
Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 0/92

Rapport de Calibration des données CTD-02 De la campagne PIRATA-FR24

DOI : 10.17600/14002100

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-FR24.....	33
8.	Annexe 3 - Carte des stations CTD-O ₂ effectuées pendant la campagne PIRATA-FR24	35
9.	Annexe 4 - Signification des codes de qualité.....	36
10.	Annexe 5 – Analyses chimiques.....	37
11.	Annexe 6 – Détection des inversions de densité.....	39
12.	Annexe 7 – Offset profils transmissiomètre.	41
13.	Annexe 8 – Profils ajustés et réduits sur 1dbar.....	43
14.	Suivi des versions de ce document	91

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 the transmissometer measurements in the view to pass the validation tests. The circuit 1 sensors have been preferred because conductivity sensor of the circuit 2 was replaced at the mid campaign while the circuit 1 was the same along the whole campaign.

Version papier non officiel

Résumé

La campagne PIRATA-FR24 est la 24^{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 Le Suroît du 09/04/2014 au 22/05/2014 dans l'Atlantique tropical. Au cours de cette campagne, 48 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-FR24, 48 stations hydrologiques CTD-O₂ ont été effectuées à bord du N/O Le Suroît (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, de manière générale, stable (environ 2000m). 4 stations (1, 3, 30 et 31) présentent des profondeurs différentes, variant de 203m à 4258m (annexe 2). 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 : 508 analyses de salinité et 509 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 5/92

- 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 6/92

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	0419	22/02/2007	X
Température 1	2042	15/10/2013	18/09/2014
Conductivité 1	1548	26/09/2013	18/09/2014
Oxygène 1	0683	29/10/2013	16/08/2014
Température 2	2040	15/10/2013	18/09/2014
Conductivité 2	1550	26/09/2013	19/11/2014
Conductivité 2	3344	04/02/2014	18/09/2014
Oxygène 2	0323	16/10/2013	16/08/2014
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-FR24.

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): 508 analyses de salinité et 509 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 «PIRATAFR24_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 10/92

	Température 1	Température 2	Conductivité 1	Conductivité 2	Oxygène 1	Oxygène 2
Offset st. 1-28	$4,32.10^{-4}$	$3,53.10^{-4}$	X	X	$-5,691.10^{-1}$	$-5,563.10^{-1}$
29 - 48	$4,49.10^{-4}$	$3,68.10^{-4}$			$-5,706.10^{-1}$	$-5,548.10^{-1}$
Pente st. 1-28	X	X	0,9999	0,9999	$4,598.10^{-1}$	$4,527.10^{-1}$
29 - 48			0,9999	1	$4,595.10^{-1}$	$4,527.10^{-1}$

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 (.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 (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	1.3	31.7	0.7	0.45	20
Maximum	4260	29.8	58.7	3.1	4.7	103.5
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	0.1	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 *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-FR24, les analyses chimiques en salinité et oxygène dissous ont été systématiques (sauf station 3) : 508 mesures de salinité et 509 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.

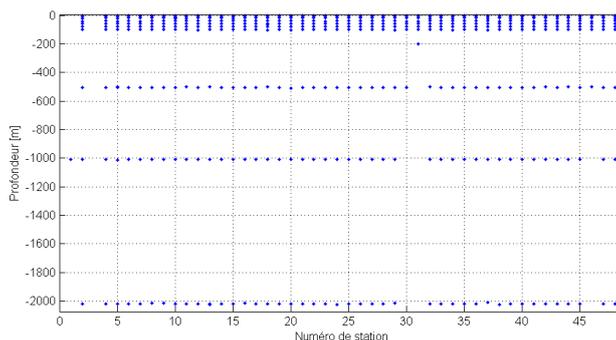


Figure 1 : Répartition des prélèvements pour analyse de la salinité effectués au cours de la campagne PIRATA-FR24.

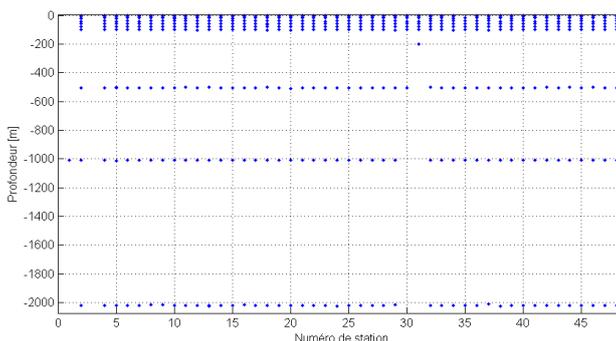


Figure 2 : Répartition des prélèvements pour analyse de l'oxygène dissous effectués au cours de la campagne PIRATA-FR24.

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 (1000m), de manière à évaluer ces erreurs.

La figure 3 présente les écarts obtenus sur les doublets en salinité et la figure 4 présente les histogrammes. L'écart moyen des différences de mesure en salinité est de 0,0014 PSU et présente un écart-type de 0,013 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 4, 6, 15, 17, 19, 29, 33, 34, 37, 42, 43, 46 et 47. La station test montre de très bons résultats avec un écart type de 0,0003 PSU (figure 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.

D'autre part, le salinomètre a présenté une défaillance pendant la campagne, ainsi les salinités supérieures à 36,2 PSU concernant les stations 1 à 11 sont douteuses et ont été éliminées pour l'ajustement (soit 55 échantillons).

L'évaluation détaillée de ces erreurs est présentée dans le rapport chimie de la mission (Baurand, 2014).

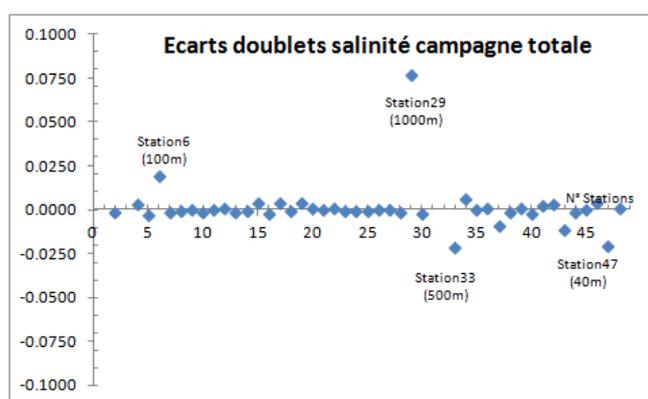


Figure 3: Ecart de salinité entre deux bouteilles fermées au même niveau en fonction du numéro de station (Baurand, 2014).

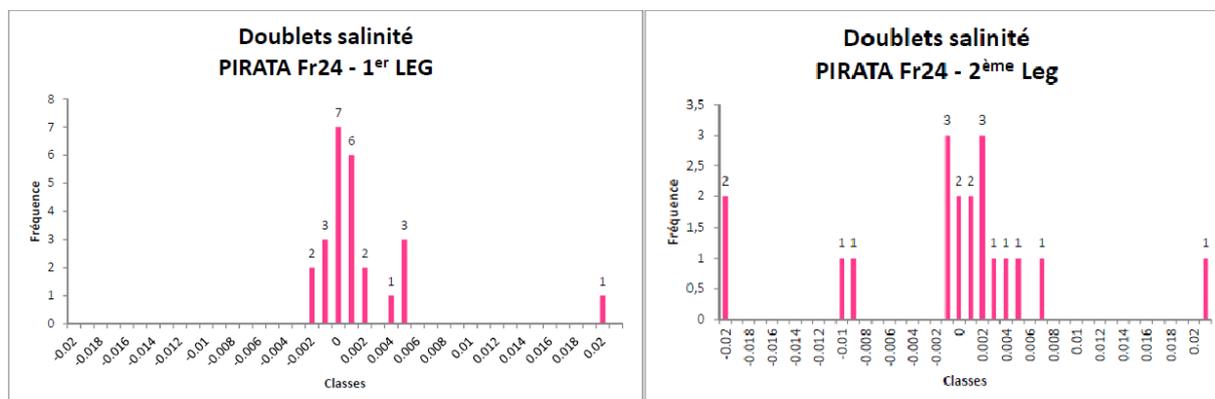
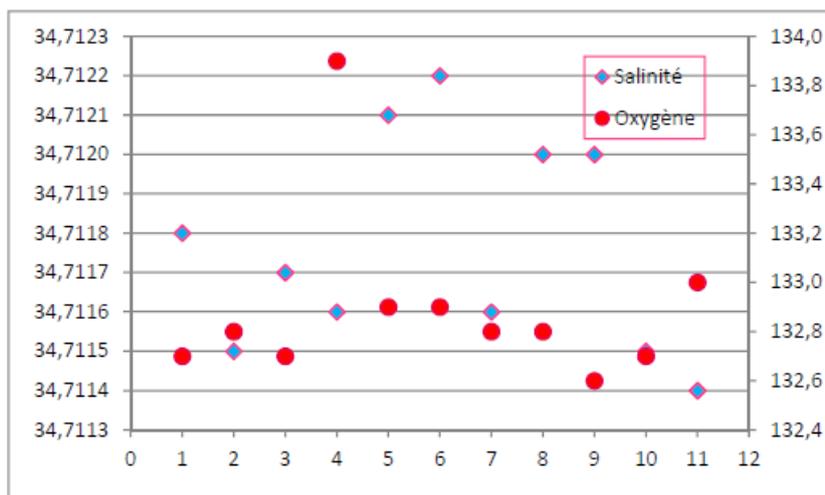


Figure 4: Histogramme des écarts de salinité sur les doublets (Baurand, 2014)



	Station 01	
	1000 Mètres	
	SALINITE	OXYGENE
Nombre de niveaux	11	11
Moyenne	34,7118	3,057 mL.L ⁻¹ 132,9 ₁ μM.Kg ⁻¹
Ecart type	0,0003	0,008 mL.L ⁻¹ 0,4 μM.Kg ⁻¹
Résultats douteux		Bouteille N°4

Figure 5 : Ecart en salinité et oxygène des prélèvements effectués lors de la station test (Baurand, 2014).

Les figures 6 et 7 présentent les écarts et l’histogramme obtenus sur les doublets en oxygène. Les écarts d’oxygène entre les doublets présentent une moyenne de 0,2 μmol.kg⁻¹ avec un écart-type de 1,8 μmol.kg⁻¹. La station test présente de très bons résultats avec un écart-type de 0,4 μmol.kg⁻¹ (figure 5).

Suite à l’inspection de ces mesures, 3 échantillons ont été exclus de l’ajustement en oxygène de manière à ne pas biaiser le calcul (annexe 5).

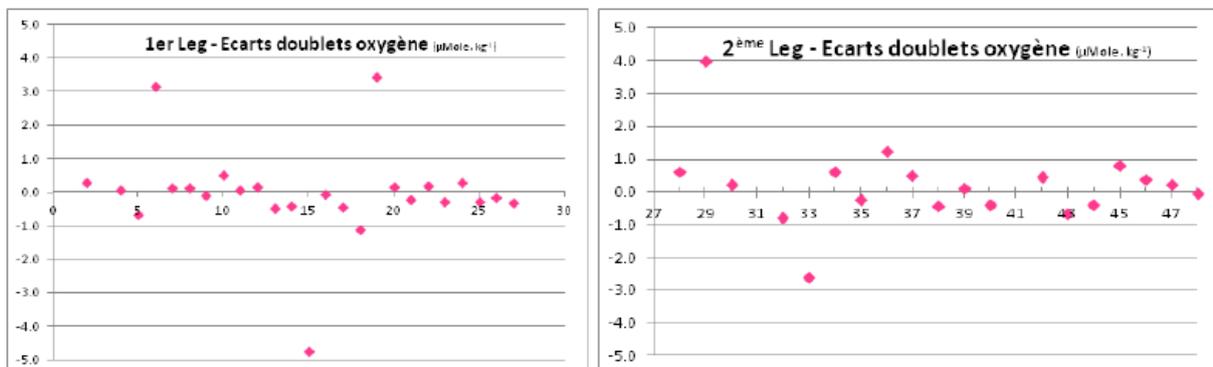


Figure 6 : Ecart en oxygène dissous entre deux bouteilles fermées au même niveau en fonction du numéro de station (Baurand, 2014).

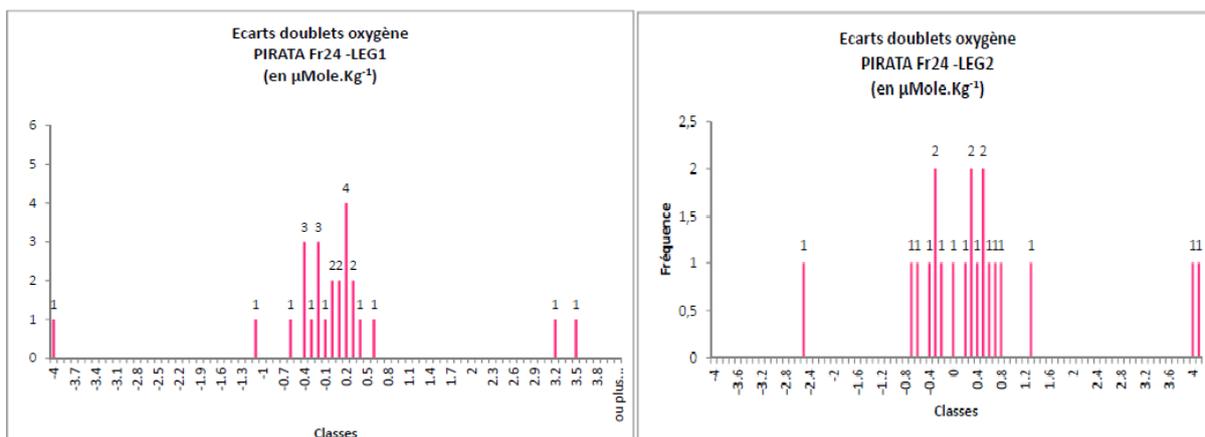


Figure 7 : Histogramme des écarts en oxygène sur les doublets (Baurand, 2014).

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 :

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 16/92

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

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, 65 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 négativement, la sonde de conductivité a donc tendance à surestimer la conductivité réelle. En outre, presque 20% 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 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.

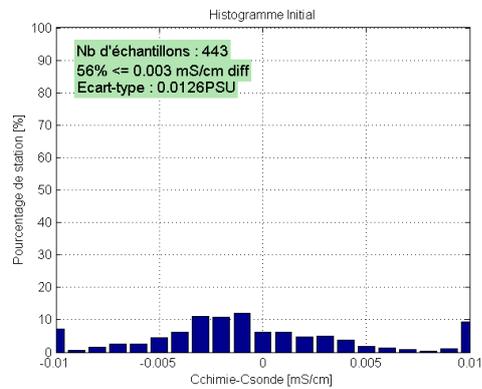


Figure 8 : Histogramme des écarts en conductivité avant ajustement.

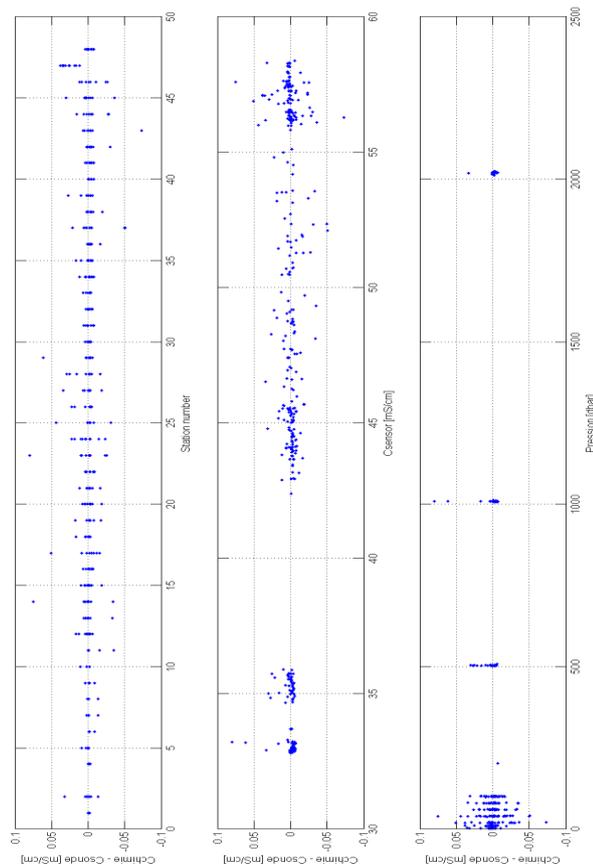


Figure 9 : Écarts en conductivité (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations avant ajustement.

