
Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 0/98

Rapport de Calibration des données CTD-02 De la campagne PIRATA-FR26

DOI : 10.17600/16002300

Mai 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	11
3.	Ajustement des profils aux données externes.....	12
3.1.	Analyse des données chimiques	12
3.2.	Ajustement en Conductivité	16
3.3.	Ajustement en Oxygène Dissous.....	21
4.	Validation et contrôle qualité des données	26
5.	Références	30
6.	Annexe 1 - Procédure de traitement schématisée.....	31
7.	Annexe 2 - Date et position des stations CTD-O ₂ effectuées pendant PIRATA-FR26.....	35
8.	Annexe 3 - Carte des stations CTD-O ₂ effectuées pendant la campagne PIRATA-FR26	37
9.	Annexe 4 - Signification des codes de qualité.....	38
10.	Annexe 5 – Analyses chimiques.....	39
11.	Annexe 6 – Détection anomalies d’oxygène.	41
12.	Annexe 7 – Détection des inversions de densité.....	43
13.	Annexe 8 – Offset profils transmissiomètre.	45
14.	Annexe 9 – Profils ajustés et réduits sur 1dbar.....	47
15.	Suivi des versions de ce document	97

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 fluorimeter profiles, these data are consistent with the international WOCE standard. Concerning transmissometer and the fluorimeter data, only the relatives' measurements along a profile make sense. An offset have been applied to the transmissometer measurements in the view to pass the validation tests. The circuit 1 sensors have been preferred because sensors drift is less important than the circuit 2 sensors. Moreover, the circuit 2 conductivity sensor seems to have drifted during the campaign starting from the station 40.

Version papier non vérifié

Résumé

La campagne PIRATA-FR26 est la 26^{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 07/03/2016 au 13/04/2016 dans l'Atlantique tropical. Au cours de cette campagne, 50 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 0.003 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-FR26, 50 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, avec des profondeurs maximales de 2027m. 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 : 547 analyses de salinité et 548 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 :

- 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

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 5/98

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 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

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 6/98

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	1263	15/12/2015	X
Température 1	6083	10/12/2015	11/05/2016
Conductivité 1	4509	08/12/2015	18/05/2016
Oxygène 1	3261	11/12/2015	18/05/2016
Pompe 1	8529	20/11/2015	X
Température 2	6086	10/12/2015	11/05/2016
Conductivité 2	4510	08/12/2015	18/05/2016
Oxygène 2	3265	11/12/2015	01/06/2016
Pompe 2	8530	20/11/2015	X
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-FR26.

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 : 547 analyses de salinité et 548 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 «PIRATAFR26_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 10/98

	Température 1	Température 2	Conductivité 1	Conductivité 2	Oxygène 1	Oxygène 2
Offset	$1,34 \cdot 10^{-4}$	$3,97 \cdot 10^{-4}$	X	X	$-5,069 \cdot 10^{-1}$	$-5,322 \cdot 10^{-1}$
Pente	X	X	1,0002	1	$4,699 \cdot 10^{-1}$	$3,726 \cdot 10^{-1}$

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

Un contrôle de bon fonctionnement du capteur de pression a été réalisé en comparant les valeurs de pression obtenues sur le pont avant et après profil. Ces mesures ont été faites à partir des valeurs de fréquences et des valeurs de température interne du capteur. Les températures retenues sont les premières et dernières acquises par la sonde, en considérant une certaine inertie de la température du capteur pendant son déploiement. Les mesures de fréquences ont, elles, été réalisées sur le pont. La figure 1 présente les résultats obtenus de cette comparaison, les écarts de pression étant faibles et n'étant jamais supérieur à 2dbar, le capteur de pression a été supposé stable et les données fiables. Un faible phénomène d'hystérésis semble toutefois existant car la moyenne des écarts présente une légère tendance négative (environ -0,21dbar), la valeur de pression étant plus faible en fin de profil qu'en début de profil.

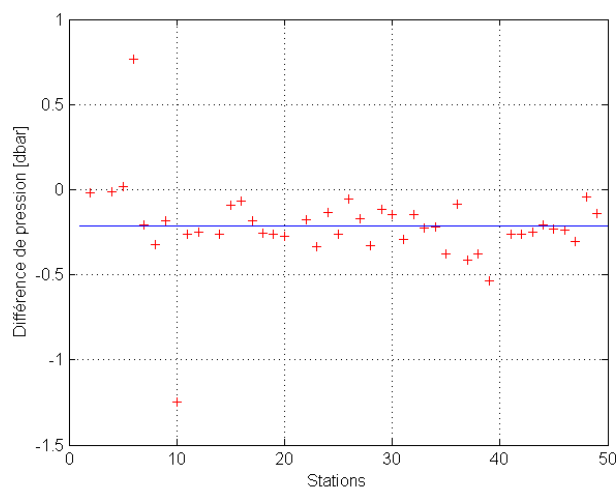


Figure 1 : Ecart de la mesure de pression avant et après déploiement (trait plein - moyenne des écarts)

Les fichiers ASCII (.cnv) 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 ($\frac{dV}{dt}$), 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	0.5	3	32.7	0.6	0.4	10
Maximum	2030	30.3	59.5	3.4	4.4	103
Ecart à la médiane						
Taille de la fenêtre	20	6	6	100	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	0.4	0.4	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 *SBEDataProcessing* 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	2.6
Oxygène Secondaire	2.6
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 $< 0,1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). 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-FR26, les analyses chimiques en salinité et oxygène dissous ont été systématiques : 547 mesures de salinité et 548 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 2 et 3) et présentent donc plus de bruit que ceux effectués au fond.

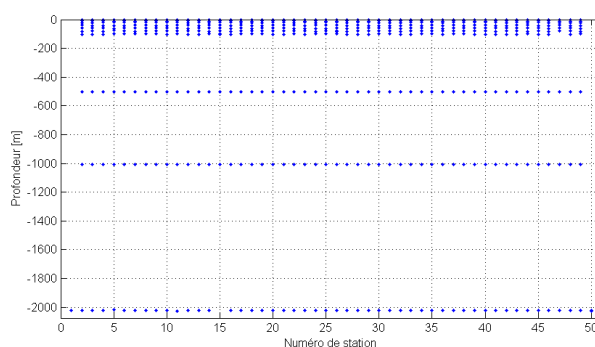


Figure 2 : Répartition des prélèvements pour analyse de la salinité effectués au cours de la campagne PIRATA-FR26.

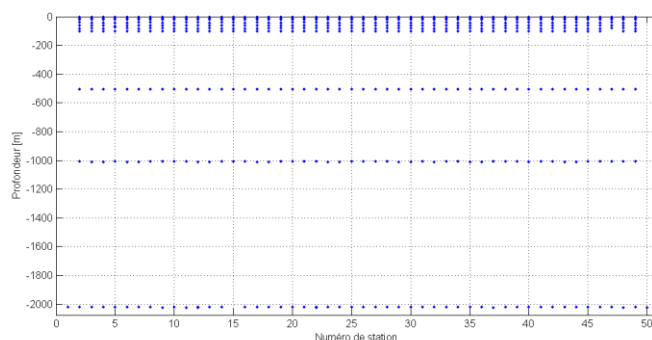


Figure 3 : Répartition des prélèvements pour analyse de l'oxygène dissous effectués au cours de la campagne PIRATA-FR26.

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, deux profils tests (profil 1 et 50) ont été effectués, consistant à fermer toutes les bouteilles à une même profondeur (2000m), de manière à évaluer ces erreurs.

La figure 4 présente les écarts obtenus sur les doublets en salinité et la figure 5 présente l'histogramme. L'écart moyen des différences de mesure en salinité est nul et présente un écart-type de 0,003 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 manières générales inférieures à la précision, à l'exception des stations 5, 7, 21, 31 et 49. Les stations tests montrent de très bons résultats avec un écart type de 0,0012 PSU pour la station 1, et un écart type de 0,0005 PSU pour la station 50 (figure 6).

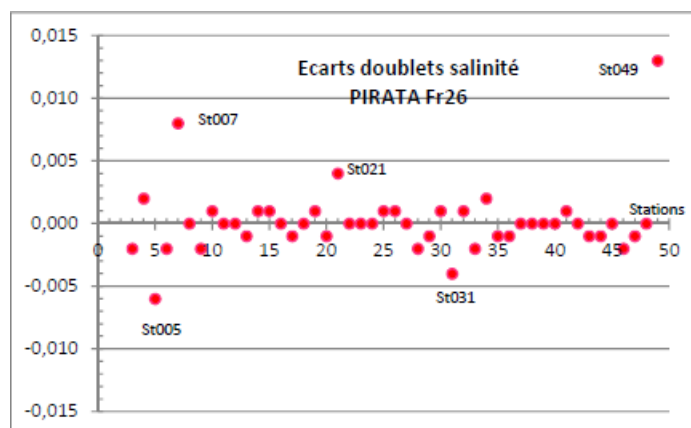


Figure 4: Ecarts de salinité entre deux bouteilles fermées au même niveau en fonction du numéro de station à laquelle a été réalisé le doublet (Baurand et Youenou, 2016).

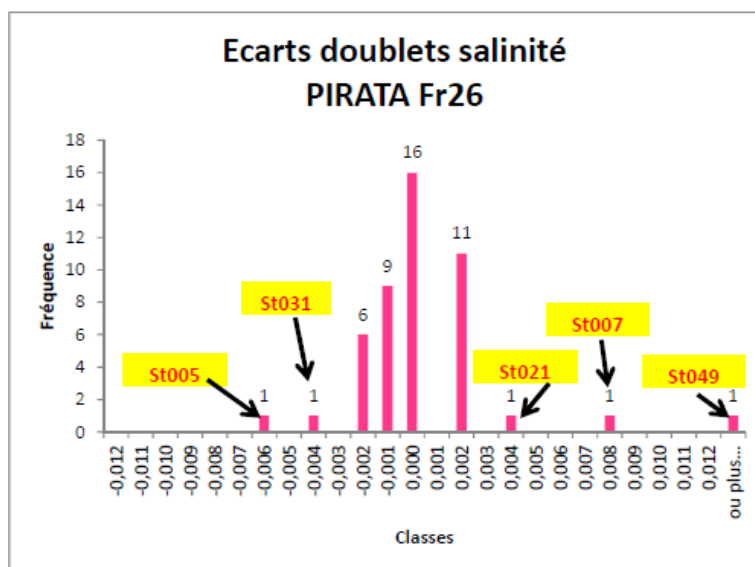


Figure 5: Histogramme des écarts de salinité sur les doublets (Baurand et Youenou, 2016)

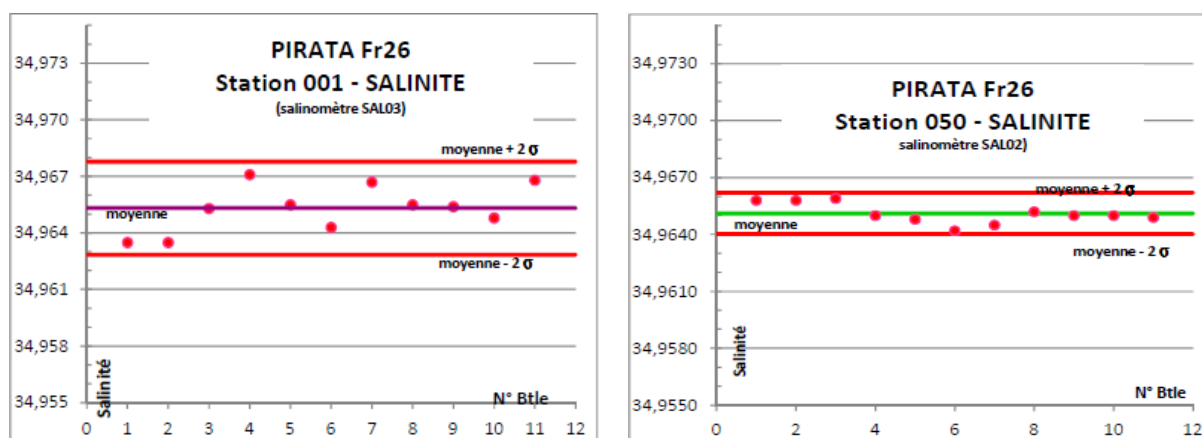


Figure 6 : Ecart en salinité des prélèvements effectués lors des stations tests (Baurand et Youenou, 2016).

L'évaluation détaillée de ces erreurs est présentée dans le rapport chimie de la mission (Baurand et Youenou, 2016). Suite à l'inspection de ce rapport et des fiches d'acquisitions, 13 échantillons ont été exclus de l'ajustement de manière à ne pas biaiser le calcul (annexe 5).

Les figures 7 et 8 présentent les écarts et l'historique obtenus sur les doublets en oxygène. Les écarts d'oxygène entre les doublets présentent une moyenne de $0,6 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ avec un écart-type de $1,1 \mu\text{mol.kg}^{-1}$. Les stations tests présentent de très bons résultats avec un écart-type de $0,2 \mu\text{mol.kg}^{-1}$ pour les deux stations (figure 7).

Suite à l'inspection de ces mesures, 11 échantillons ont été exclus de l'ajustement en oxygène de manière à ne pas biaiser le calcul (annexe 5).

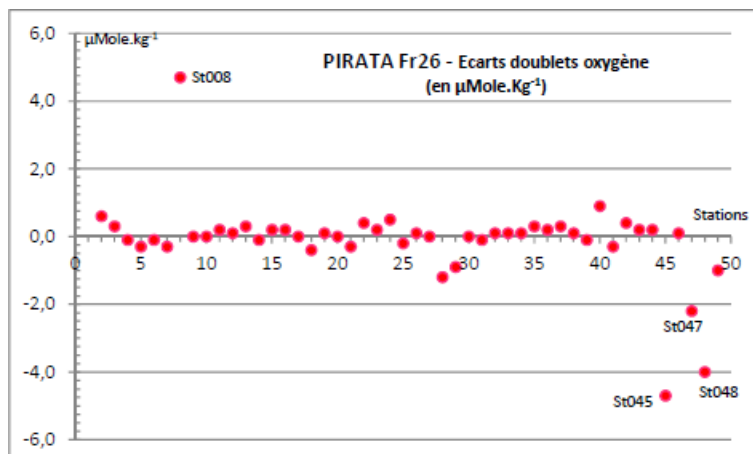


Figure 7 : Ecart en oxygène dissous entre deux bouteilles fermées au même niveau en fonction du numéro de station à laquelle a été réalisé le doublet (Baurand et Youenou, 2016).

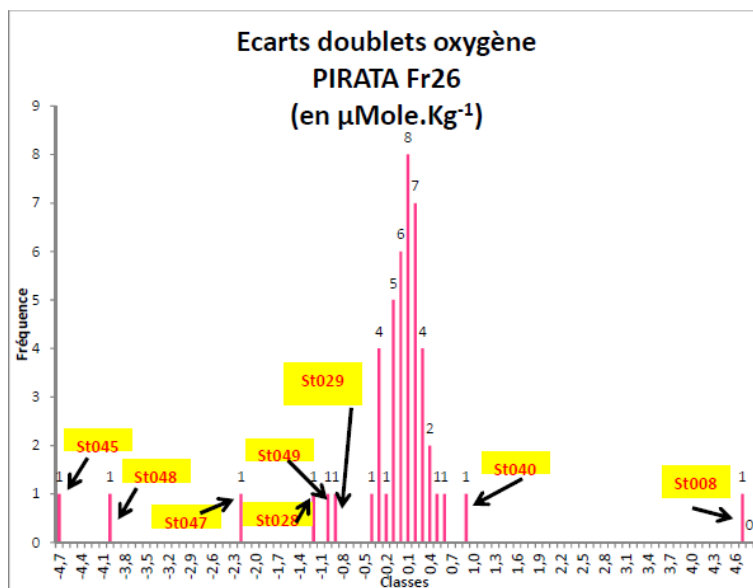


Figure 8 : Histogramme des écarts en oxygène sur les doublets (Baurand et Youenou, 2016).

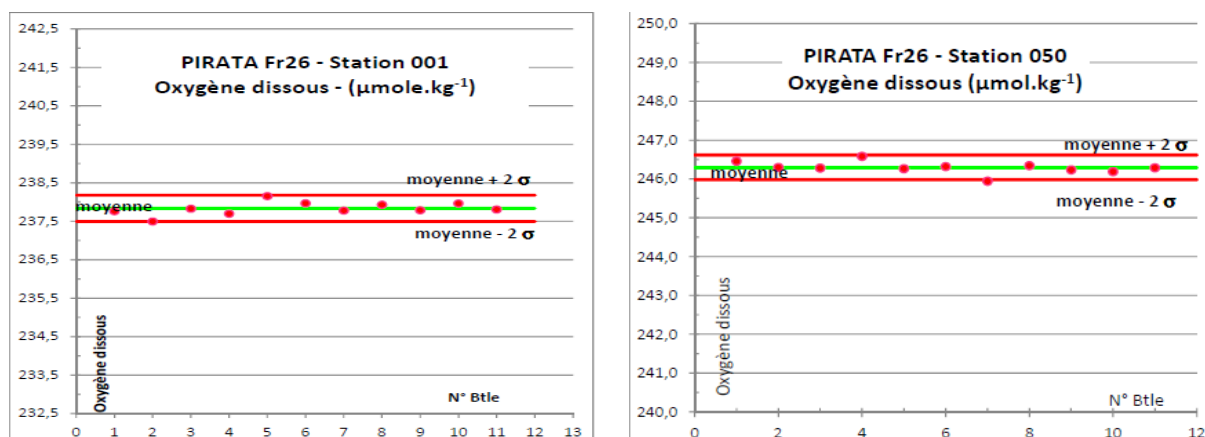


Figure 9 : Ecart en oxygène des prélèvements effectués lors des stations tests (Baurand et Youenou, 2016).

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, 13 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 10 et 11). La distribution de ces écarts, présentée sur la figure 10, est décentrée positivement, la sonde de conductivité a donc tendance à sous-estimer la conductivité réelle. En outre, 30% des écarts sont supérieurs à 0.005 PSU. L'analyse de ces écarts en fonction du temps, de la conductivité et de la pression (figure 11) 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.

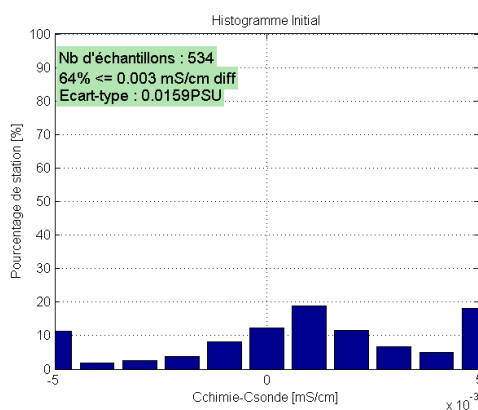


Figure 10 : Histogramme des écarts en conductivité avant ajustement.

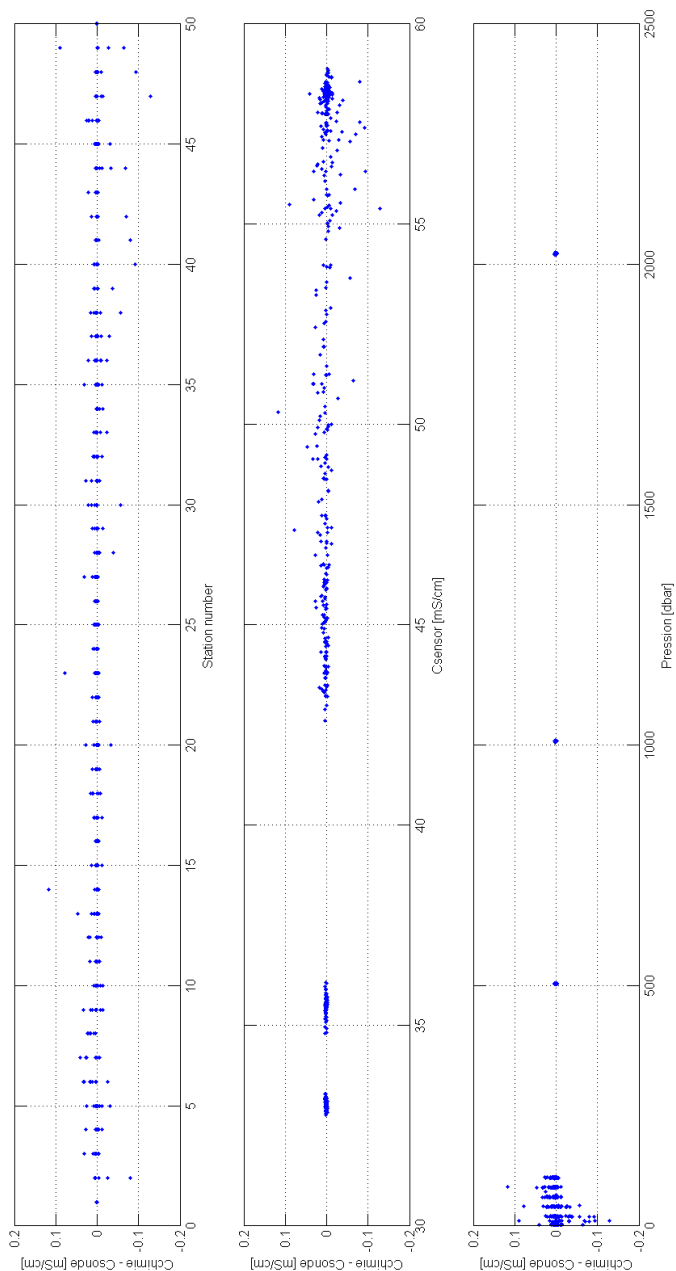


Figure 11 : Ecart en conductivité (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations avant ajustement.

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 5 présente la stratégie de regroupement retenue ainsi que les corrections appliquées.

Groupes de stations	1-26	27-36	37-50
Nombre d'échantillons considérés [avec poids]	277 [342]	108 [132]	149 [188]
Nombre d'échantillons retenus par le calcul	269 (78.7%)	98 (74.2%)	148 (78.7%)
Ecart-type (mS/cm)	0,0016	0,0014	0,0015
Degré polynôme t	2	2	2
Degré polynôme C	2	2	1
Degré polynôme P	1	1	2
Poids	Poids 2 ($\geq 800\text{m}$)	Poids 2 ($\geq 800\text{m}$)	Poids 2 ($\geq 800\text{m}$)

Tableau 5 : Statistiques et polynômes utilisés pour l'ajustement de la conductivité.

La figure 12 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 13 confirme que la distribution des écarts est satisfaisante. Ainsi sur les 534 mesures chimiques initiales, 387 ont été retenues pour l'ajustement des profils (72% des mesures). En effet, 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,...). La déviation standard sur l'ensemble des stations est alors de 0,0014 PSU et 99% des écarts sont inférieurs à 0,003 PSU, ce qui correspond aux normes internationales.

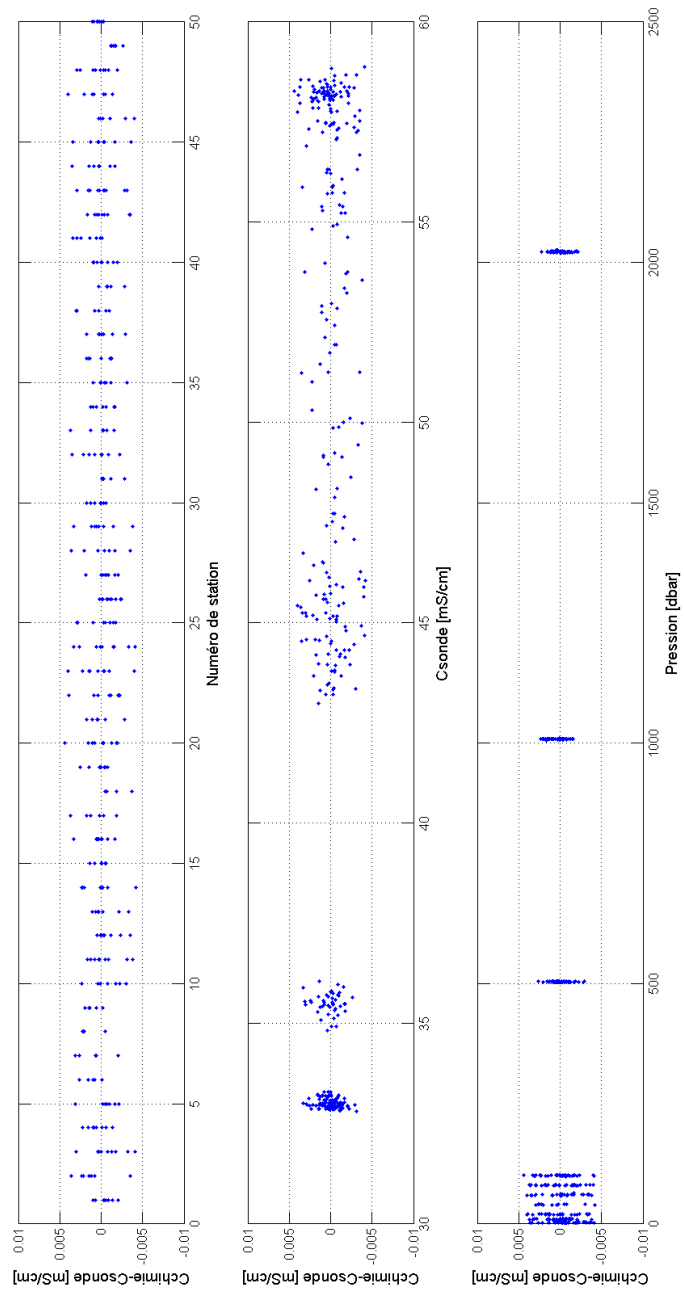


Figure 12 : Ecart en conductivité (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations après ajustement.

