement des données ».

Une seconde étape consiste à optimiser les coefficients d'ajustement à l'aide de données externes. Dans la configuration de sonde utilisée pour cette campagne, les mesures de conductivité et d'oxygène dissous ont pu être contrôlées par comparaison avec les prélèvements d'eaux effectués pendant la remontée de la sonde. Cette étape consiste alors à optimiser les coefficients d'ajustement en minimisant les écarts, par processus itératif, entre les mesures chimiques et les mesures de la sonde. Elle a été réalisée en partie à l'aide du logiciel *CADHYAC*. L'ajustement des capteurs de conductivité est réalisé en comparant les mesures de conductivité de la sonde à la montée aux niveaux de fermeture des bouteilles avec la conductivité *in-situ*, calculées à partir des prélèvements bouteilles. L'ajustement des capteurs

d'oxygène dissous est effectué en comparant les mesures du profil descente avec les résultats des analyses chimiques des échantillons prélevés à la montée. Le profil descente est ici privilégié car, compte tenu de la disposition des capteurs, il est admis que lors de la remontée de la sonde et plus particulièrement lors des arrêts, les capteurs d'oxygène sont sujets à la vague de sillage et aux turbulences générées par la rosette et donc à plus de bruits dans les données. De manière à prendre en compte la variabilité naturelle de la colonne d'eau due aux ondes internes, la méthode développée par le PMEL est préférée (Uchida et al, 2010). Cette méthode utilise les données sonde descente obtenues aux mêmes densités que celles rencontrées à la fermeture des bouteilles.

Une fois les données corrigées et ajustées, les données sont réduites à 1dbar. S'en suit le processus de validation des données. Au cours de cette étape, les données incorrectes subsistantes dans les fichiers ajustés (pics en oxygène dissous, pics en salinité, inversion de densité) sont détectées. Un code qualité (annexe 4) est alors attribué à chacune des données. Enfin, un contrôle qualité de la calibration des capteurs a pu être effectué. Les diagrammes θ -S et θ -O₂ sont comparés entre stations successives, afin de vérifier qu'il n'y ait pas de sauts dans la calibration, et une comparaison avec des données historiques a pu être réalisée. Des comparaisons avec les profils des précédentes campagnes réalisés aux mêmes positions géographiques ont pu être effectuées pour vérifier la bonne répétabilité des diagrammes qui se superposent (surtout en ce qui concerne les données des eaux de fond, supposées peu variables).

L'ensemble des traitements effectués résultent d'un protocole hybride (annexe 1) qui a été développé à l'US IMAGO à partir des scripts de la chaîne d'ajustage CADHYAC du LOPS et ceux développés au LEGOS concernant l'ajustement de l'oxygène (Saout-Grit, Ganachaud et al, 2015).

2. Traitement des données

Durant l'acquisition d'un profil CTD les fichiers suivant sont générés à partir du logiciel *SeaSave* de *SEABIRD*® :

1. un fichier binaire composé des données brutes à 24Hz (.hex),
2. un fichier de configuration (.XMLCON), contenant les coefficients de calibration et la configuration des capteurs,
3. qu'un fichier bouteille (.bl), contenant l'enregistrement des temps et des numéros de la plage de scans marquant la fermeture des bouteilles.

Le traitement des données est effectué à partir des fichiers ASCII (.cnv), contenant les données brutes à 24Hz converties en grandeurs physiques, générés à partir de la fonction *DatCnv* de *SBEDataProcessing*.

2.1. Etalonnage des capteurs

Dans un premier temps, il est nécessaire de convertir les données brutes (de fréquence ou de tension) en grandeurs physiques. Cette conversion utilise les coefficients de calibrations issus des différents étalonnages effectués chez les constructeurs (*SEABIRD®* et *WETLabs®*). Les erreurs des capteurs sont évaluées chez leurs constructeurs en comparant les valeurs mesurées, au long de leurs gammes de mesure, avec un instrument de référence. Cette étape permet d'identifier la non-linéarité d'un capteur et ainsi d'ajuster sa réponse via l'application de coefficients de calibration (au sein de polynômes complexes) pour minimiser les erreurs. Hormis le capteur de pression, le transmissiomètre et le fluorimètre, tous les capteurs présentent un étalonnage pré- et post-campagne (tableau 1). Alors que le rapport d'étalonnage pré-campagne présente l'état du capteur avant l'acquisition des données, le rapport post-campagne indique la manière dont le capteur a évolué. Des coefficients de pente et d'offset relatifs aux deux rapports d'étalonnage peuvent alors être calculés et appliqués aux mesures pour corriger la dérive naturelle du capteur. Cette dérive est considérée linéaire mais elle est propre à chaque capteur. Le capteur de température a ainsi tendance à dériver en offset alors que la dérive des capteurs de conductivité et d'oxygène suit plutôt l'allure d'une pente. Les coefficients présentés dans le tableau 2 ont été calculés comme suit :

$$Offset = Offset_{postcal} \times \left(\frac{Temps_{\{d\acute{e}pl-pr\acute{e}cal\}}}{Temps_{\{postcal-pr\acute{e}cal\}}} \right)$$

$$Pente = 1 + \left(\frac{Temps_{\{d\acute{e}pl-pr\acute{e}cal\}}}{Temps_{\{postcal-pr\acute{e}cal\}}} \right) \left(\frac{1}{Pente_{postcal}} - 1 \right)$$

Avec :

- Offset_{postcal}* : Moyenne des résidus obtenus en utilisant les coefficients de post-calibration sur les données de pré-calibration.
- Pente_{postcal}* : Pente calculée avec les coefficients de post-calibration sur les données de pré-calibration.
- Temps_{postcal-précal}* : Temps séparant les deux calibrations.
- Temps_{dépl-précal}* : Temps écoulé entre la pré-calibration et le déploiement du capteur.

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 10/47

	Température 1	Température 2	Conductivité 1	Conductivité 2	Oxygène 1	Oxygène 2
Offset	$2,38.10^{-5}$	$4,20.10^{-4}$	X	X	$-5,117.10^{-1}$	$-5,285.10^{-1}$
Pente	X	X	1,0001	1	$4,177.10^{-1}$	$3,955.10^{-1}$

Tableau 2 : Coefficients de Pente et d'Offset des capteurs calculés à partir des étalonnages pré- et post-campagne.

Aucun contrôle de bon fonctionnement du capteur de pression n'a pu être réalisé car les valeurs de pression obtenues sur le pont avant et après profil n'ont pas été relevées.

Les fichiers ASCII (.cny) créés contiennent : le numéro de scan, la pression en dbar, les températures (des deux capteurs) en °C suivant l'échelle ITS90, les conductivités en mS/cm, les mesures d'oxygène dissous en Volt, la dérivée temporelle des mesures d'oxygène (d^V/dt), la mesure de transmission en %, la mesure en chlorophylle-a en mg/m^3 , le temps écoulé en secondes, le jour julien, la latitude et la longitude.

2.2. Nettoyage et correction des données

Ensuite les données ont été nettoyées à l'aide du module *Hydro_net* de *CADHYAC* de manière à rejeter les valeurs physiquement aberrantes et irréalistes des profils. Un test par seuillage et un test d'écart à la médiane ont été appliqués à tous les paramètres. Les valeurs utilisées sont présentées dans le tableau 3.

Seuillage	Pression	Température	Conductivité	Oxygène	Fluorimètre	Transmissiomètre
Minimum	0.1	3.1	32.6	0.7	-0.15	17
Maximum	2220	29.7	58.4	3.22	3.3	103.2
Ecart à la médiane						
Taille de la fenêtre	20	8	8	50	20	20
Nombre d'écart-type	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Ecart minimum	2	0.1	0.01	0.01	0.1	0.1
Ecart maximum	5	1	1	2	1	1
Itérations	2	2	3	5	2	2

Tableau 3 : Paramétrage utilisé pour le nettoyage des données CTD-02.

Ensuite, les erreurs dynamiques ont été corrigées à l'aide du logiciel *SBEDDataProcessing* de *SEABIRD®*. D'une part, en alignant les mesures des capteurs par rapport à la mesure du capteur de

pression en les décalant d'un certain temps (tableau 4 – la température et la conductivité ont été alignés préalablement lors de l'acquisition).

Capteur	Alignement [s.]
Oxygène Primaire	3
Oxygène Secondaire	3
Fluorimètre	0.1
Transmissiomètre	0.6

Tableau 4 : Valeurs d'alignement utilisées pour le recalage des données par rapport au capteur de pression.

Ensuite, les effets d'inertie thermique des cellules de conductivité ont été corrigés (amplitude de l'anomalie thermique fixée à 0.03 et constante de temps fixée à 7s), puis les erreurs d'hystérésis propres aux capteurs d'oxygène ont été rectifiées. Enfin un filtre passe-bas de 0,15s a été appliqué sur la pression, et les données relatives au pilonnement de la sonde ont été rejetées (vitesse de la sonde $< 0,1 \text{ m.s}^{-1}$). Les différents profils ainsi que des diagrammes θ -S et θ -O₂ ont été inspectés systématiquement de manière à s'assurer du bon déroulement de ces étapes de nettoyage et de correction des données.

3. Ajustement des profils aux données externes

Suite à cette étape de traitement, les profils de salinité et d'oxygène dissous ont pu être ajustés en utilisant les prélèvements d'eau effectués à la remontée de la sonde. Cette étape consiste à optimiser les coefficients de calibration de ces capteurs, ou des polynômes de correction, en minimisant par processus itératif les écarts entre les mesures chimiques effectuées sur les échantillons prélevés à la montée et les mesures de la sonde.

3.1. Analyse des données chimiques

Au cours de la campagne PIRATA-FR25, les analyses chimiques en salinité et oxygène dissous ont été systématiques (sauf station 3) : 88 mesures de salinité et 88 d'oxygène dissous ont été effectuées sur l'ensemble des stations (annexe 5). Les échantillons ont été effectués suivant un plan d'échantillonnage précis le long de la colonne d'eau tout au long des stations (0m, 10m, 20m, 40m, 60m, 80m, 100m, 500m, 1000m et 2000m). Les échantillons ont ainsi été réalisés essentiellement dans la couche de surface jusqu'à 100m (figure 1 et 2) et présentent donc plus de bruit que ceux effectués au fond.

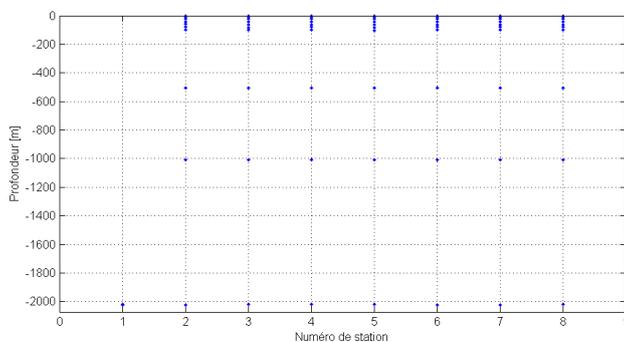


Figure 1 : Répartition des prélèvements pour analyse de la salinité effectués au cours de la campagne PIRATA-FR25.

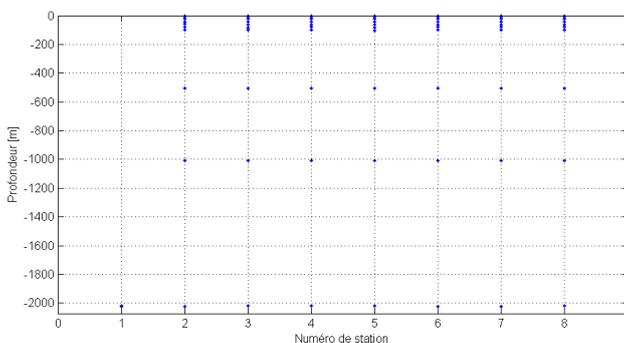


Figure 2 : Répartition des prélèvements pour analyse de l'oxygène dissous effectués au cours de la campagne PIRATA-FR25.