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	1-15	16-27	28-48
Nombre d'échantillons considérés [avec poids]	99	128 [154]	216 [256]
Nombre d'échantillons retenus par le calcul	75 (75.9%)	104 (67.5%)	210 (82%)
Ecart-type (mS/cm)	0,0015	0,0011	0,0026
Degré polynôme t	2	2	2
Degré polynôme C	1	2	1
Degré polynôme P	-	-	-
Poids	-	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 10 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 11 confirme que la distribution des écarts est satisfaisante. Ainsi sur les 443 mesures chimiques initiales, 327 ont été retenues pour l'ajustement des profils (74% 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 0,0019 PSU et 92% des écarts sont inférieurs à 0,003 PSU, ce qui correspond aux normes internationales.

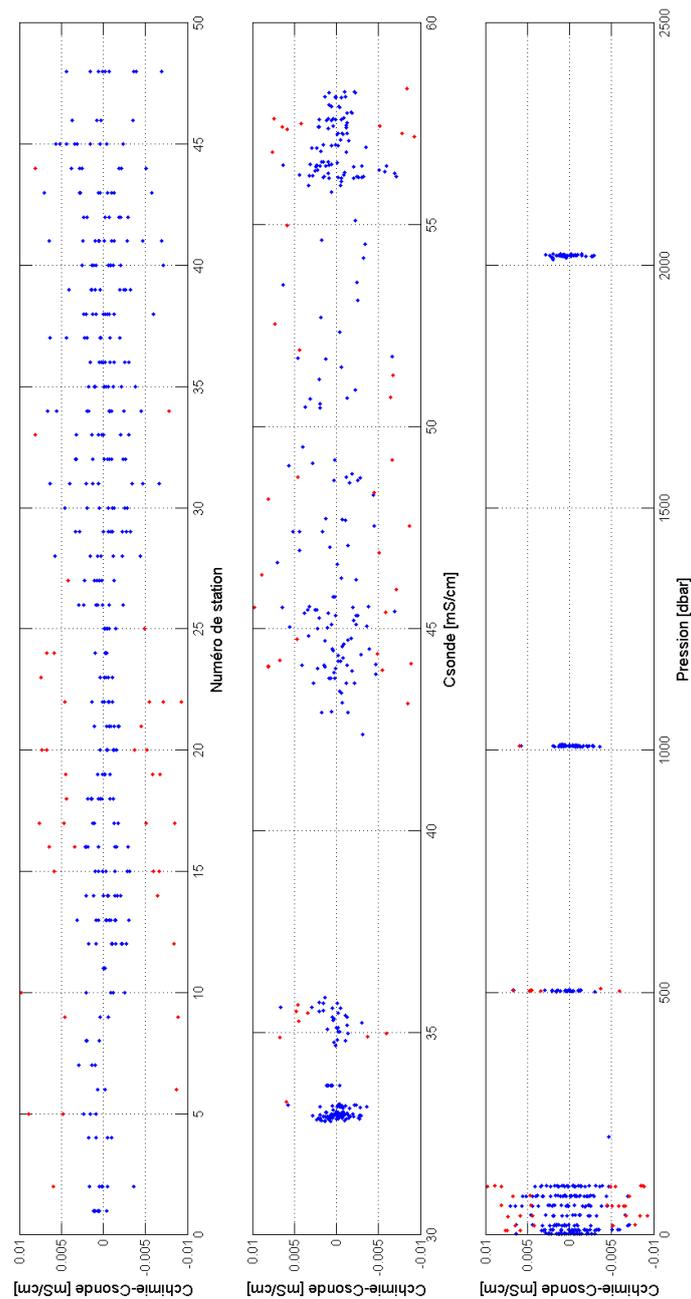


Figure 10 : Ecarts en conductivité (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations après ajustement.

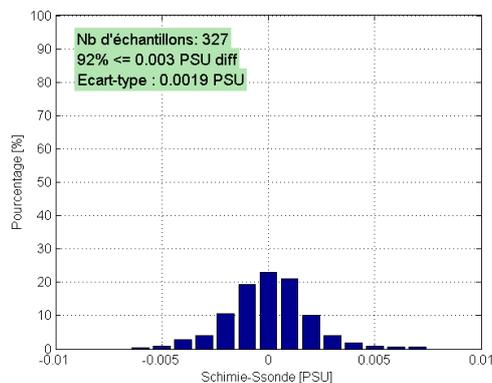


Figure 11 : Histogramme des écarts en salinité après ajustement.

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 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

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 21/92

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, 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 14, 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.

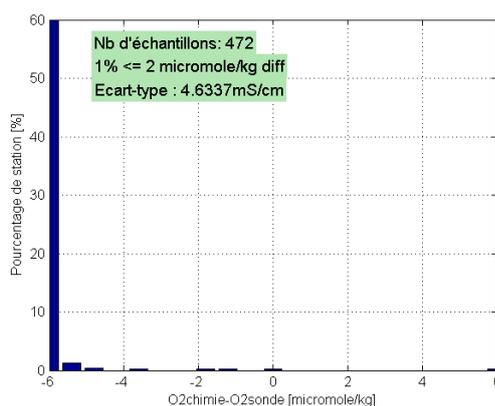


Figure 12 : Histogramme des écarts en oxygène dissous avant ajustement.

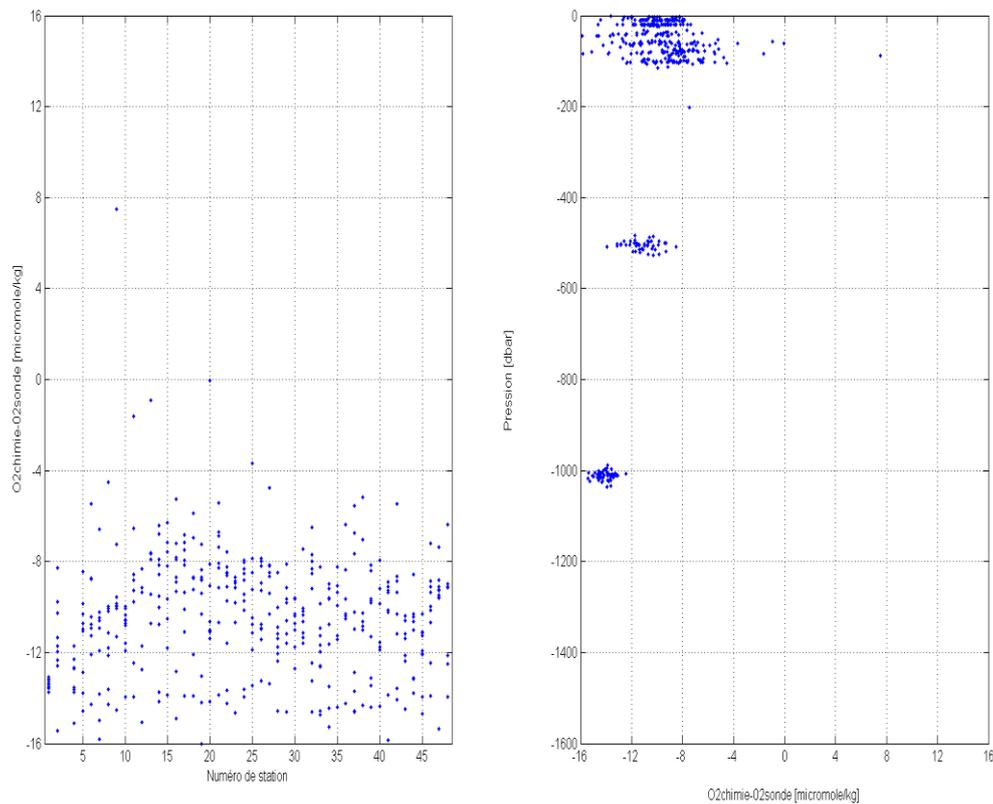


Figure 13 : Ecart en oxygène dissous (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations avant ajustement.

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 ainsi appliqués.

Groupes de stations	1-15	16-27	28-32	33-42	43-48
Nombre d'échantillons considérés	142	125	48	96	61
Nombre d'échantillons retenus par le calcul	127 (89.4%)	113 (90.4%)	46 (95.8%)	88 (91.7%)	55 (90.2%)

Ecart-type ($\mu\text{mol/kg}$)	1,07	0,93	1,02	1,41	0,94
Soc	0,4771	0,4693	0,4752	0,4779	0,4718
Voffset	-0,5204	-0,5170	-0,5193	-0,5189	-0,5104
Tau_20	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
E	0,0384	0,0390	0,0379	0,0373	0,0378
Dépendance linéaire Soc	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Procédure de minimisation	L2	L2	L1	L2	L1

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

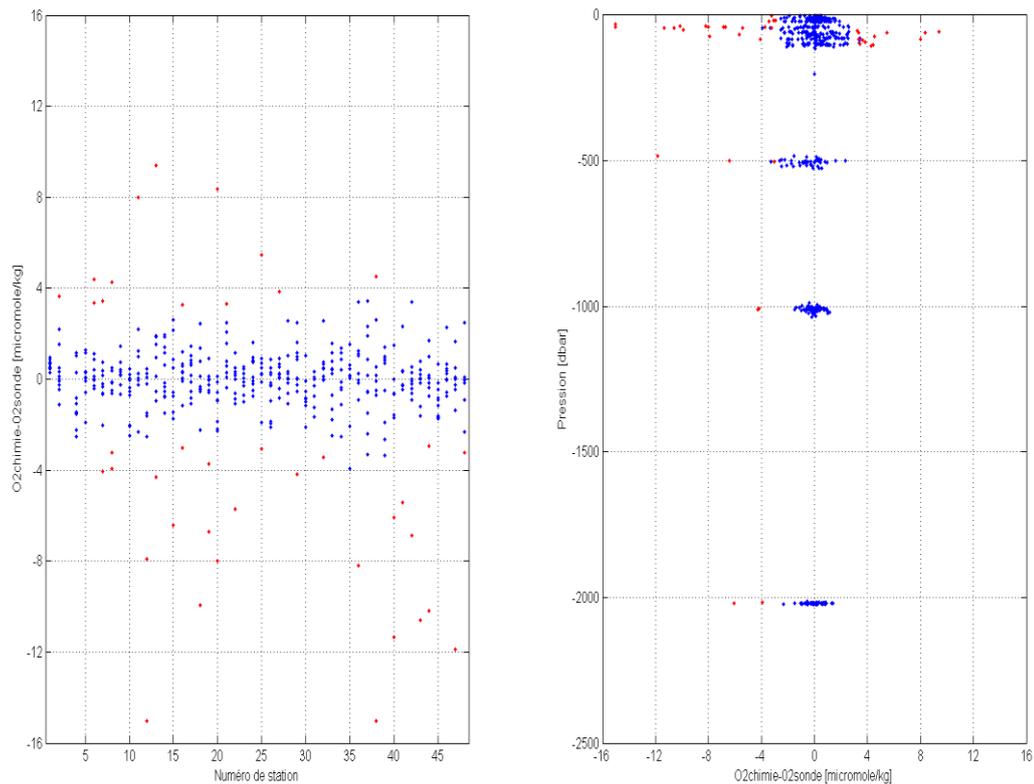


Figure 14 : Ecarts en oxygène dissous (chimie-sonde) sur l'ensemble des stations après ajustement.

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 472 mesures chimiques initiales, 429 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 1,09 $\mu\text{mol/kg}$ et 92,1% des écarts sont inférieurs à 2 $\mu\text{mol/kg}$, ce qui répond aux normes internationales.

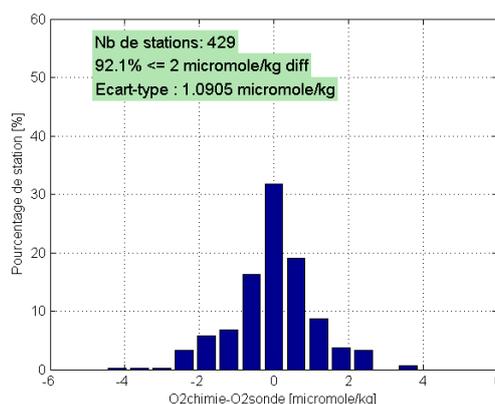


Figure 15 : Histogramme des écarts en oxygène dissous après ajustement.

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 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 7. 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

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 25/92

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
 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

Laboratoire :	US191	RAPPORT DE CALIBRATION
Implantation :	Brest	Version 01 Page 26/92

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 [$\mu\text{mol/kg}$]
OXYK_QC :	Code qualité concentration en oxygène dissous
FLU2 :	Fluorescence [mg/m^3]
FLU2_QC :	Code qualité fluorescence
TUR3 :	Transmission lumineuse [%]
TUR3_QC :	Code qualité transmission lumineuse
BOTTLE_NUMBER :	Numéro de bouteille
CHPRES :	Chimie - Pression de la mer capteur
CHPRES_QC :	Chimie - Code qualité pression de la mer capteur
CHTEMP :	Chimie – Température in situ ITS-90 capteur
CHTEMP_QC :	Chimie – Code qualité température in situ ITS-90 capteur
CHPSAL :	Chimie – Salinité PSS78 bouteille
CHPSAL_QC :	Chimie – Code qualité salinité PSS78 bouteille
CHSAL :	Chimie - Salinité PSS78 capteur
CHSAL_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 [$\mu\text{mol/kg}$]
CHOXYKB_QC :	Chimie – Code qualité concentration en oxygène bouteille [$\mu\text{mol/kg}$]
CHOXYKP :	Chimie – Concentration en oxygène dissous capteur [$\mu\text{mol/kg}$]
CHOXYKP_QC :	Chimie – Code qualité concentration en oxygène capteur [$\mu\text{mol/kg}$]
CHTMPOB :	Chimie – Température bouteille ITS-90
CHTOMB_QC :	Chimie – Code qualité température bouteille ITS-90

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 27/92

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 8.

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 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 6.

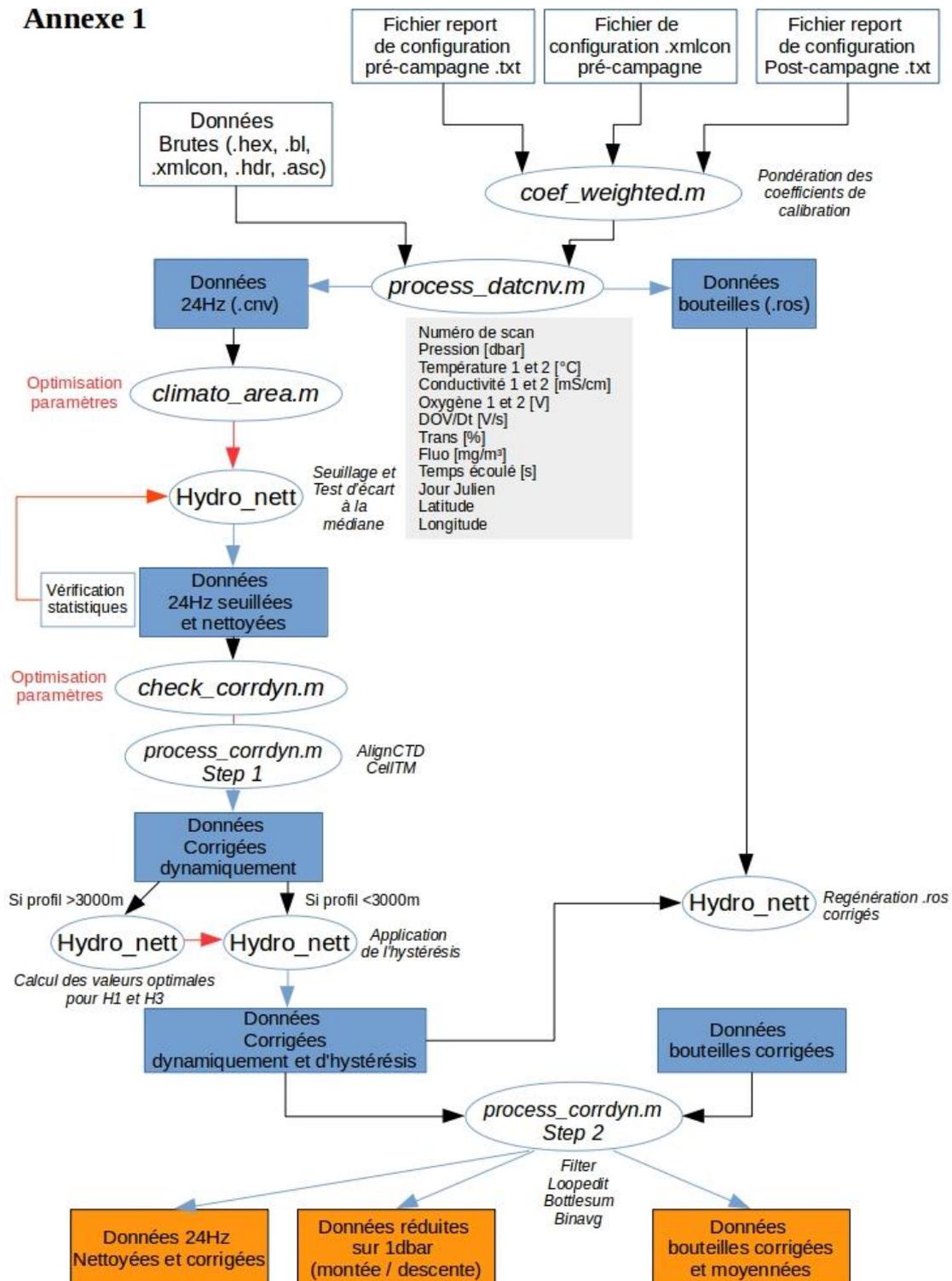
Un contrôle qualité des données a été effectué en comparant les diagrammes θ -S et θ -O₂ entre stations successives, afin de vérifier s'il n'y avait pas de sauts entre profils successifs liés à la calibration. Les profils et diagrammes des données réduites de chaque station sont présentés ici en annexe. Les données avec un code « 3 » et « 4 » n'ont pas été affichées. Les analyses chimiques y sont également présentées (en 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. (2014). *Rapport Chimie Campagne PIRATA-FR24 – Rapport de fin de mission*. IRD IMAGO
- Culbertson 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.