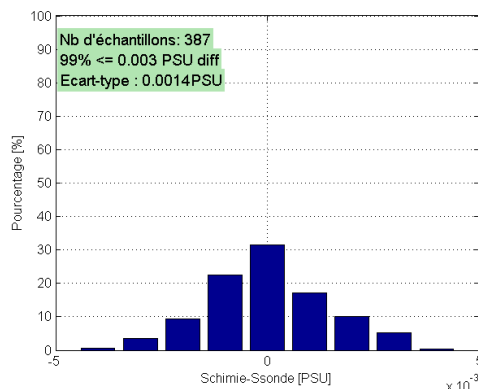


Figure 13 : Histogramme des écarts en salinité après ajustement.

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 recalibrer 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 20 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):

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

Avec

- A : Dépendance linéaire au numéro de station
- istat : Numéro de station
- Soc: Pente du signal d'oxygène
- V : Signal de sortie du capteur (Volts)
- V_{offset} : Offset de la tension de sortie (Volts)
- Tau(T,P) : Constante de temps à température T et pression P

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 22/98

dV/dt : Dérivée temporelle du signal de sortie (Volts/secondes)
 $Oxsol(T,S)$: Saturation en oxygène (selon l'équation de Garcia et Gordon (1992)).
 T : Température ajustée sonde
 S : Salinité ajustée sonde
 E : Facteur de correction de la pression sur la membrane
 A, B, C : Polynôme de correction de la température sur la membrane
 P : Pression ajustée sonde
 K : 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, 11 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 14 et 15). La distribution de ces écarts, présentée sur la figure 14, est décentrée négativement, la sonde d'oxygène dissous a donc tendance à surestimer la concentration en oxygène dissous réelle. En outre, plus de 20% des écarts sont supérieurs à 6 micromole/kg. L'analyse de ces écarts en fonction du temps et de la pression (figure 15) 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.

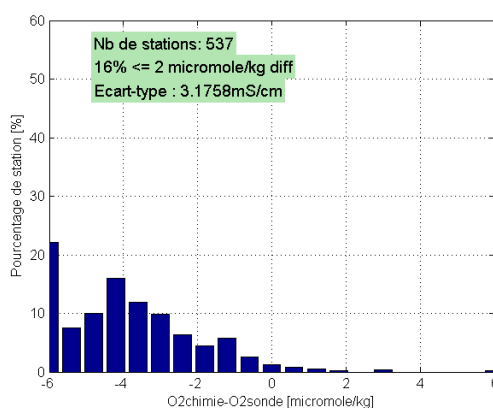


Figure 14 : Histogramme des écarts en oxygène dissous avant ajustement.

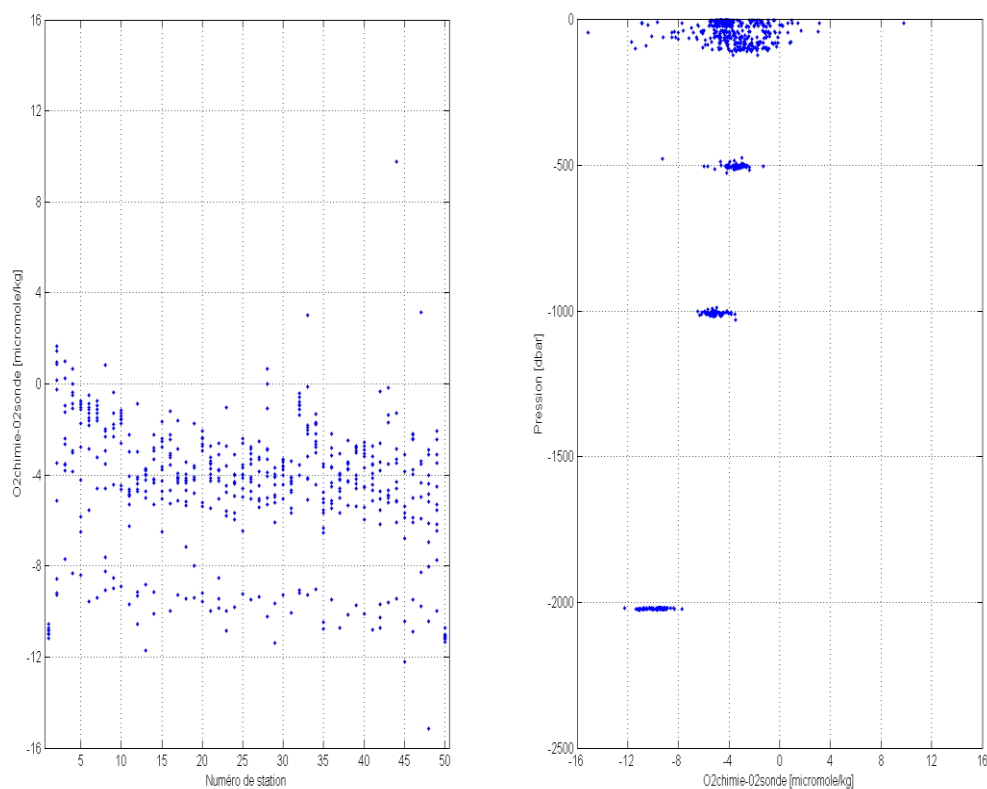


Figure 15 : Ecart en oxygène dissous (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations avant ajustement.

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 tableau 6 présente la stratégie de regroupement retenue, les stratégies de minimisation utilisées ainsi que les coefficients de calibration appliqués. Pour les groupes présentant peu d'échantillons, seuls les coefficients *Soc* et *E* ont été calculés, comme préconisé par *Sea-Bird* (2012).

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 24/98

Groupes de stations	1	2-10	11-31	32-34	35-49	50
Nombre d'échantillons considérés	11	94	228	33	160	11
Nombre d'échantillons retenus par le calcul	11 (100%)	81 (86.2%)	206 (90.4%)	31 (93.9%)	142 (88.8%)	11 (100%)
Ecart-type ($\mu\text{mol/kg}$)	0,17	0,68	0,66	0,58	0,79	0,15
Soc	0,4894	0,4673	0,4769	0,4702	0,4769	0,4893
Voffset	-0,5069	-0,4899	-0,4955	-0,4957	-0,4952	-0,5069
Tau_20	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29
E	0,0368	0,0397	0,0381	0,0397	0,0382	0,0368
Dépendance linéaire Soc	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
Procédure de minimisation	L2	L2 pondéré	L2	L1	L2	L2

Tableau 6 : Statistiques, stratégies de minimisation et coefficients de calibration utilisés pour l'ajustement de l'oxygène dissous.

La figure 16 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 17 confirme que la distribution des écarts est satisfaisante. Ainsi sur les 537 mesures chimiques initiales, 482 ont été retenues pour l'ajustement des profils. Les mesures rejetées se trouvent essentiellement en surface, zone sujette à plus de bruit qu'au fond (ie : zone de gradients, amplitude des mouvements de la sonde plus importants,...). La déviation standard sur l'ensemble des stations est alors de $0,68 \mu\text{mol/kg}$ et 99,6% des écarts sont inférieurs à $2 \mu\text{mol/kg}$, ce qui répond aux normes internationales.

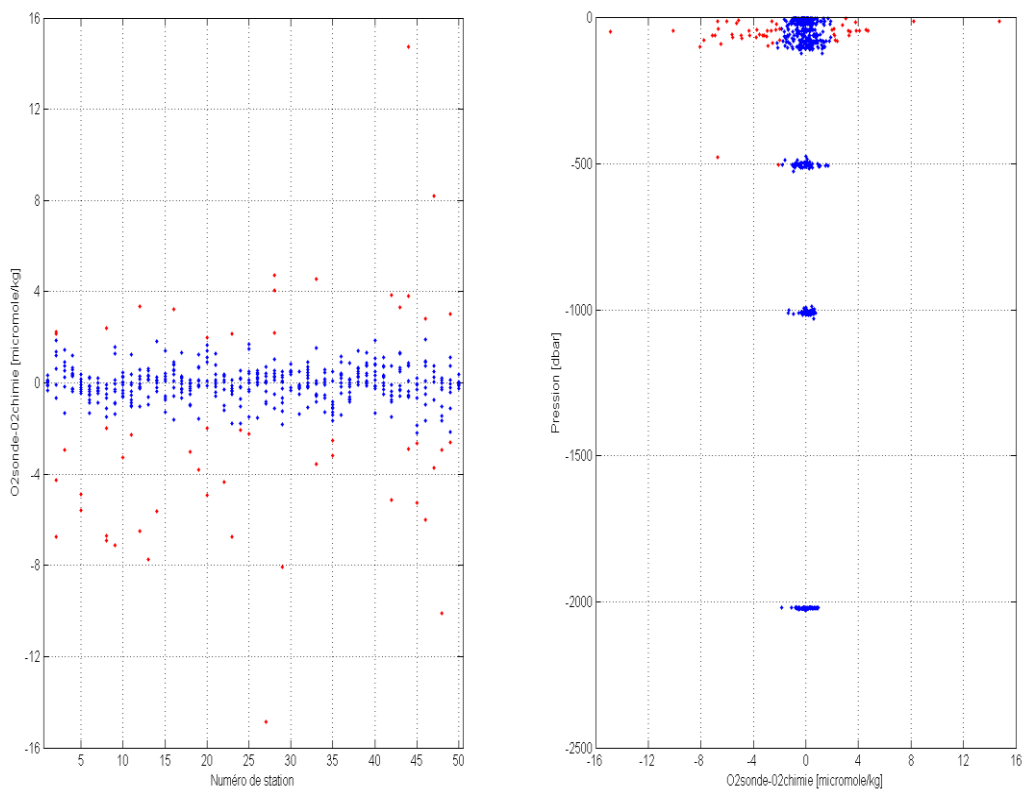


Figure 16 : Ecart en oxygène dissous (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations après ajustement.

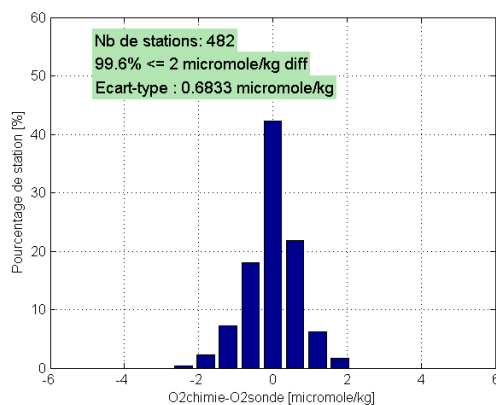


Figure 17 : Histogramme des écarts en oxygène dissous après ajustement.

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 en tenant compte de la valeur maximale mesurée par le capteur sur un profil (mesure en eau claire), les mesures apportent alors une mesure relative du pourcentage d'atténuation lumineuse liée aux particules dans les couches au-dessus. Ces offsets sont présentés en annexe 8. 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 7. 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.

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 7 : 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

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 27/98

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

Laboratoire : US191
 Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
 Version 01
 Page 28/98

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 [μ mol/kg]
 CHOXYKB_QC : Chimie – Code qualité concentration en oxygène bouteille [μ mol/kg]
 CHOXYKP : Chimie – Concentration en oxygène dissous capteur [μ mol/kg]
 CHOXYKP_QC : Chimie – Code qualité concentration en oxygène capteur [μ mol/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. Ces mesures sont présentées dans l'annexe 6 et les paramètres de seuillage utilisés sont présentés dans le tableau 8.

Paramètre	Pression minimum	Taille de la fenêtre	Ecart minimum	Nombre d'itérations	Nombre d'écart-type	Ecart maximum
Seuillage Down (Sta. 1 – 29)	600	20	0.04	5	2.8	1
Seuillage Down (Sta. 30 – 32/ 34 - 39)	400	10	0.01	6	2	1
Seuillage Down (Sta. 33)	400	12	0.01	6	2	1
Seuillage Down (Sta. 40 – 50)	700	10	0.04	5	2	1

Tableau 8 : 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 7.

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 29/98

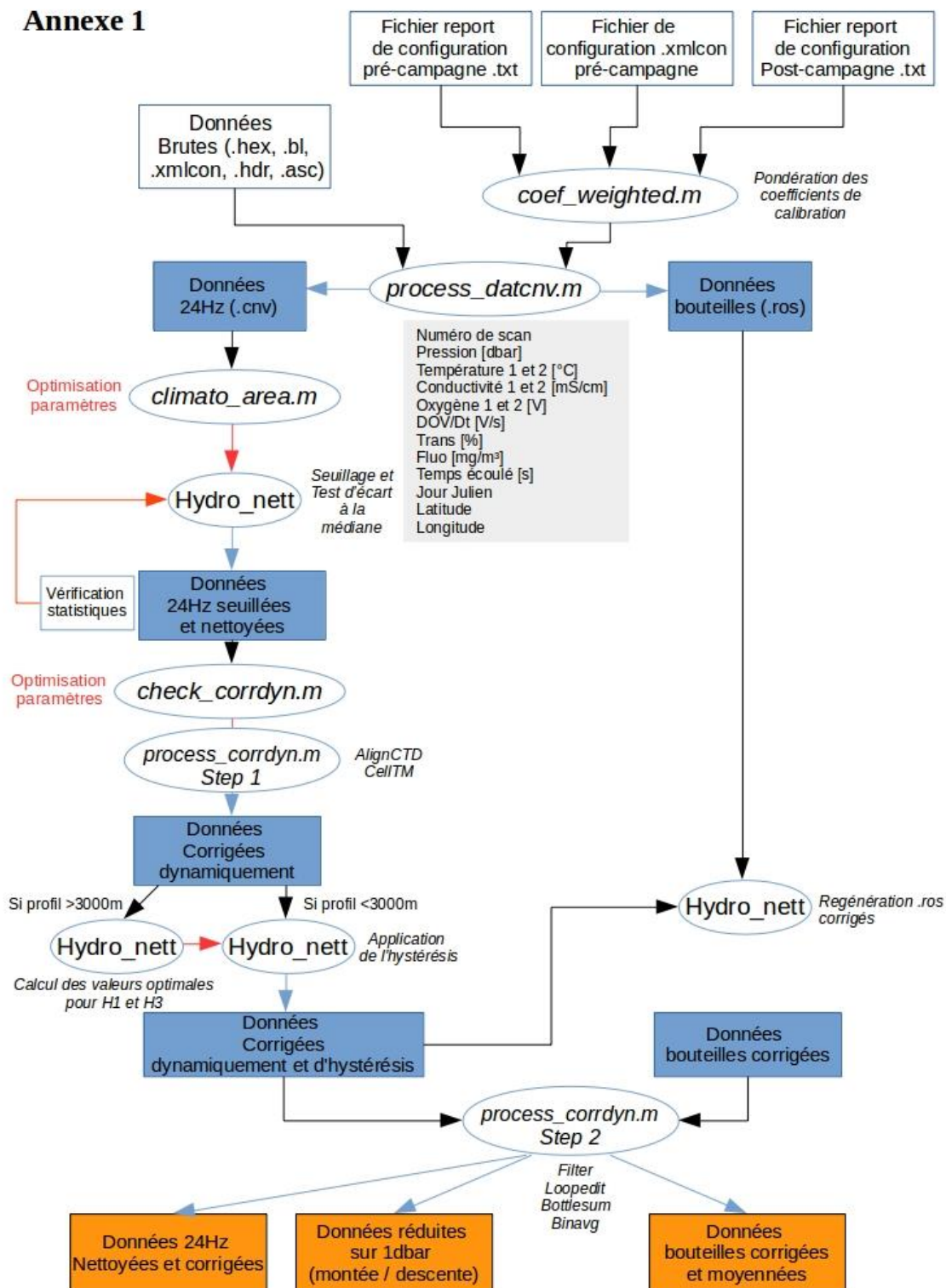
Un contrôle qualité des données a été effectué en comparant les diagrammes θ -S et θ -O₂ entre stations successives, afin de vérifier s'il n'y avait pas de sauts entre profils successifs liés à la calibration. Les profils et diagrammes des données réduites de chaque station sont présentés ici en annexe.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

- Baurand F. et Youenou A. (2016). *Rapport Chimie Campagne PIRATA-FR26 – Rapport de fin de mission*. IRD IMAGO
- 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)*. OCCP 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.

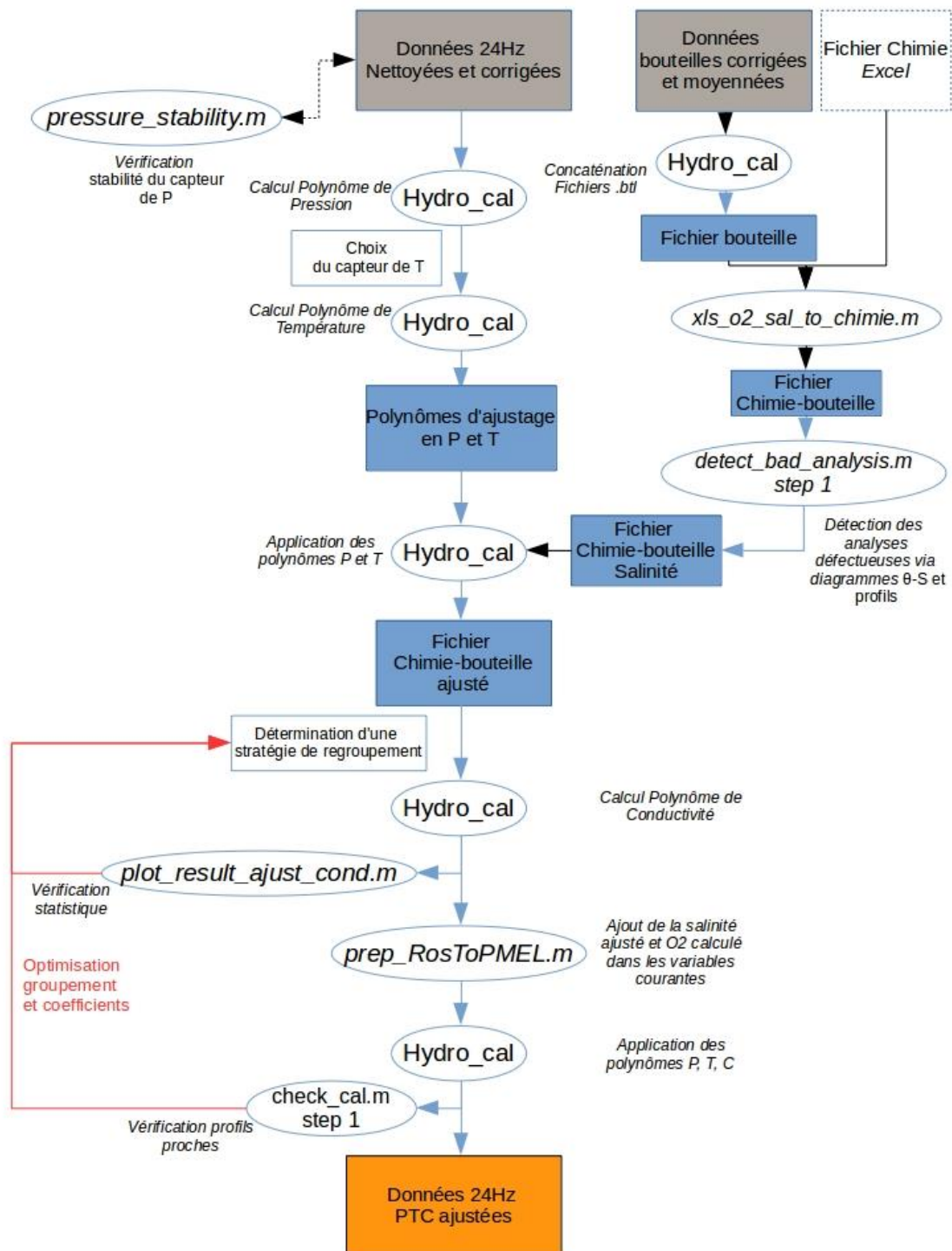
6. Annexe 1 - Procédure de traitement schématisée

Annexe 1



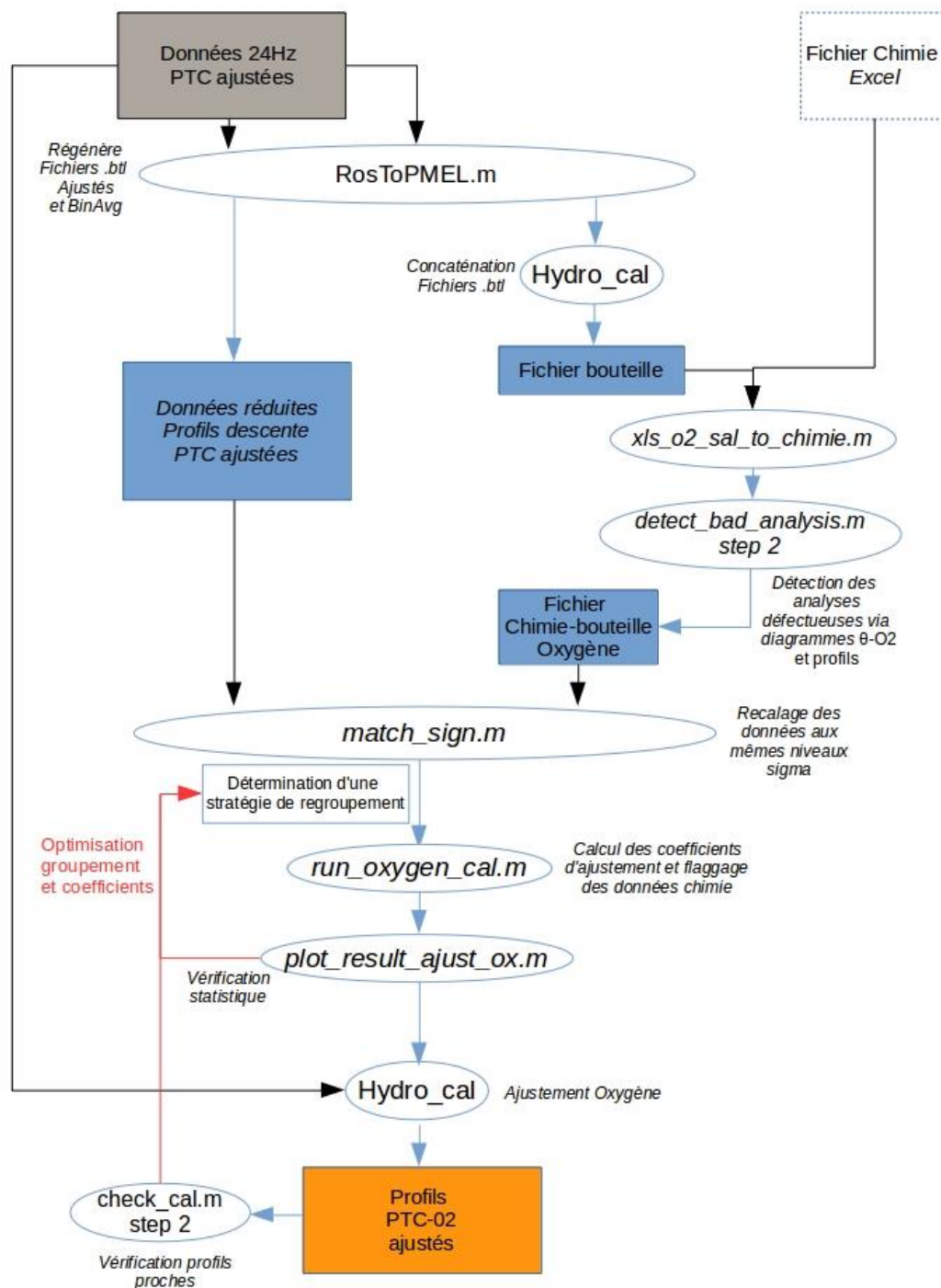
Chaîne de traitement : Préparation des mesures