Pour estimer l'erreur des mesures analytiques, des doublets ont été effectués à chaque station en déclenchant la fermeture de deux bouteilles au même niveau de prélèvement. Egalement, un profil test (profil 1) a été effectué, consistant à fermer toutes les bouteilles à une même profondeur (2000m), de manière à évaluer ces erreurs.

La figure 3 présente les écarts obtenus sur les doublets en salinité et la figure 4 présente l'histogramme. La deuxième bouteille du doublet de la station 3 a été rejetée car elle présentait une différence de mesures trop importante (> 0.01 PSU) témoignant d'un problème de fuite de la bouteille Niskin. L'écart moyen des différences de mesure en salinité est alors de $-0,0002$ PSU et présente un écart-type de $0,004$ PSU sur l'ensemble des doublets effectués. En admettant la précision de la mesure de $0,003$ PSU admise par la communauté océanographique, les écarts sont de manière générale inférieures à la précision, à l'exception des stations 7 et 8. La station test montre de bons résultats avec un écart type de $0,0035$ PSU (figure 5 et tableau 5). Suite à l'inspection de ces mesures, seulement 2 échantillons ont été exclus de l'ajustement de manière à ne pas biaiser le calcul (annexe 5). En effet, ces écarts sont essentiellement dus à la présence de gradients.

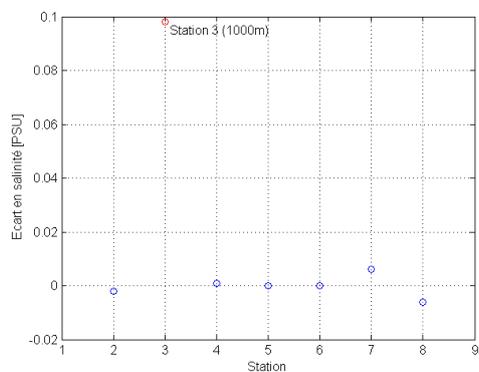


Figure 3: Ecart de salinité entre deux bouteilles fermées au même niveau en fonction du numéro de station.

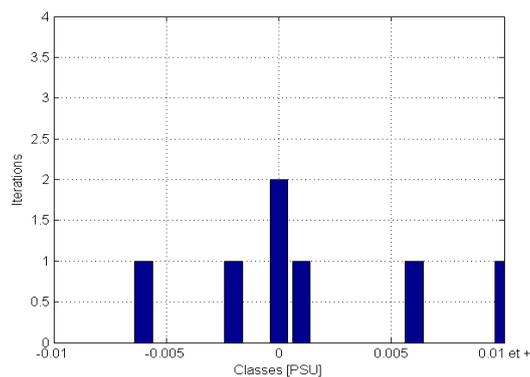


Figure 4: Histogramme des écarts en salinité sur les doublets.

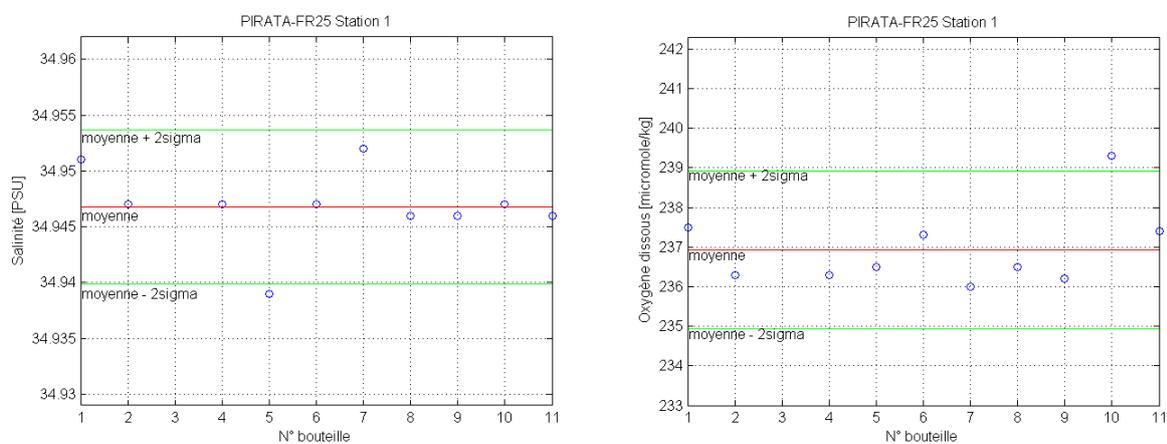


Figure 5 : Ecart en salinité et oxygène des prélèvements effectués lors de la station test.

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 14/47

Station 1		
2000 Mètres		
	Salinité	Oxygène
Nombre de bouteilles	10	10
Moyenne	34.9468 PSU	236.93 $\mu\text{mol/kg}$
Ecart-type	0.0035 PSU	0.992 $\mu\text{mol/kg}$

Tableau 5 : Statistiques des écarts en salinité et oxygène des prélèvements effectués lors de la station test.

Les figures 6 et 7 présentent les écarts et l'histogramme obtenus sur les doublets en oxygène. Le doublet de la station 2 a été rejeté car il présentait des différences de mesures trop importantes ($> 8 \mu\text{mol.kg}^{-1}$) témoignant de problèmes au niveau des bouteilles Niskin (eaux différentes) ou des prélèvements. Les écarts d'oxygène entre les doublets présentent alors une moyenne de $1.13 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ avec un écart-type de $2.31 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. La station test présente de bons résultats avec un écart-type de $0,9 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ (figure 5 et tableau 5). Suite à l'inspection de ces mesures, 4 échantillons ont été exclus de l'ajustement en oxygène de manière à ne pas biaiser le calcul (annexe 5).

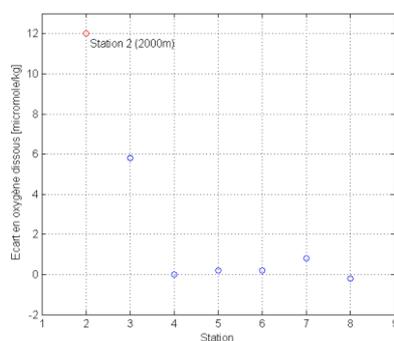


Figure 6 : Écarts en oxygène dissous entre deux bouteilles fermées au même niveau en fonction du numéro de station.

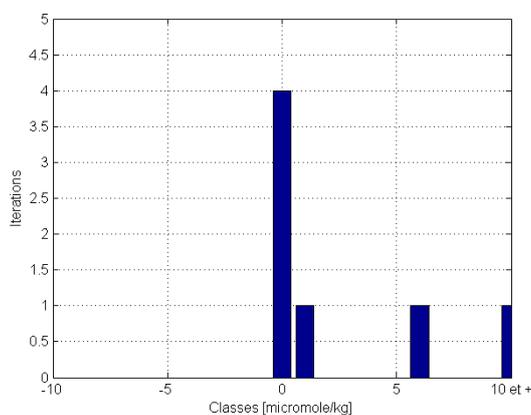


Figure 7 : Histogramme des écarts en oxygène sur les doublets.

3.2. Ajustement en Conductivité

L'ajustement du capteur de conductivité est réalisé en comparant les mesures de conductivité de la sonde aux niveaux de fermeture des bouteilles avec la conductivité *in-situ*, calculées à partir des prélèvements bouteilles. Les analyses en salinité des échantillons ont été converties en conductivité *in-situ* en utilisant les mesures ajustées de pression et de température de la sonde au niveau des prélèvements. Les mesures de conductivité de la sonde utilisées pour la comparaison sont des moyennes des données aux niveaux de fermeture des bouteilles des profils montée. Trois types de corrections peuvent être appliqués : une correction dépendante du temps (ou numéro de station) pour tenir compte d'une évolution lente du capteur (*ct*), une correction en fonction de la valeur de conductivité (*c*) et une correction de l'effet de pression (*cp*). La correction prend la forme :

$$C_{corr} = C + (ct_0 + ct_1 \times istat) + (c_0 + c_1 C_t + c_2 C_t^2) + (cp_0 + cp_1 P + cp_2 P^2)$$

Avec :

C_{corr} :	Conductivité corrigée
C :	Conductivité non corrigée
C_t :	Conductivité corrigée temporellement
P :	Pression ajustée
T :	Température ajustée
$istat$:	Numéro de station

Les mesures de conductivité de la sonde sont ajustées en utilisant une adaptation de ce polynôme qui minimise au mieux les écarts sur un groupe de stations. Les coefficients retenus résultent d'itérations successives. Ainsi, les coefficients du polynôme sont calculés afin que les données sondes se rapprochent au mieux, au sens des moindres carrés, de la conductivité chimie. Puis les données sondes sont corrigées. Enfin, l'écart en conductivité entre les points chimiques et les points sondes corrigés est comparé à l'écart-type de l'ensemble des écarts. Les échantillons s'écartant de plus de 2,8 fois l'écart-type sont rejetés et le processus de minimisation est repris jusqu'à ce que tous les écarts soient inférieurs à ce seuil. Ces corrections sont appliquées séquentiellement (temporelle, puis en conductivité et enfin en pression), ce qui permet d'évaluer rapidement leurs effets et d'adapter au mieux les polynômes correspondant.

Suite à l'analyse des échantillons de salinité, 2 échantillons ont été rejetés (annexe 5) car les écarts conductivité sonde-conductivité *in-situ* étaient trop importants et semblaient résulter plutôt d'erreurs d'échantillonnage. Une première analyse des écarts subsistants montrent qu'un biais existe

entre les mesures sonde et les mesures chimie (figure 8 et 9). La distribution de ces écarts, présentée sur la figure 8, est décentrée positivement, la sonde de conductivité a donc tendance à sous-estimer la conductivité réelle. En outre, 30% des écarts sont supérieurs à 0.01 PSU et l'écart-type est d'environ 0.166 PSU. L'analyse de ces écarts en fonction du temps, de la conductivité et de la pression (figure 9) montre que des dépendances existent en fonction de ces trois variables. L'ajustement consiste alors à réduire ces écarts en fonction de ces trois variables.

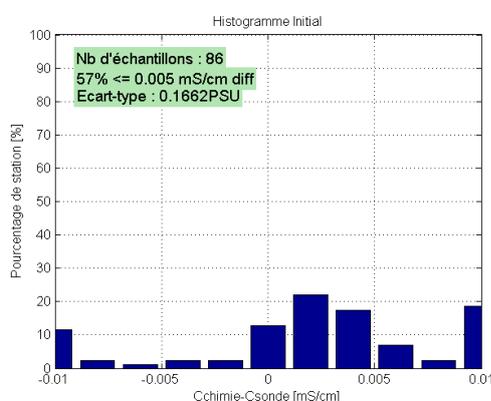


Figure 8 : Histogramme des écarts en conductivité avant ajustement.

Une stratégie de regroupement des stations a été définie pour dissocier les grandes tendances rencontrées des capteurs et ainsi mieux centrer la répartition des écarts. Le circuit primaire a ici été privilégié et des poids sur les données profondes ont été appliqués pour compenser le déséquilibre existant entre le nombre d'échantillons effectués en surface et ceux effectués en profondeur (zone de faibles gradients). Le tableau 6 présente la stratégie de regroupement retenue ainsi que les corrections appliquées.

Groupes de stations	1-6	7-8
Nombre d'échantillons considérés [avec poids]	64 [85]	22 [34]
Nombre d'échantillons retenus par le calcul	78 (91.8%)	26 (76.5%)
Ecart-type (mS/cm)	0,0015	0,0014
Degré polynôme t	2	1
Degré polynôme C	1	1
Degré polynôme P	3	1
Poids	Poids 2 ($\geq 800\text{m}$)	Poids 4 ($\geq 800\text{m}$)

Tableau 6 : Statistiques et polynômes utilisés pour l'ajustement de la conductivité.