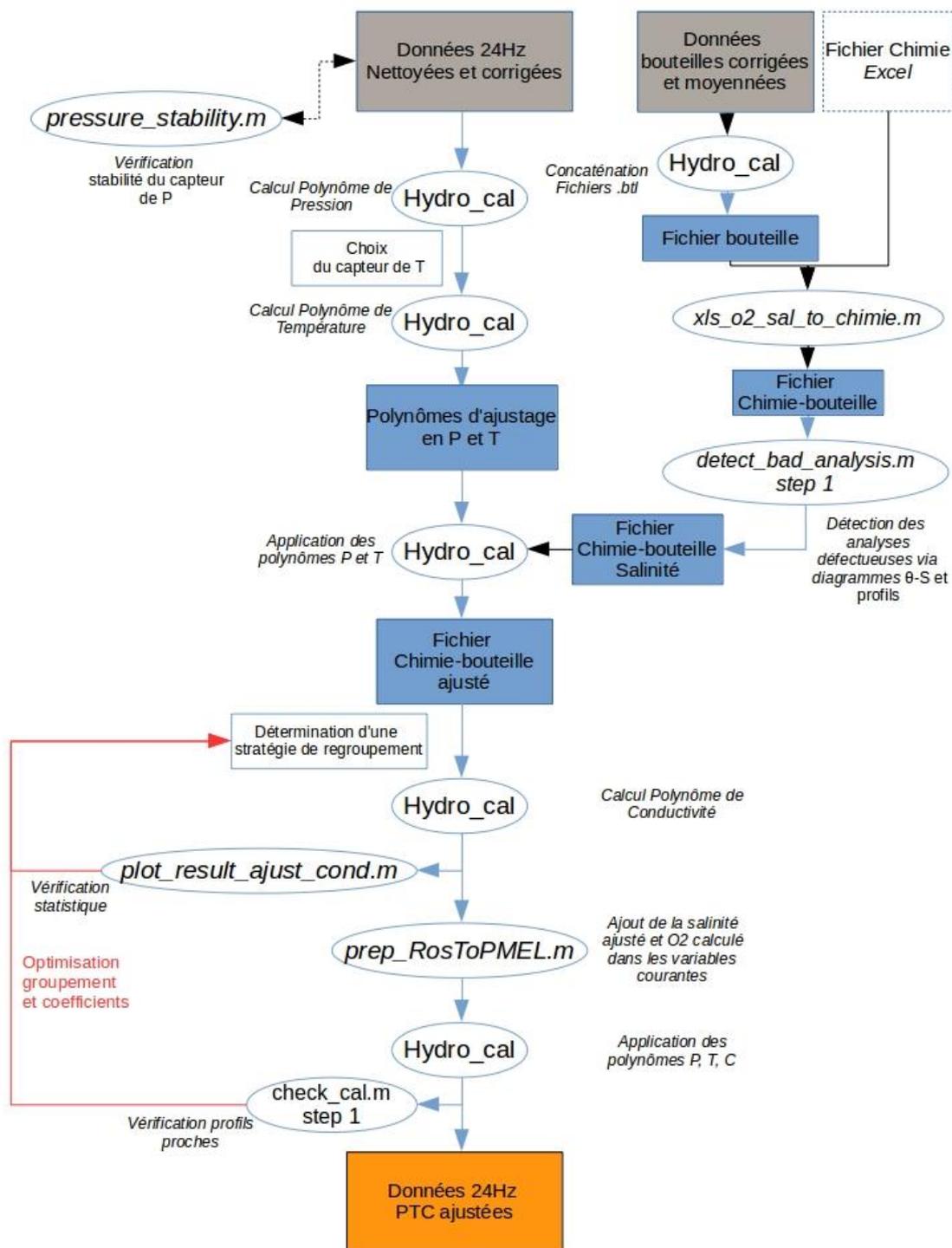
6. Annexe 1 - Procédure de traitement schématisée

Annexe 1



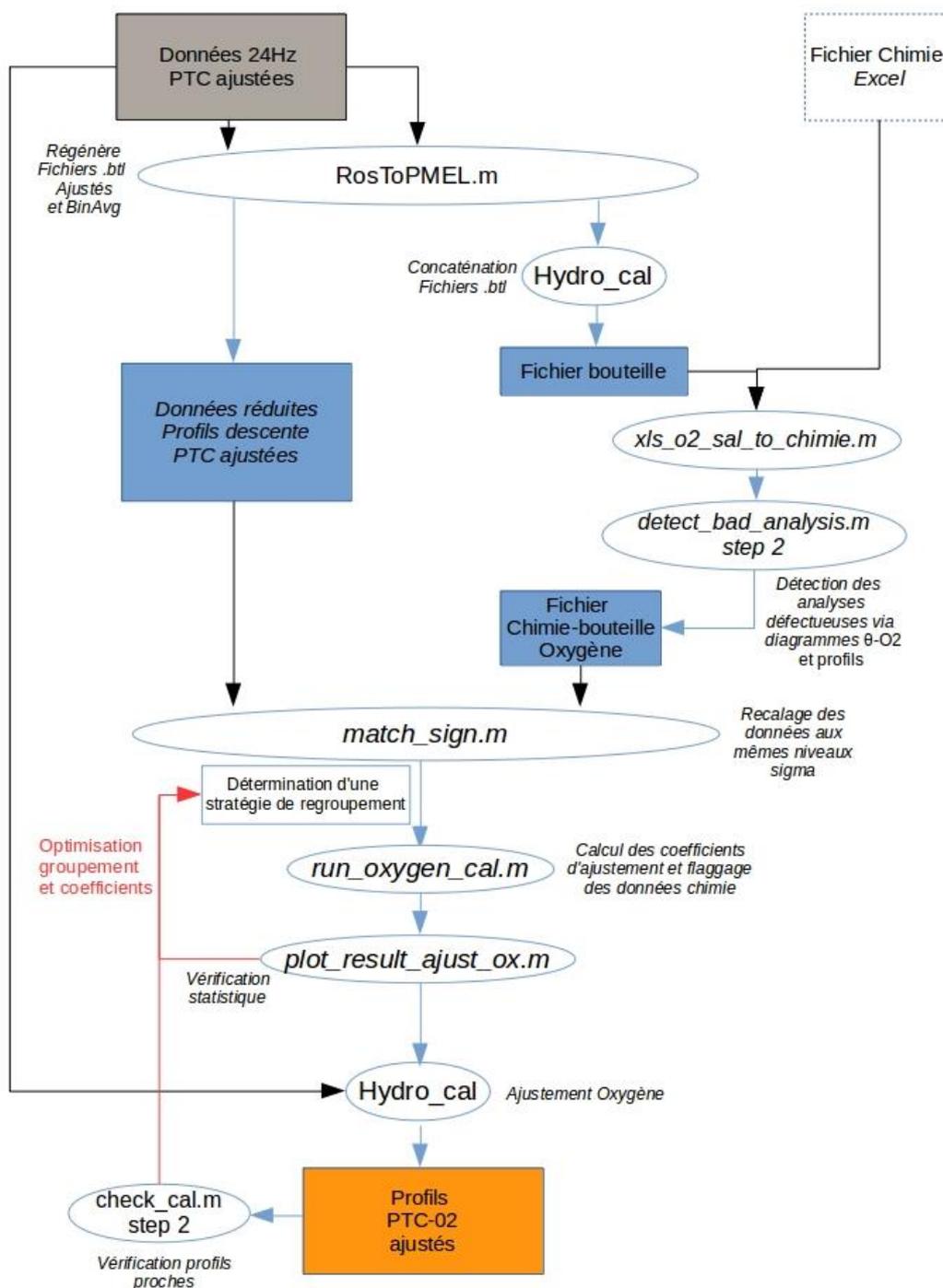
Chaîne de traitement : Préparation des mesures

Annexe 1



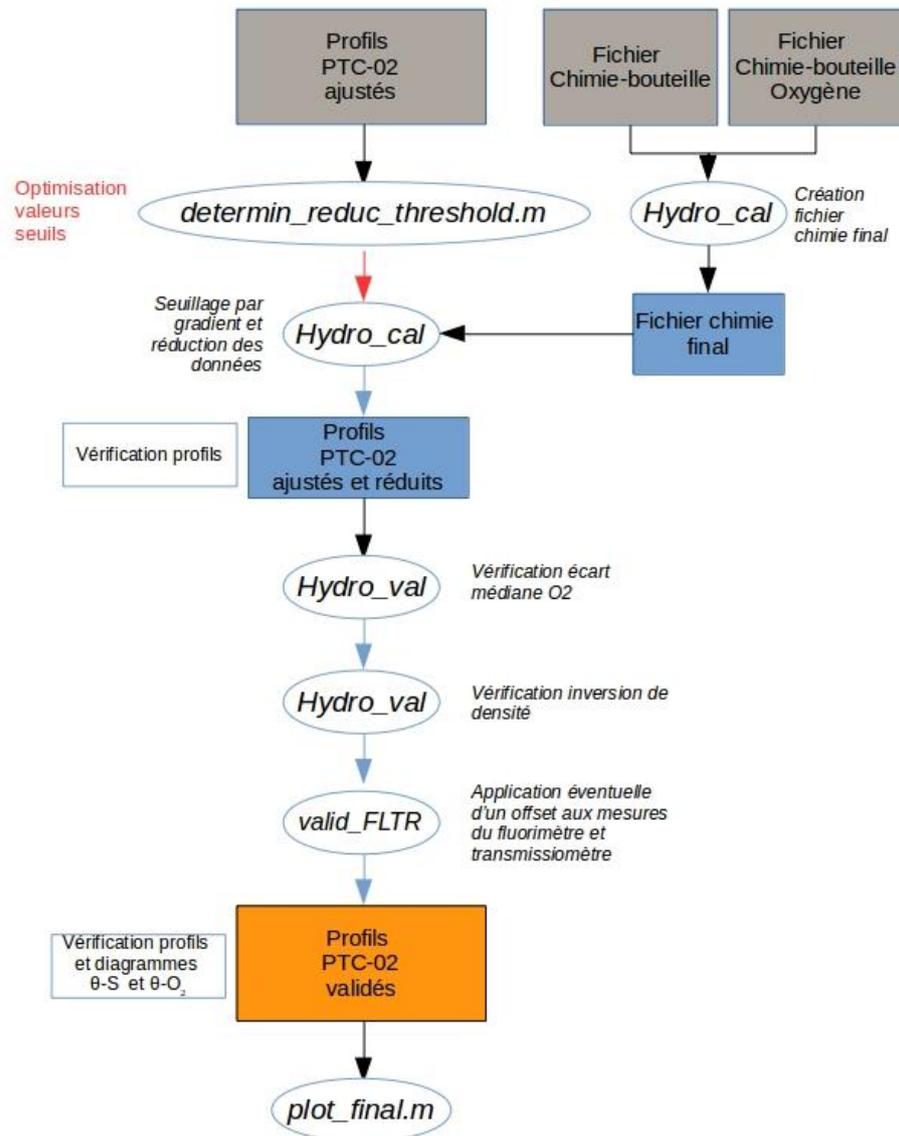
Chaîne de traitement : Ajustement des mesures PTC

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 33/92

7. Annexe 2 - Date et position des stations CTD-0₂ effectuées pendant PIRATA-FR24

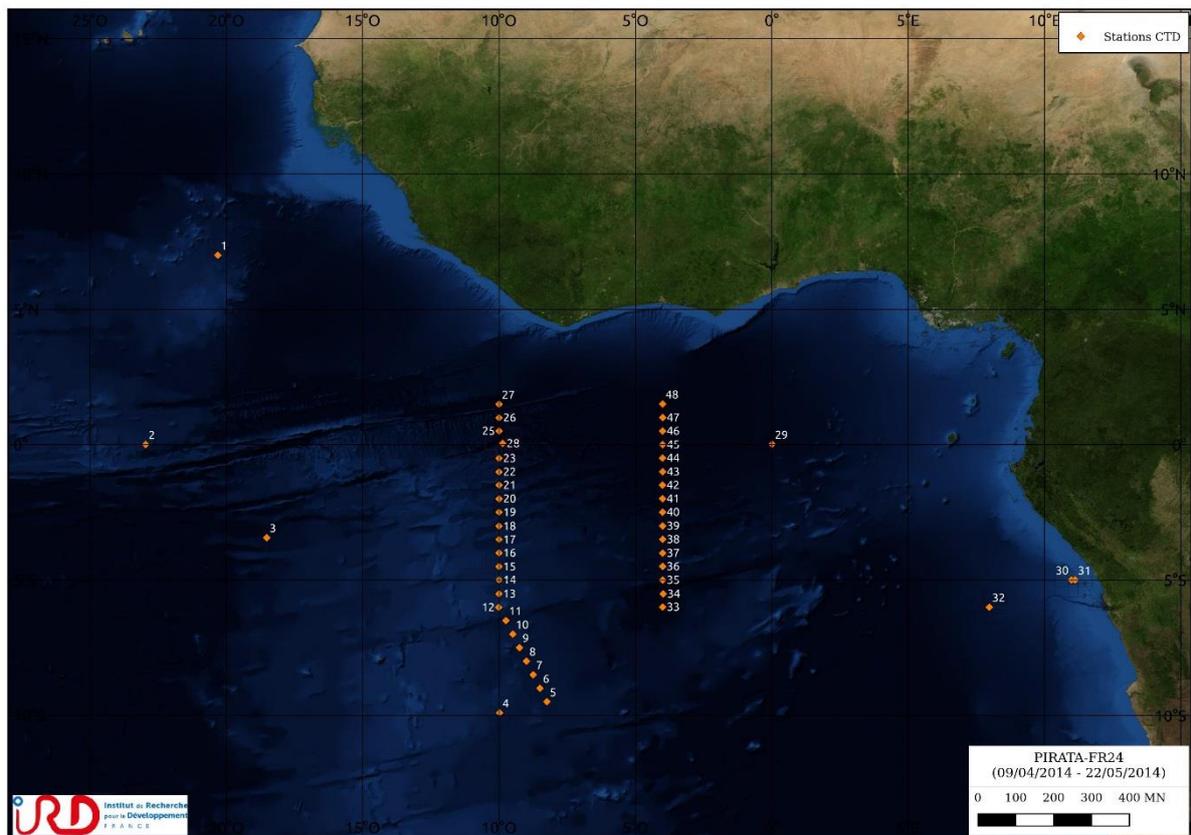
Station	Date	Heure	Latitude	Longitude	Pres. max. [dbar]	Fond
	1 12/04/2014	08:25:23	06°59.99 N	020°19.01 W	1038	3754
	2 14/04/2014	19:35:31	00°00.15 N	022°57.82 W	2021	3914
	3 16/04/2014	07:12:26	03°26.36 S	018°31.34 W	4258	4578
	4 19/04/2014	20:39:11	09°54.68 S	009°58.94 W	2021	3500
	5 21/04/2014	14:40:27	09°29.95 S	008°14.88 W	2021	3970
	6 21/04/2014	20:18:37	09°00.03 S	008°30.01 W	2023	4208
	7 22/04/2014	01:30:09	08°30.08 S	008°45.03 W	2022	4208
	8 22/04/2014	06:55:59	08°00.08 S	008°59.88 W	2022	4208
	9 22/04/2014	11:40:05	07°30.16 S	009°15.02 W	2021	3955
	10 22/04/2014	16:51:20	07°00.00 S	009°29.79 W	2022	3955
	11 22/04/2014	22:12:43	06°29.89 S	009°44.84 W	2021	4230
	12 23/04/2014	18:06:26	06°00.71 S	010°00.71 W	2021	4230
	13 24/04/2014	00:15:54	05°30.77 S	010°00.42 W	2026	4230
	14 24/04/2014	05:20:52	05°00.03 S	009°59.98 W	2021	4230
	15 24/04/2014	10:23:06	04°30.28 S	010°00.25 W	2022	3695
	16 24/04/2014	15:05:33	04°00.06 S	010°00.23 W	2022	3695
	17 24/04/2014	20:00:38	03°30.26 S	010°00.09 W	2022	3811
	18 25/04/2014	00:56:22	03°00.73 S	010°00.19 W	2021	3811
	19 25/04/2014	06:07:21	02°29.93 S	010°00.07 W	2024	3811
	20 25/04/2014	12:28:19	02°00.05 S	010°00.04 W	2023	3811
	21 25/04/2014	17:33:55	01°29.87 S	010°00.04 W	2022	2000
	22 25/04/2014	22:24:18	01°00.62 S	010°00.17 W	2022	4265
	23 26/04/2014	03:27:18	00°30.27 S	010°00.16 W	2021	4265
	24 26/04/2014	23:35:54	00°02.47 N	009°52.65 W	2026	5170
	25 27/04/2014	04:26:28	00°30.09 N	009°59.98 W	2023	2000
	26 27/04/2014	09:17:19	00°59.70 N	010°00.08 W	2022	4630
	27 27/04/2014	13:58:15	01°29.49 N	010°00.10 W	2022	4630
	28 03/05/2014	20:21:11	00°02.62 N	009°52.18 W	2021	5170
	29 07/05/2014	17:49:58	00°00.64 N	000°00.83 E	2022	4910
	30 10/05/2014	22:00:21	05°00.04 S	010°59.66 E	506	3484
	31 10/05/2014	23:34:57	05°00.08 S	011°07.68 E	203	1247
	32 12/05/2014	17:39:05	06°00.37 S	007°58.80 E	2021	4102
	33 15/05/2014	14:19:01	06°00.03 S	003°59.91 W	2022	4586
	34 15/05/2014	20:04:53	05°30.96 S	003°58.88 W	2024	5245
	35 16/05/2014	01:52:27	05°00.19 S	003°59.93 W	2024	4168
	36 16/05/2014	07:35:17	04°29.87 S	004°00.09 W	2022	4707
	37 16/05/2014	13:21:40	04°00.41 S	003°59.98 W	2021	4556
	38 16/05/2014	19:21:23	03°29.84 S	003°59.95 W	2029	4791