Annexe 1



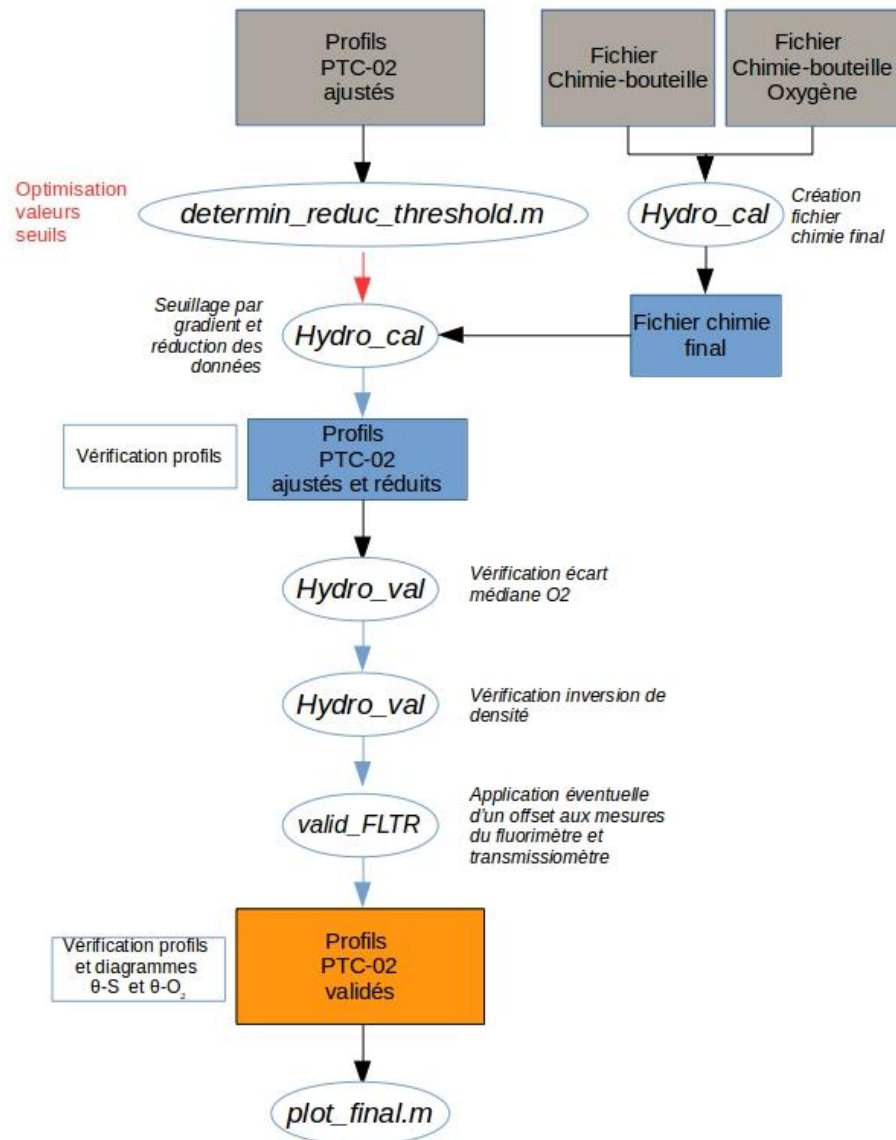
Chaîne de traitement : Ajustement des mesures PTC

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 35/98

7. Annexe 2 - Date et position des stations CTD-0₂ effectuées pendant PIRATA-FR26

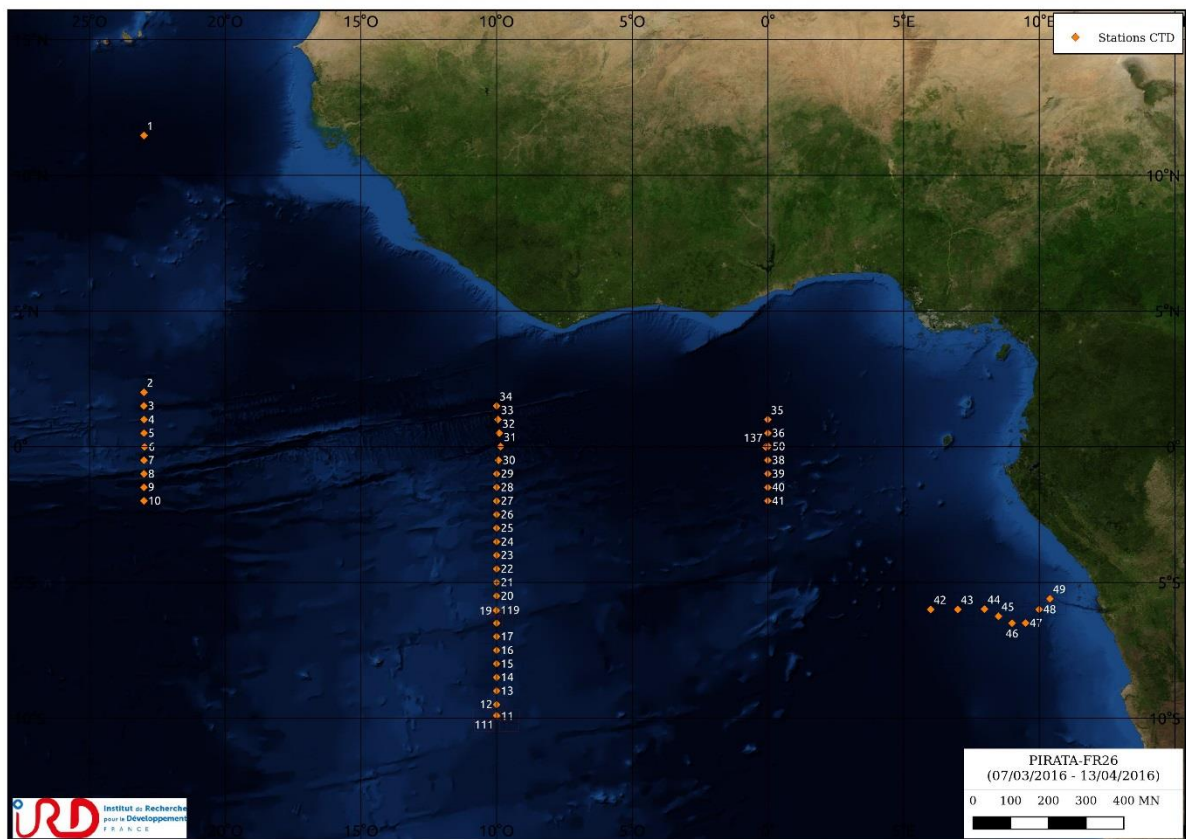
Station	Date	Heure	Latitude	Longitude	Pres. max. [dbar]	Fond
1	09/03/2016	17:28:55	11°27.90 N	023°00.01 W	2023	5116
2	11/03/2016	20:11:45	02°00.11 N	023°00.14 W	2022	4334
3	12/03/2016	01:30:55	01°30.17 N	023°00.17 W	2023	3651
4	12/03/2016	06:09:50	00°59.91 N	022°59.92 W	2023	3224
5	12/03/2016	10:33:32	00°30.08 N	022°59.88 W	2021	3742
6	13/03/2016	01:17:24	00°00.41 S	022°58.95 W	2022	3955
7	13/03/2016	06:31:34	00°30.05 S	022°59.98 W	2023	4625
8	13/03/2016	10:53:27	01°00.15 S	022°59.87 W	2022	4123
9	13/03/2016	15:24:16	01°29.87 S	023°00.02 W	2023	4848
10	13/03/2016	19:52:48	01°59.81 S	023°00.06 W	2022	5227
11	18/03/2016	04:35:49	09°55.88 S	009°59.56 W	2026	3838
12	18/03/2016	21:05:36	09°30.13 S	010°00.01 W	2023	3650
13	19/03/2016	01:30:45	09°00.01 S	009°59.95 W	2023	3264
14	19/03/2016	05:51:49	08°29.86 S	010°00.02 W	2023	3570
15	19/03/2016	10:02:29	08°00.09 S	010°00.09 W	2022	3897
16	19/03/2016	14:18:16	07°30.08 S	009°59.95 W	2022	3452
17	19/03/2016	18:30:24	06°59.97 S	010°00.07 W	2023	3582
18	19/03/2016	22:41:49	06°30.02 S	010°00.01 W	2022	4030
19	20/03/2016	04:35:58	06°02.98 S	010°01.19 W	2023	3541
20	20/03/2016	19:17:24	05°30.01 S	010°00.05 W	2023	3378
21	20/03/2016	23:36:42	05°00.31 S	010°00.01 W	2022	3651
22	21/03/2016	03:48:55	04°30.24 S	009°59.98 W	2023	3688
23	21/03/2016	08:04:18	03°59.99 S	010°00.04 W	2023	3650
24	21/03/2016	12:14:01	03°30.28 S	009°59.96 W	2023	3806
25	21/03/2016	16:20:15	03°00.04 S	010°00.01 W	2023	3801
26	21/03/2016	20:22:55	02°30.12 S	010°00.01 W	2022	4316
27	22/03/2016	00:24:23	02°00.09 S	009°59.92 W	2022	4381
28	22/03/2016	04:24:36	01°29.98 S	009°59.98 W	2022	4790
29	22/03/2016	08:23:52	01°00.14 S	009°59.85 W	2022	4273
30	22/03/2016	12:31:09	00°30.05 S	009°55.93 W	2022	4189
31	23/03/2016	04:11:02	00°00.13 N	009°51.00 W	2023	5203
32	23/03/2016	11:58:54	00°29.88 N	009°54.06 W	2022	4386
33	23/03/2016	16:02:17	01°00.00 N	009°56.95 W	2022	4637
34	23/03/2016	19:59:23	01°30.03 N	010°00.04 W	2022	5259
35	26/03/2016	10:07:16	00°59.81 N	000°00.15 W	2022	4926
36	26/03/2016	14:33:39	00°30.09 N	000°00.05 W	2022	4935
37	27/03/2016	20:10:40	00°01.01 N	000°00.10 W	2024	4938
38	28/03/2016	16:38:11	00°29.80 S	000°00.08 W	2023	4910

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 36/98

39	28/03/2016	21:01:29	01°00.01	S	000°00.04	W	2022	4839
40	29/03/2016	01:20:13	01°29.95	S	000°00.06	W	2022	4740
41	29/03/2016	05:32:26	01°59.94	S	000°00.09	W	2022	4732
42	31/03/2016	00:42:25	06°00.01	S	005°59.99	E	2021	4729
43	31/03/2016	07:33:39	05°59.91	S	006°59.94	E	2022	4480
44	01/04/2016	02:16:55	05°59.27	S	007°59.17	E	2023	4101
45	01/04/2016	07:04:56	06°15.06	S	008°29.99	E	2024	3940
46	01/04/2016	11:38:06	06°30.08	S	009°00.04	E	2022	3866
47	01/04/2016	15:41:09	06°30.00	S	009°29.90	E	2023	3727
48	01/04/2016	20:53:24	05°59.98	S	010°00.00	E	2024	3068
49	02/04/2016	01:16:57	05°36.32	S	010°23.84	E	2022	2595
50	04/04/2016	18:24:35	00°00.54	N	000°00.80	E	2027	4935

8. Annexe 3 - Carte des stations CTD-0₂ effectuées pendant la campagne PIRATA-FR26



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 39/98

10. Annexe 5 – Analyses chimiques

Bottle ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Remarques
Station												
1	2021m	2021m	2021m	2021m	2021m	2021m	2021m	2021m	2021m	2021m	2021m	
2	2021m (O2)	2021m	1009m	505m	101m	81m	60m	40m	20m	10m	2m	Bouteille 11 fuit un peu par le bas
3	2020m	1009m	1009m	504m	101m	80m	60m	41m	20m	10m	2m	Bouteille 11 : Suspicion de fuite
4	2021m	1009m	504m	504m	102m	81m	60m	41m	19m	10m	2m	Bouteille 11 : Suspicion de fuite
5	2019m	1008m	504m	100m	99m	72m	64m	41m	20m	10m	2m	Bouteille 11 changée mais fuit toujours
6	2020m	1009m	504m	101m	80m	80m	59m	41m	19m	10m	2m	
7	2001m	1009m	504m	101m	81m	59m	59m	40m	20m	10m	2m	Doublet douteux
8	2021m	1008m	500m	101m	81m	61m	40m	40m	20m	10m	2m	Bouteille 11 : légère fuite
9	2022m	1009m	504m	101m	81m	60m	41m	20m	20m	10m	2m	
10	2021m	1008m	505m	100m	80m	60m	40m	20m	10m	10m	3m	Bouteille 11 : fuite par le robinet
11	2025m	1006m	504m	101m	80m	60m	40m	20m	9m	3m	3m	-----
12	2022m	2022m	1009m	504m	101m	80m	61m	40m	21m	10m	3m	
13	2021m	1009m	1008m	504m	102m	80m	60m	41m	20m	10m	3m	
14	2021m	1009m	505m	505m	101m	80m	60m	39m	20m	11m	2m	Bouteille 11 : fuite capot inférieur
15		1008m	504m	101m	101m	81m	60m	40m	20m	10m	3m	Bouteille 11 : fuite capot inférieur
16	2021m	1008m	504m	101m	81m	81m	61m	42m	20m	10m	3m	
17	2022m	1009m	505m	101m	81m	60m	60m	40m	20m	10m	3m	
18	2020m	1009m	505m	100m	80m	60m	40m	40m	20m	10m	3m	
19	2022m	1007m	504m	101m	81m	60m	41m	20m	20m	10m	3m	
20	2022m	1008m	504m	101m	81m	60m	40m	20m	10m	10m	3m	
21	2020m	1007m	505m	102m	80m	60m	41m	19m	10m	3m	3m	Doublet douteux
22	2022m	2022m	1008m	503m	100m	80m	61m	39m	20m	10m	3m	Bouteille 11 : fuite goutte à goutte
23	2021m	1009m	1009m	504m	101m	81m	61m	41m	20m	10m	4m	Surface : introduit bulles après secouage du flacon
24	2021m	1008m	503m	503m	101m	81m	61m	40m	21m	10m	3m	
25	2021m	1008m	503m	503m	101m	81m	61m	40m	21m	10m	3m	
26	2020m	1008m	503m	101m	81m	81m	61m	40m	20m	10m	3m	
27	2008m	1008m	503m	101m	81m	61m	61m	40m	20m	10m	3m	
28	2020m	1009m	504m	102m	80m	61m	40m	40m	20m	10m	3m	Bouteille 11 fuit
29	2020m	1008m	504m	102m	80m	60m	40m	20m	20m	10m	3m	Bouteille 11 fuit
30	2021m	1009m	504m	101m	80m	60m	40m	20m	10m	10m	3m	
31	2021m	1009m	503m	100m	81m	58m	43m	20m	10m	3m	3m	Doublet douteux
32	2021m	2021m	1009m	504m	101m	81m	61m	41m	20m	10m	3m	
33	2021m	1008m	1008m	504m	101m	80m	60m	40m	20m	10m	3m	
34	2021m	1008m	503m	503m	101m	80m	60m	41m	20m	10m	3m	

Laboratoire : US191
 Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
 Version 01
 Page 40/98

35	2021m	2021m	1009m	503m	100m	80m	60m	40m	20m	10m	4m	Attente avant les prélèvements et changement de salinomètre
36	2020m	1008m	1008m	504m	101m	81m	61m	40m	20m	10m	3m	
37	2023m	1006m	503m	503m	100m	80m	61m	40m	20m	10m	3m	
38	2021m	1009m	504m	101m	101m	80m	60m	41m	20m	10m	3m	
39	2021m	1008m	503m	102m	80m	80m	60m	39m	19m	11m	4m	
40	2020m	1008m	503m	101m	80m	60m	60m	40m	20m	10m	3m	
41	2021m	1009m	504m	101m	81m	60m	41m	41m	20m	10m	2m	
42	2020m	2020m	1008m	504m	101m	81m	61m	40m	20m	10m	3m	
43	2021m	1009m	1009m	505m	102m	80m	60m	40m	20m	9m	3m	
44	2021m	1009m	504m	503m	101m	82m	60m	40m	21m	11m	3m	
45	2020m	1007m	504m	102m	102m	81m	60m	40m	20m	9m	3m	
46	2020m	1009m	504m	100m	82m	81m	61m	40m	20m	10m	3m	
47	2022m	1008m	503m	80m	60m	60m	40m	20m	10m	3m		Bouteille à 100m non fermée
48	2022m	1008m	504m	101m	81m	61m	40m	40m	20m	10m	4m	
49	2020m	100m	503m	101m	81m	62m	41m	21m	21m	10m	3m	Doublet douteux
50	2024m	2024m	2024m	2024m	2024m	2024m	2024m	2024m	2024m	2024m	2024m	

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 41/98

11. Annexe 6 – Détection anomalies d’oxygène.

Station	Profil descente (niveaux rejetés [db.])
001	
002	
003	
004	
005	
006	
007	
008	
009	
010	
011	
012	
013	
014	
015	
016	
017	
018	
019	
020	
021	
022	
023	
024	
025	
026	
027	
028	
029	
030	1149, 1151, 1152, 1153, 1154, 1162, 1163
031	1946, 1947
032	
033	438, 439, 440, 441, 442, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 1280, 1281, 1282, 1283, 1284, 1792, 1793, 1794, 1795, 1796, 1797
034	608, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807
035	589, 590, 591, 592, 774, 776, 777, 778, 779, 780, 781
036	694, 1785, 1786, 1787, 1788, 2020, 2021, 2022
037	543
038	458, 754, 770, 771, 832, 2021, 2022, 2023
039	1983, 1984
040	
041	
042	
043	

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 42/98

044	
045	
046	
047	
048	
049	
050	1891, 1892, 1893, 1894, 1895, 1896

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 43/98

12. Annexe 7 – Détection des inversions de densité.

Station	Profil descente (niveaux rejetés [db.])
001	113, 136, 269, 422, 423, 492, 742, 820, 1393, 1742
002	
003	334, 555, 871, 999, 1790
004	249, 1281, 1303, 1309, 1310
005	8, 409, 463
006	741, 742, 920, 921, 929, 930, 1296, 1424, 1454
007	81, 583, 584, 1318, 1319
008	1115
009	
010	3, 89, 103, 749, 1339
011	75, 94, 97, 209, 540, 643, 831, 930, 931, 1545
012	3, 751, 807
013	196, 474
014	
015	
016	
017	
018	
019	3, 908
020	52, 741
021	1561
022	100
023	179, 241, 1746, 1747
024	
025	3
026	22
027	
028	52
029	2
030	
031	
032	
033	
034	
035	
036	
037	2, 3
038	248
039	1262, 1883
040	
041	231, 945, 946, 955
042	896
043	
044	725, 726, 756, 1268, 1269
045	26, 32, 178, 1388, 1404, 1405

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 44/98

046	
047	1220, 1221, 1461, 1462, 1475
048	329, 344, 345, 357, 358, 370, 371, 1016, 1017, 1030, 1031, 1227, 1228
049	96
050	933, 934

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 45/98

13. Annexe 8 – Offset profils transmissiomètre.

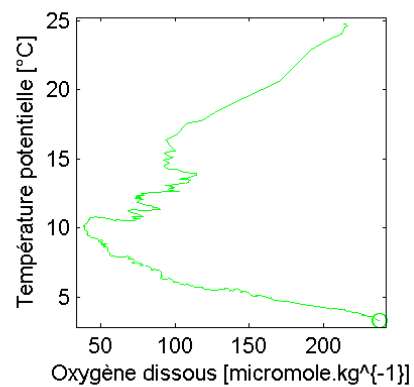
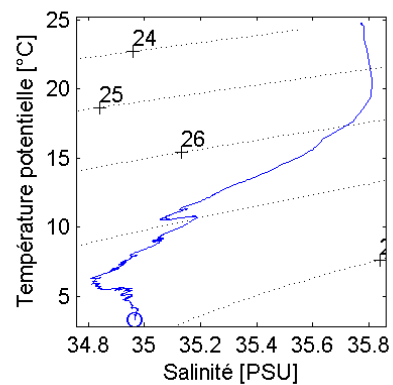
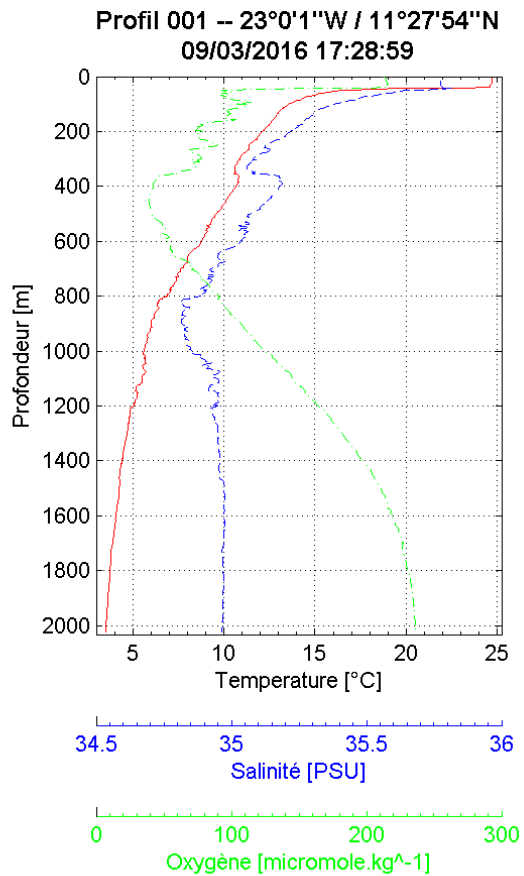
Station	Offset transmissiomètre
001	- 2.6442
002	- 2.5782
003	- 2.4996
004	- 2.3323
005	- 2.0334
006	- 2.0965
007	- 1.4094
008	- 1.3340
009	- 1.3140
010	- 1.0606
011	- 1.1955
012	+ 0.1821
013	+ 0.4379
014	+ 0.4389
015	+ 0.5328
016	+ 0.5029
017	+ 0.6684
018	+ 0.7449
019	+ 0.7444
020	+ 0.9086
021	+ 0.9805
022	+ 0.9606
023	+ 0.9362
024	+ 0.9375
025	+ 1.0538
026	+ 1.0736
027	+ 1.0952
028	+ 1.0252
029	+ 1.0760
030	+ 1.1332
031	+ 1.1327
032	+ 1.3894
033	+ 1.3072
034	+ 1.2976
035	+ 1.4084
036	+ 1.4150
037	+ 1.4567
038	+ 1.5469
039	+ 1.4566
040	+ 1.5872
041	+ 1.5746
042	+ 1.5922
043	+ 1.7663
044	+ 1.8258
045	+ 1.7962
046	+ 1.8392