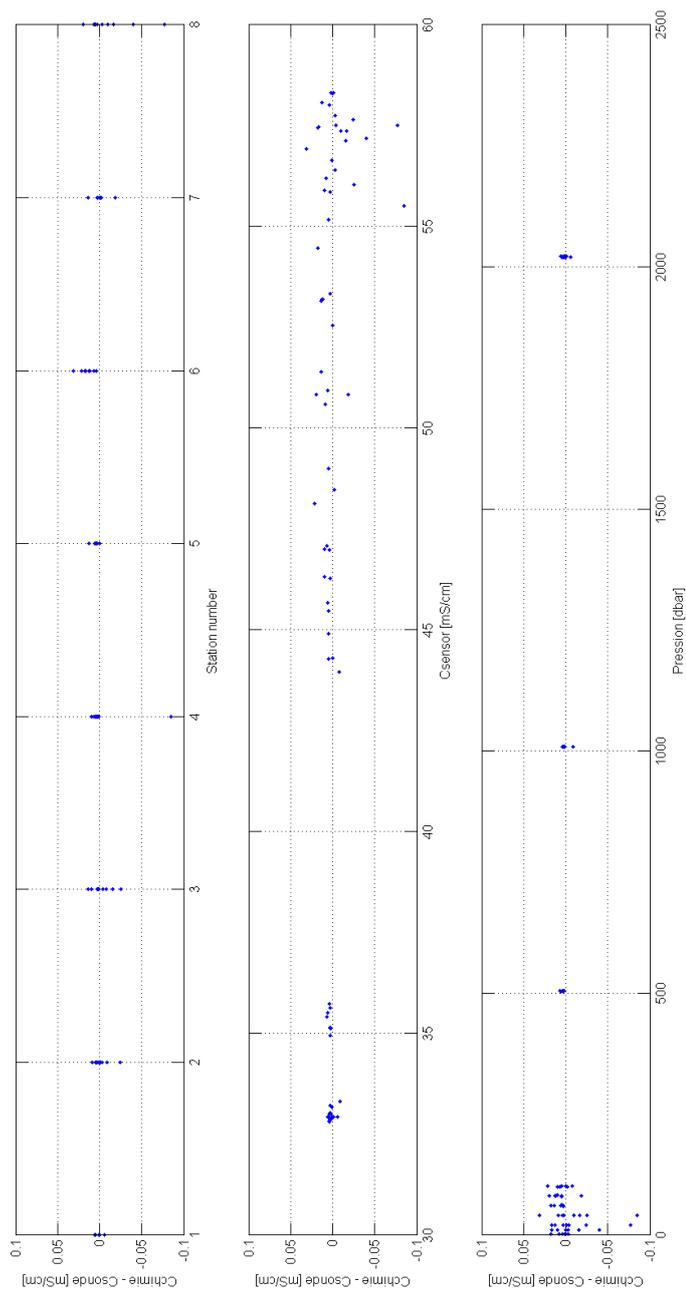


Figure 9 : Ecart en conductivité (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations avant ajustement.

La figure 11 présente les écarts subsistants après correction. Il apparaît que les écarts sont acceptables et centrés autour de zéro. Aucune tendance particulière n'est présente en fonction du numéro de station, de la pression et de la conductivité. L'histogramme des écarts en salinité présenté sur la figure 10 confirme que la distribution des écarts est satisfaisante. Ainsi sur les 86 mesures chimiques initiales, 71 ont été retenues pour l'ajustement des profils (82% des mesures). La déviation standard sur l'ensemble des stations est alors de 0,0031 PSU et 86% des écarts sont inférieurs à 0,005 PSU, ce qui est très satisfaisant lorsqu'on prend en considération le peu d'échantillons à disposition. De plus, la plupart des échantillons ont été réalisés en surface et présentent donc plus de bruit que ceux effectués au fond (IE : zone de gradients, amplitude des mouvements de la sonde plus importants,...).

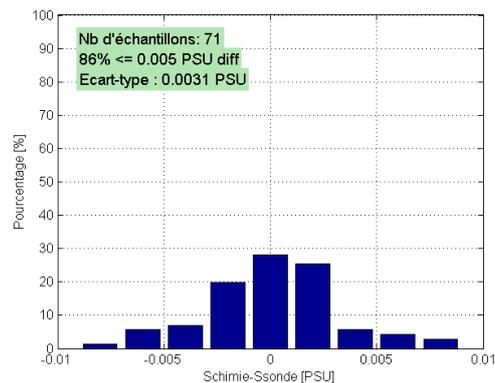


Figure 10 : Histogramme des écarts en salinité après ajustement.

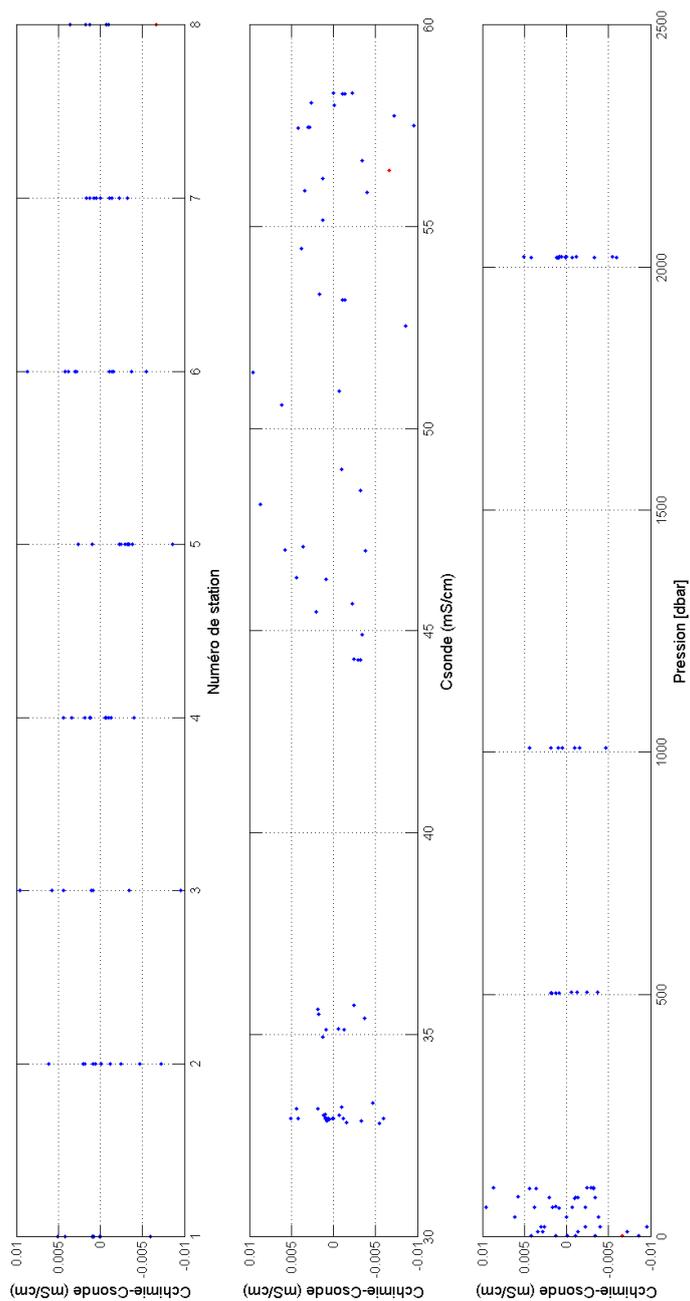


Figure 11 : Ecarts en conductivité (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations après ajustement.

3.3. Ajustement en Oxygène Dissous

L'ajustement du capteur d'oxygène dissous est réalisé en comparant les mesures du capteur d'oxygène à la descente de la sonde avec les résultats des analyses chimiques des échantillons prélevés à la montée à l'aide des bouteilles de prélèvement. L'utilisation du profil descente est préférée car les données sont sujettes à moins de bruit (vague de sillage et turbulences générées plus particulièrement lors des arrêts de la sonde). Les profils de cette campagne n'étant pas profond, la méthode du PMEL, qui consiste à recalculer les analyses chimiques par rapport aux profils descentes sur les mêmes niveaux sigma-theta, a ici été préférée (Uchida et al, 2010). Cette méthode prend ainsi en compte la variabilité naturelle de la colonne d'eau due aux ondes internes. Elle a été appliquée pour les données supérieures à 25 m pour ne pas prendre en compte la variabilité de surface. La procédure d'ajustement est, elle, similaire à celle de la conductivité en ce qui concerne la minimisation par itérations successives des écarts sonde-chimie. La conversion des mesures de tension du capteur d'oxygène en concentration d'oxygène se base ici sur l'équation de Murphy et al. (2008):

$$Ox = (A * istat + Soc) \times (V + V_{offset} + tau(T, P) \times \frac{dV}{dt}) \times Oxsol(T, S) \times (1 + A \times T + B \times T^2 + C \times T^3) \times e^{\left(\frac{E \times P}{K}\right)}$$

Avec

<i>A</i> :	Dépendance linéaire au numéro de station
<i>istat</i> :	Numéro de station
<i>Soc</i> :	Pente du signal d'oxygène
<i>V</i> :	Signal de sortie du capteur (Volts)
<i>V_{offset}</i> :	Offset de la tension de sortie (Volts)
<i>Tau(T,P)</i> :	Constante de temps à température T et pression P
<i>dV/dt</i> :	Dérivée temporelle du signal de sortie (Volts/seconde)
<i>Oxsol(T,S)</i> :	Saturation en oxygène (selon l'équation de Garcia et Gordon (1992)).
<i>T</i> :	Température ajustée sonde
<i>S</i> :	Salinité ajustée sonde
<i>E</i> :	Facteur de correction de la pression sur la membrane
<i>A, B, C</i> :	Polynôme de correction de la température sur la membrane
<i>P</i> :	Pression ajustée sonde
<i>K</i> :	Température absolue (Kelvin)

L'ajustement consiste alors à optimiser les différents coefficients de calibration, pour un ensemble d'échantillons et par itérations successives, de manière à minimiser les écarts chimie-sonde.

Suite à l'analyse des échantillons d'oxygène dissous, 5 échantillons ont été rejetés (annexe 5) car les écarts sonde-chimie étaient trop importants et semblaient résulter plutôt d'erreurs d'échantillonnage. Une première analyse des écarts subsistants montrent qu'un biais important existe entre les mesures sonde et les mesures chimie (figure 12 et 13). La distribution de ces écarts, présentée

sur la figure 12, est décentrée négativement, la sonde d'oxygène dissous a donc tendance à surestimer la concentration en oxygène dissous réelle. En outre, plus de 60% des écarts sont supérieurs à 6 micromole/kg. L'analyse de ces écarts en fonction du temps et de la pression (figure 13) montre que de fortes dépendances existent en fonction de ces deux variables. L'ajustement consiste alors à réduire ces écarts en fonction de ces variables.

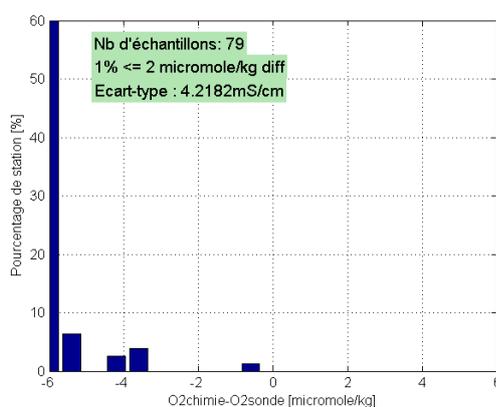


Figure 12 : Histogramme des écarts en oxygène dissous avant ajustement.