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 34/92

39	17/05/2014	01:22:38	03°00.31	S	004°00.01	W	2021	4634
40	17/05/2014	07:05:23	02°29.78	S	004°00.19	W	2022	4798
41	17/05/2014	12:58:30	01°59.81	S	004°00.22	W	2023	4965
42	17/05/2014	18:34:15	01°29.84	S	004°00.35	W	2022	5051
43	18/05/2014	00:12:54	01°00.13	S	003°59.98	W	2023	5059
44	18/05/2014	06:38:21	00°29.68	S	004°00.09	W	2023	5118
45	18/05/2014	12:30:32	00°00.01	N	004°00.12	W	2022	5114
46	18/05/2014	18:27:31	00°30.12	N	004°00.14	W	2023	5105
47	19/05/2014	00:03:58	01°00.04	N	003°59.89	W	2022	5088
48	19/05/2014	05:57:44	01°30.12	N	003°59.93	W	2023	5050

8. Annexe 3 - Carte des stations CTD-0₂ effectuées pendant la campagne PIRATA-FR24



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 37/92

10. Annexe 5 – Analyses chimiques

Bottle ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Remarques
Station	Profondeurs d'échantillonnage [m]											
1	1009	1009	1009	1009	1009	1009	1009	1009	1009	1009	1009	Bouteille 1 fuit en bas, Bouteille 5 petite fuite en bas, Robinet 11 cassé
2	2020	2020	1005	503	100	80	60	40	20	10	2	
3												
4	2000	999	999	500	100	80	60	40	20	10	3	Bouteille 2 joint du bas cassé, Bouteille 4 joint du bas et robinet cassé
5	2020	1011	503	501	101	81	60	41	21	10	3	
6	2019	1009	503	102	102	82	60	40	20	10	2	
7	2021	1008	505	99	81	80	60	42	19	10	3	Bouteille 5 légère fuite
8	2015	1009	503	101	80	60	60	40	20	10	2	
9	2015	1008	504	100	80	60	40	41	19	11	3	
10	2020	1009	504	101	80	60	40	20	20	10	2	
11	2019	1009	504	100	80	60	40	20	10	10	3	
12	2020	1009	504	102	80	61	40	20	10	2	2	Bouteille 11 02 fait par Elisée
13	2021	2023	1009	502	101	80	61	40	20	11	4	
14	2020	1009	1009	504	100	80	60	40	20	10	2	Bouteille 3 petite fuite en bas, Bouteille 10 prise d'air mal fermée
15	2020	1007	503	504	101	80	60	40	20	10	2	
16	2021	1008	505	100	100	80	60	40	20	10	2	
17	2020	1010	503	101	80	80	60	40	20	10		
18	2021	1008	502	101	80	61	61	40	20	10	3	
19	2021	1009	504	100	81	60	41	40	20	10	2	
20	2021	1007	510	102	81	60	39	20	20	10	4	
21	2021	1008	503	101	81	60	41	20	10	10	2	
22	2020	1007	502	100	80	60	40	20	10	3	3	
23	2020	2020	1008	504	101	80	60	41	20	10	2	
24	2023	1008	1009	504	99	79	60	40	19	10	3	
25	2021	1009	504	504	101	80	60	40	19	9	2	
26	2019	1007	504	100	100	80	60	40	20	10	3	
27	2021	1008	504	101	79	79	61	40	20	10	3	
28	1999	1998	1000	501	101	80	60	40	20	10	2	Bouteille 3 légère fuite
29	2000	1001	1001	500	101	80	60	40	20	10	3	
30	501	500	100	80	60	40	19	10	2			Bouteille 1 et 3 fuite
31	200	99	80	59	40	19	10	2				Bouteille 3 mal fermée
32	2000	1000	1000 (O2)	499	100	80	60	40	20	10	2	Bouteille 3 fuite
33	2000	1000	500	500	100	80	60	40	20	10	4	

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 38/92

34	2001	1000	500	101	101	80	59	39	20	10	2	
35	2002	1000	501	100	80	80	60	40	20	10 (S)	3 (S)	
36	1999	999	501	100	80	60	60	39	20	10	3	
37	1993	1000	500	102	79	59	40	40	20	10	2	
38	2002	1000	500	100	80	60	40	20	20	10	2	
39	1999	1000	500	100	80	60	40	20	10	10	3	
40	2000	1001	500	99	80	60	40	20	10	2	2	
41	2000	2000	1000	500	99	80	59	41	20	10	3	
42	2000	1000	1000	500	100	80	60	40	20	10	2	Bouteille 4 température bouteille incertaine
43	2001	1000	500	500	100	81	60	41	21	10	3	
44	2001	1000	500	99	99	80	60	40	20	10	3	
45	1999	1000	500	100	80	80	60	40	20	9	3	Bouteilles 8 et 10 prises d'air non fermée
46	2000 (O2)	1000 (O2)	499	100	80	60	60	41	20	10	3	
47	2000	1000	501	100	80	60	40	40	20	10	4	
48	2000	1000	500	100	80	60	40	20	20	10	2	Bouteilles 1 et 3 légère fuite

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

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

11. Annexe 6 – Détection des inversions de densité.

Station	Profil descente (niveaux rejetés [db.])
001	115, 941
002	793
003	671, 672
004	77, 237, 262, 526, 751, 831, 922, 1095, 1101
005	3
006	3, 60, 68, 315, 350, 549, 827
007	75, 86, 429, 662, 904
008	505
009	619, 620, 662, 819, 1315, 1331
010	70, 184, 208, 719, 776
011	3, 600
012	145, 300, 395, 813, 814, 821, 836, 837, 899, 913, 1365
013	237, 336, 650, 773, 1222, 1455
014	89, 97, 101, 147, 390, 451, 469, 820
015	
016	402, 460, 507, 516, 524, 525, 563, 708, 763, 1331, 1346
017	86, 119, 422, 428, 429, 443, 475, 487, 493, 500, 513, 514, 866, 892, 899, 1220, 1221, 1242, 1649
018	64, 93, 98, 174, 195, 214, 292, 473, 637, 739, 1157, 1245, 1405
019	87, 167, 208, 282, 455, 486, 641, 668, 1052, 1228, 1848
020	63, 251, 252, 346, 406, 407, 547, 688, 1136
021	172, 208, 362, 1091, 1099, 1123
022	262, 395, 429, 430, 445, 498, 648, 806, 807, 960, 1118
023	474, 660, 1219, 1382, 1408
024	332, 362, 730, 1088
025	3, 388, 770, 771, 869, 1075
026	
027	116, 391, 392, 409, 1201
028	
029	232, 311, 1287, 1318, 1326, 1435
030	372
031	35, 43
032	152, 221, 291, 292, 300, 330, 346, 405, 406, 553, 554, 581, 646, 849, 931, 1158
033	21, 31, 881
034	84, 97, 192, 193, 258, 751, 860, 1122
035	240, 317, 344, 397, 398, 675, 798
036	343, 421, 631, 1047, 1228
037	
038	464, 477, 478, 511, 592, 935
039	467, 661, 778
040	302, 590, 678, 1051
041	
042	50, 118
043	1189

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 40/92

044	489, 675, 1480
045	501
046	
047	196, 1156, 1205
048	86, 463

Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 41/92

12. Annexe 7 – Offset profils transmissiomètre.

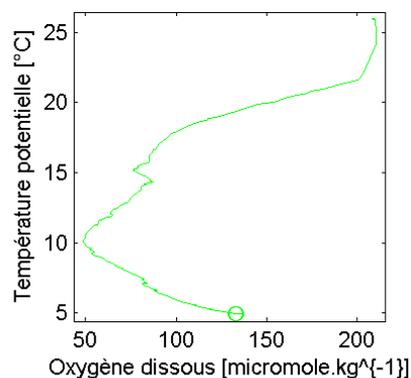
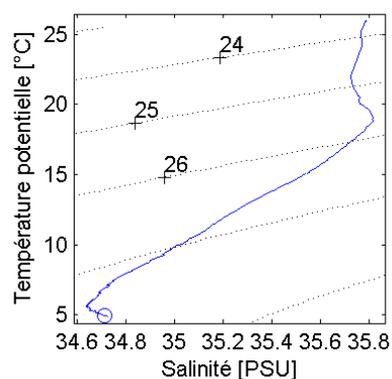
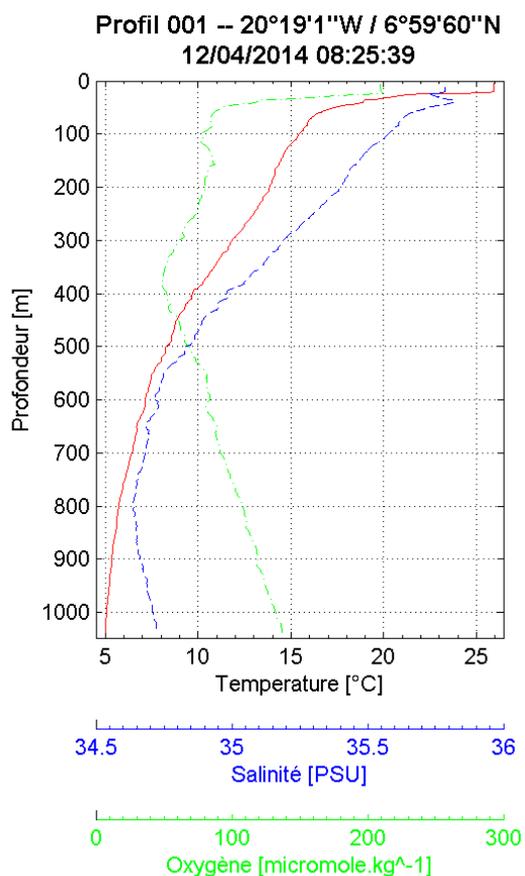
Station	Offset transmissiomètre
001	- 3.1589
002	- 3.1899
003	- 3.2622
004	- 3.4031
005	- 3.4115
006	- 3.3818
007	- 3.3955
008	- 3.3838
009	- 3.3838
010	- 3.3376
011	- 3.3207
012	- 3.3207
013	- 3.3064
014	- 3.3561
015	- 3.3260
016	- 3.2468
017	- 3.2586
018	- 3.2138
019	- 3.2752
020	- 3.0779
021	- 3.1143
022	- 3.1911
023	- 3.1638
024	- 3.2551
025	- 3.2253
026	- 3.2401
027	- 3.1844
028	- 3.0802
029	- 2.5963
030	- 2.2740
031	- 2.2547
032	- 2.6294
033	- 2.5762
034	- 2.5332
035	- 2.3589
036	- 2.4143
037	- 2.2956
038	- 2.3035
039	- 2.3049
040	- 2.3360
041	- 2.2216
042	- 2.2550
043	- 2.2735
044	- 2.3035
045	- 2.3102
046	- 2.3023

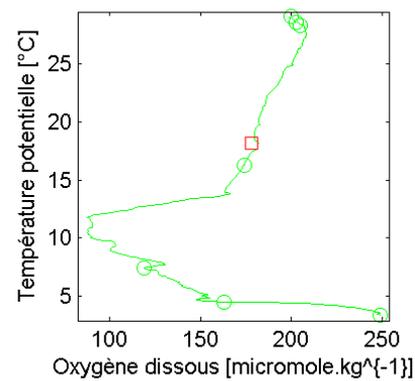
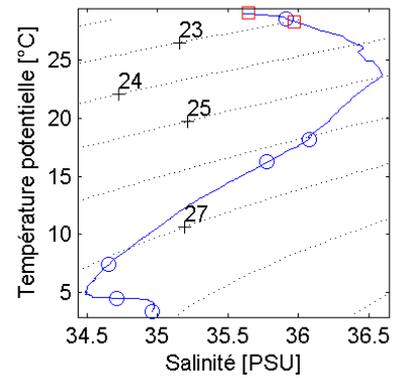
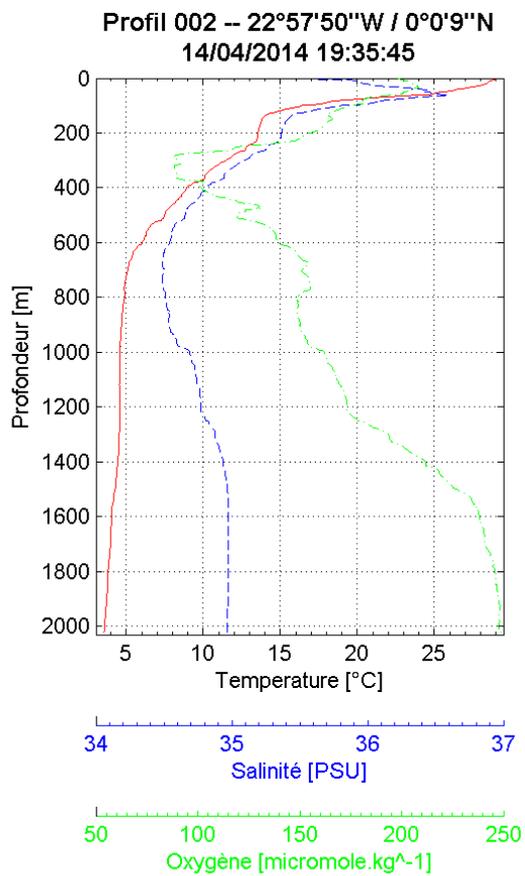
Laboratoire : US191
Implantation : Brest