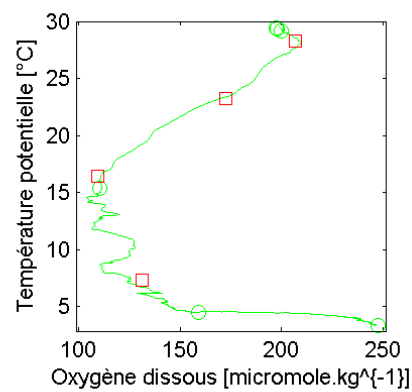
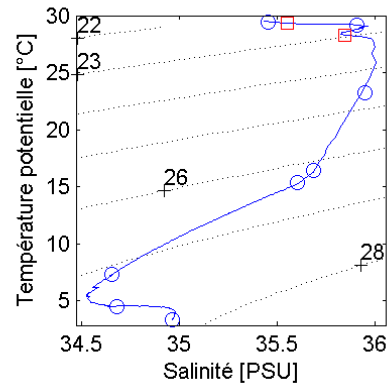
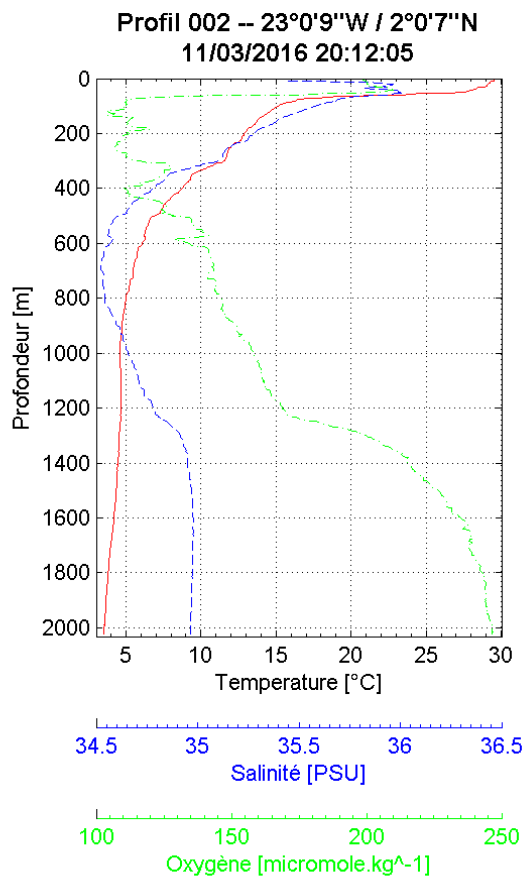
Laboratoire : US191
Implantation : Brest

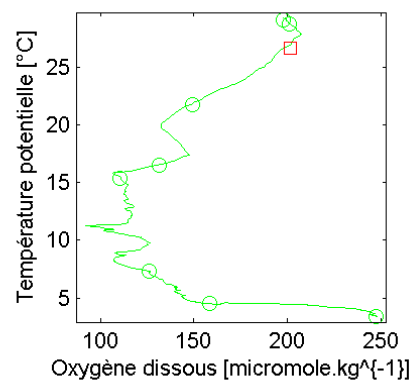
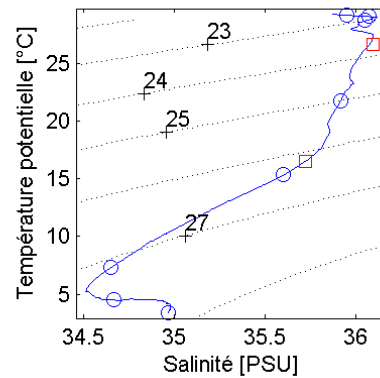
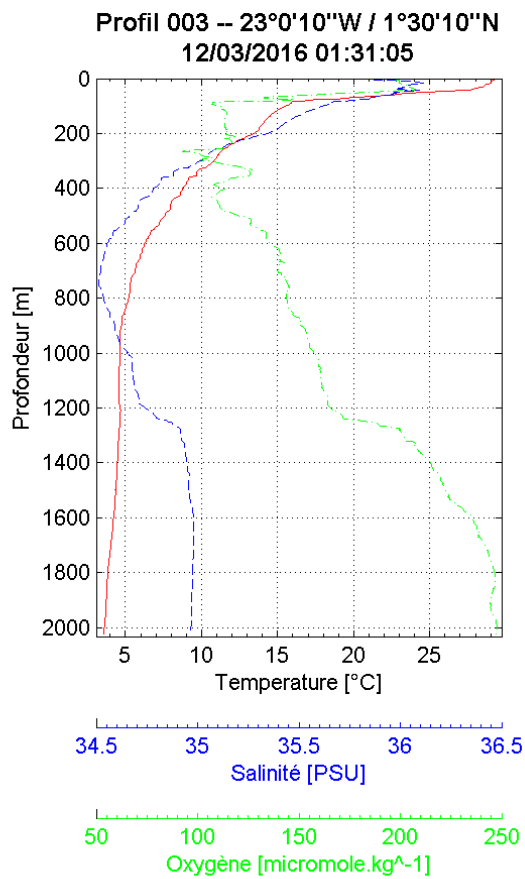
RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 46/98

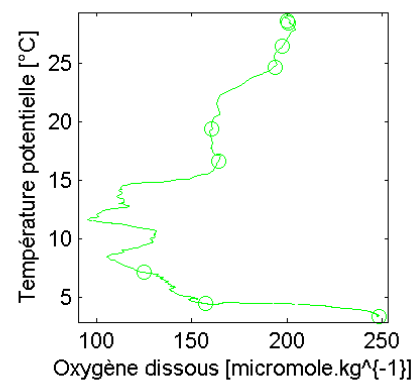
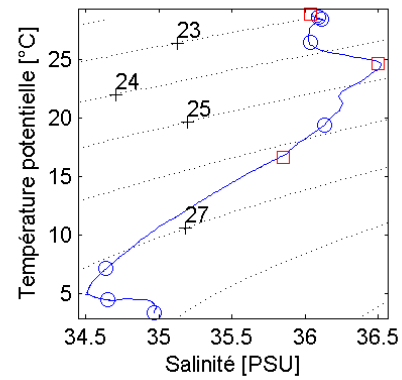
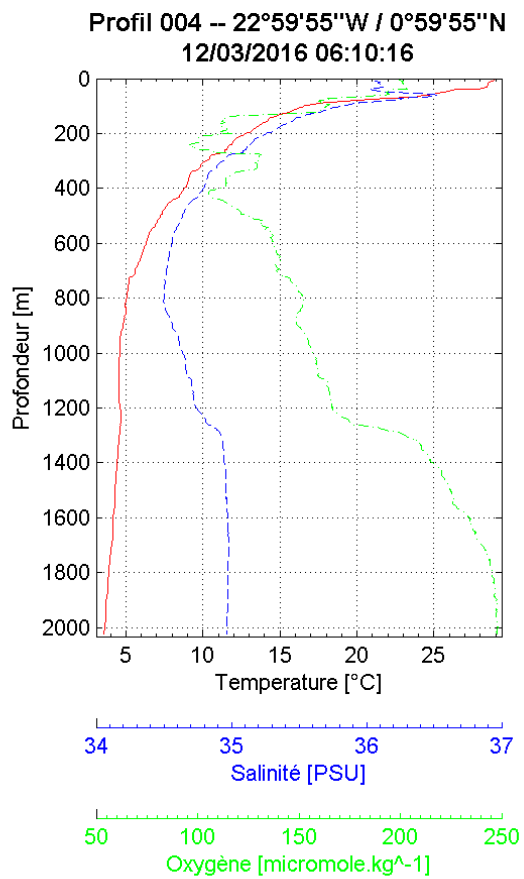
047	+ 1.8486
048	+ 1.8568
049	+ 1.9070
050	+ 1.9347

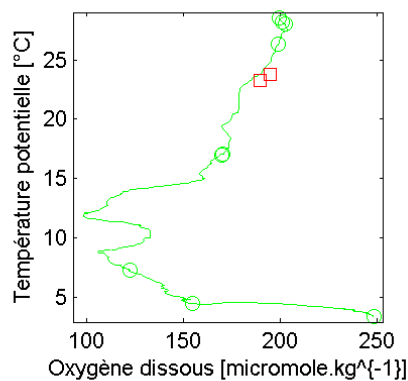
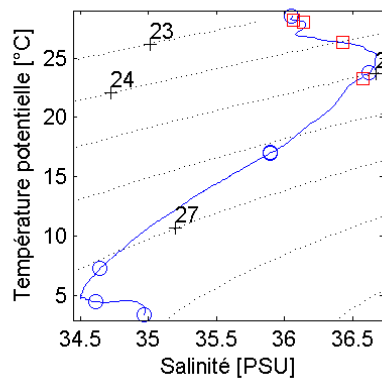
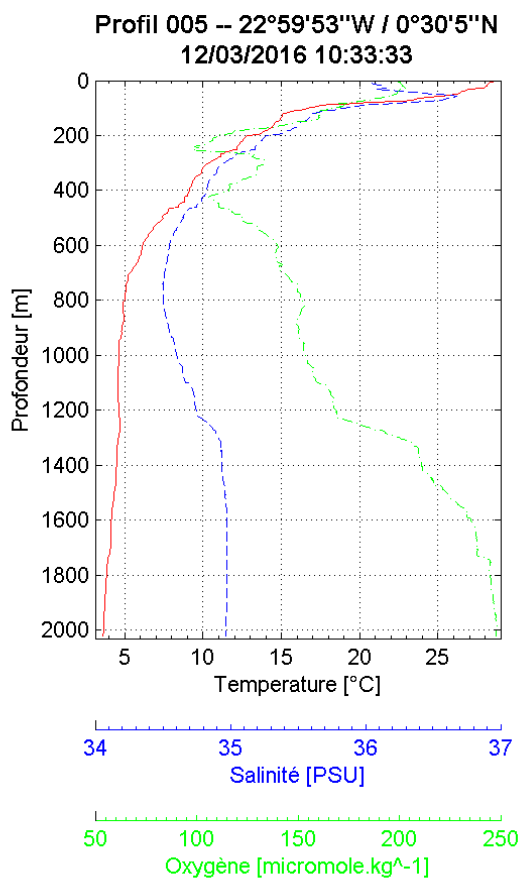
14. Annexe 9 – Profils ajustés et réduits sur 1dbar

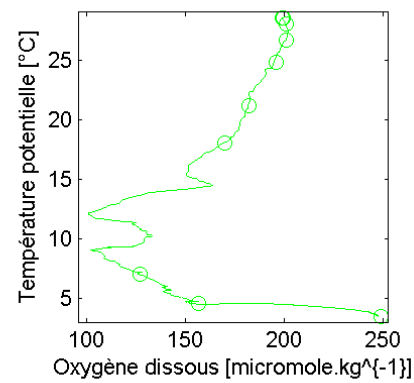
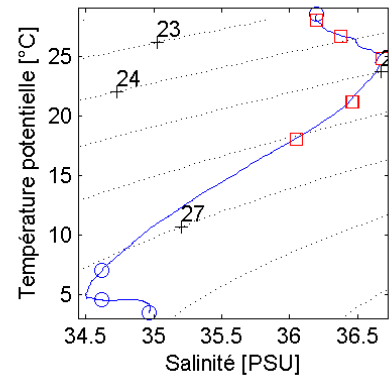
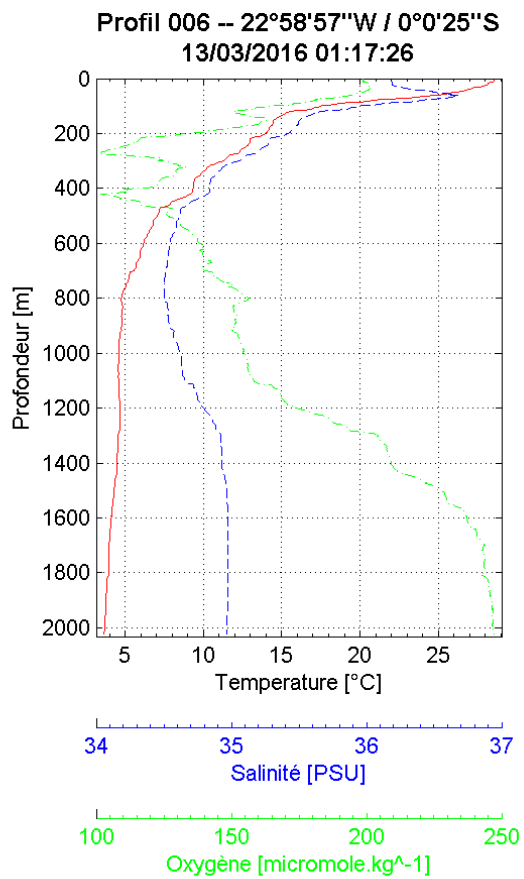


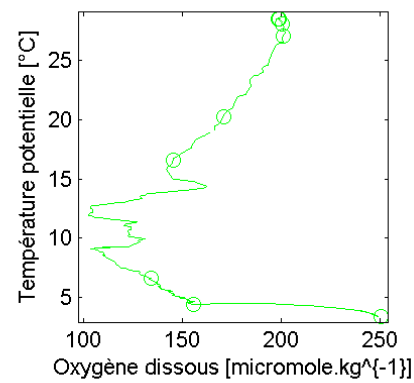
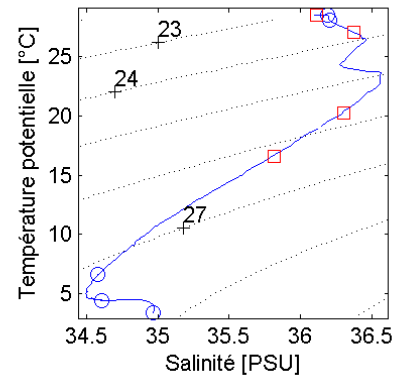
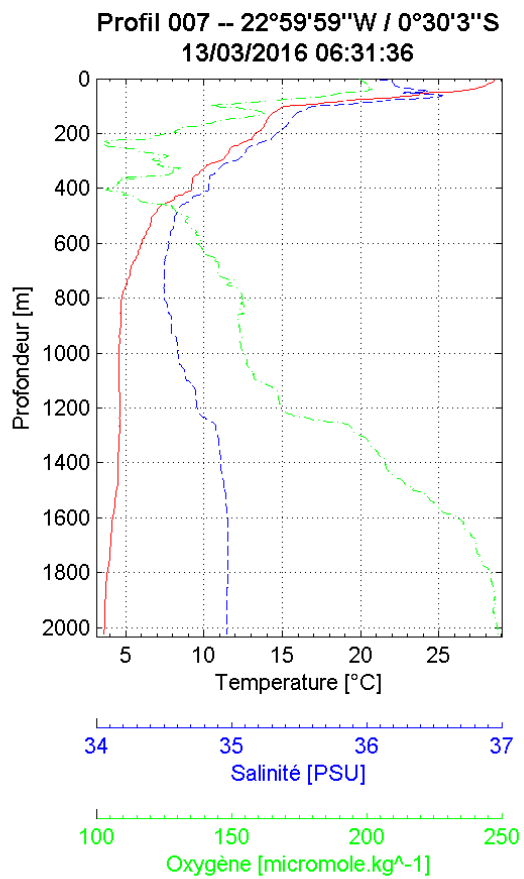


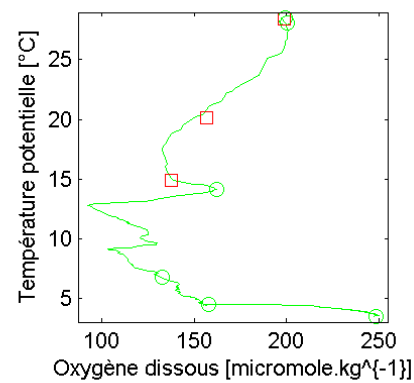
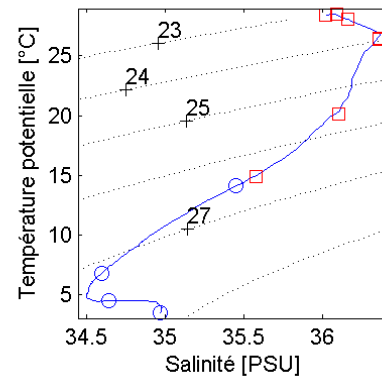
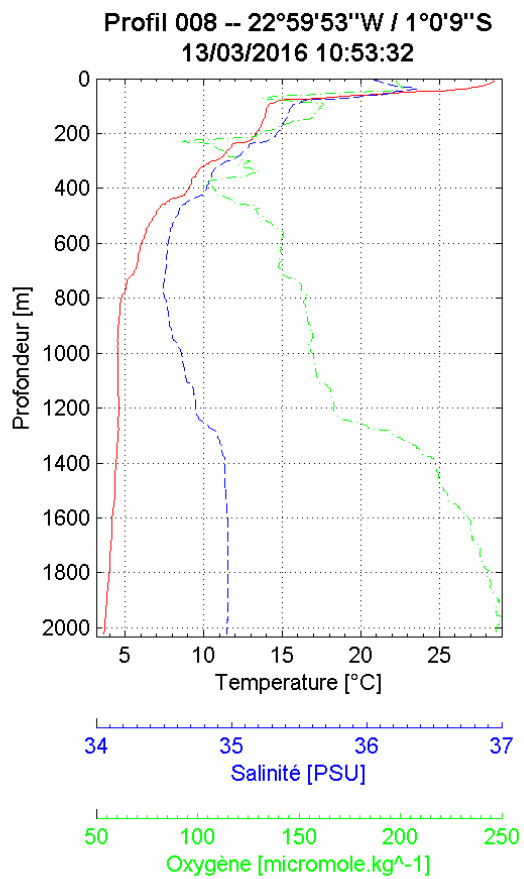


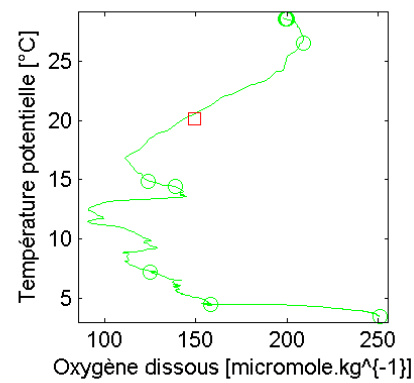
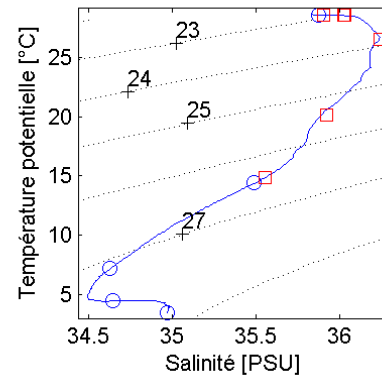
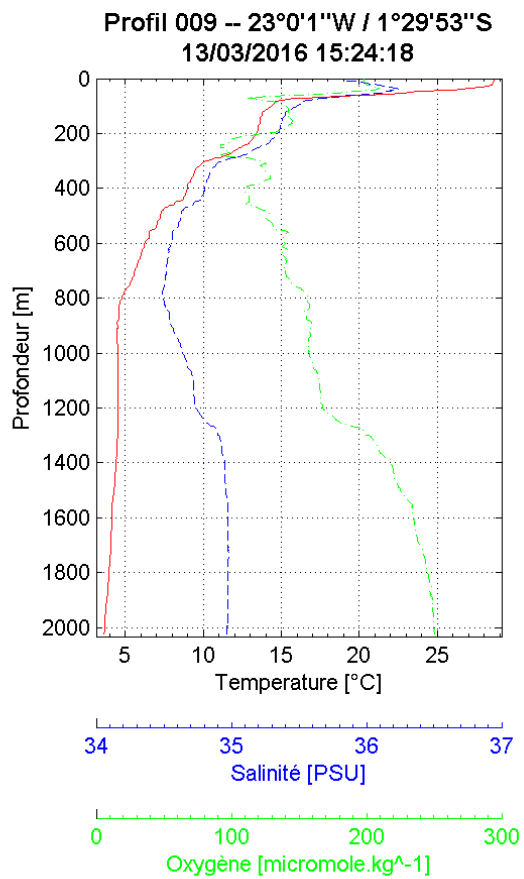






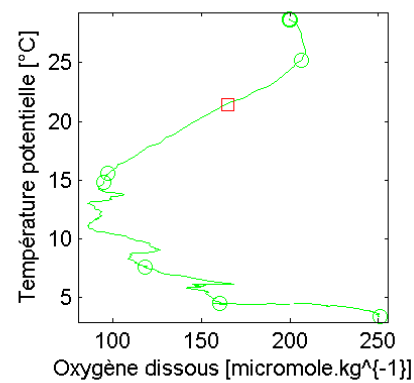
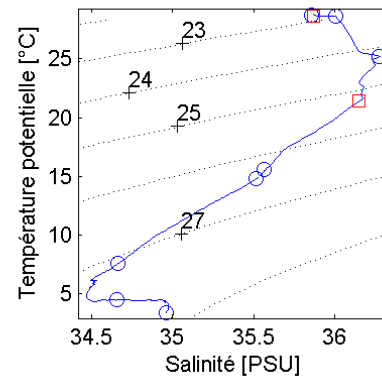
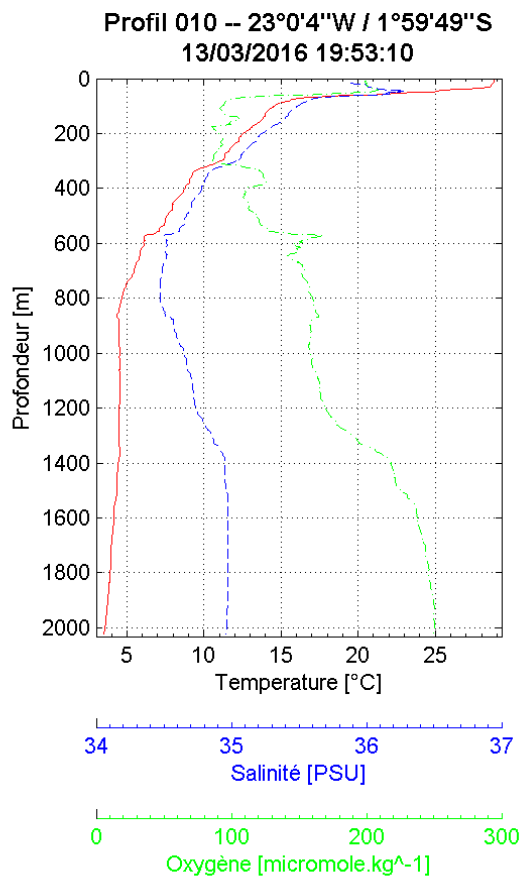


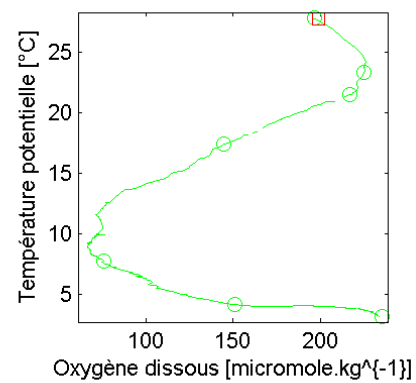
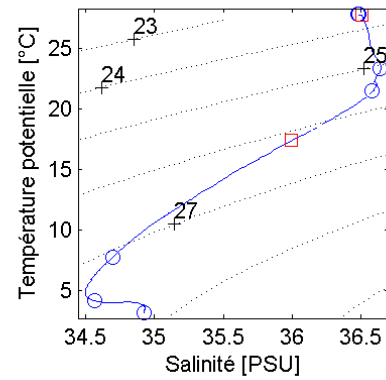
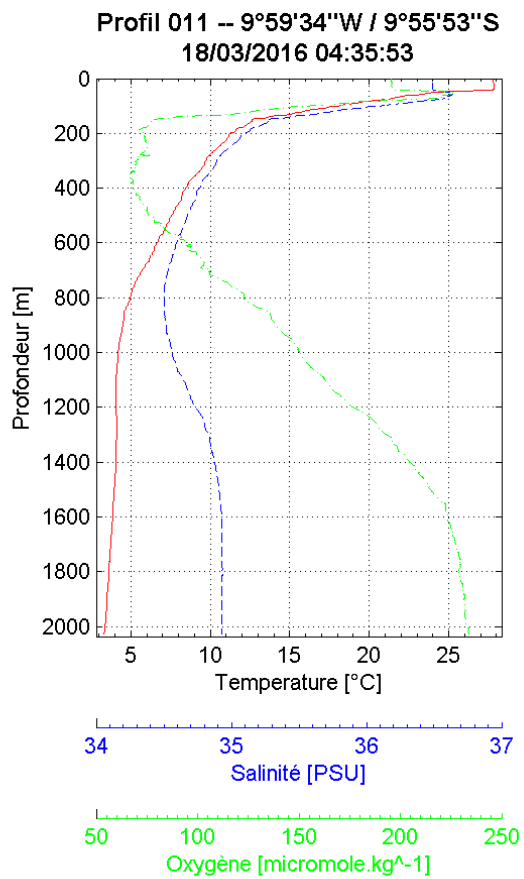