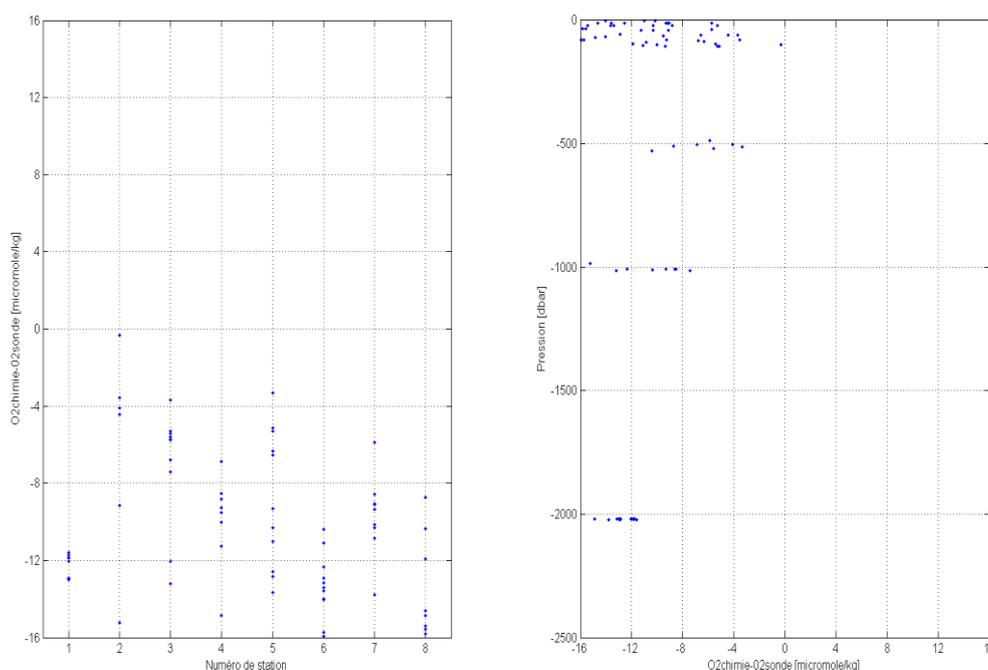


Figure 13 : Ecarts en oxygène dissous (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations avant ajustement.

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 22/47

Une stratégie de regroupement des stations a été définie pour dissocier les grandes tendances rencontrées des capteurs et ainsi mieux centrer la répartition des écarts. Le tableau 7 présente la stratégie de regroupement retenue, les stratégies de minimisation utilisées ainsi que les coefficients de calibration ainsi appliqués.

Groupes de stations	1-2	3-6	7-8
Nombre d'échantillons considérés	16	42	21
Nombre d'échantillons retenus par le calcul	13 (81%)	40 (95%)	21 (100%)
Ecart-type ($\mu\text{mol/kg}$)	0,59	1,29	1,89
Soc	0,4356	0,4313	0,4465
Voffset	-0,5117	-0,5026	-0,5181
Tau_20	1,29	1,29	1,29
E	0,0375	0,0375	0,0355
Dépendance linéaire Soc	Non	Oui	Oui
Procédure de minimisation	L2	L1	L2 pondéré

Tableau 7 : Statistiques, stratégies de minimisation et coefficients de calibration utilisés pour l'ajustement de l'oxygène dissous.

La figure 14 présente les écarts subsistants après correction. Il apparaît que les écarts sont proches et centrés autour de zéro. Aucune tendance particulière n'est présente en fonction du numéro de station et de la pression. L'histogramme des écarts en oxygène dissous présenté sur la figure 15 confirme que la distribution des écarts est satisfaisante. Ainsi sur les 79 mesures chimiques initiales, 74 ont été retenues pour l'ajustement des profils. La déviation standard sur l'ensemble des stations est alors de $1,47 \mu\text{mol/kg}$ et 84% des écarts sont inférieurs à $2 \mu\text{mol/kg}$, ce qui est très satisfaisant lorsqu'on prend en considération le peu d'échantillons à disposition. De plus, la plupart des échantillons ont été réalisés en surface et présentent donc plus de bruit que ceux effectués au fond (IE : zone de gradients, amplitude des mouvements de la sonde plus importants,...).

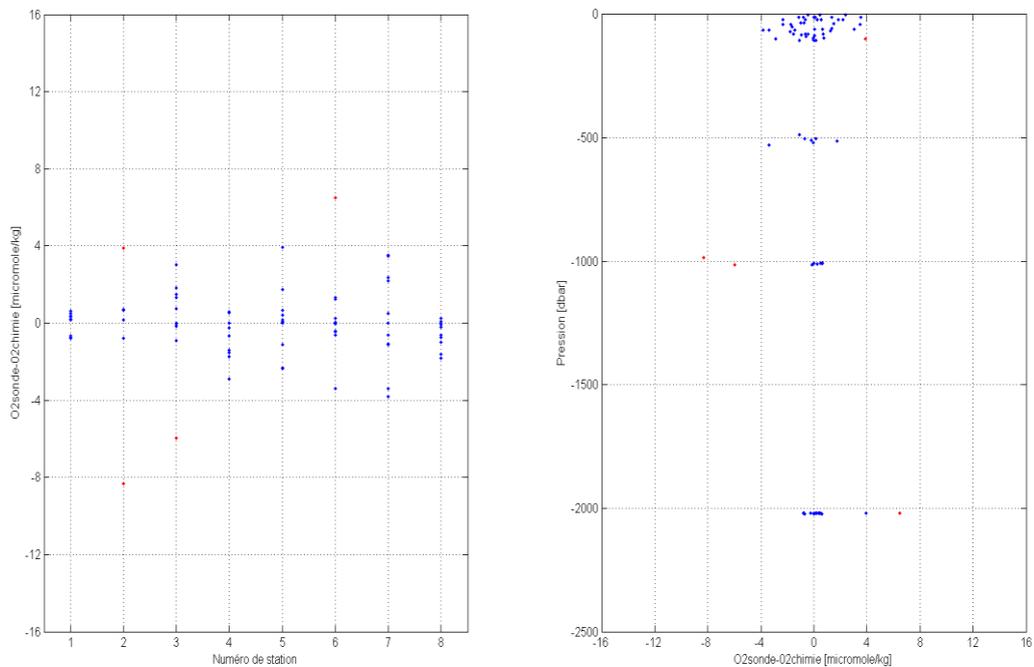


Figure 14 : Ecart en oxygène dissous (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations après ajustement.

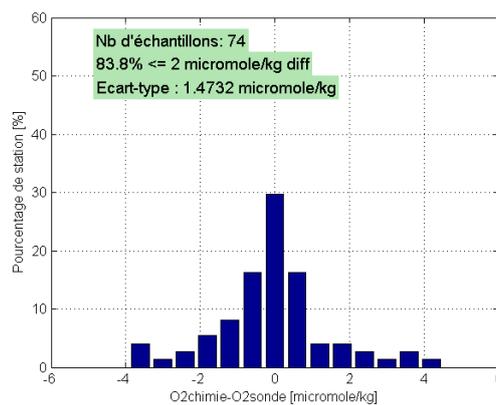


Figure 15 : Histogramme des écarts en oxygène dissous après ajustement.

4. Validation et contrôle qualité des données

La dernière étape consiste à réduire les données ajustées. Les données réduites sont des moyennes des différents paramètres ajustés (pression, température, conductivité, salinité, concentration oxygène dissous, concentration en chlorophylle-a et visibilité) sur 1dbar. Les données à la pression P sont des données qui ont été moyennées entre P-1/2dbar et P+1/2dbar. Un offset est appliqué aux mesures du transmissiomètre et du fluorimètre en tenant compte de la valeur maximale (et minimale pour le fluorimètre) mesurée par le capteur sur l'ensemble des profils (mesure en eau claire), les mesures apportent alors une mesure relative du pourcentage d'atténuation lumineuse (et de l'intensité de fluorescence) liée aux particules dans les couches au-dessus sur l'ensemble des profils. Ces offsets sont présentés dans le tableau 8.

Offset transmissiomètre	Offset fluorimètre
-3.107 %	+0.116 µg/l

Tableau 8 : Offsets appliqués aux mesures du transmissiomètre et du fluorimètre

Les fichiers réduits sont ici au format NetCDF. 2 fichiers sont créés par station, 1 fichier pour le profil « descente » et un pour le profil « montée ». Ces fichiers comportent également les résultats des analyses chimiques. Un code est attribué aux données chimie selon qu'elles aient été utilisées, ou non, lors de l'ajustement des données. Les données chimiques conservées lors de l'ajustement ont un code mis à « 1 » et les mesures rejetées ont un code « 4 ». Les mesures rejetées lors de la minimisation ont un code « 3 ».

Cette étape est effectuée avec *CADHYAC*. Un processus de seuillage est réalisé avant la réduction. Ce test de seuillage permet d'attribuer un code qualité, pour chacun des paramètres, aux données présentant des gradients verticaux supérieurs à des seuils définis. Les données ne répondant pas à ces seuils ont un code mis à « 3 ». Les seuils qui ont été utilisés sont présentés dans le tableau 9. S'il n'existe pas assez de données pour le calcul de la moyenne d'un paramètre (le nombre minimal de scans valides a ici été fixé à 6) alors un code « 4 » est attribué au niveau P en ce qui concerne ce paramètre.

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 25/47

Paramètre	Pression (dbar)	Température Conductivité [<1500m]	Température Conductivité [>1500m]	Oxygène (Volt) [<1500m]	Oxygène (Volt) [>1500m]	Fluorimètre	Transmissiomètre
Seuil	0.5	2	0.2	2	0.2	5	5

Tableau 9 : Valeurs seuils utilisées pour le processus de seuillage effectué lors de la réduction

Le nom des paramètres de la sonde utilise 4 caractères (ie. TEMP, PRES), les noms de paramètres associés aux prélèvements bouteilles utilisent 7 caractères (ie. CHTEMPB, CHPRESP ; la dernière lettre P ou B désigne si les données sont issues, respectivement, de la sonde ou des bouteilles). Le nom des variables suit la convention :

LATITUDE_BEGIN : Latitude en début de station
 LATITUDE_END : Latitude en fin de station
 LONGITUDE_BEGIN : Longitude en début de station
 LONGITUDE_END : Longitude en fin de station
 STATION_DATA_BEGIN: Date en début de station (YYYYMMDDHH21MISS)
 STATION_DATA_END : Date en fin de station (YYYYMMDDHH21MISS)
 JULD_BEGIN: Jour julien en début de station (depuis 01/01/1950 00 :00 :00)
 JULD_END : Jour julien en fin de station (depuis 01/01/1950 00 :00 :00)
 PRES : Pression de la mer [dbar]
 PRES_QC : Code qualité de la pression de la mer
 TEMP : Température in situ ITS-90 [°C]
 TEMP_QC : Code qualité température in situ ITS-90
 COND : Conductivité [mS/cm]
 COND_QC : Code qualité conductivité
 PSAL : Salinité PSS78 [PSU]
 PSAL_QC : Code qualité salinité PSS78
 OXYL : Concentration en oxygène dissous [ml/l]
 OXYL_QC : Code qualité concentration en oxygène dissous
 OXYK : Concentration en oxygène dissous [µmol/kg]
 OXYK_QC : Code qualité concentration en oxygène dissous
 FLU2 : Fluorescence [mg/m³]
 FLU2_QC : Code qualité fluorescence