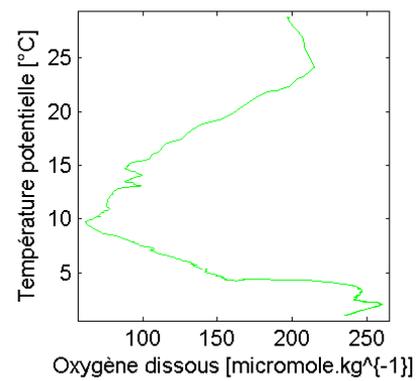
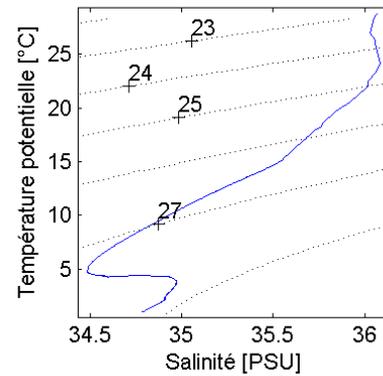
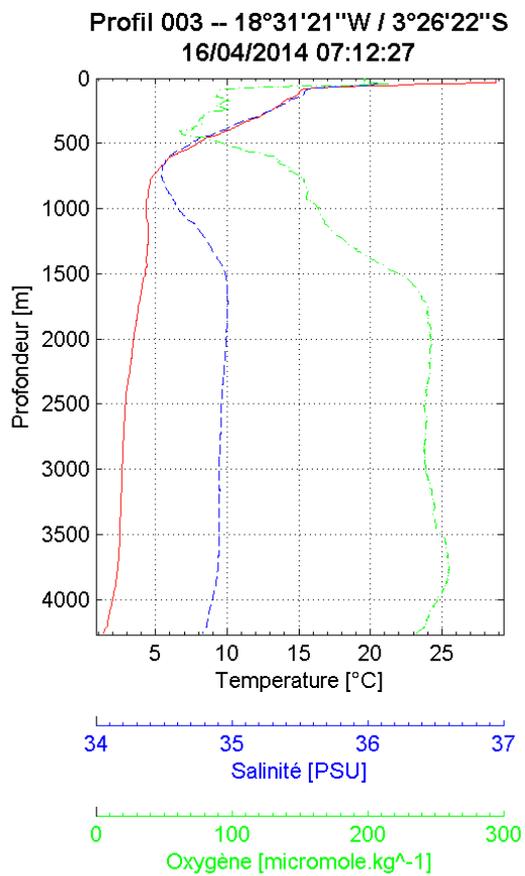
RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 42/92

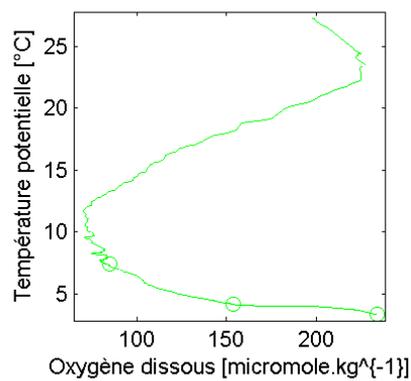
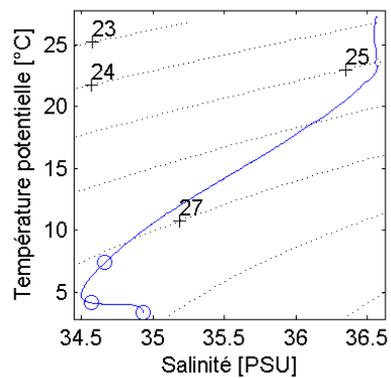
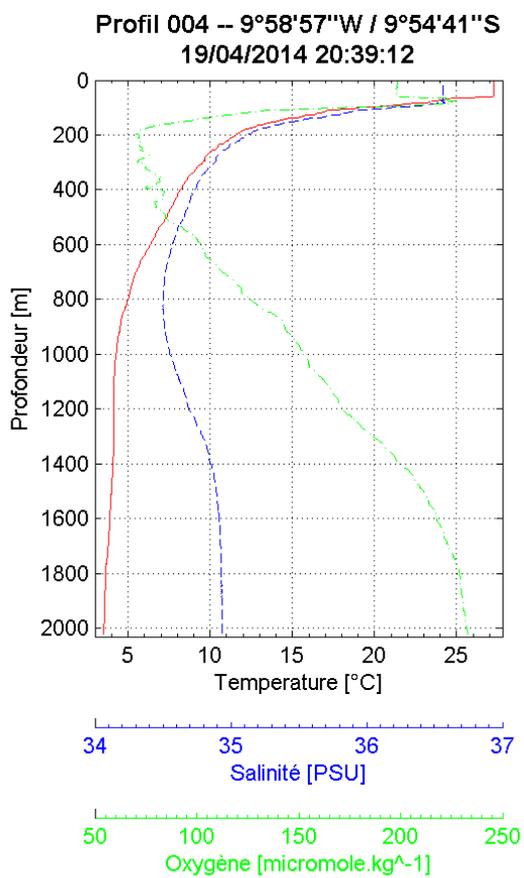
047	- 2.3873
048	- 2.4143

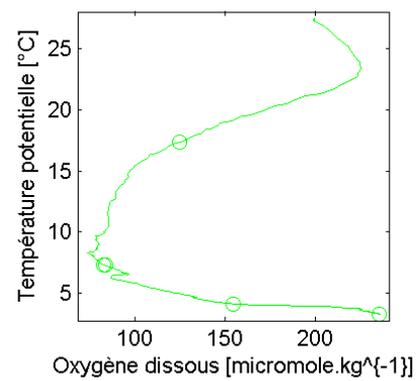
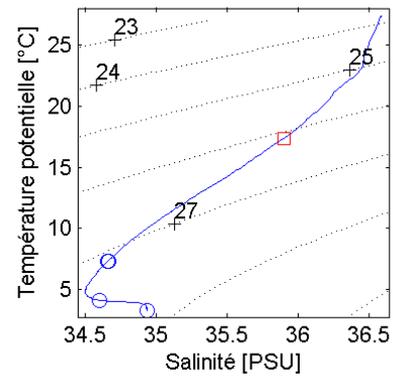
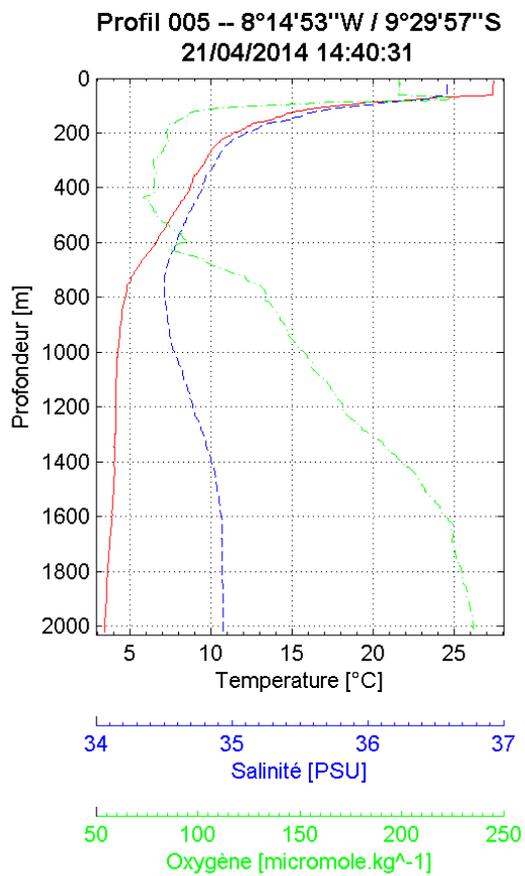
13. Annexe 8 – Profils ajustés et réduits sur 1dbar

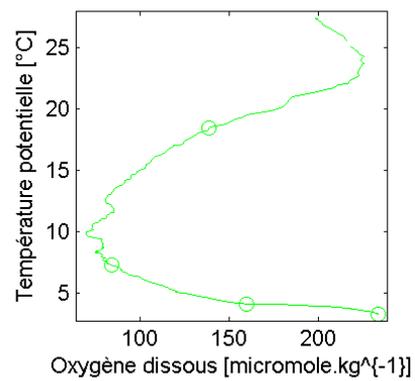
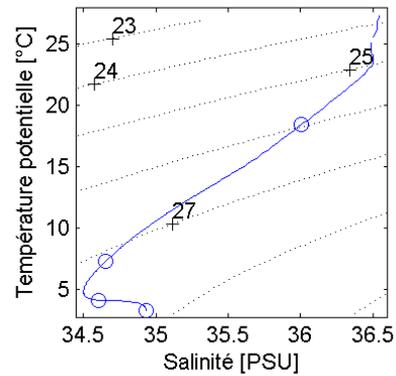
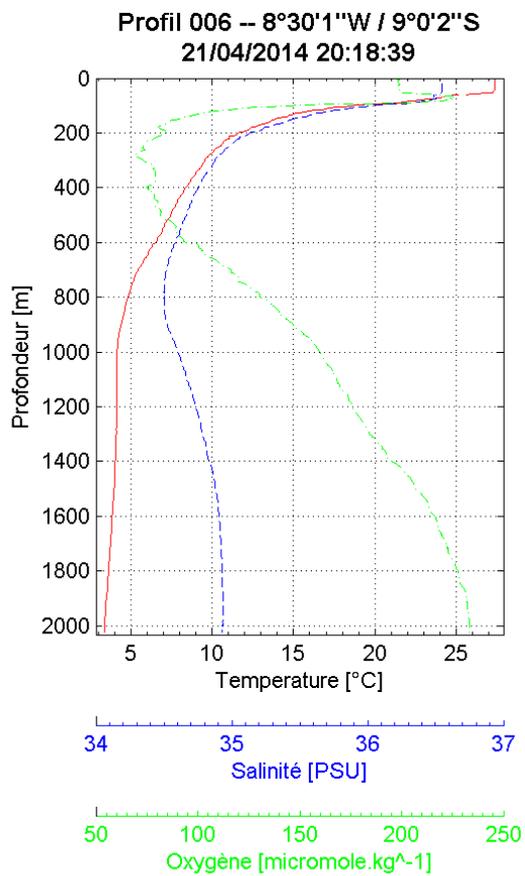


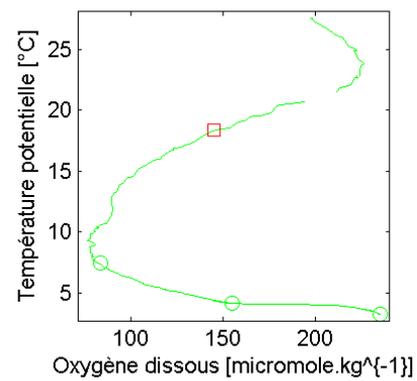
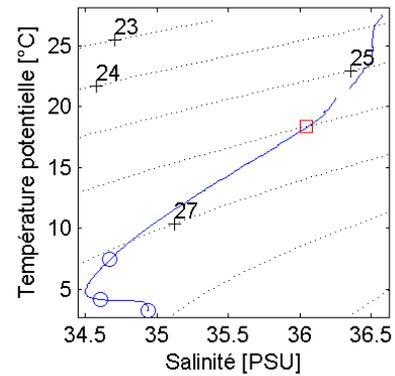
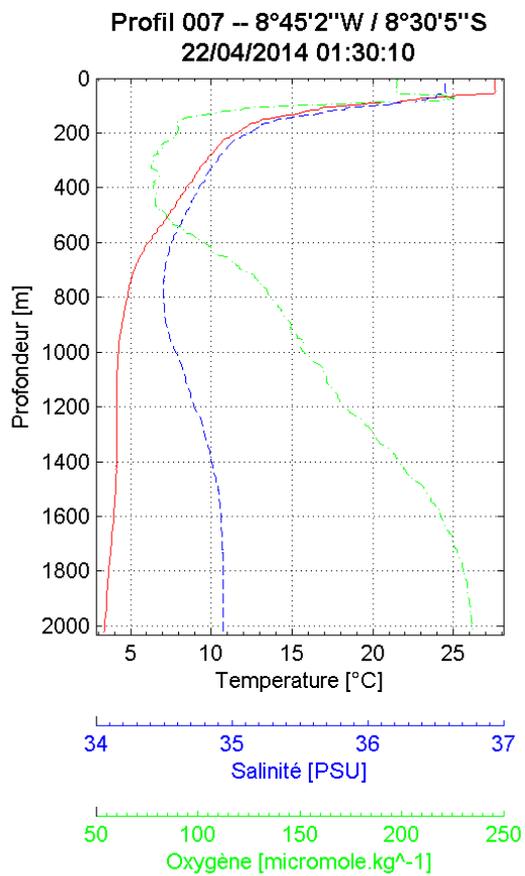


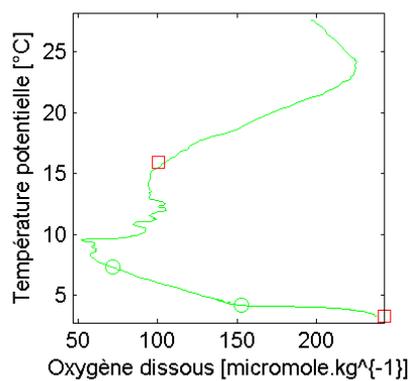
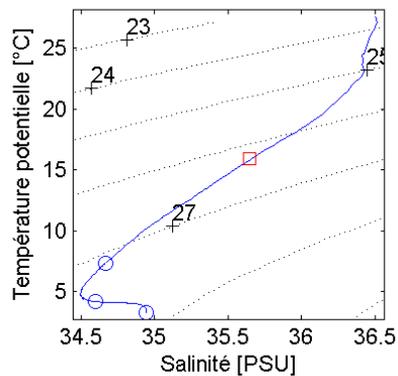
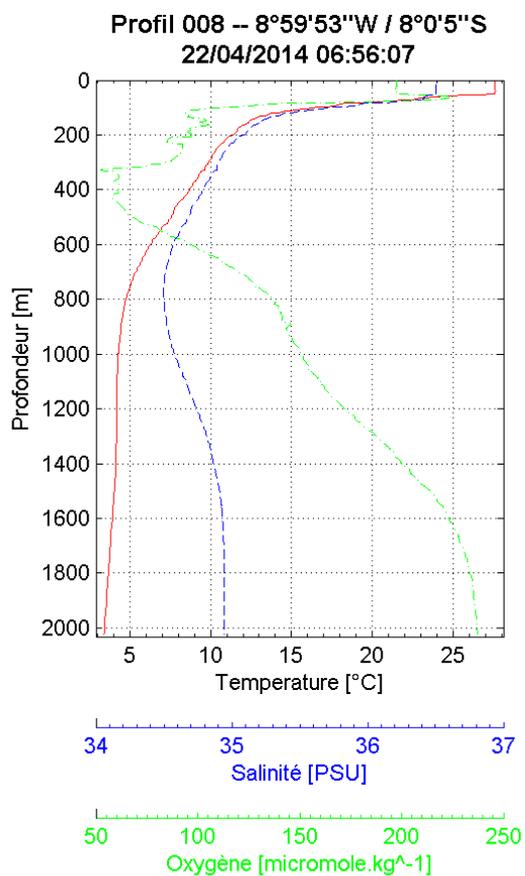


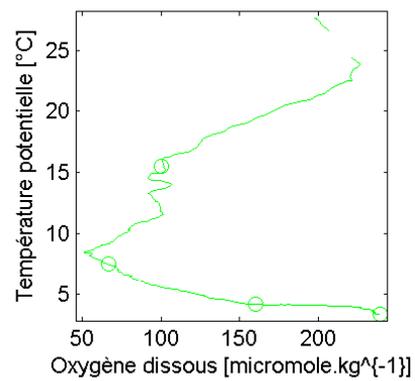
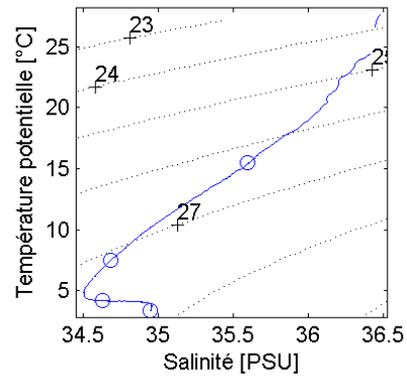
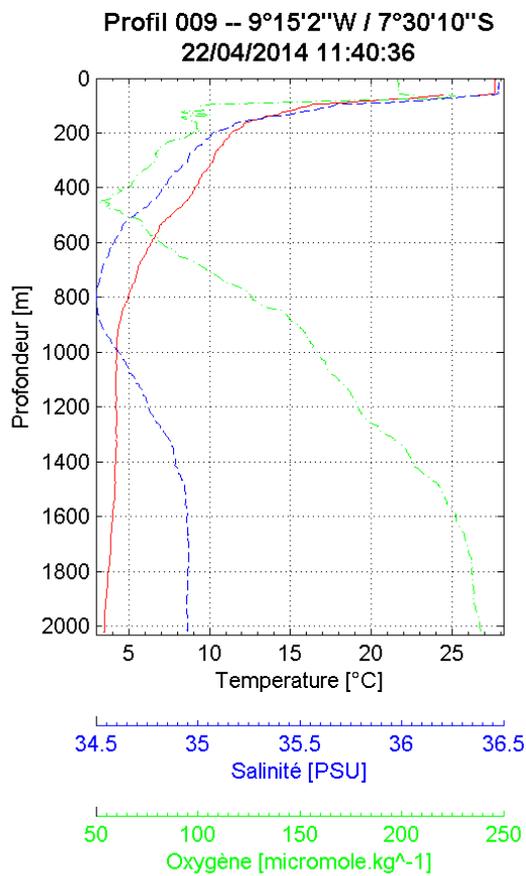