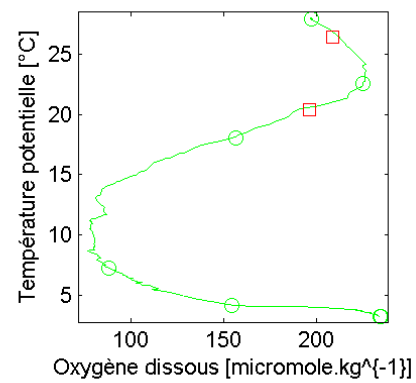
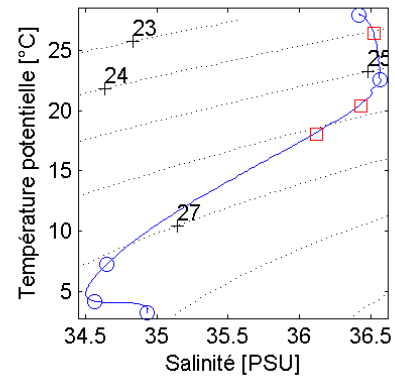
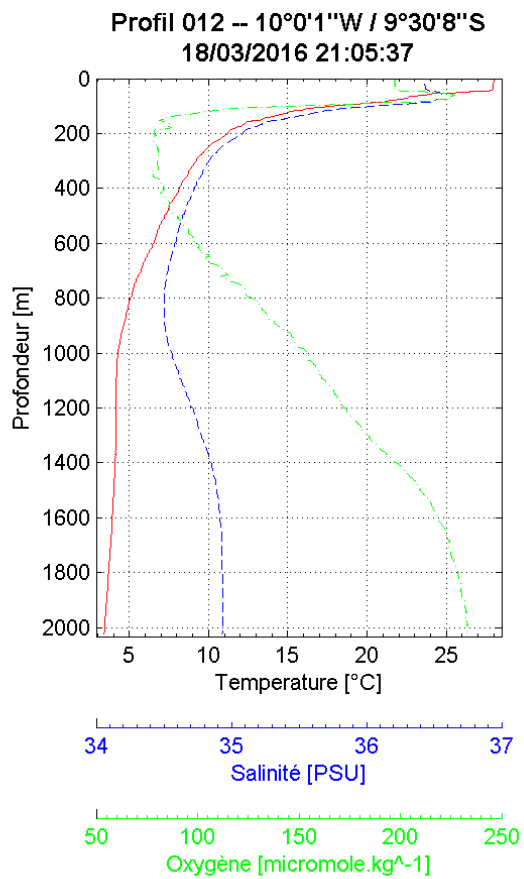


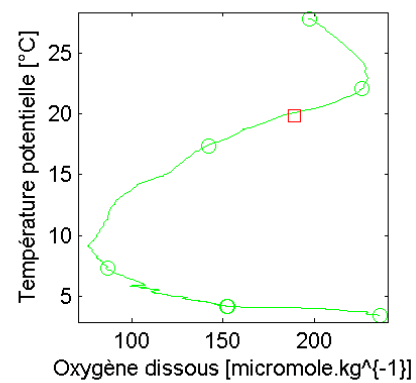
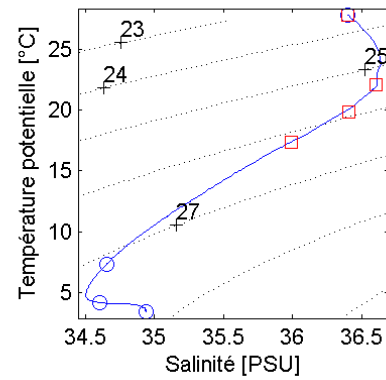
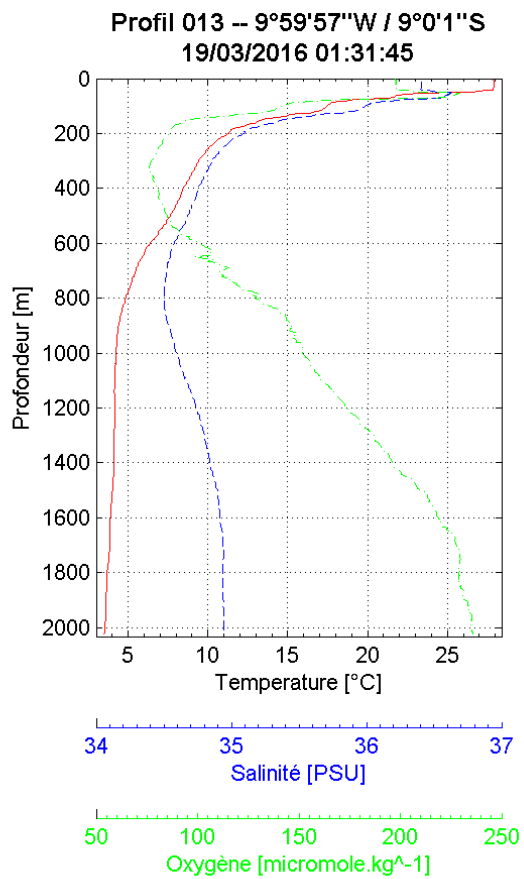
Laboratoire : US191
 Implantation : Brest

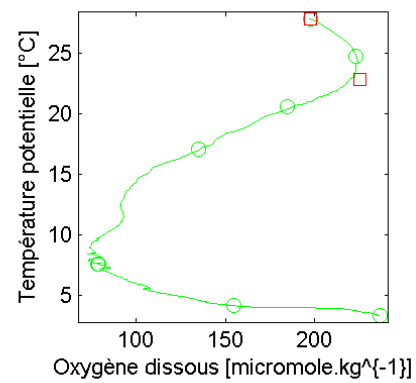
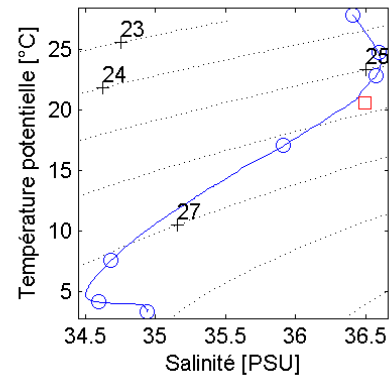
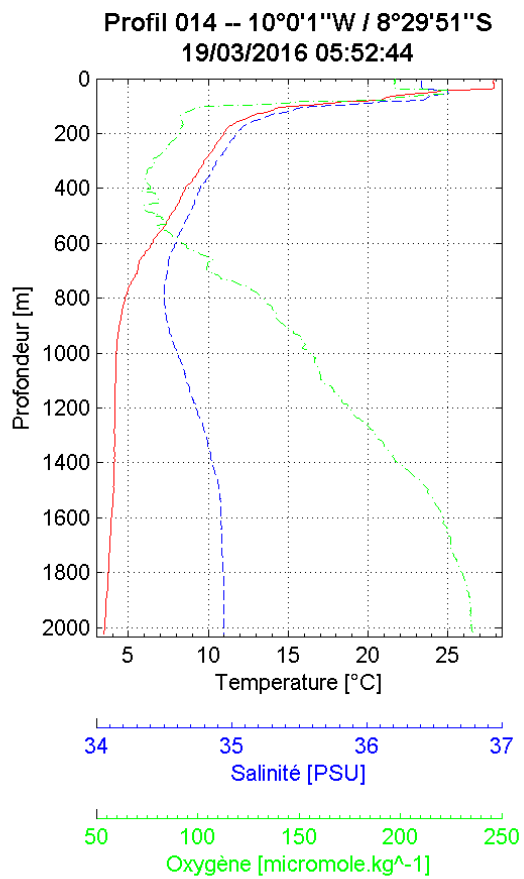
RAPPORT DE CALIBRATION
 Version 01
 Page 56/98

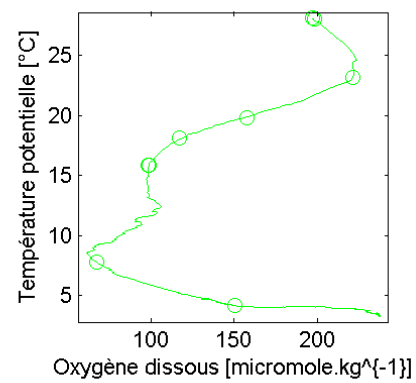
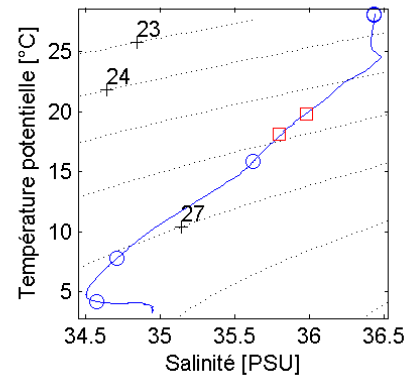
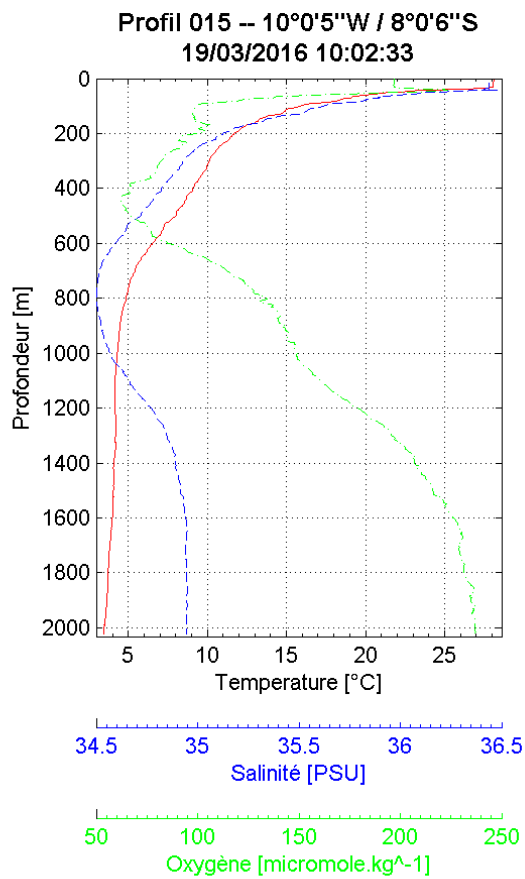


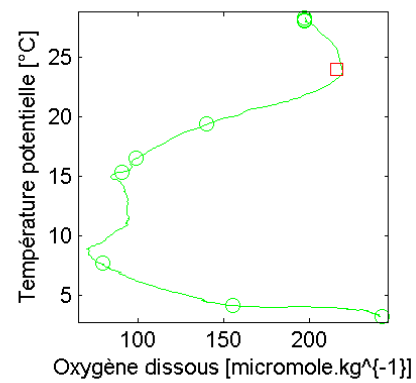
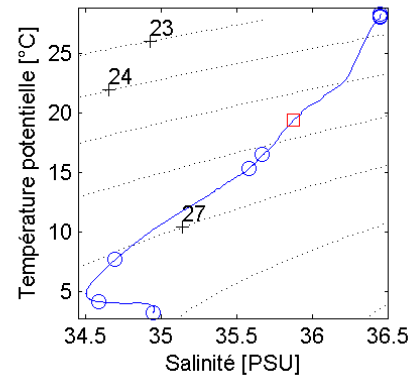
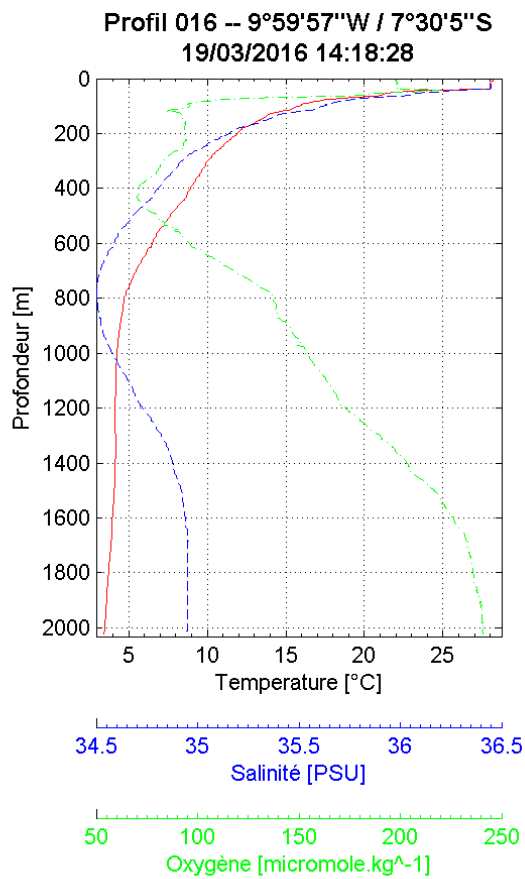


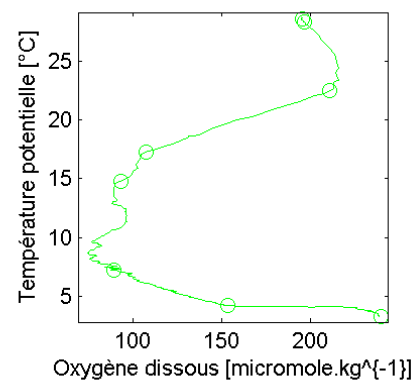
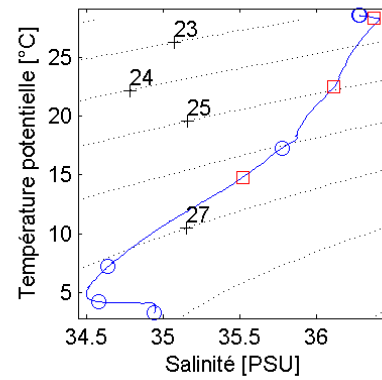
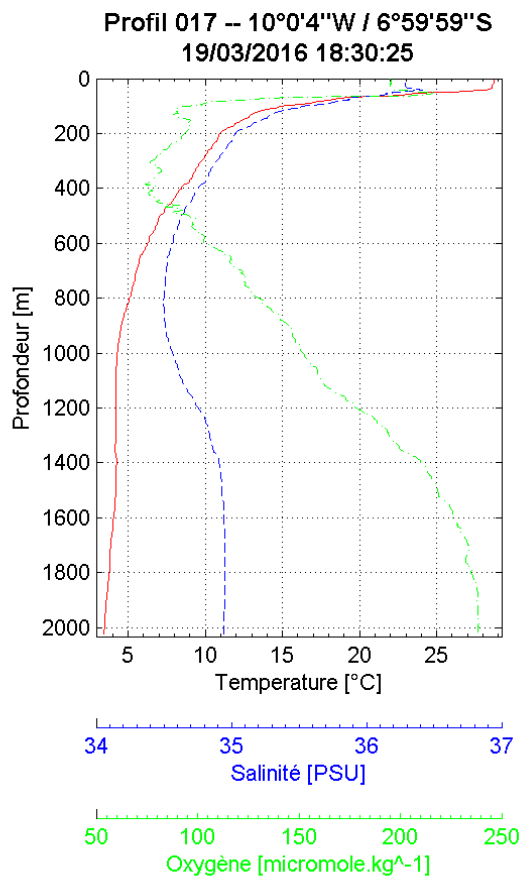


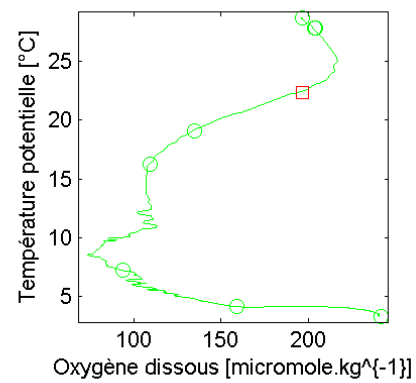
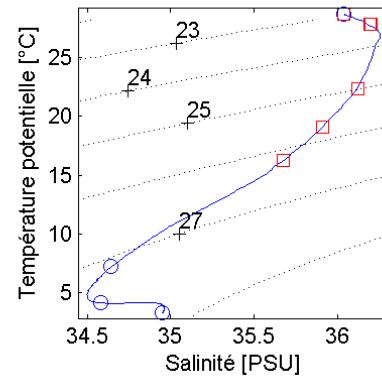
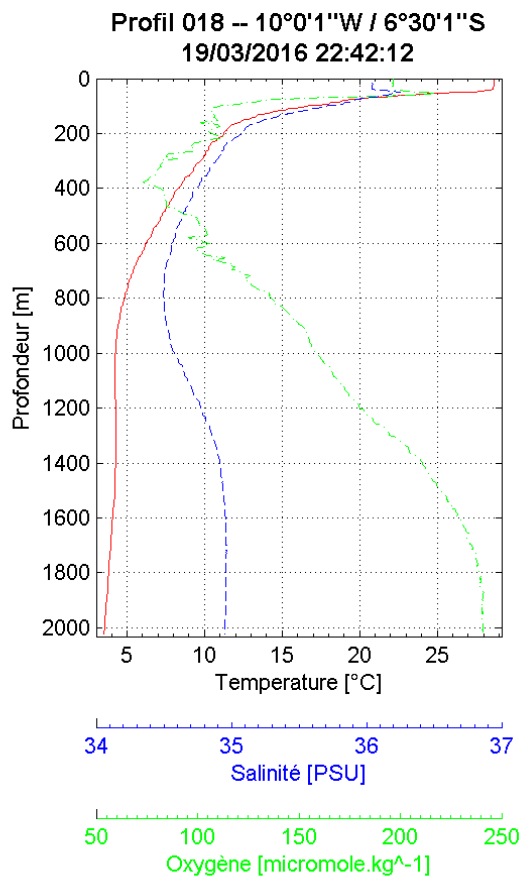


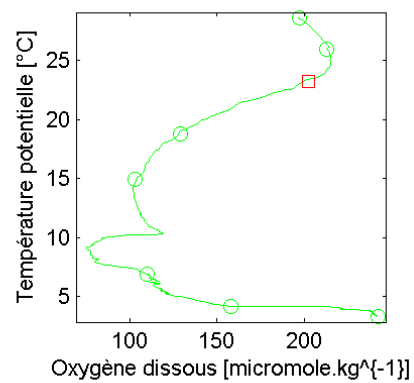
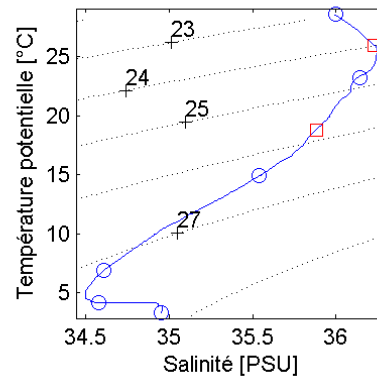
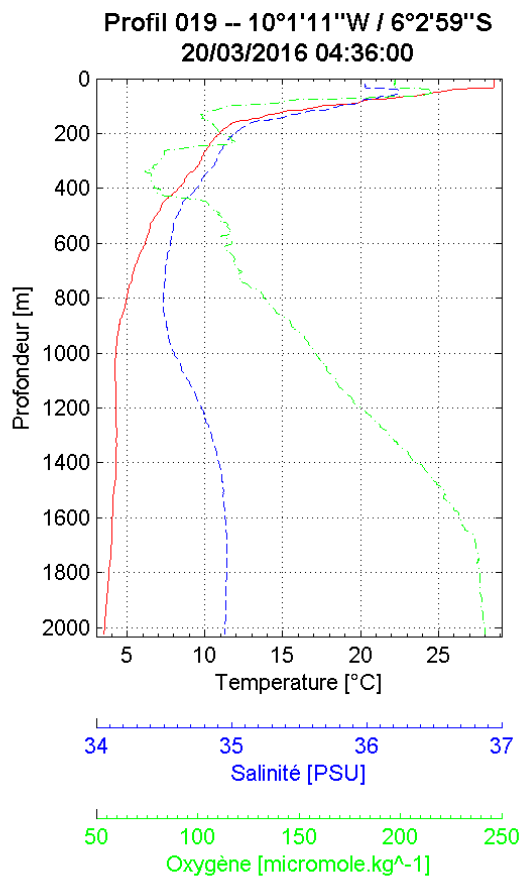


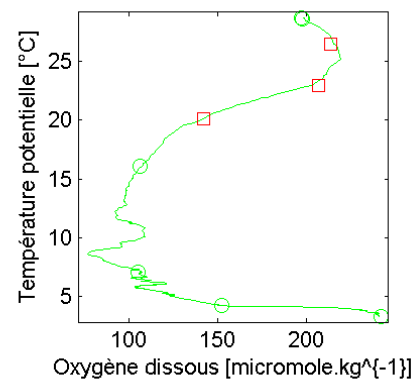
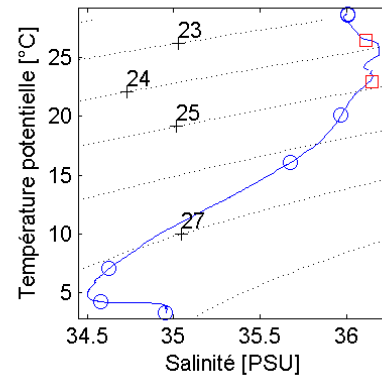
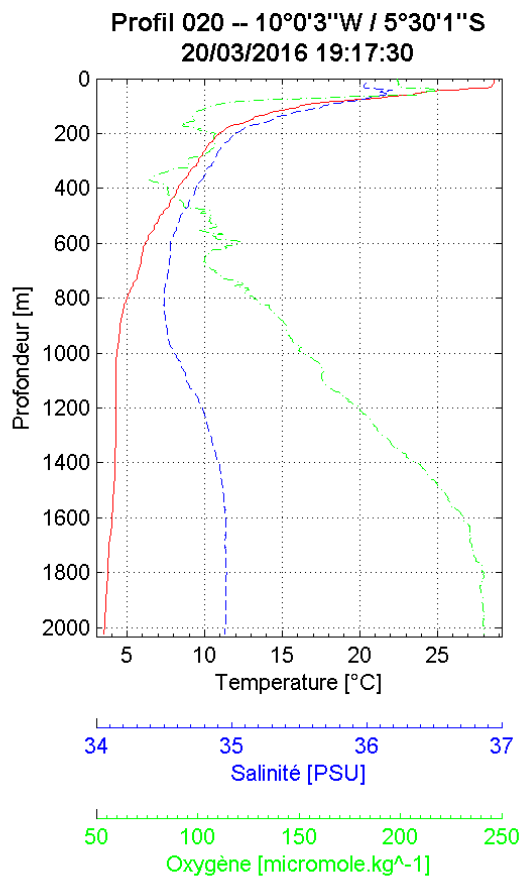


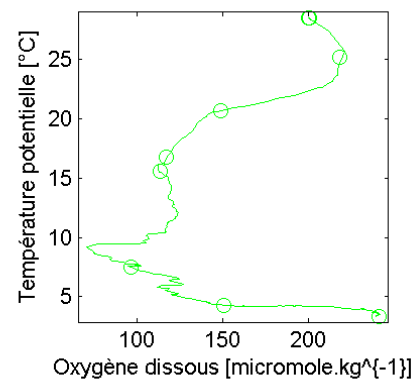
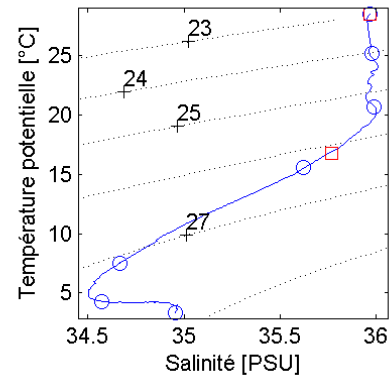
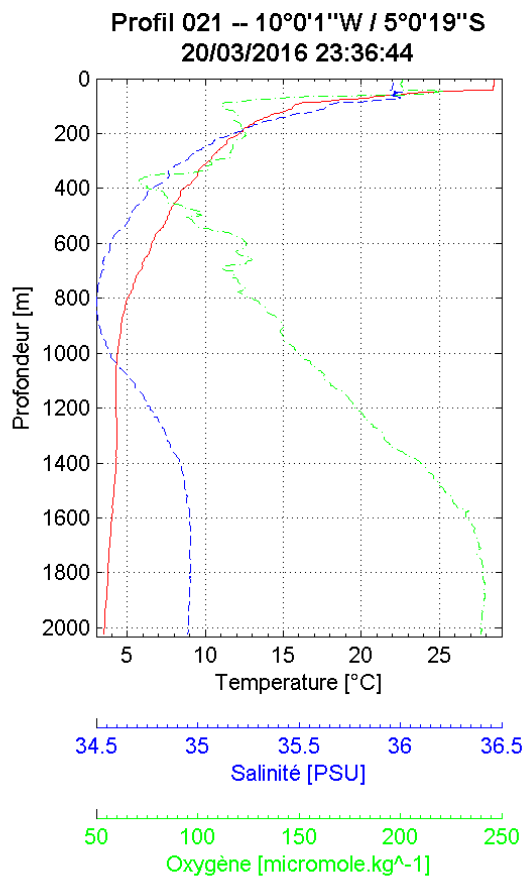