TUR3 :	Transmission lumineuse [%]
TUR3_QC :	Code qualité transmission lumineuse
BOTTLE_NUMBER :	Numéro de bouteille
CHPRESP :	Chimie - Pression de la mer capteur
CHPRESP_QC :	Chimie - Code qualité pression de la mer capteur
CHTEMPPP :	Chimie – Température in situ ITS-90 capteur
CHTEMPPP_QC :	Chimie – Code qualité température in situ ITS-90 capteur
CHPSALB :	Chimie – Salinité PSS78 bouteille
CHPSALB_QC :	Chimie – Code qualité salinité PSS78 bouteille
CHSALP :	Chimie - Salinité PSS78 capteur
CHSALP_QC :	Chimie – Code qualité salinité PSS78 capteur
CHOXYLB :	Chimie – Concentration en oxygène dissous bouteille [ml/l]
CHOXYLB_QC :	Chimie – Code qualité concentration en oxygène bouteille [ml/l]
CHOXYLP :	Chimie – Concentration en oxygène dissous capteur [ml/l]
CHOXYLP_QC :	Chimie – Code qualité concentration en oxygène dissous capteur [ml/l]
CHOXYKB :	Chimie – Concentration en oxygène dissous bouteille [μmol/kg]
CHOXYKB_QC :	Chimie – Code qualité concentration en oxygène bouteille [μmol/kg]
CHOXYKP :	Chimie – Concentration en oxygène dissous capteur [μmol/kg]
CHOXYKP_QC :	Chimie – Code qualité concentration en oxygène capteur [μmol/kg]
CHTMPOB :	Chimie – Température bouteille ITS-90
CHTOMB_QC :	Chimie – Code qualité température bouteille ITS-90

Enfin, les données ont été validées à l'aide du module de validation de *CADHYAC*. Ce module permet d'attribuer un code aux données d'oxygène dissous jugées incorrectes via un test d'écart à la médiane. Les pics résiduels en oxygène sont détectés et contrôlés. Un code « 4 » est attribué aux mesures rejetées. Aucun pic n'a ici été retenu en utilisant les paramètres présentés dans le tableau 10.

Paramètre	Pression minimum	Taille de la fenêtre	Ecart minimum	Nombre d'itérations	Nombre d'écart-type	Ecart maximum
Seuillage Down	600	20	0.04	5	2.8	1

Tableau 10 : Valeurs seuils utilisées pour le processus de seuillage effectué lors de la réduction

D'autre part, ce module a permis de détecter les inversions de densité jugées artificielles sur les profils descentes car liées à un effet de retour du sillage de la rosette (lié au pilonnement du navire). Les codes de qualité suivent la convention présentée en annexe 4 et les points détectés sont présentés en annexe 6.

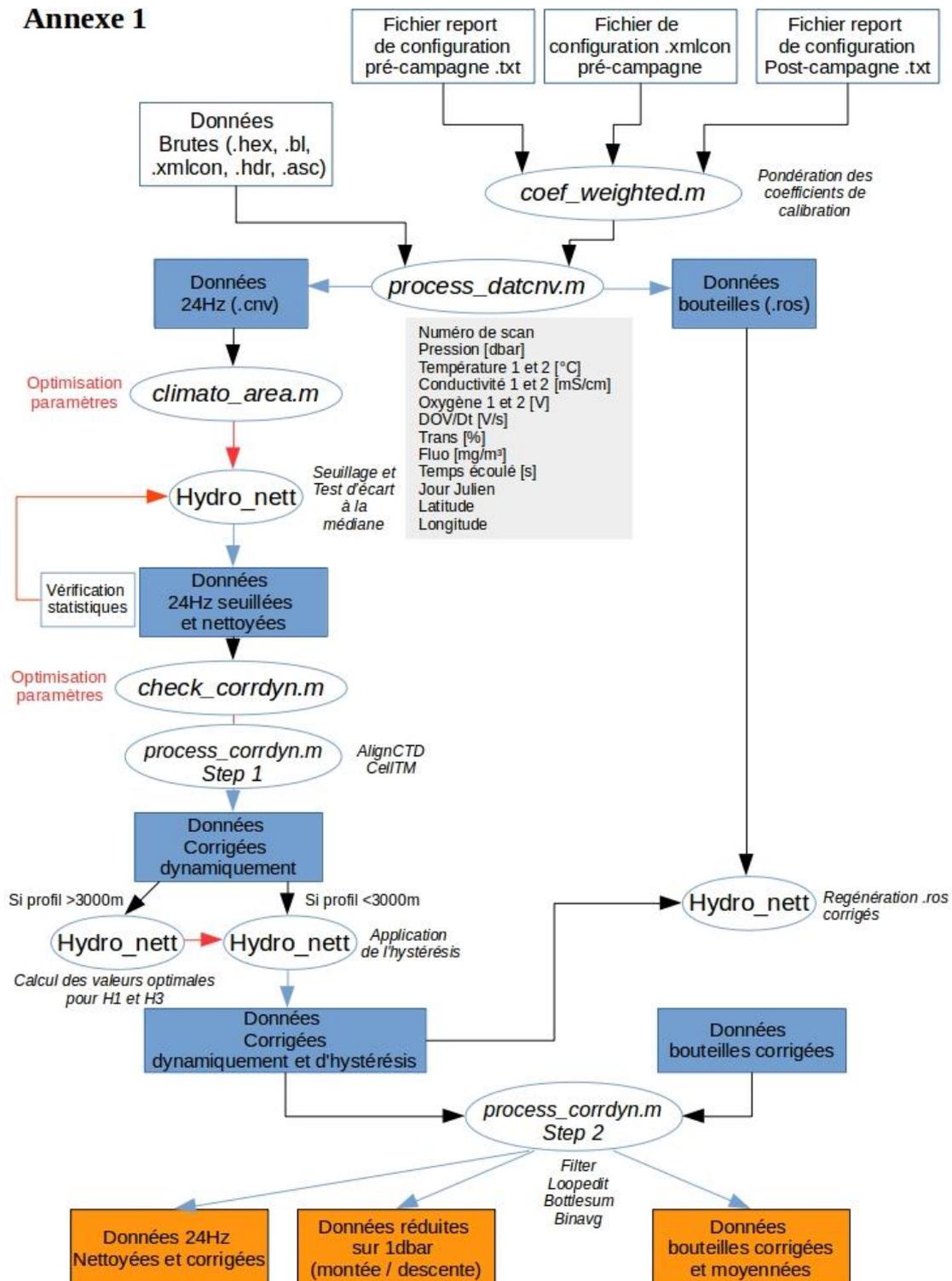
Un contrôle qualité des données a été effectué en comparant les diagrammes θ -S et θ -O₂ entre stations successives, afin de vérifier s'il n'y avait pas de sauts entre profils successifs liés à la calibration. Les profils et diagrammes des données réduites de chaque station sont présentés ici en annexe. Les données avec un code « 3 » et « 4 » n'ont pas été affichées. Les analyses chimiques y sont également présentées (en carré rouge, sont présentées les analyses avec un code « 3 », et en triangle rouge, sont présentées les analyses avec un code « 4 »). La latitude et la longitude indiquent le positionnement du navire en début de station et les données sont celles des profils descentes de la bathysonde.

5. Références

- Culberson C.H. (1991). *WHP Operations and Methods, Dissolved Oxygen*. WHP Office Report WHPO 91-1. WOCE Report No 68/91. Woods Hole, Mass., USA.
- Garcia H.E. et Gordon L.I. (1992). *Oxygen solubility in seawater: Better fitting equations*. Limnology & Oceanography, vol 37(6), p1307-1312.
- Joyce T. M. (1994). *Introduction to the collection of Expert Reports Compiled for the WHP Programme – WHP Operations and Methods – July 1991*. WHOI.
- Kermabon C., Le Bot P., Thierry V., et al. (2015). *CADHYAC Chaîne d’Ajustage des Données d’Hydrologie Après Campagne – Documentation Utilisateur (V1.1)*. R.INT. ODE/LPO/15-01.
- McTaggart K.E, Jonhson G.C., Jonhson M.C. et al. (2010). *Notes on CTD/O2 Data Acquisition and Processing using Seabird Hardware and Software (as available)*. IOCCP Report n°14, ICPO Publication Series No. 134, Version 1.
- Murphy D.J, Larson H.G et Edward B.C. (2008). *Improvements to the SBE 43 Oxygen Calibration Algorithm*. Poster Presentation Ocean Sciences Meeting, Orlando, Florida.
- Owens W.B. et Millard R. (1985). *A New Algorithm for CTD Oxygen Calibration*. WHOI, Woods Hole.
- Saout-Grit C., Ganachaud A., Maes C. et al. (2015). *Calibration of CTD Oxygen Data collected in the Coral Sea during the 2012 bifurcation cruise*.
- Sea-Bird Electronics (2012). *Application Note 64-2: SBE 43 Dissolved Oxygen Sensor Calibration and Data Corrections*.
- Uchida H., Johnson G.C. et McTaggart K. (2010). *CTD Oxygen Sensor Calibration Procedures*. IOCCP Report No. 14, ICPO Publication Series No. 134, Version 1.

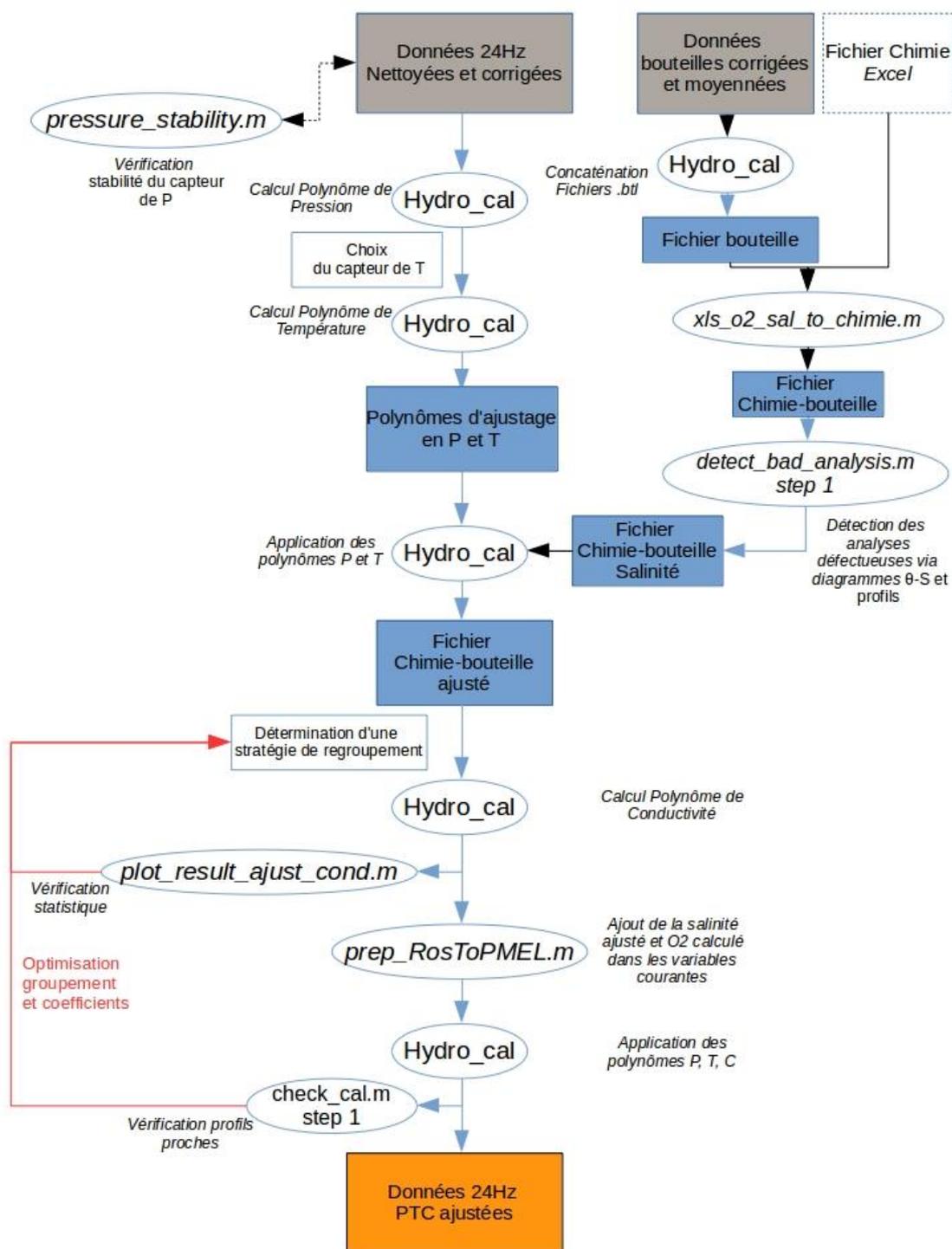
6. Annexe 1 - Procédure de traitement schématisée