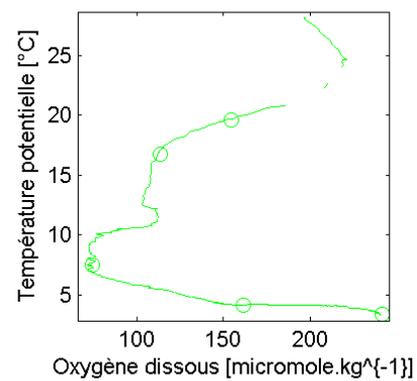
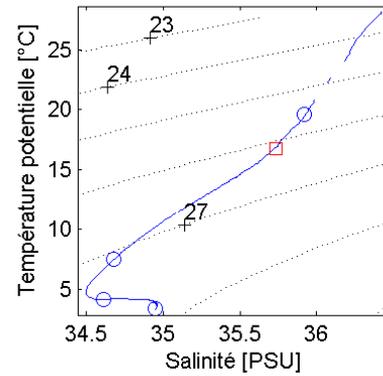
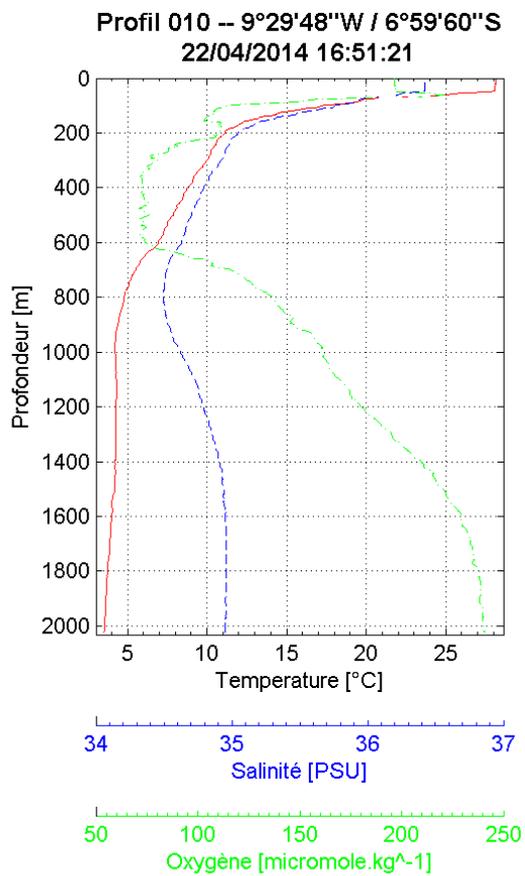


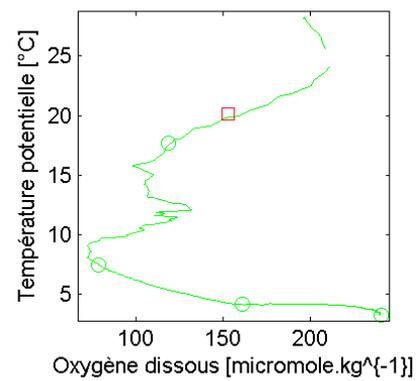
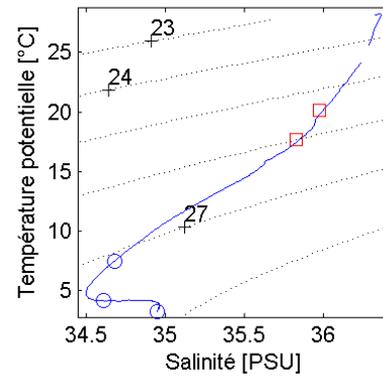
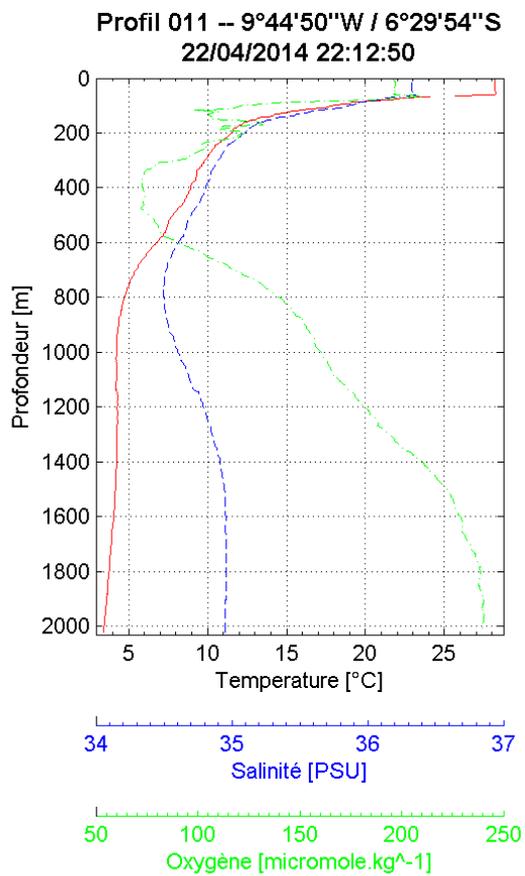


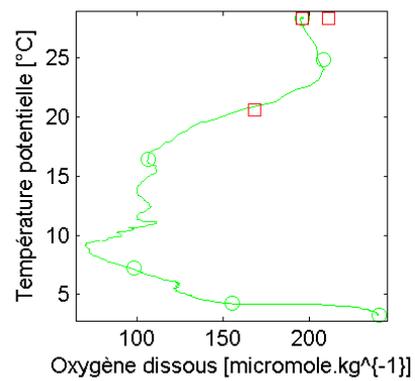
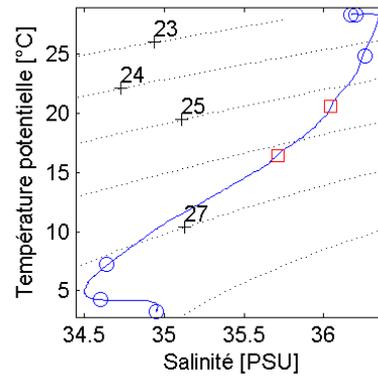
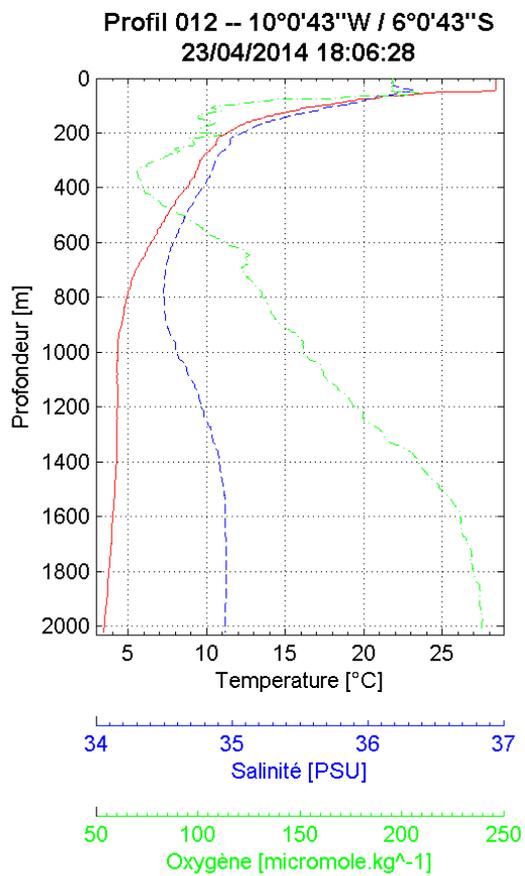


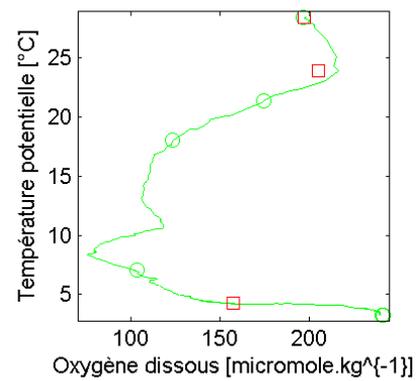
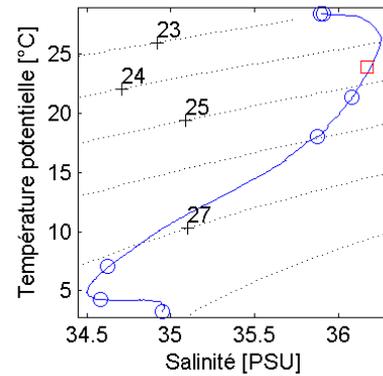
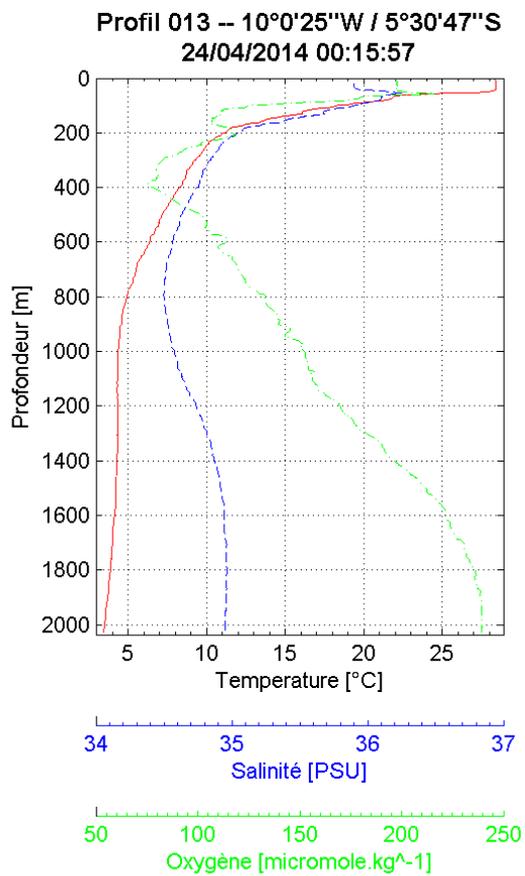


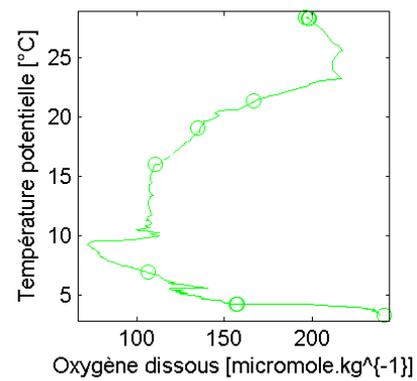
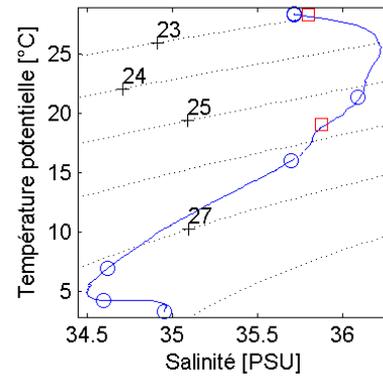
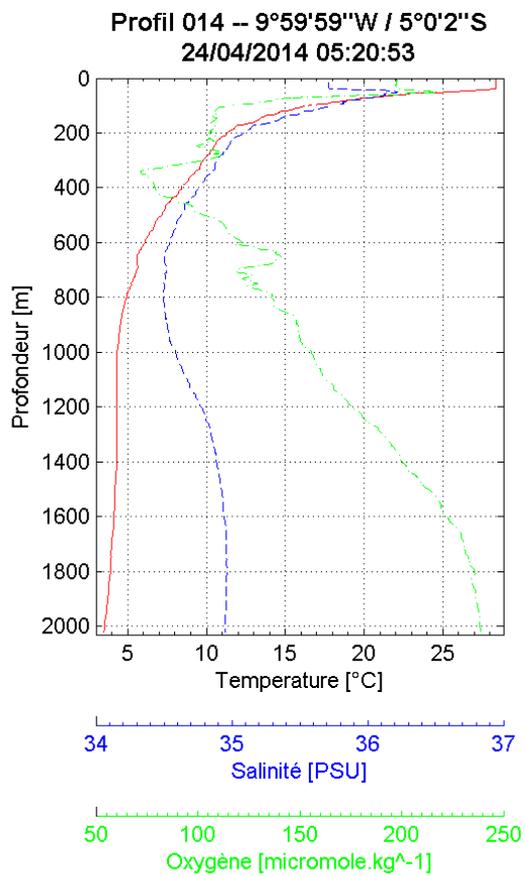


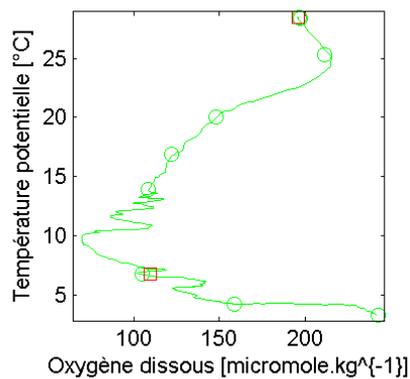
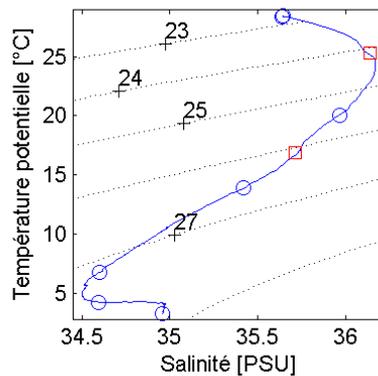
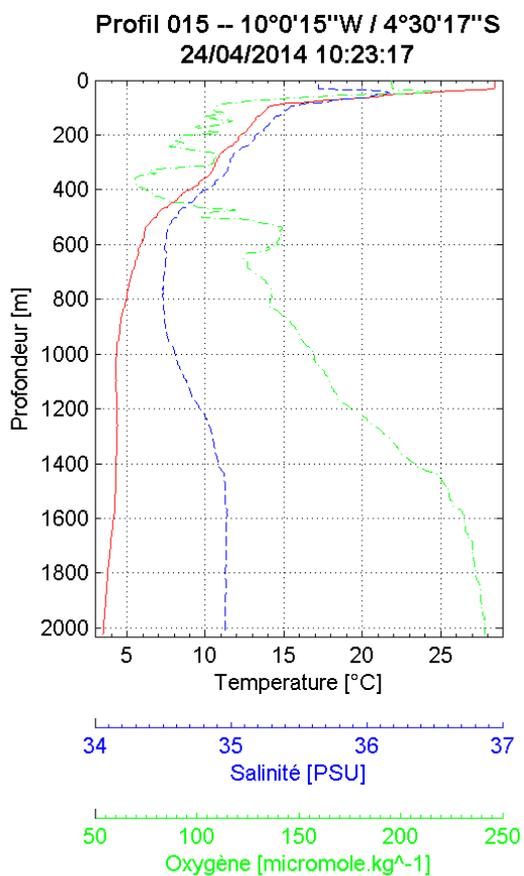


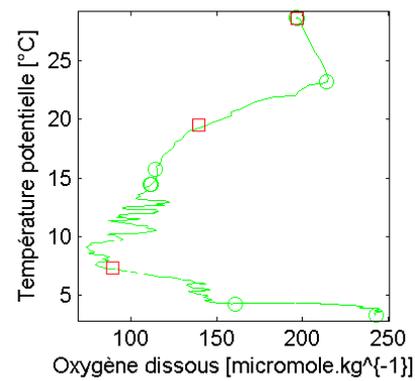
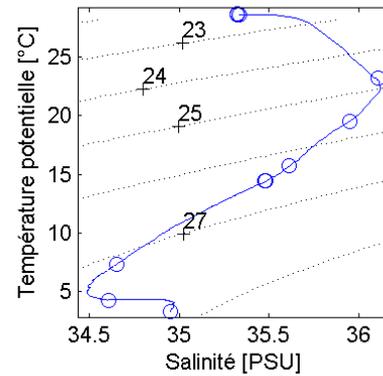
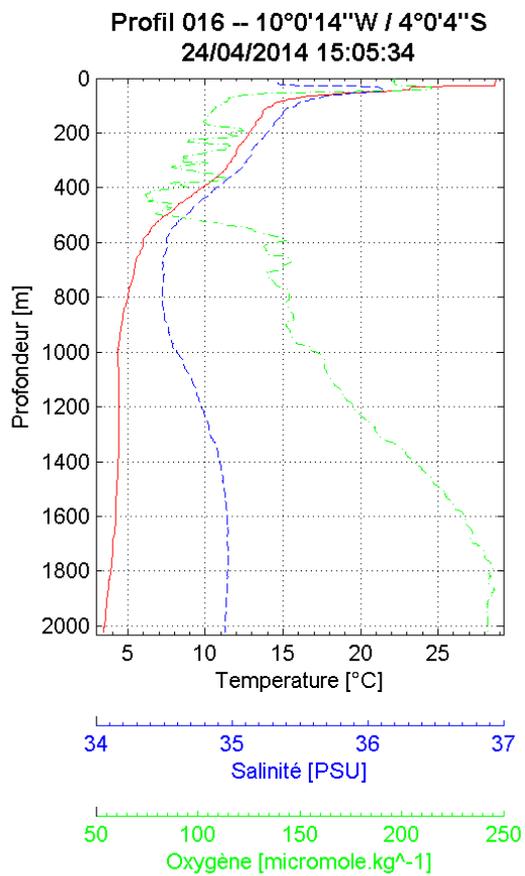