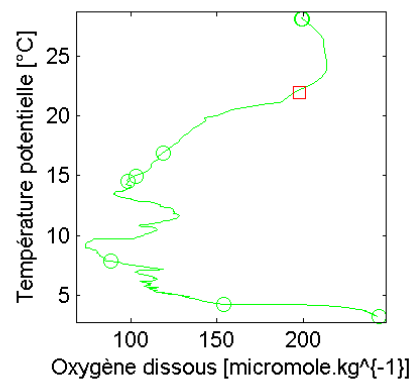
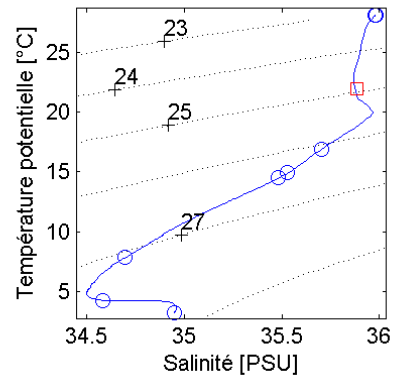
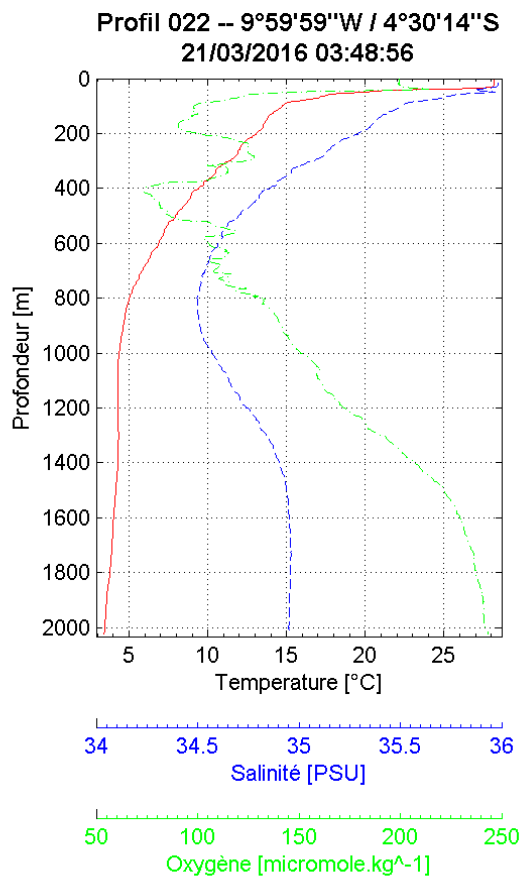


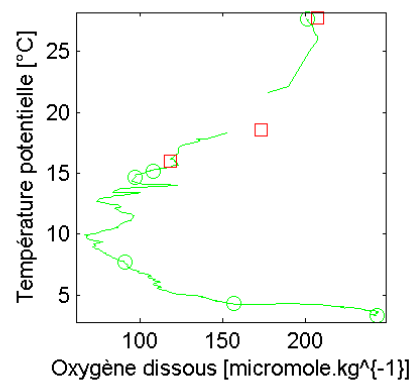
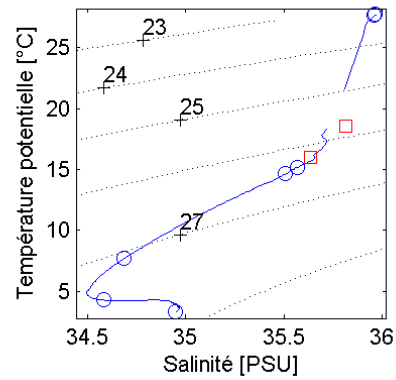
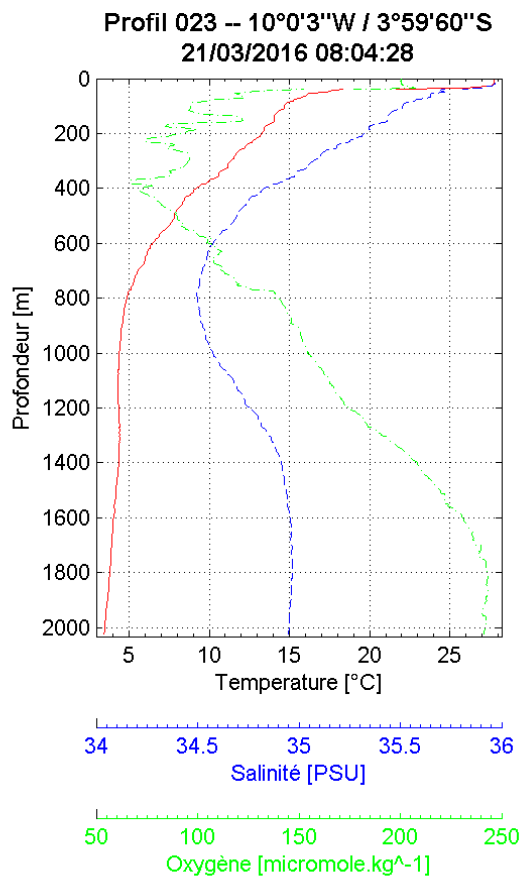


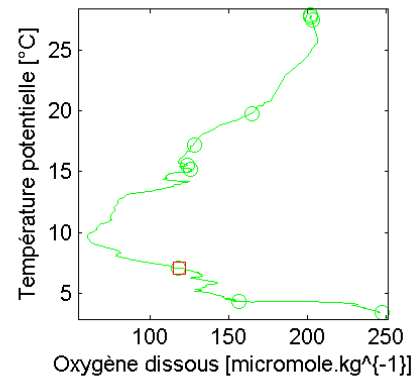
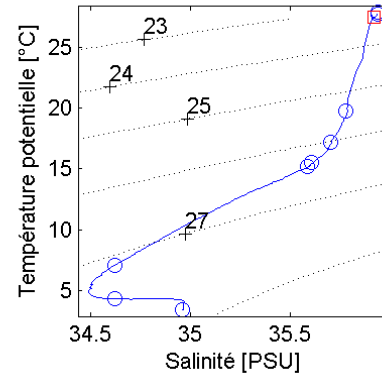
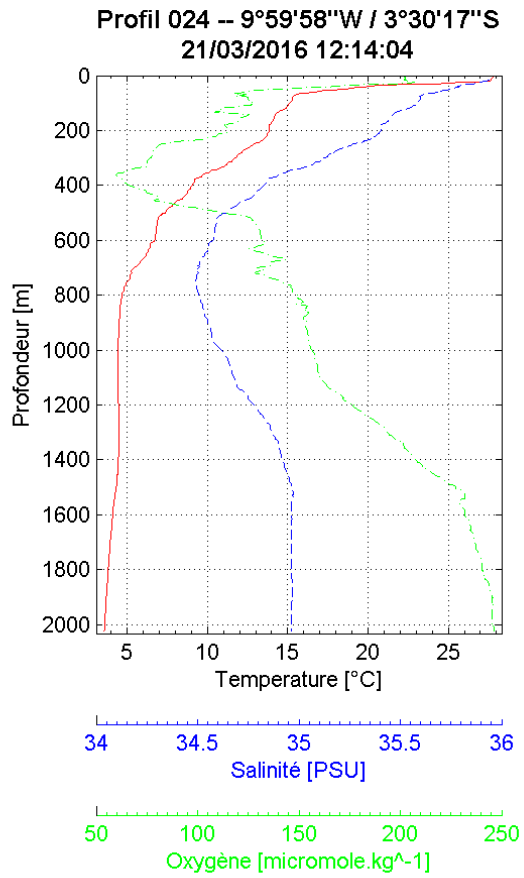


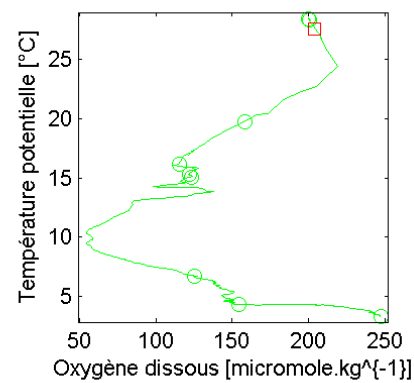
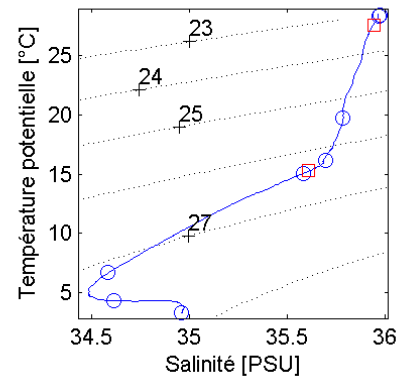
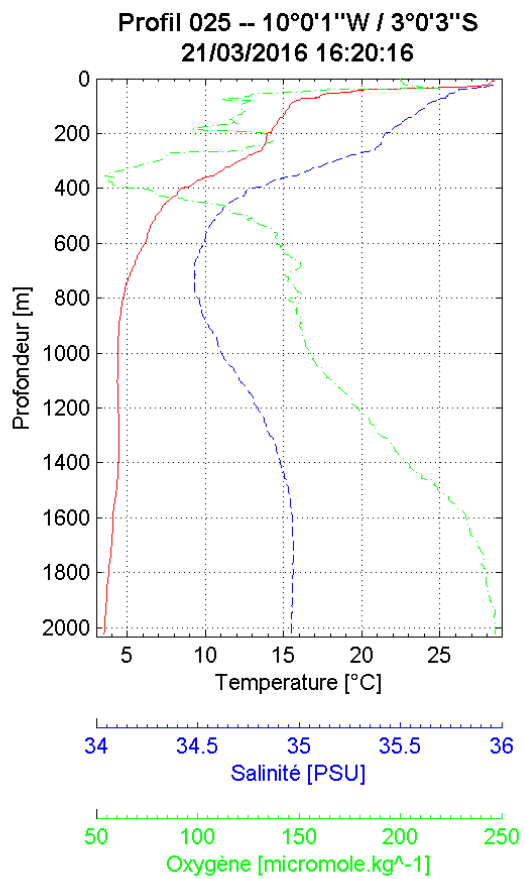


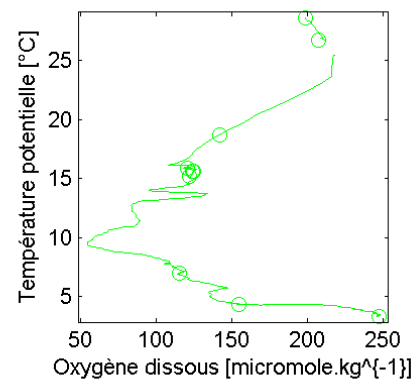
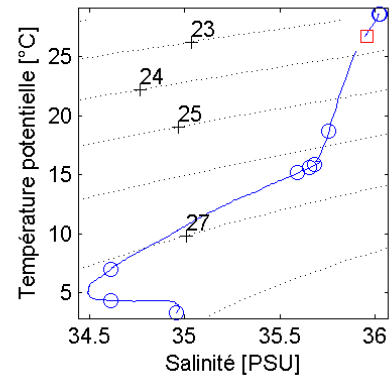
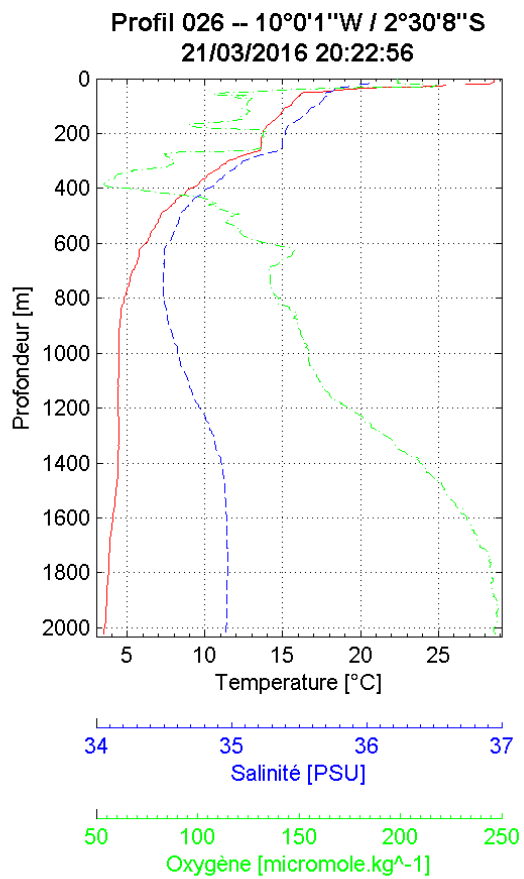


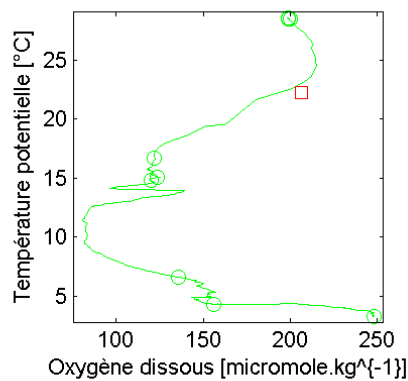
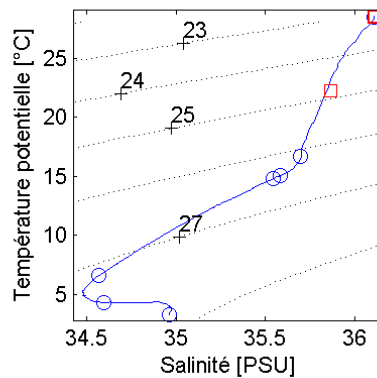
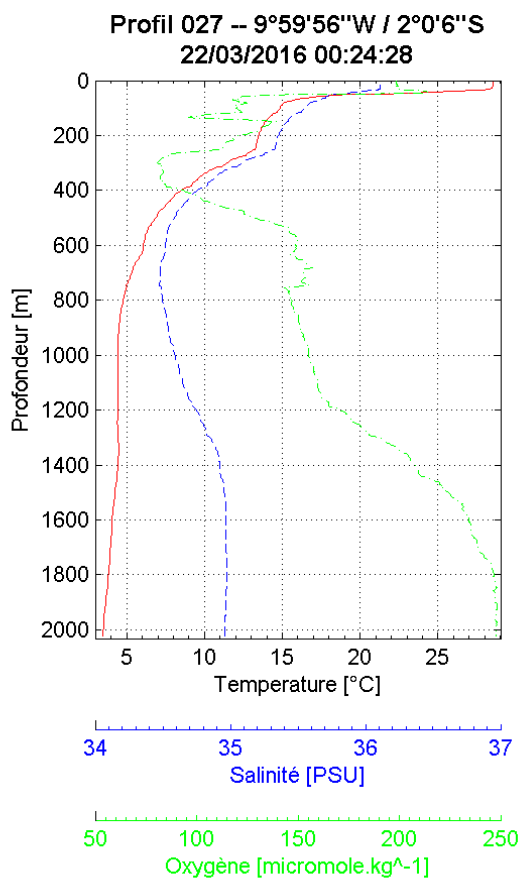


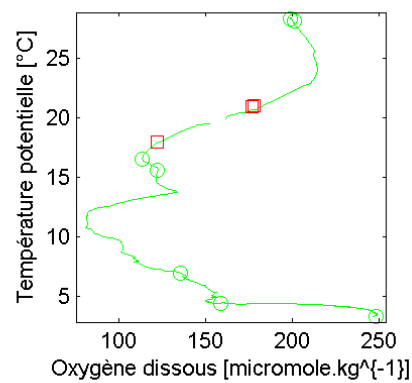
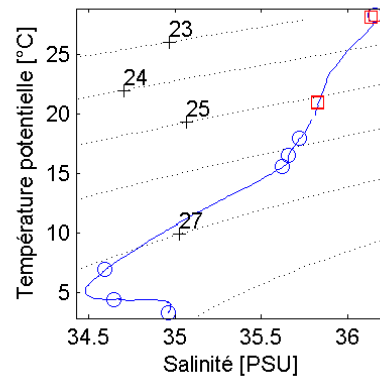
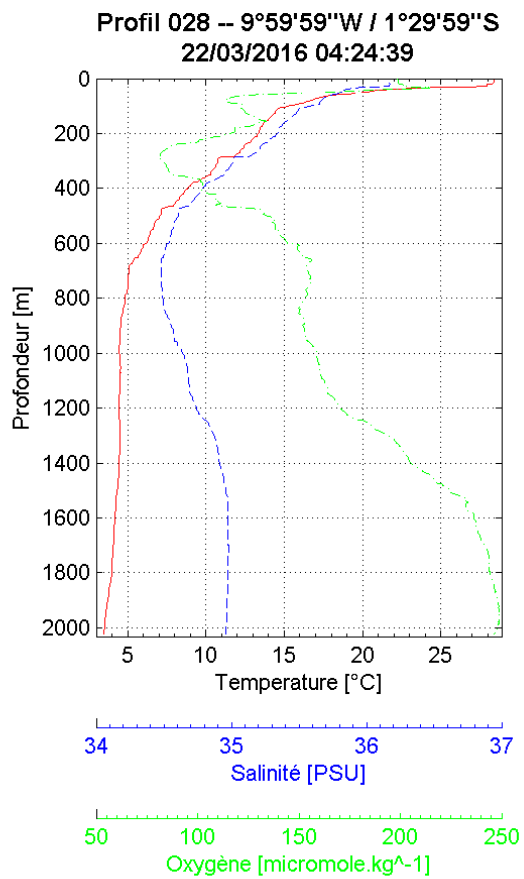


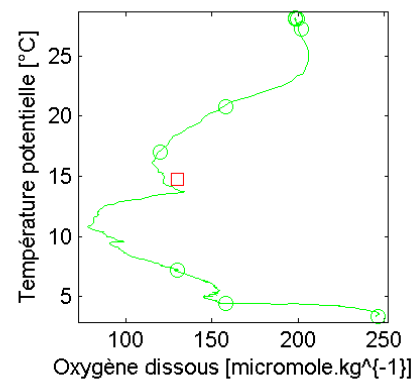
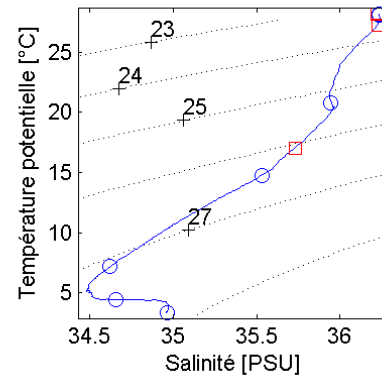
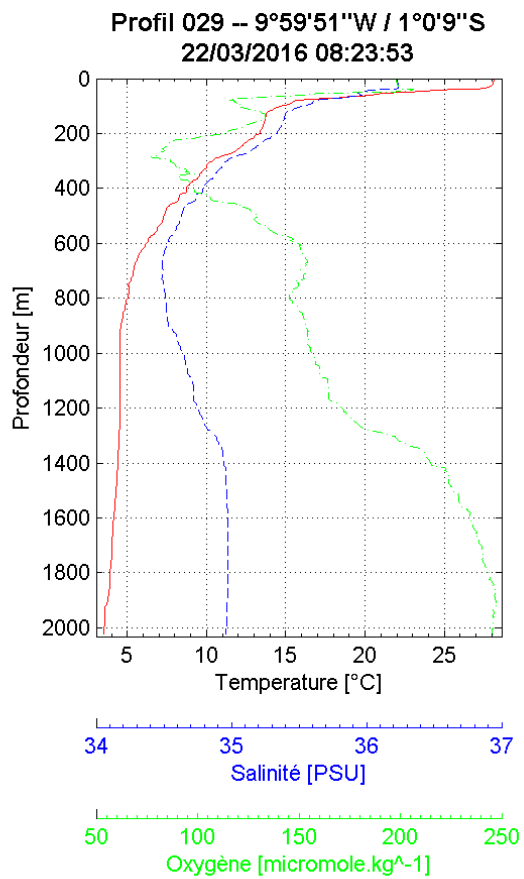


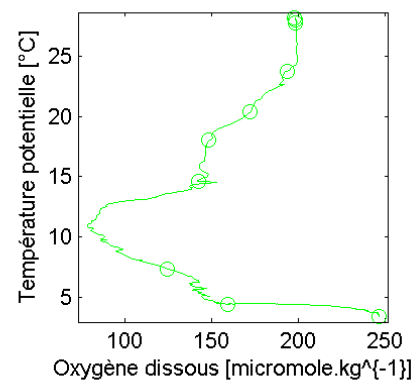
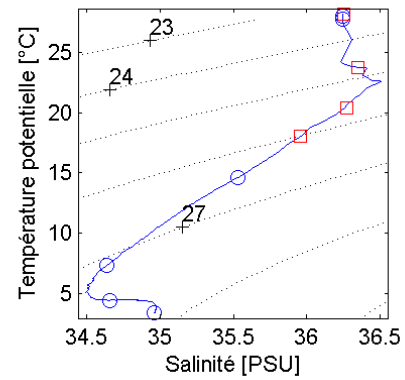
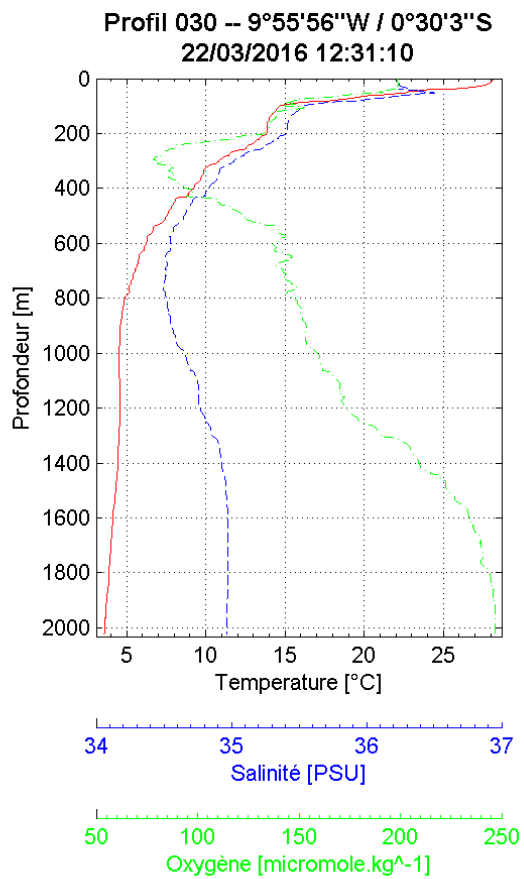


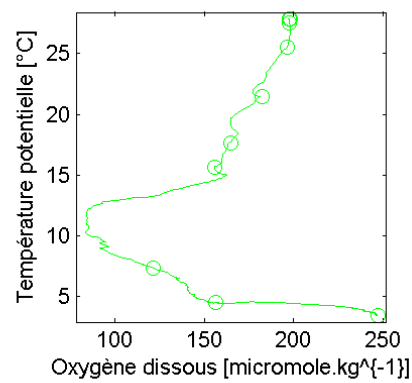
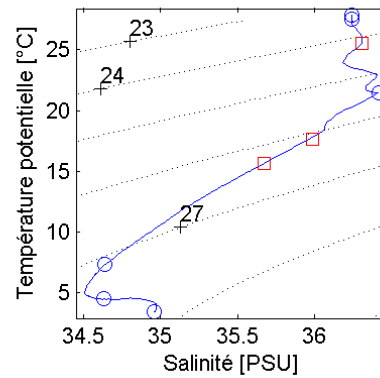
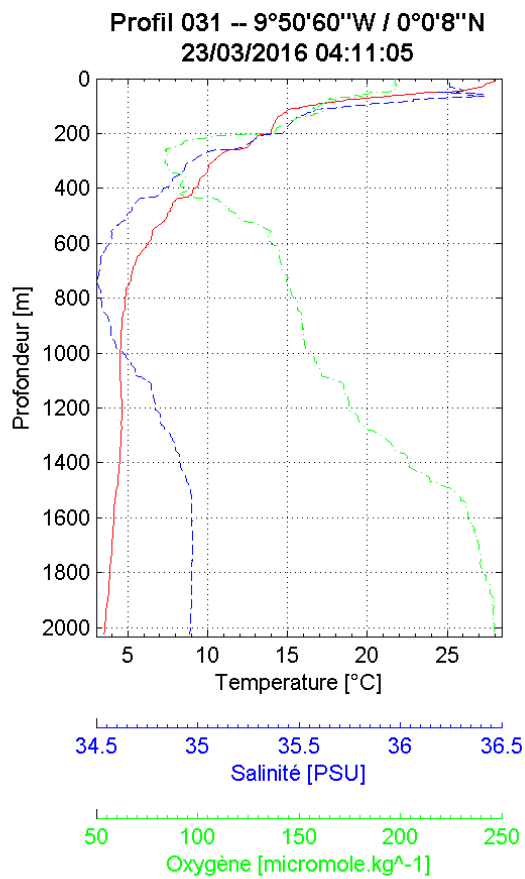