Annexe 1



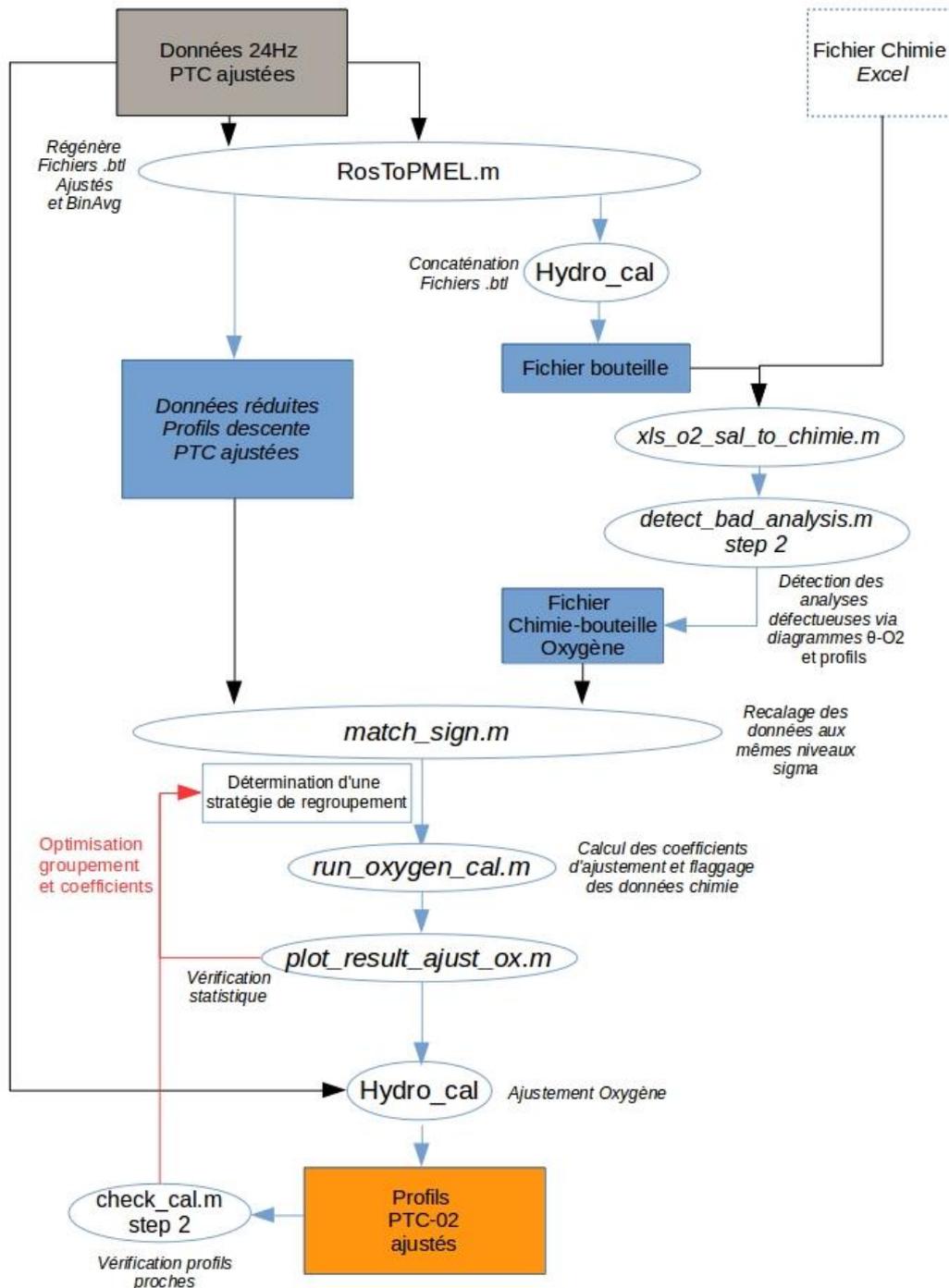
Chaîne de traitement : Préparation des mesures

Annexe 1



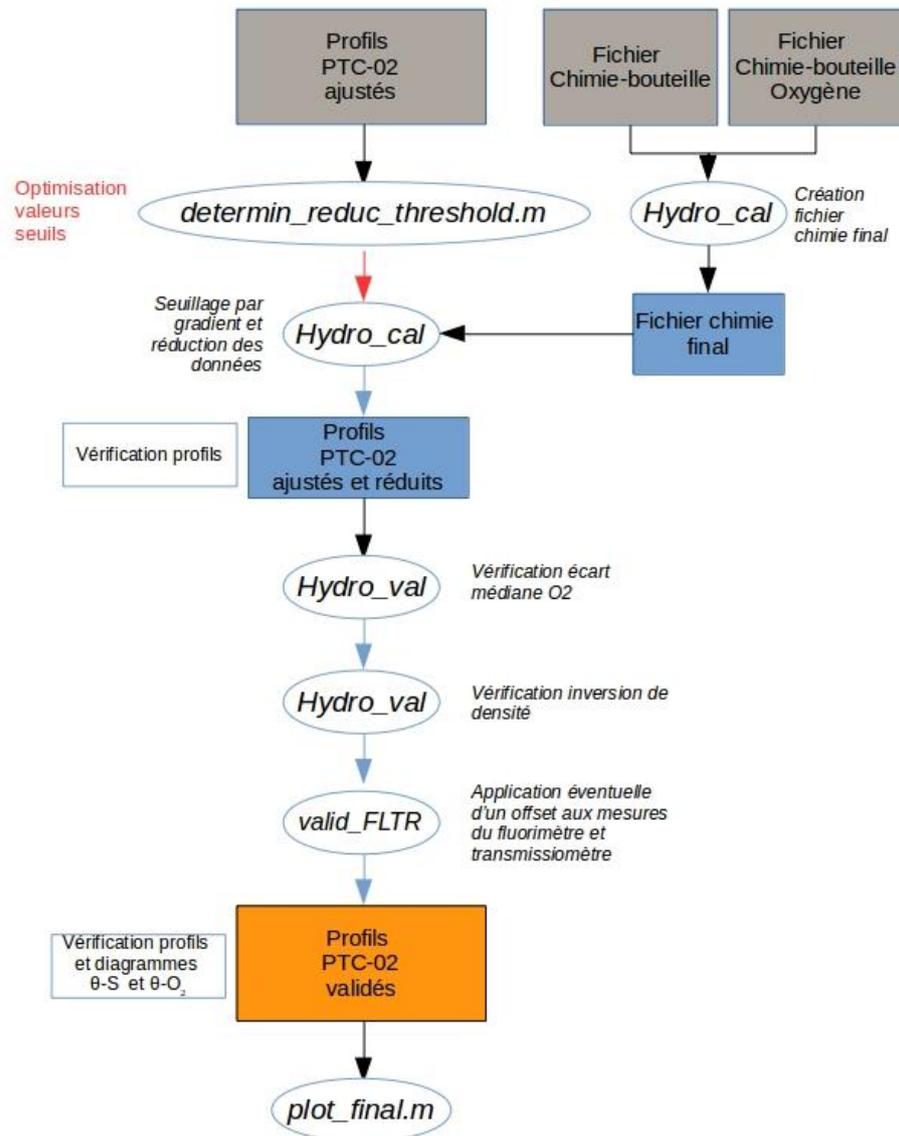
Chaîne de traitement : Ajustement des mesures PTC

Annexe 1



Chaîne de traitement : Ajustement des mesures d'oxygène

Annexe 1



Chaîne de traitement : Réduction et Validation des données

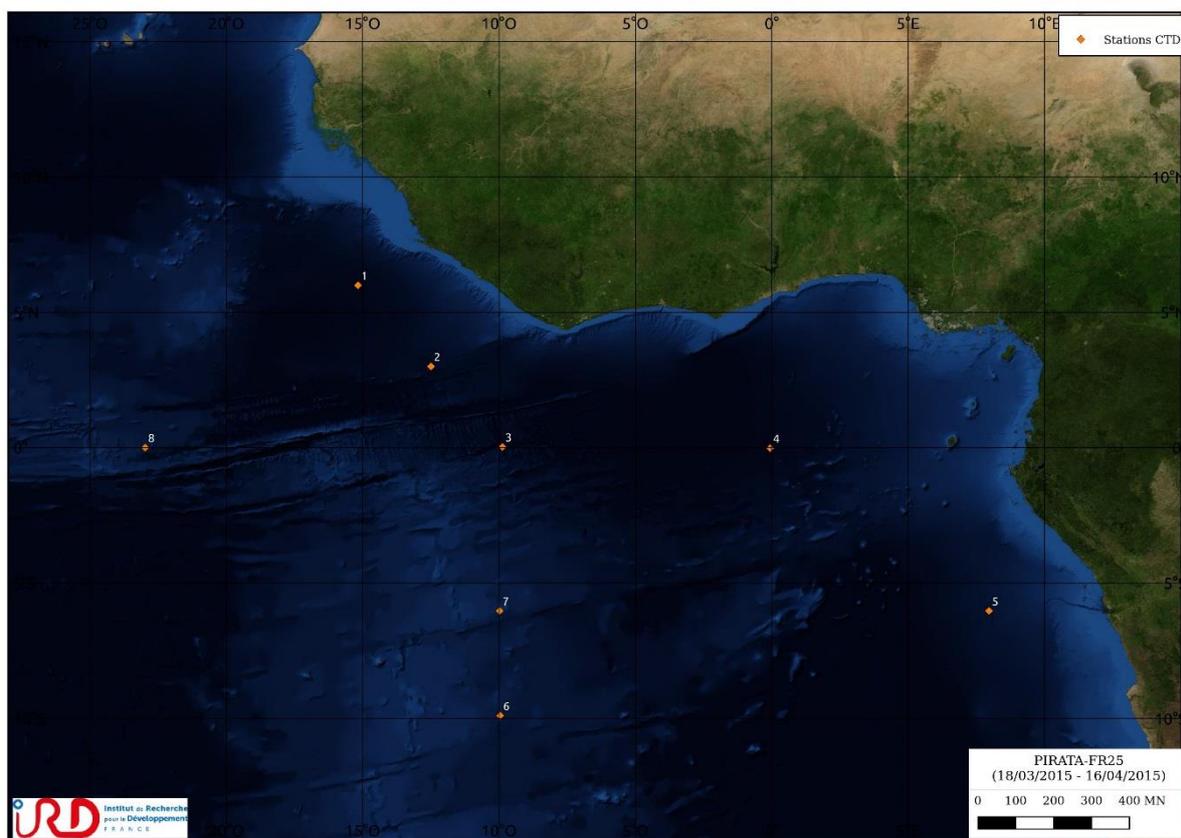
Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 33/47

7. Annexe 2 - Date et position des stations CTD-0₂ effectuées pendant PIRATA-FR25

Station	Date	Heure	Latitude	Longitude	Pres. Max [dbar]	Fond
1	21/03/2015	13:33:45	05°59.880 N	15°10.450 W	2001	4883
2	22/03/2015	13:59:54	02°59.870 N	12°29.800 W	2001	4556
3	24/03/2015	08:25:49	00°01.540 N	09°52.630 W	2001	4934
4	27/03/2015	13:23:44	00°01.160 S	00°03.440 W	2001	4911
5	31/03/2015	04:35:25	06°01.970 S	07°58.280 E	2000	4180
6	05/04/2015	00:31:20	09°54.070 S	09°57.510 W	2192	3843
7	06/04/2015	03:06:02	06°01.830 S	09°58.830 W	2002	3556
8	11/04/2015	02:12:29	00°00.130 N	22°58.800 W	2000	3960

8. Annexe 3 - Carte des stations CTD-0₂ effectuées pendant la campagne PIRATA-FR25



9. Annexe 4 - Signification des codes de qualité

SeaDataNet mesurand qualifier flags

Code	Signification
0	Non qualifiée
1	Mesure validée
2	Mesure probablement bonne
3	Mesure probablement mauvaise
4	Mauvaise mesure
5	Mesure modifiée
6	Mesure sous seuil de détection
7	Mesure au-dessus seuil de détection
8	Mesure interpolée
9	Mesure manquante

Seuls les codes 1, 3, 4 et 9 ont été utilisés pour cette calibration.