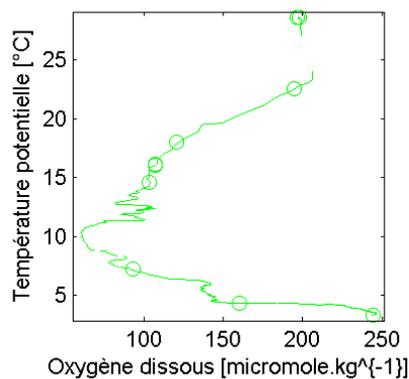
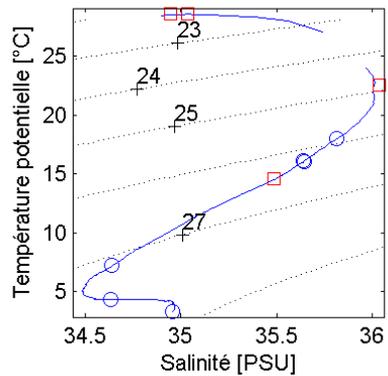
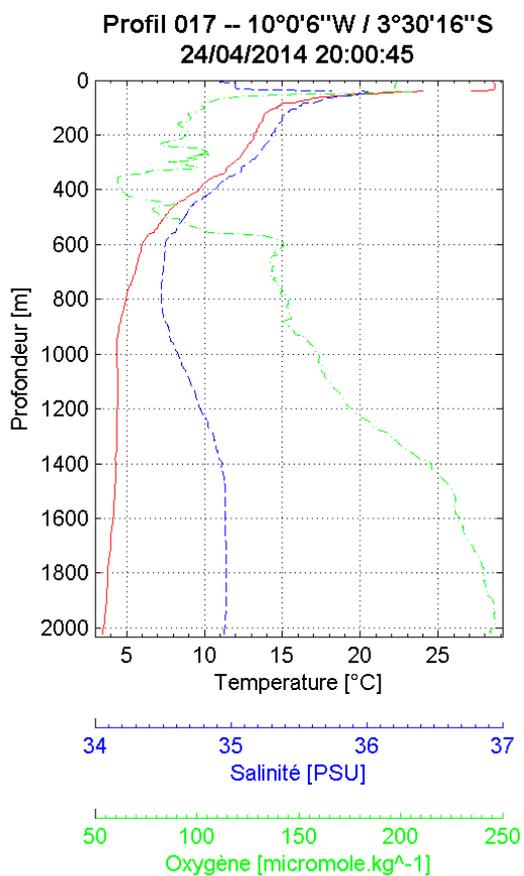


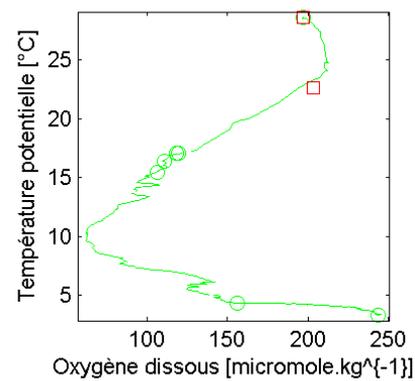
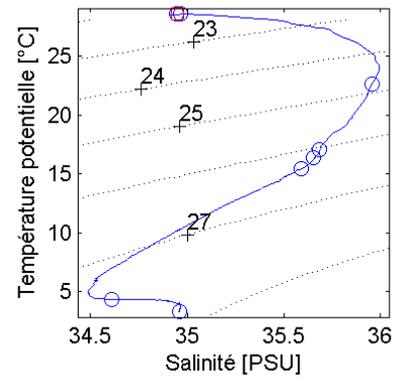
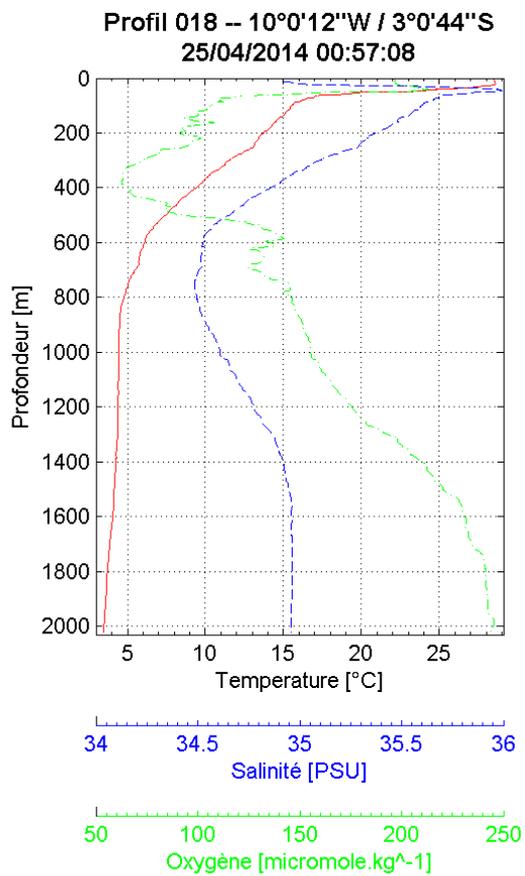


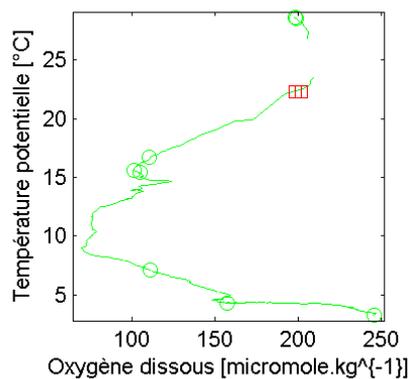
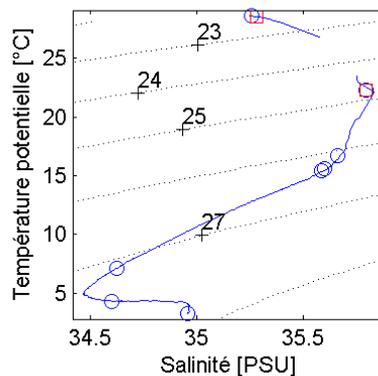
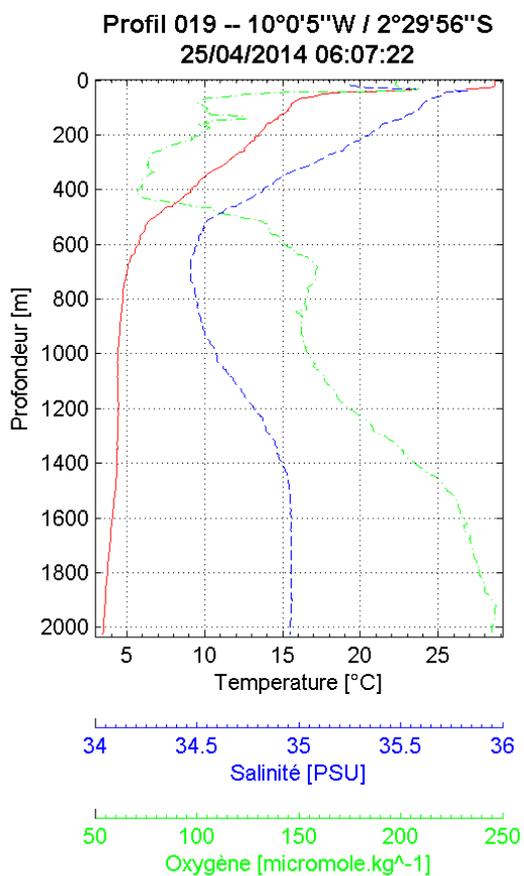


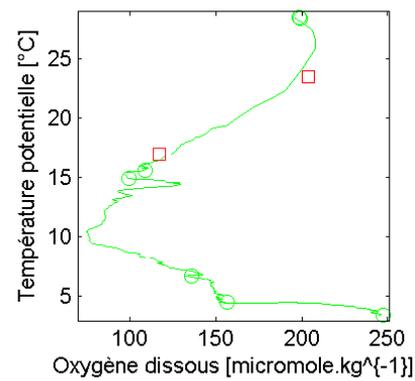
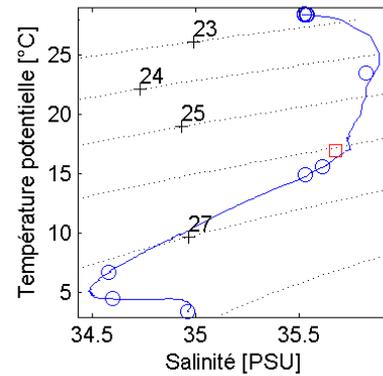
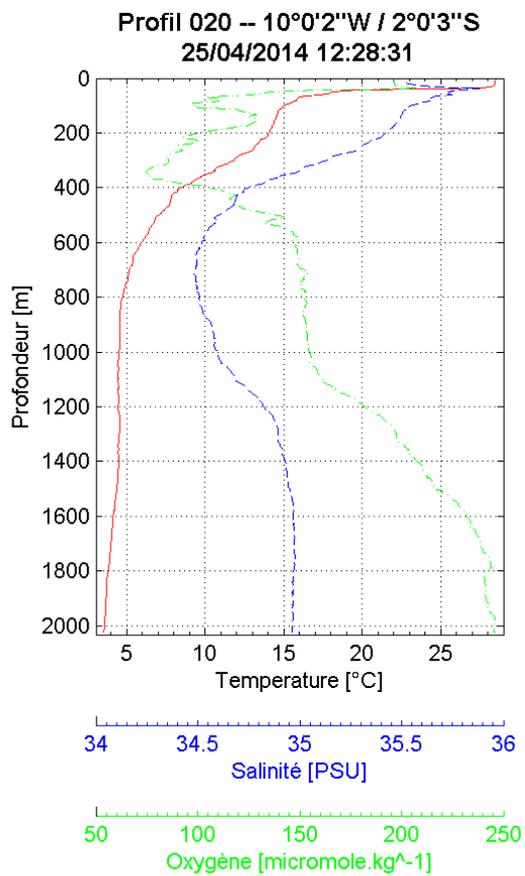


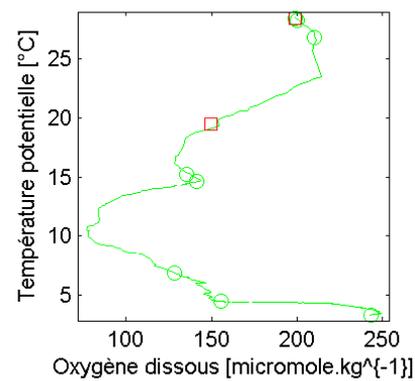
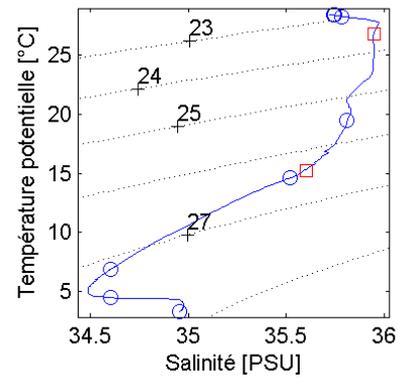
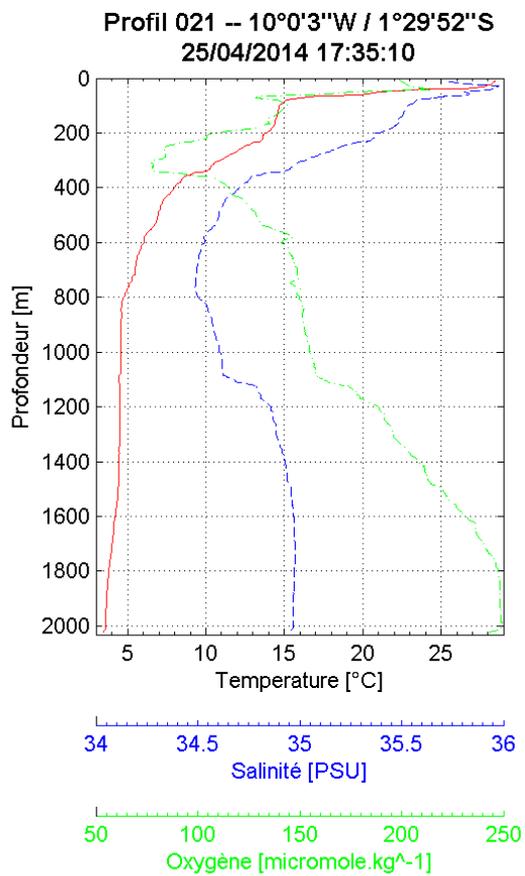


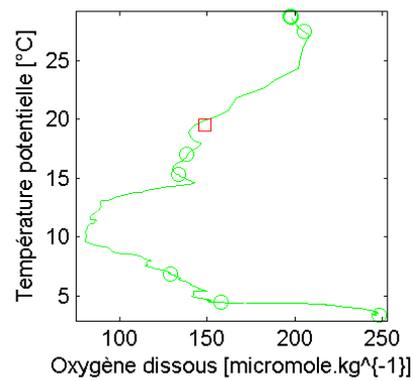
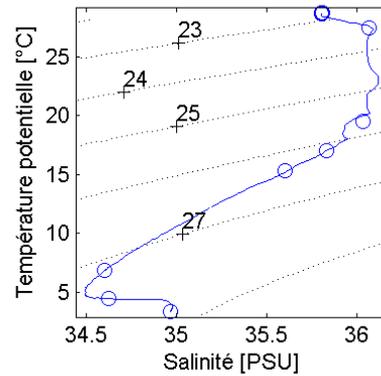
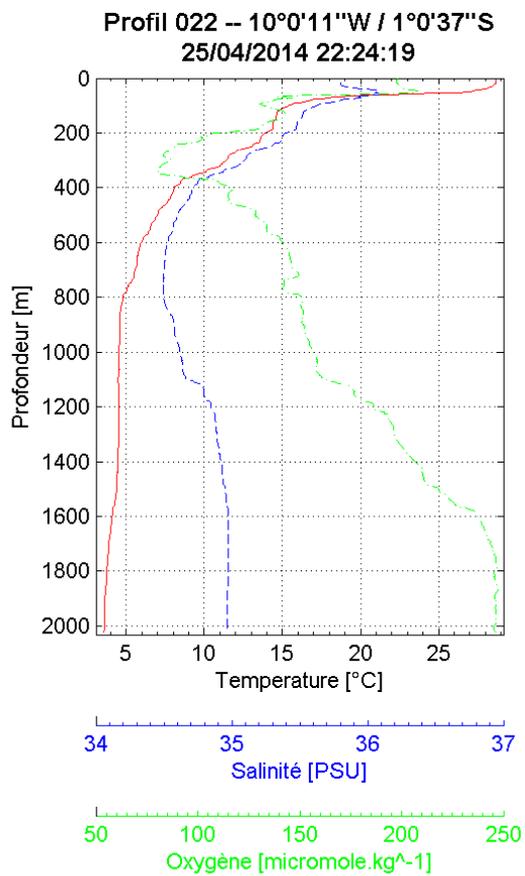


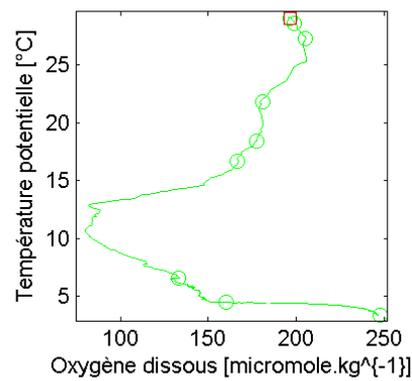
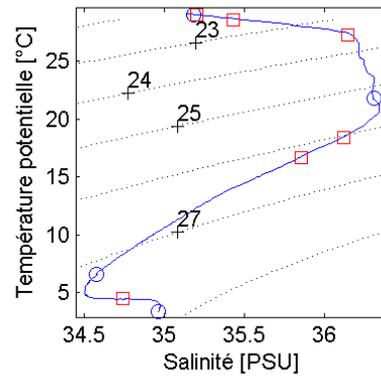
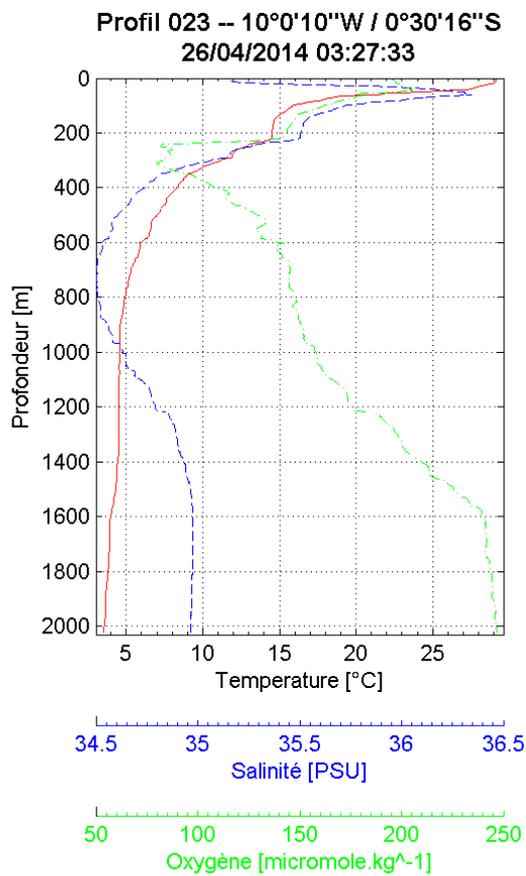