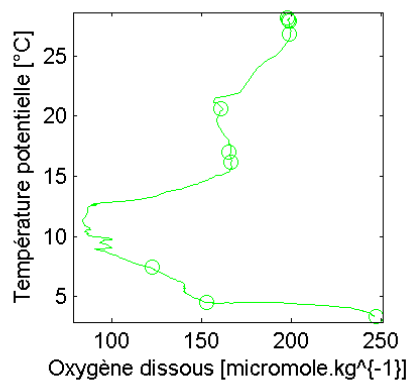
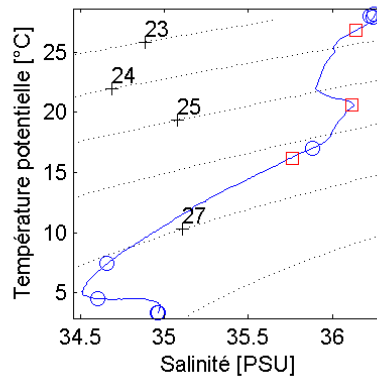
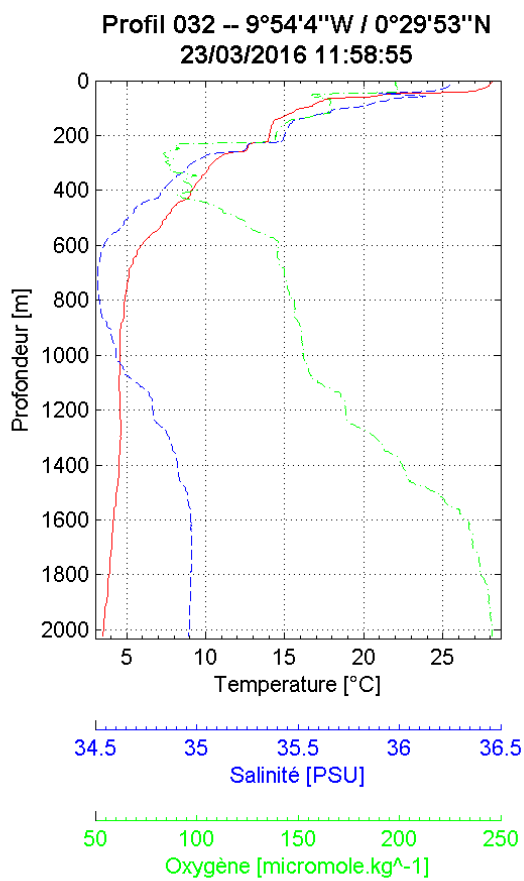


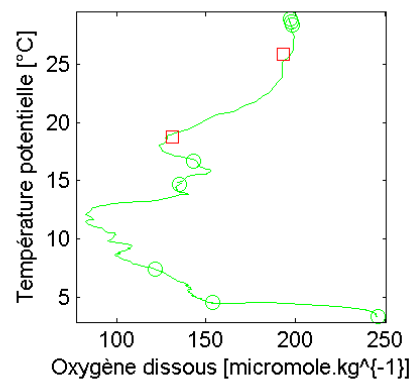
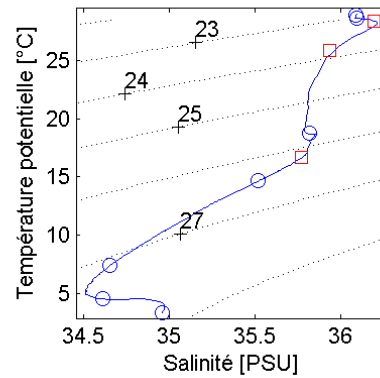
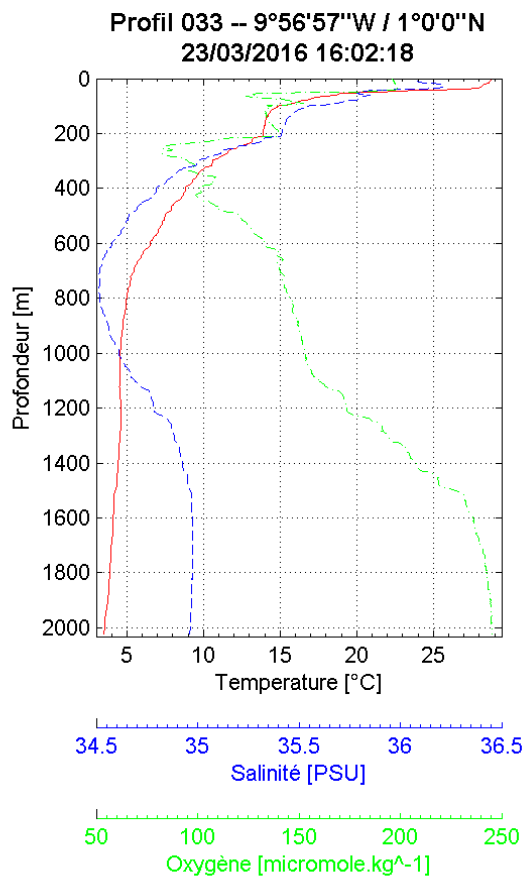


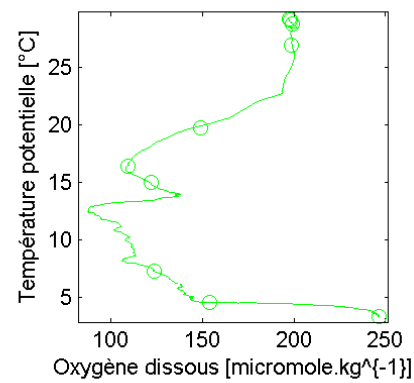
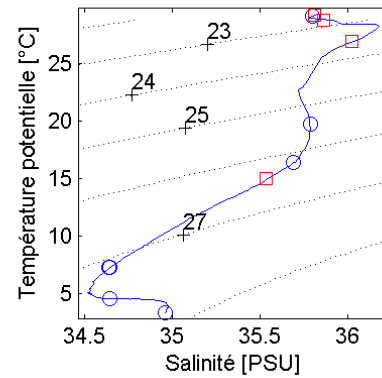
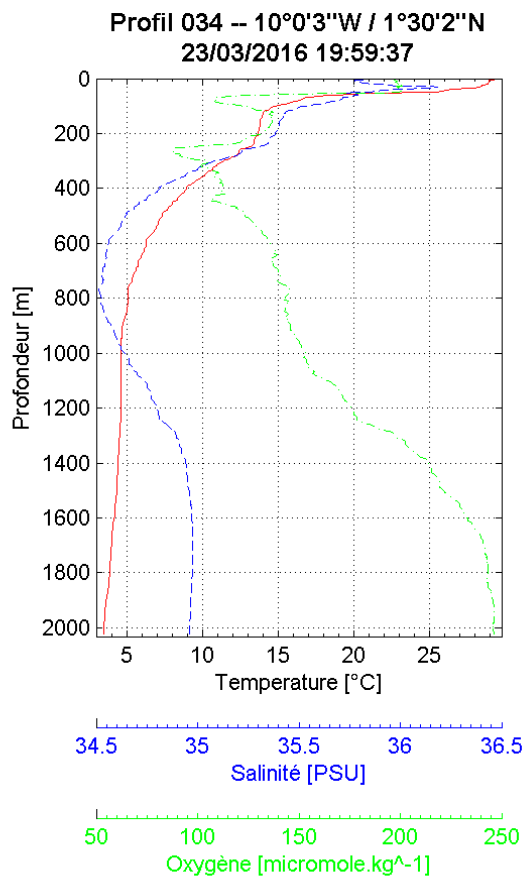


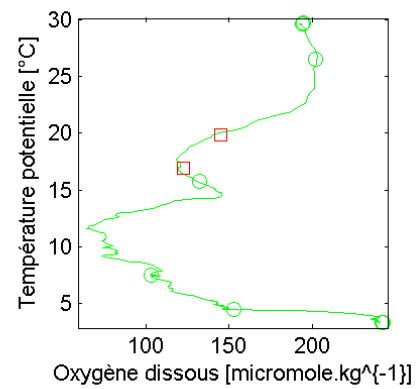
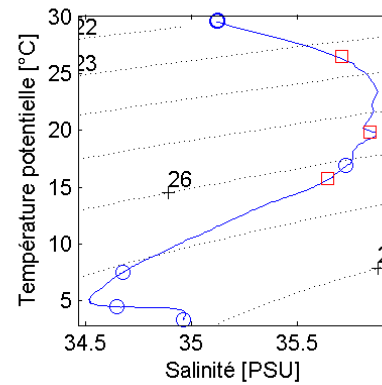
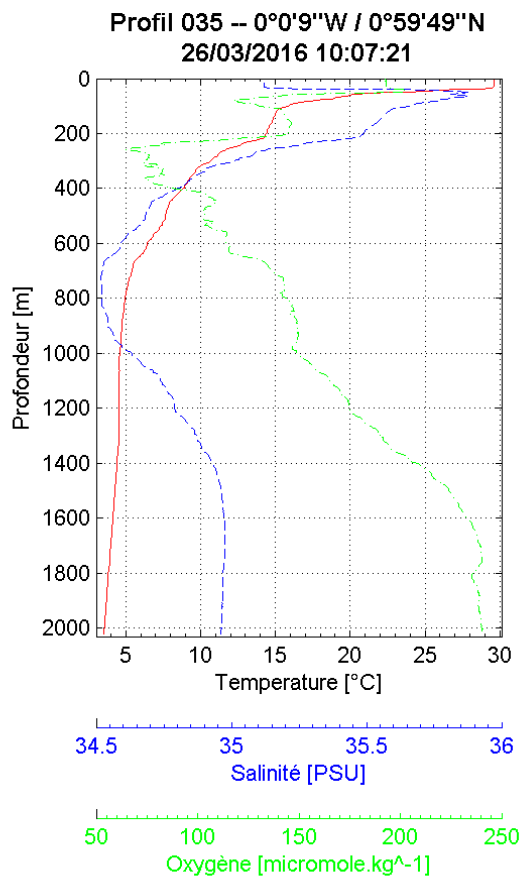


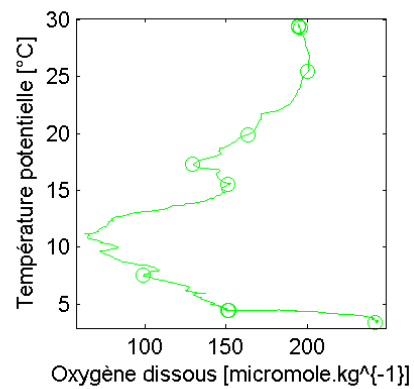
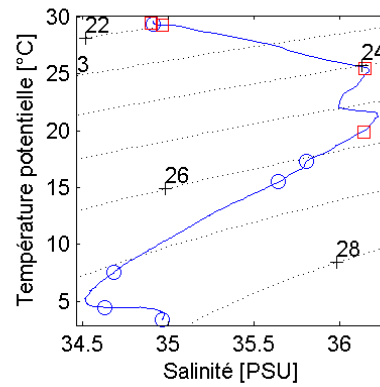
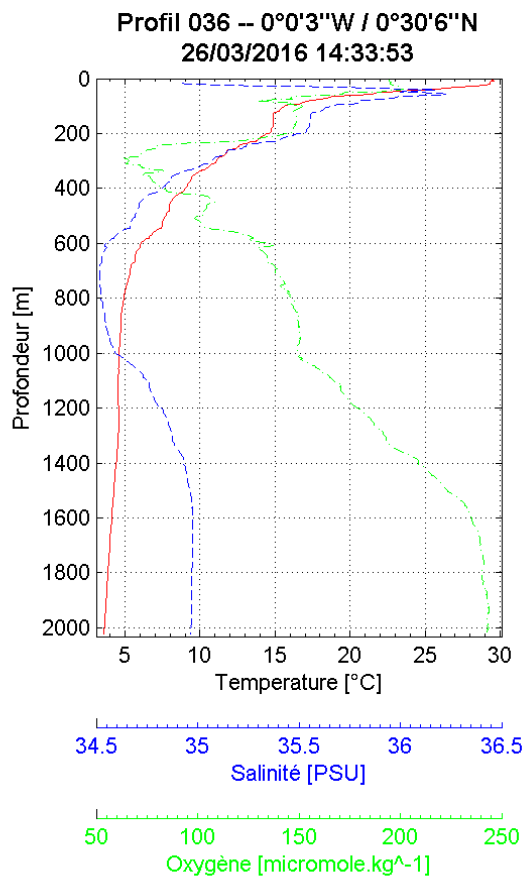


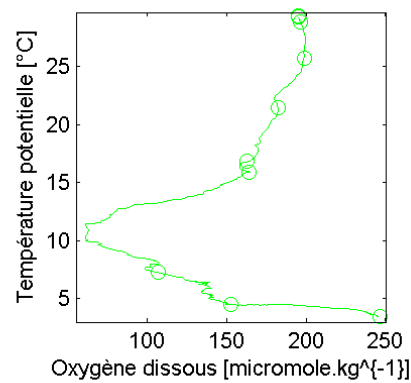
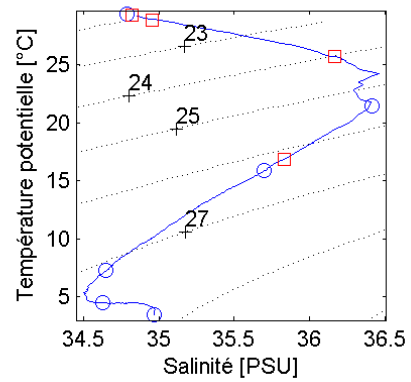
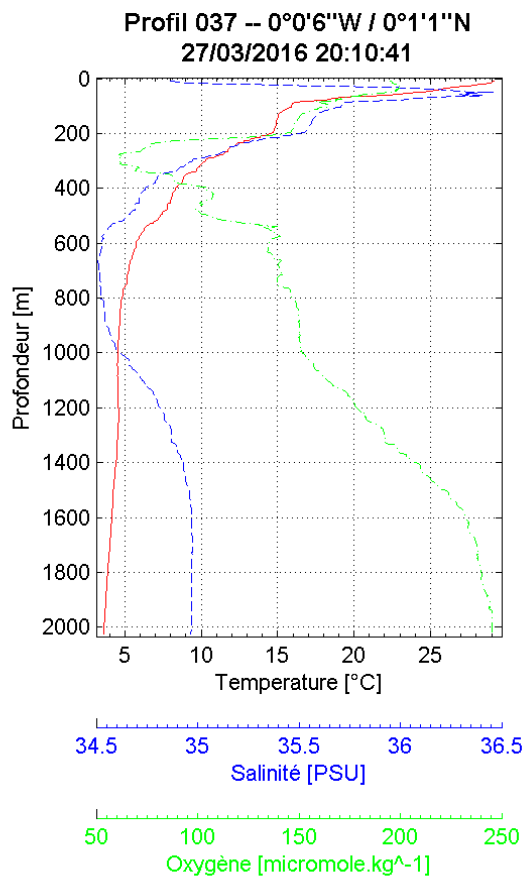












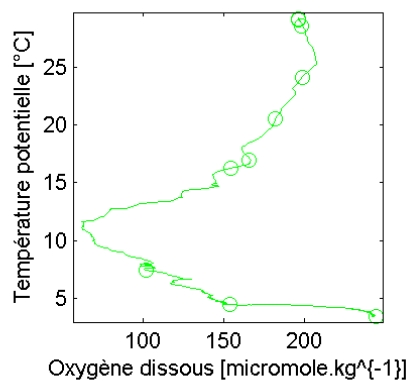
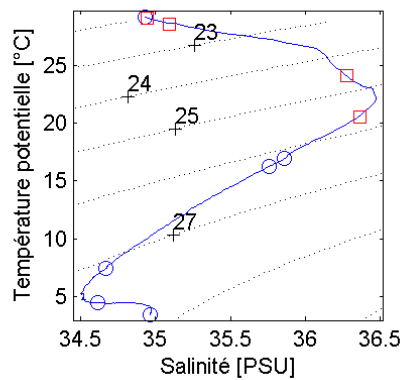
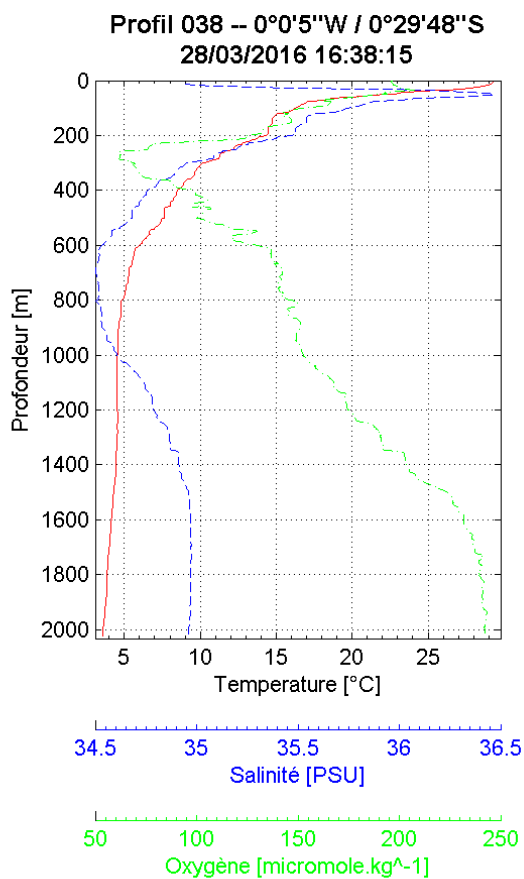
Laboratoire : US191

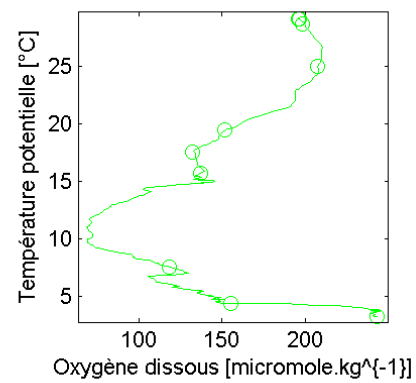
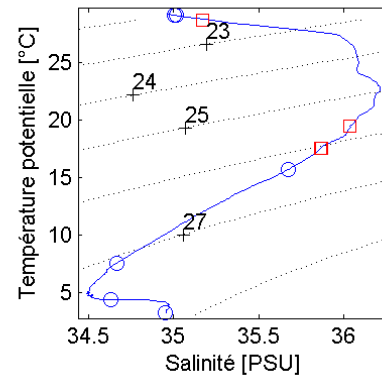
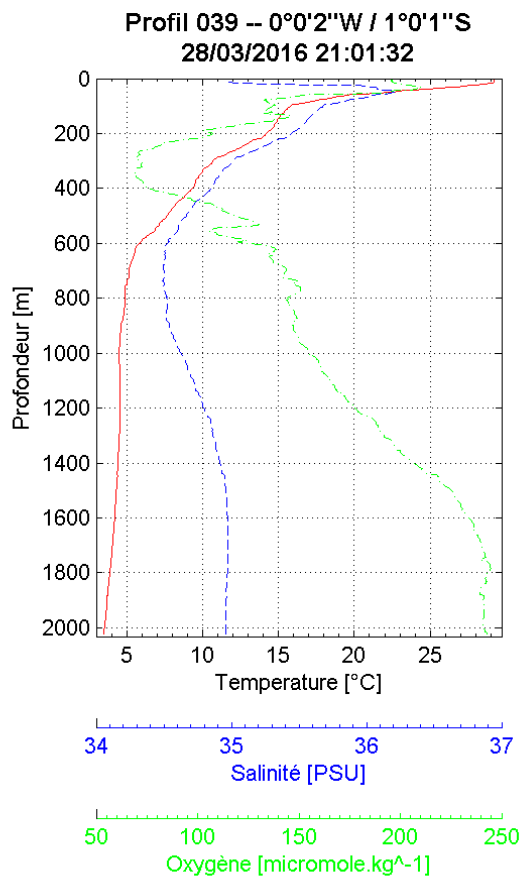
 Implantation : Brest

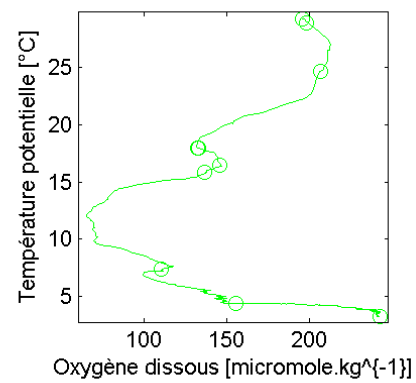
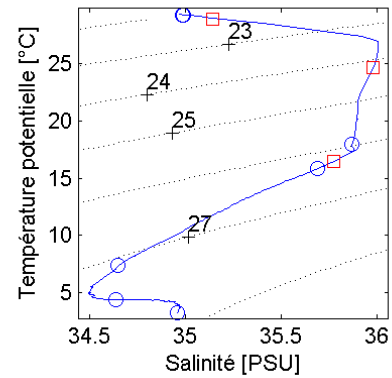
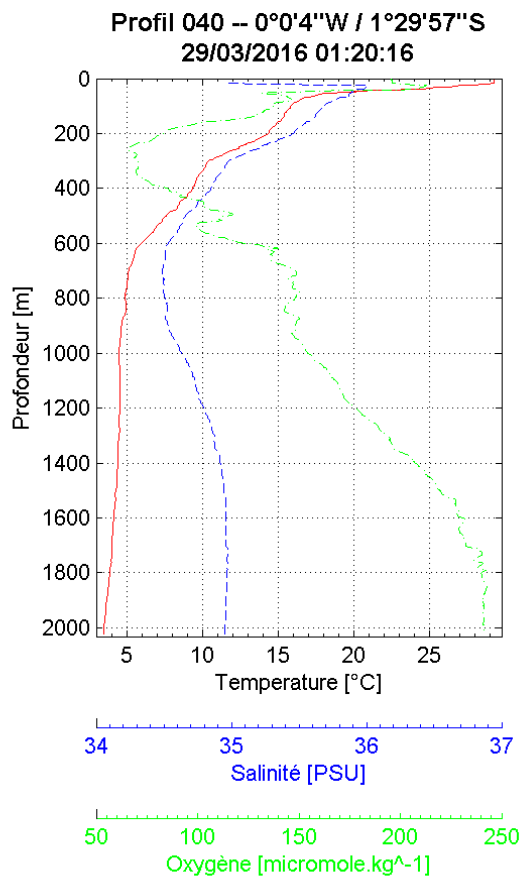
RAPPORT DE CALIBRATION