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 36/47

10. Annexe 5 – Analyses chimiques

Bottle ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Remarques
Station	<i>Profondeurs d'échantillonnage [m]</i>											
1	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	Bouteille 3 : fuit, Bouteille 11 : temps d'attente avant oxygène
2	2021	2021	1009	503	101	80	60	42	21	11	3	Bouteille 3 : légère fuite, Bouteille 9 : O2 faux, interruption prélèvement O2 entre bouteille 7 et 8
3	2020	1009	1009	504	101	83	62	41	21	11	2	Bouteille 3 : fuite
4	2020	1009	503	503	100	79	61	42	21	11	3	
5	2020	1009	505	102	102	82	61	41	21	11	3	Bouteille 1 : fuite
6	2021	1009	505	101	80	80	62	41	21	11	2	Bouteille 1 : fuite
7	2021	1008	502	100	81	61	61	41	21	10	2	
8	2020	1009	504	100	81	61	42	42	21	11	2	

En rouge : échantillons rejetés pour l'ajustement des profils de salinité.

En jaune : échantillons rejetés pour l'ajustement des profils d'oxygène dissous.

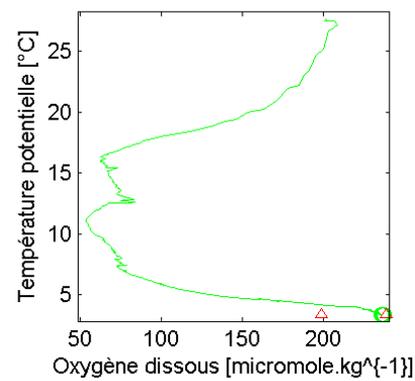
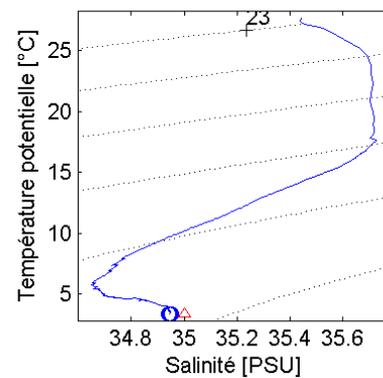
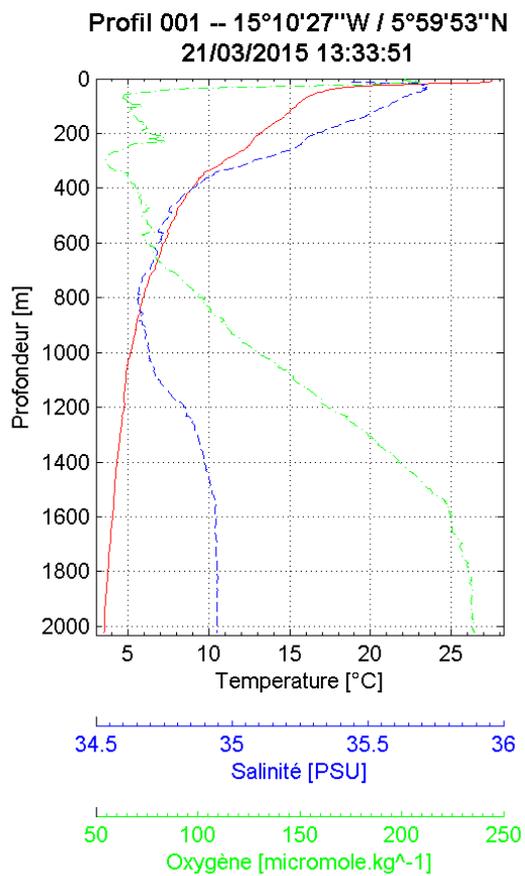
Laboratoire : US191
Implantation : Brest

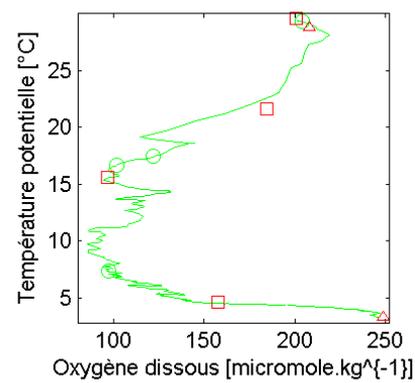
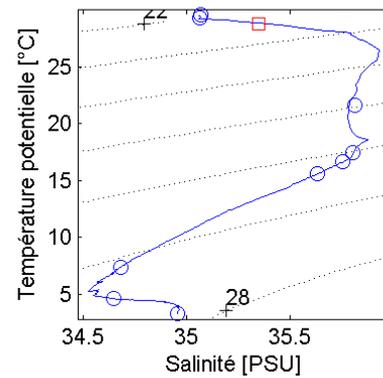
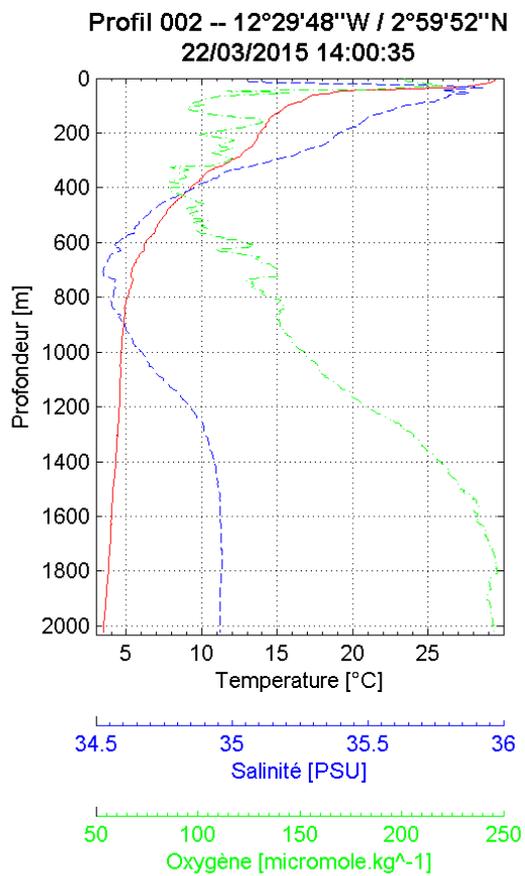
RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 37/47

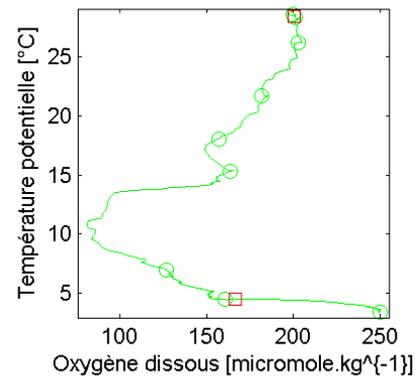
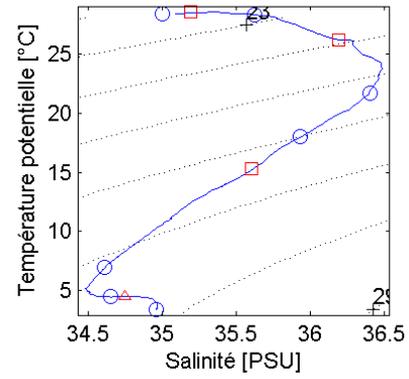
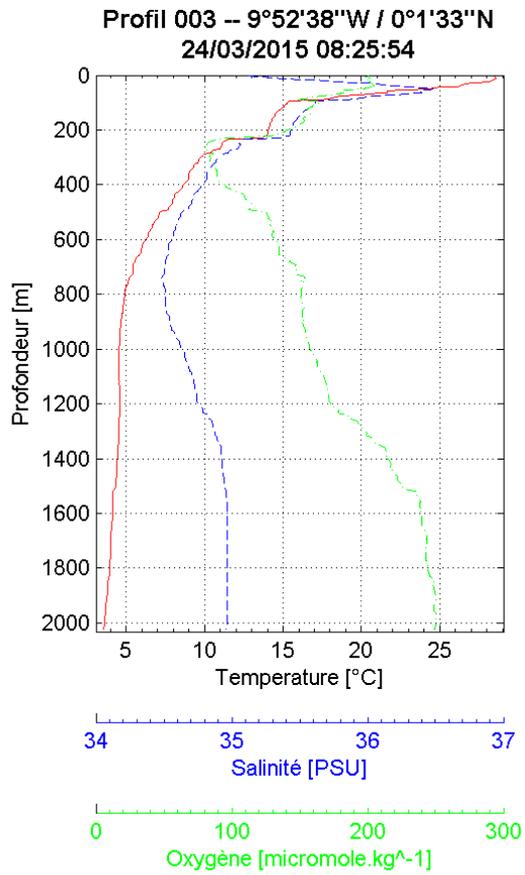
11. Annexe 6 – Détection des inversions de densité.