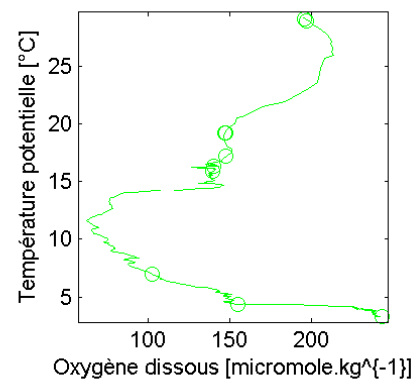
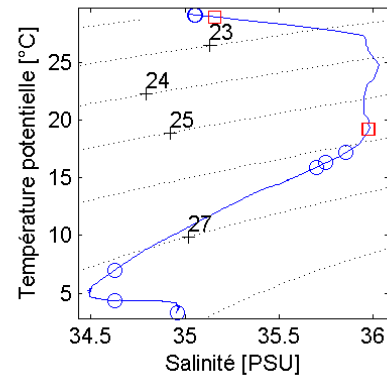
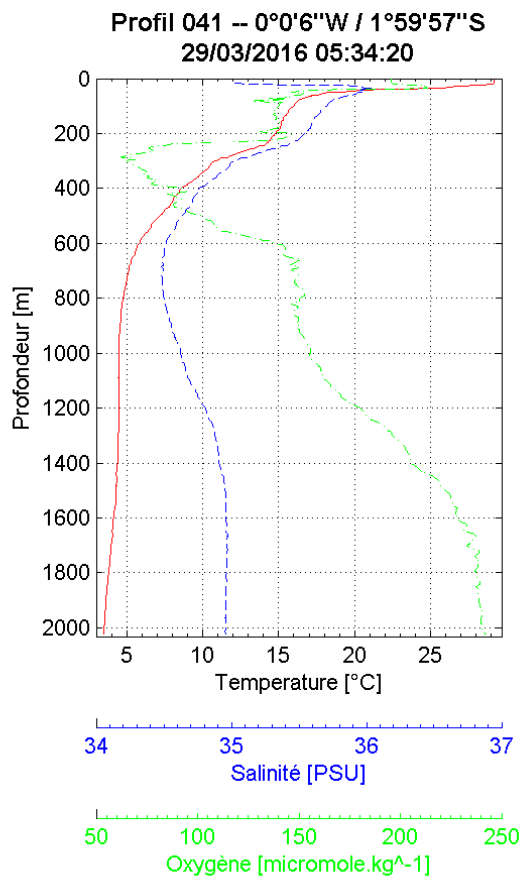
 Version 01

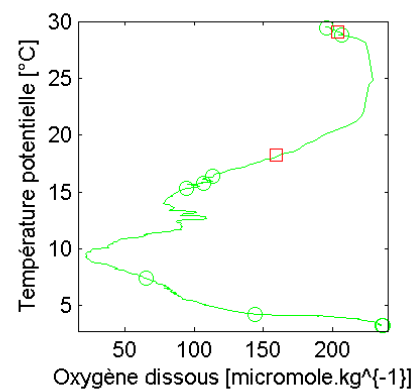
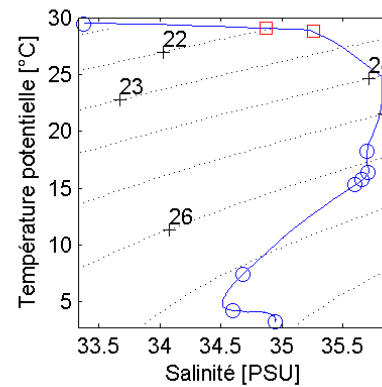
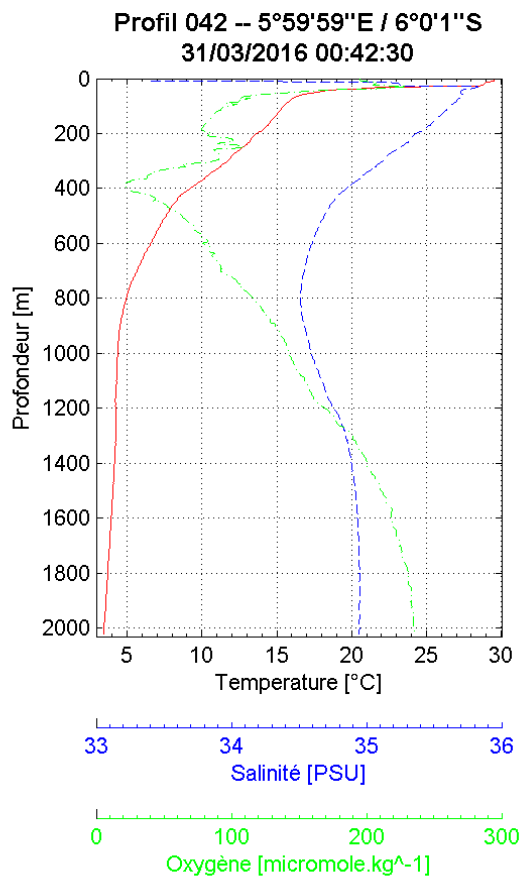
 Page 84/98

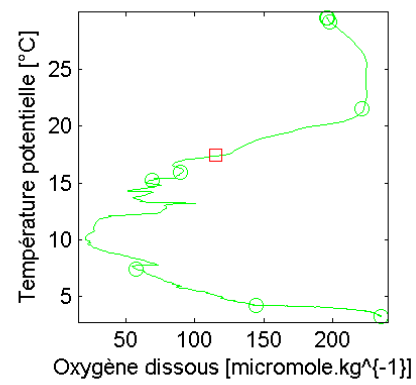
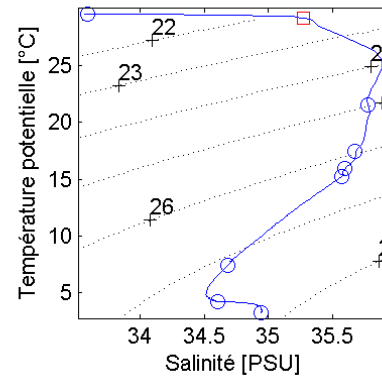
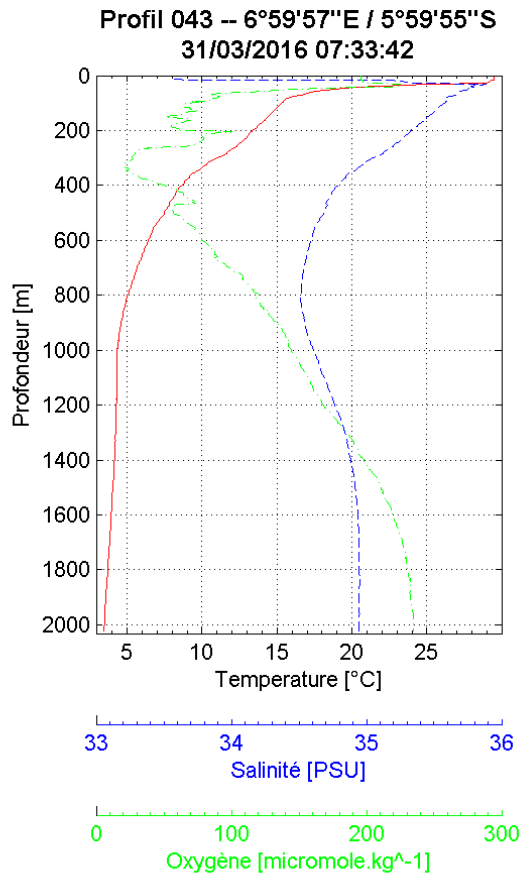


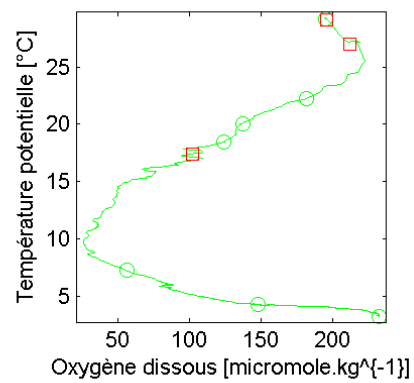
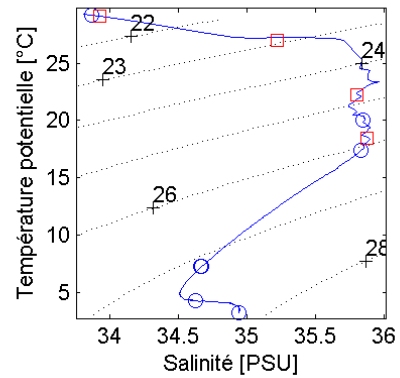
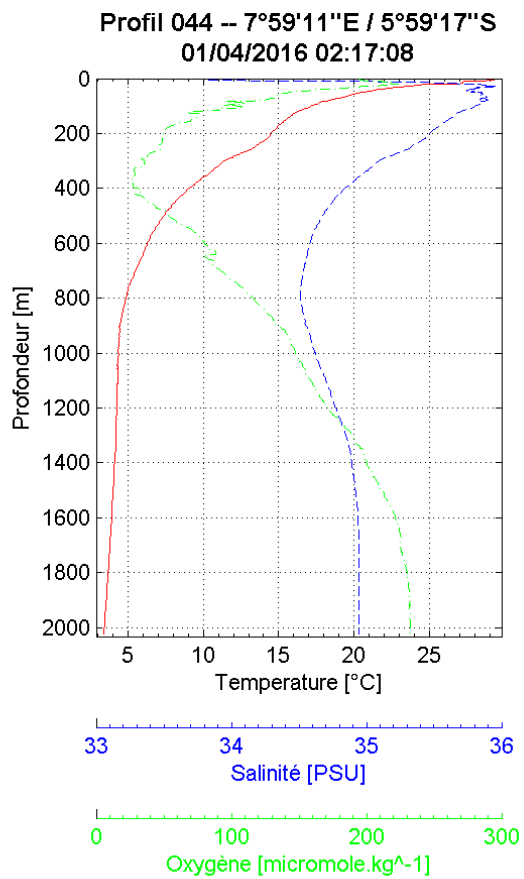


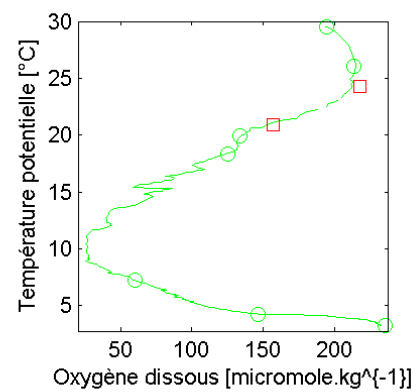
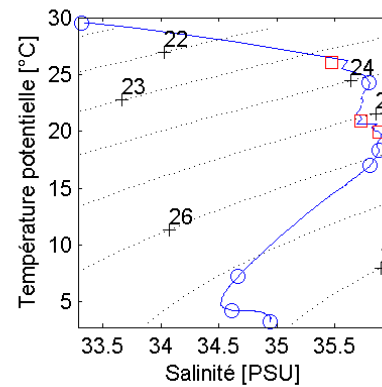
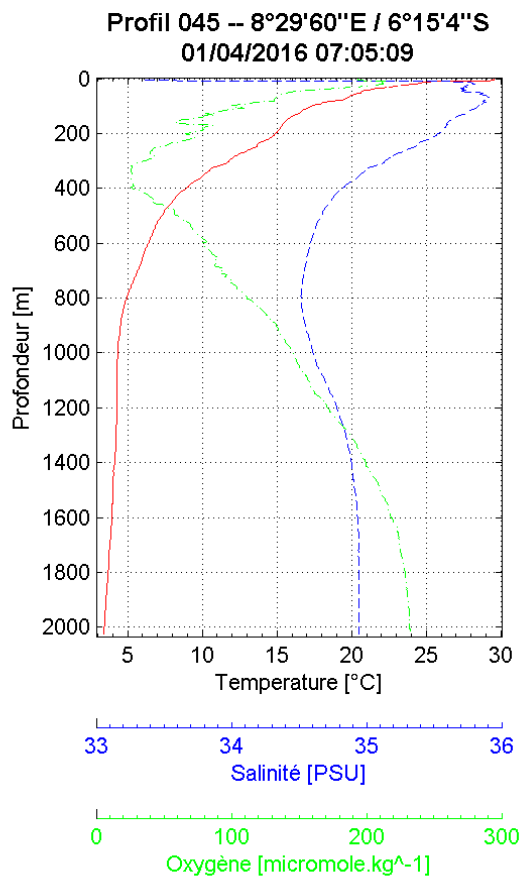


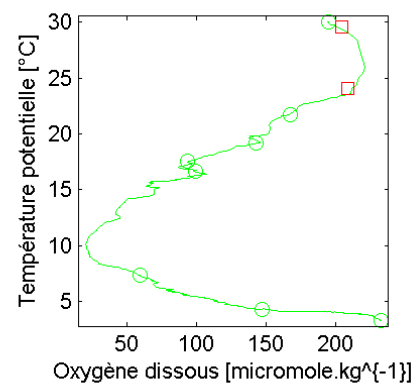
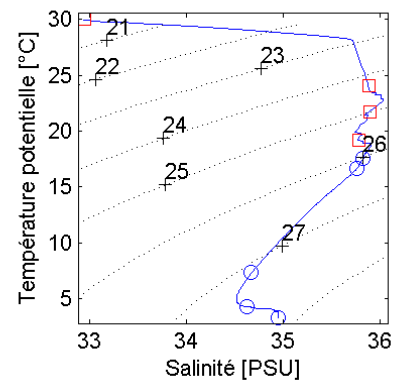
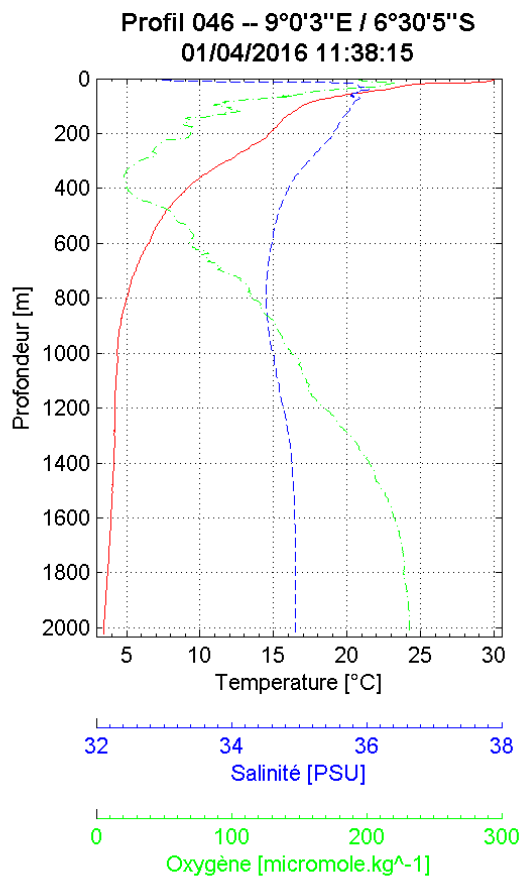


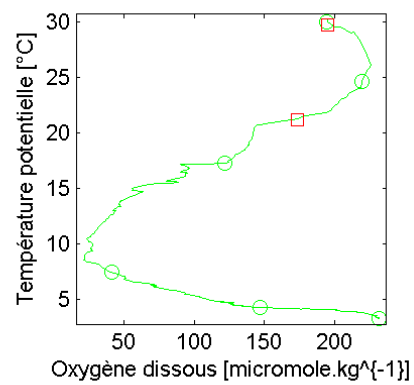
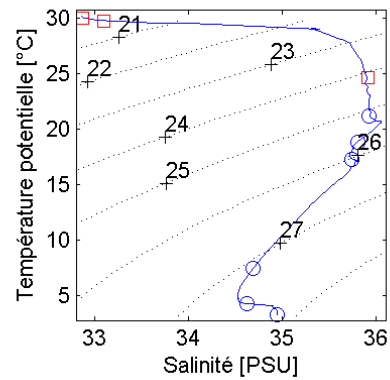
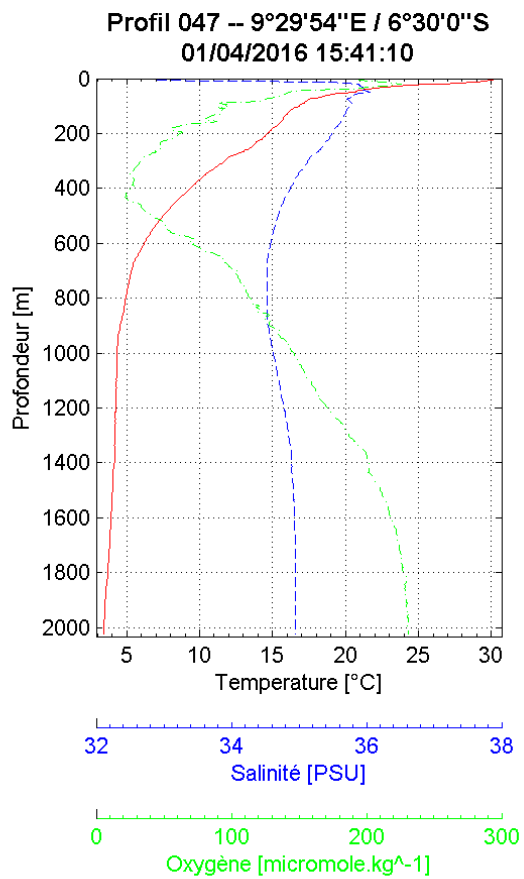


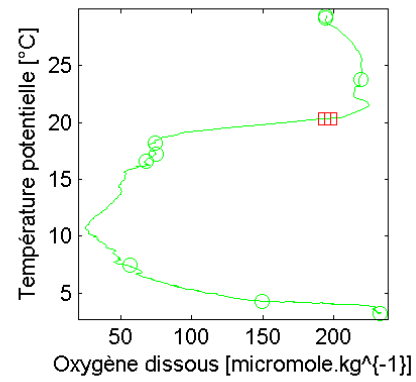
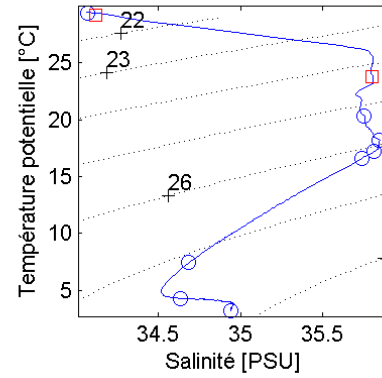
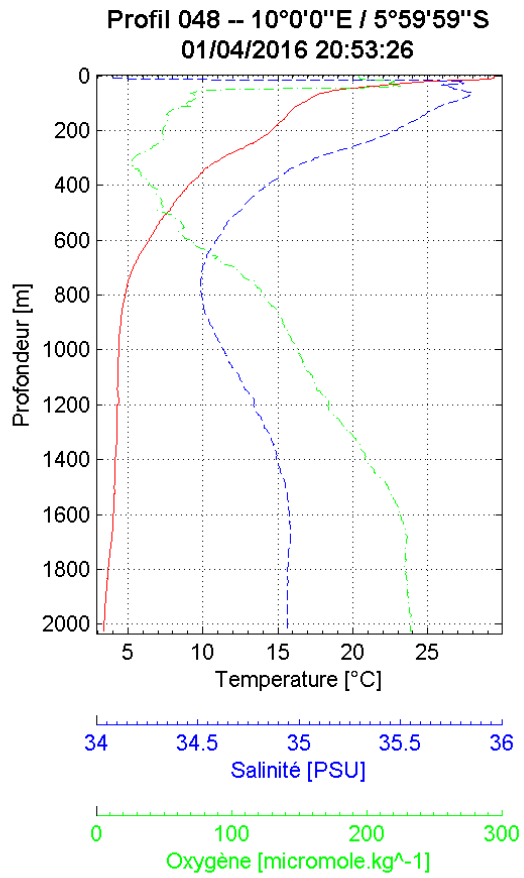


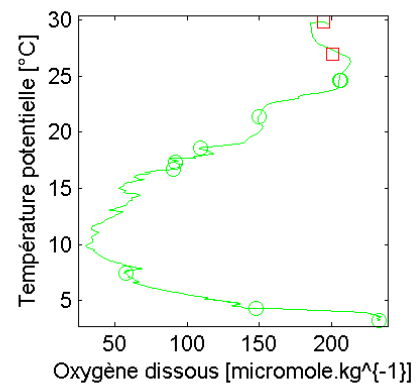
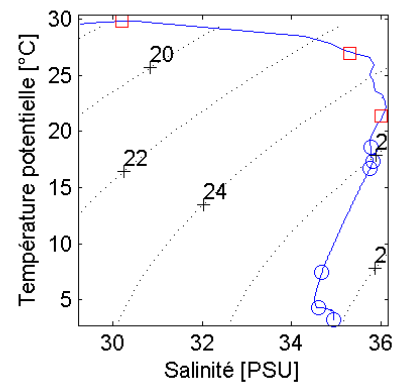
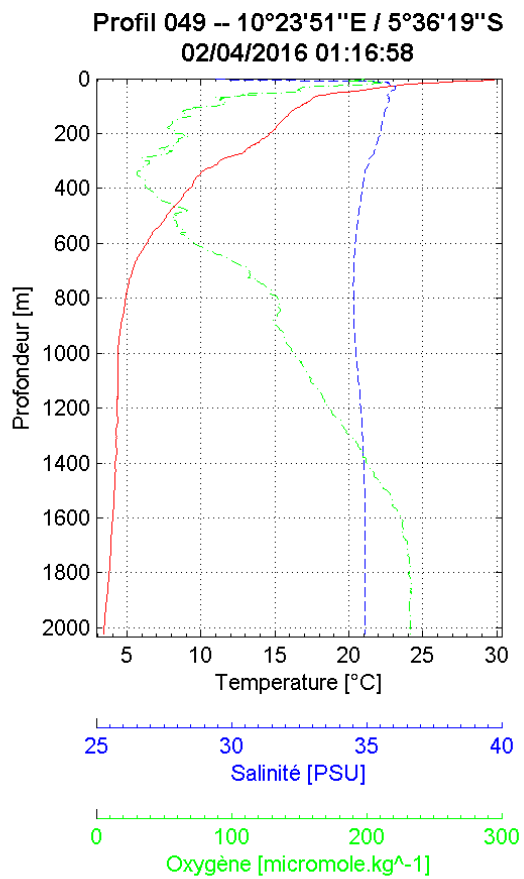






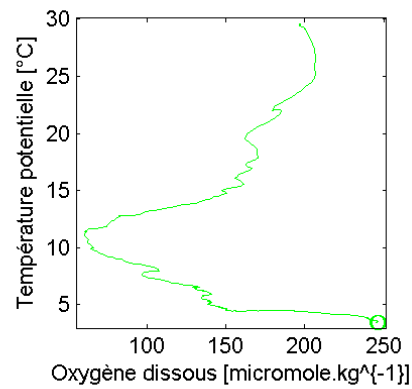
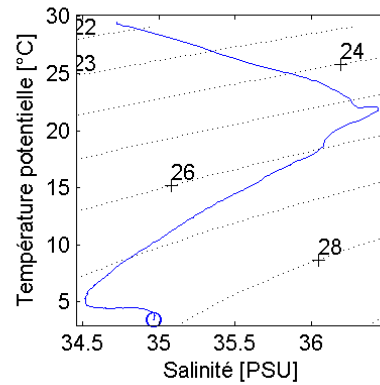
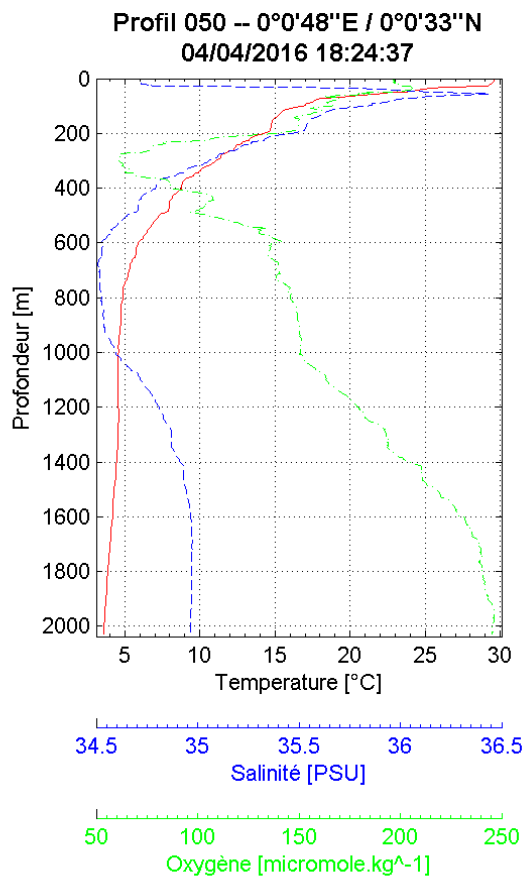






Laboratoire : US191
 Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
 Version 01
 Page 96/98



Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 97/98

15. 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
19/05/2017	01	Création
15/06/2017	02	Revu QC
27/06/2017	03	Ajout offset transmissiomètre + suivi S/O2 avant ajustement + Abstract data

Relecteur	Date