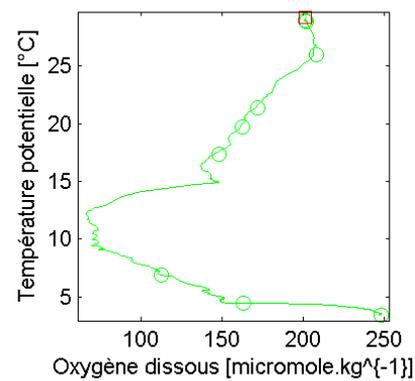
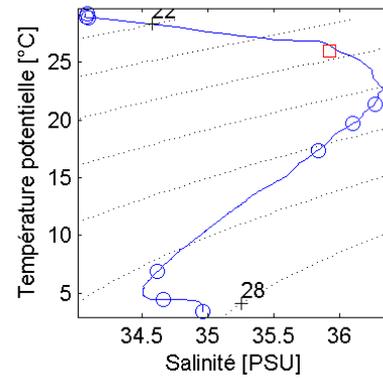
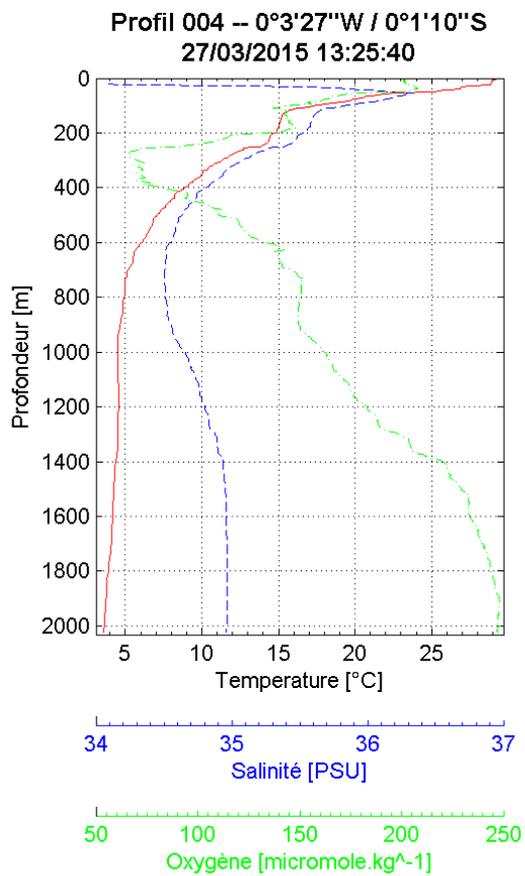
Station	Profil descente (niveaux rejetés [db.])
001	5, 135, 136
002	1249
003	291, 292, 548, 753, 771, 777, 778, 1456, 1457
004	11, 12
005	
006	
007	144
008	

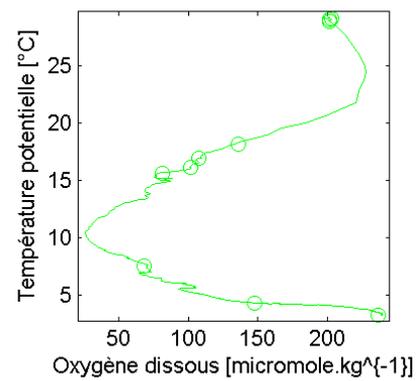
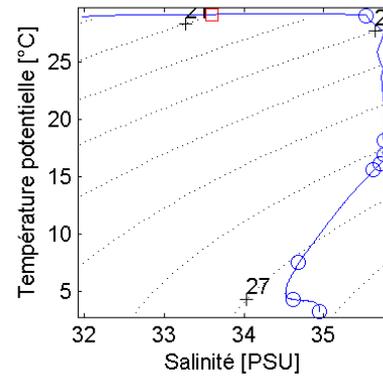
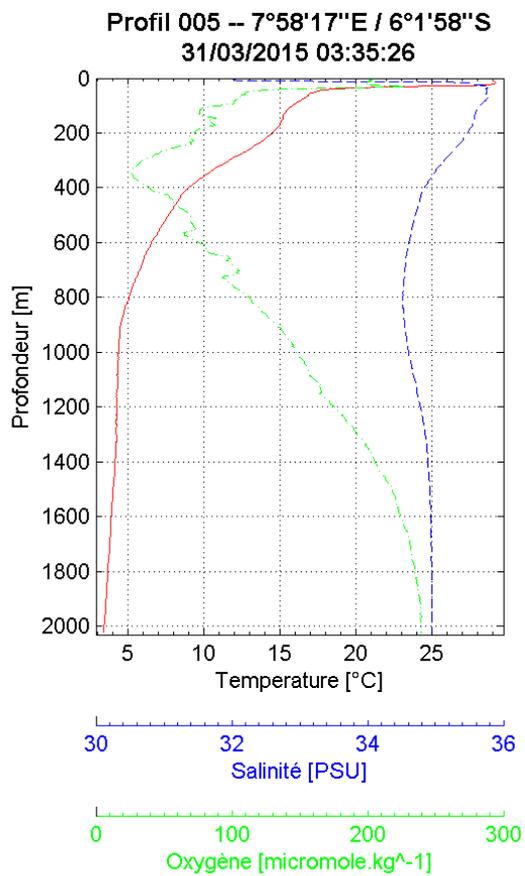
12. Annexe 7 – Profils ajustés et réduits sur 1dbar

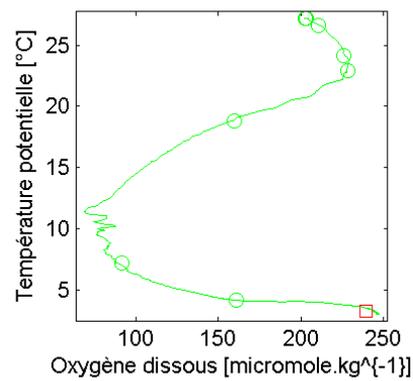
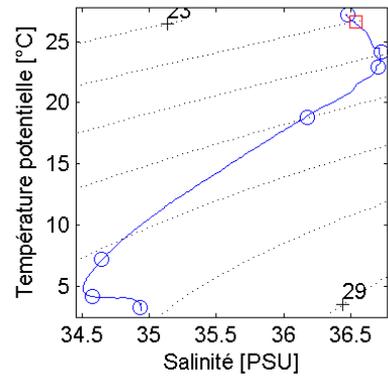
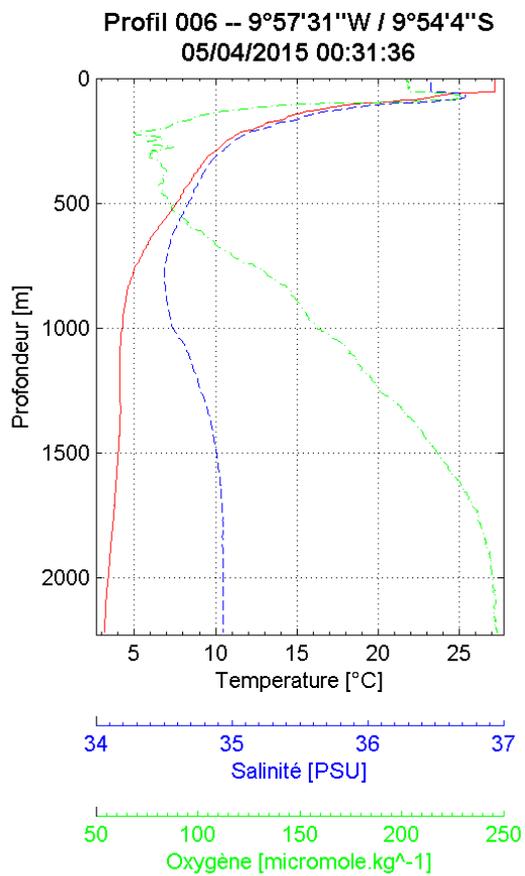


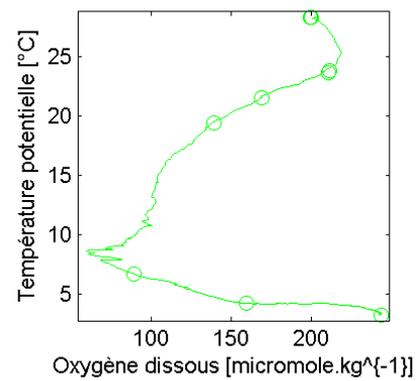
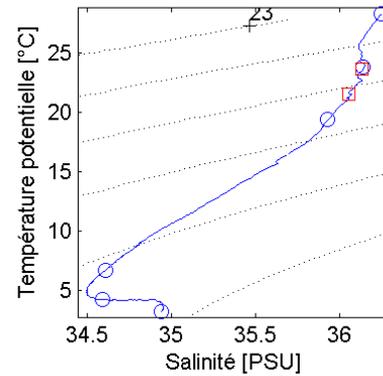
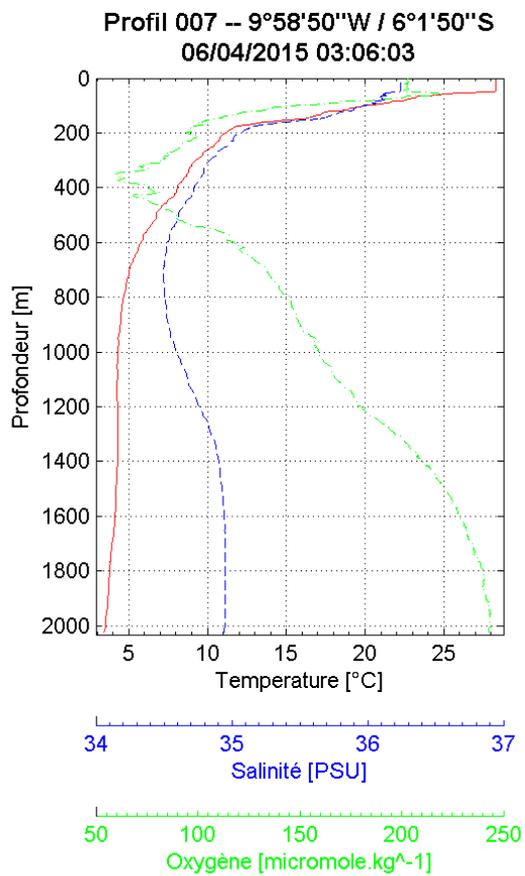


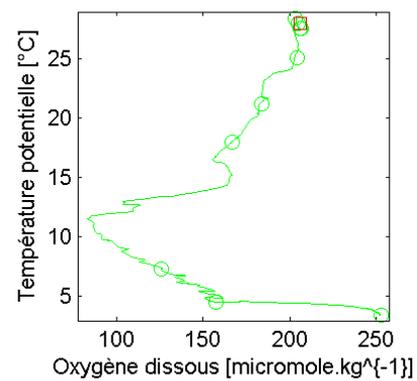
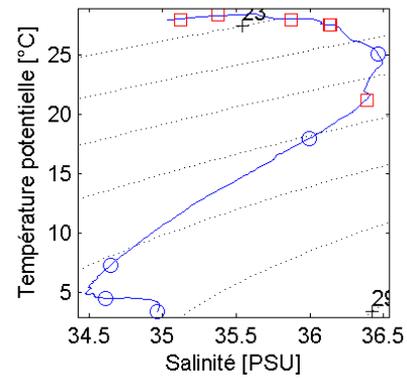
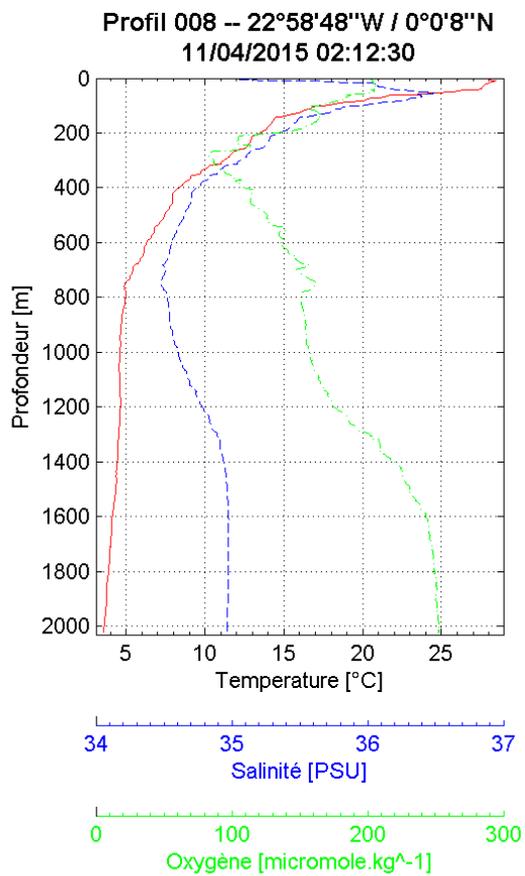












Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 46/47

13. Suivi des versions de ce document

Rédacteur		Approbateur	
Nom :	Pierre Rousselot	Nom :	
Fonction :	Ingénieur d'étude en acquisition et traitement de données	Fonction :	

Date	Version	Commentaires et modifications
30/06/2017	01	Création

Relecteur	Date