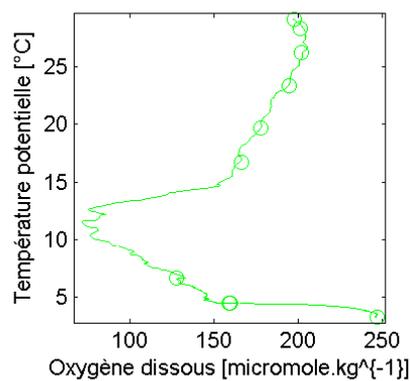
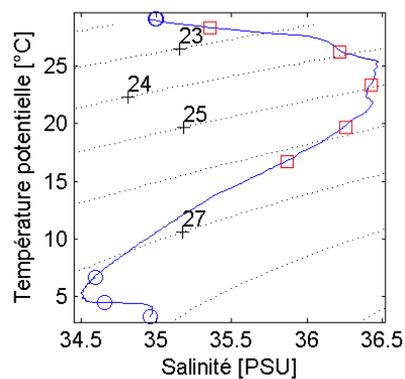
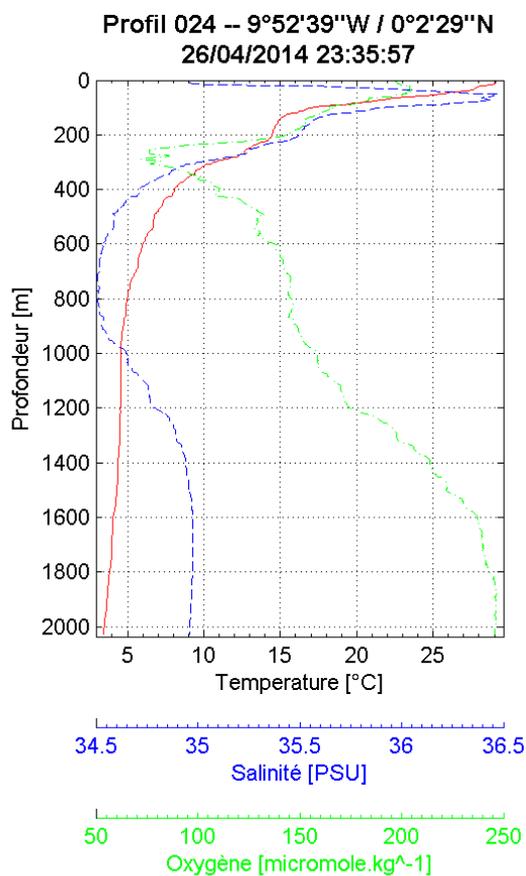


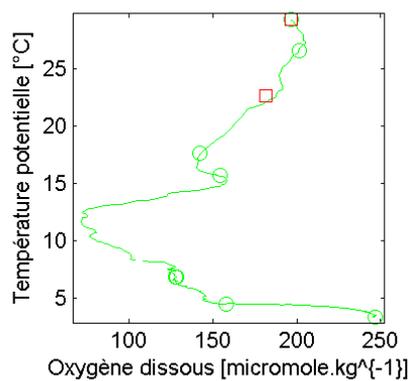
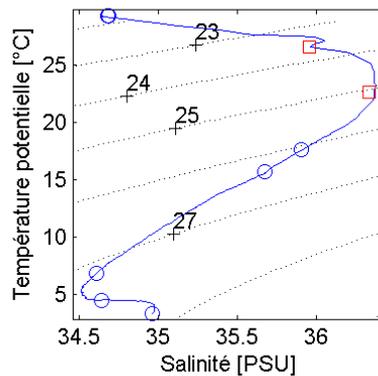
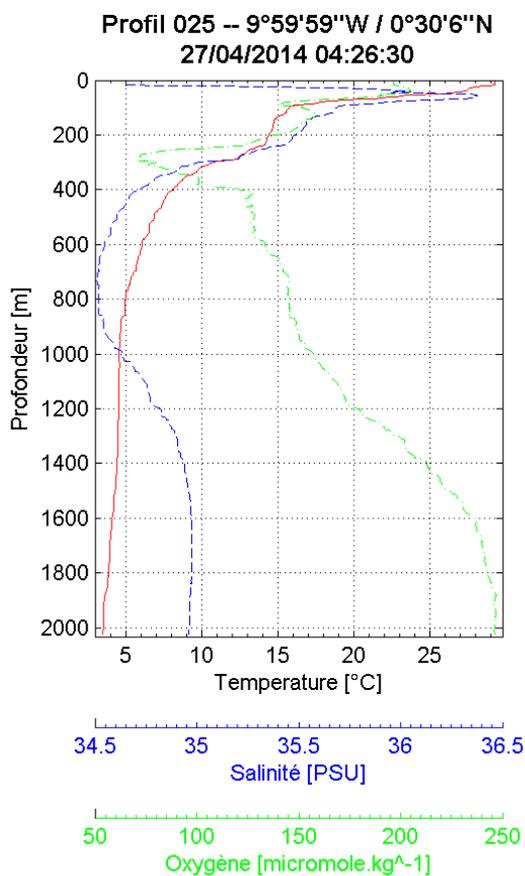


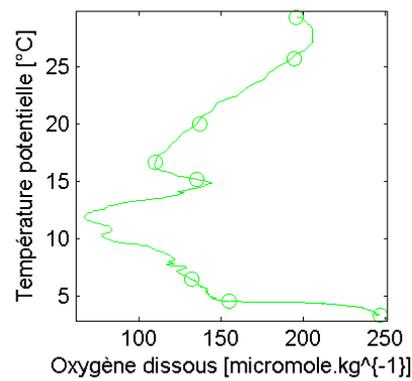
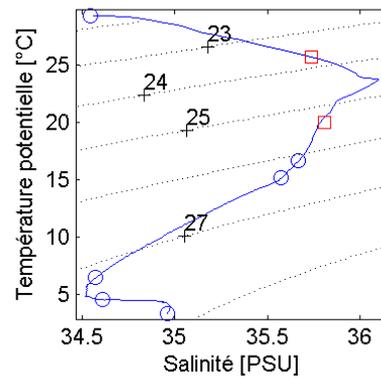
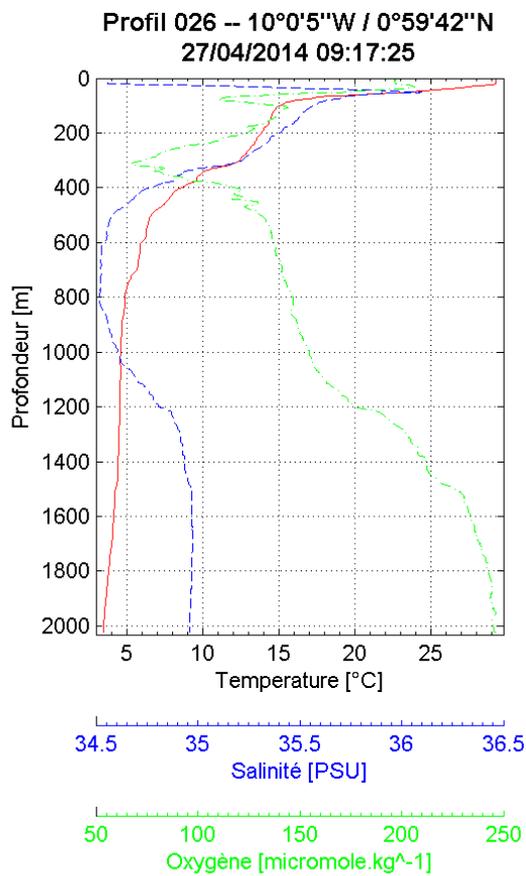


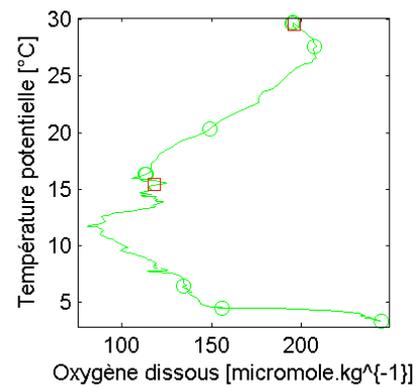
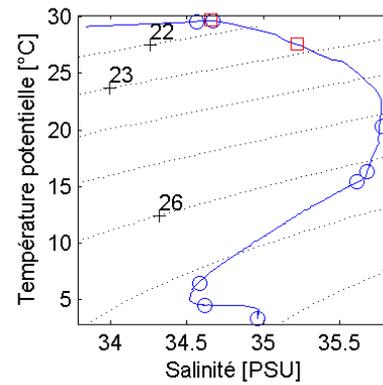
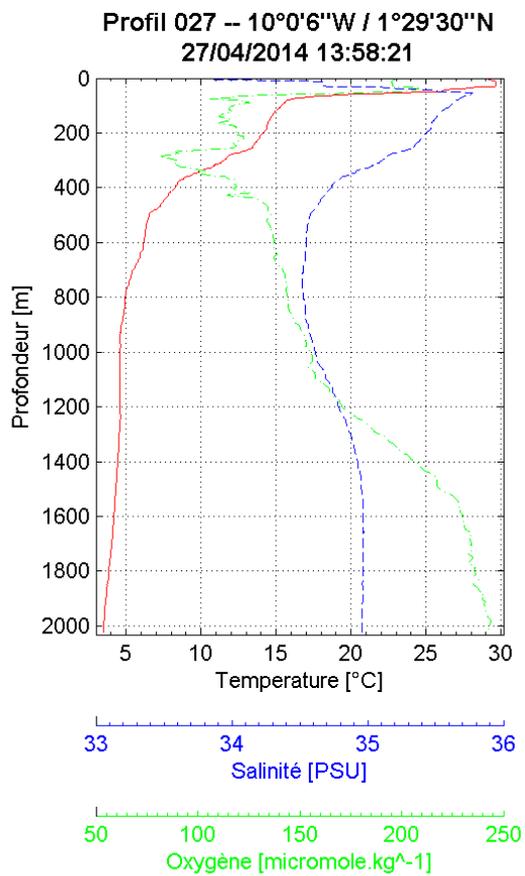


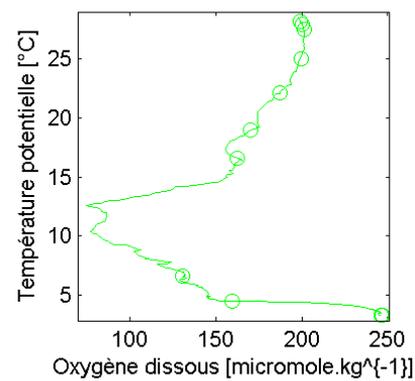
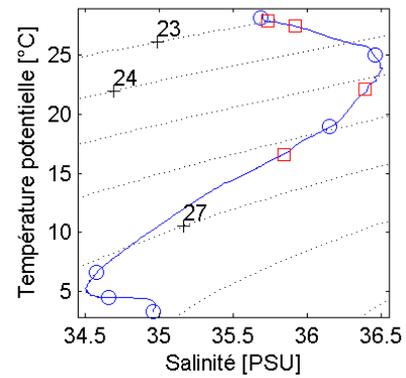
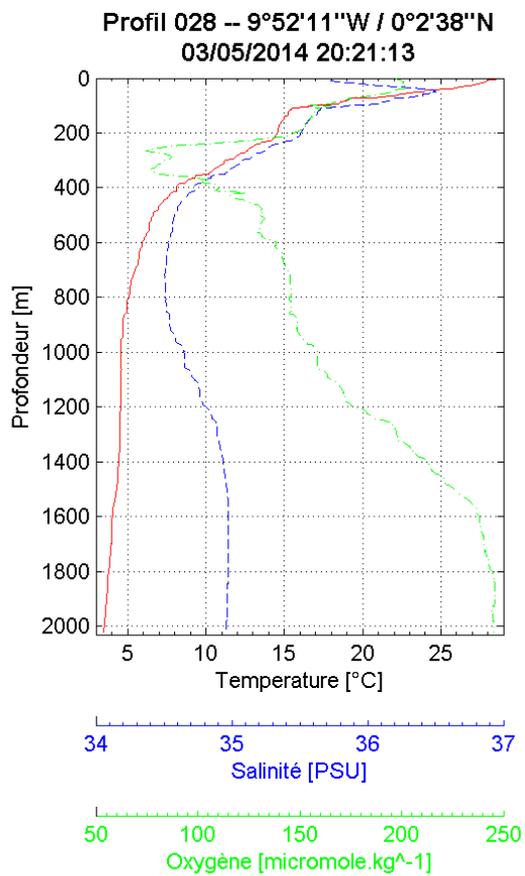


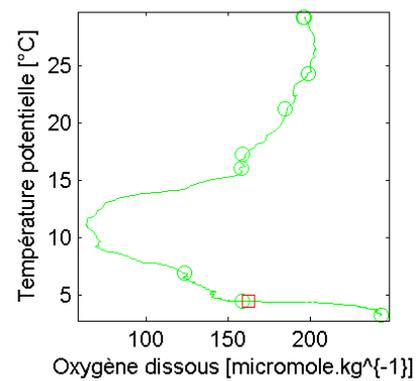
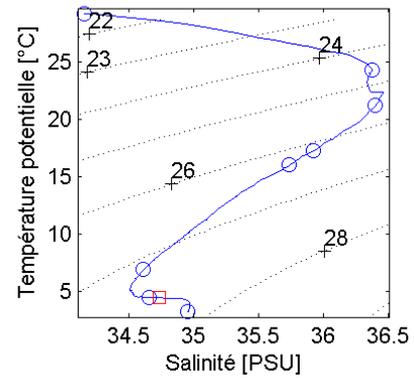
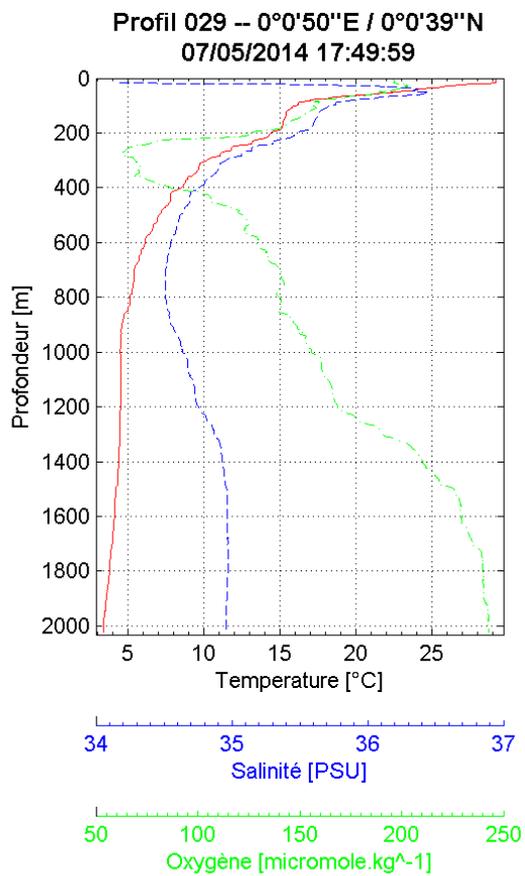


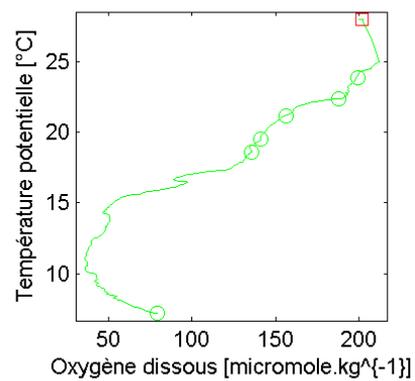
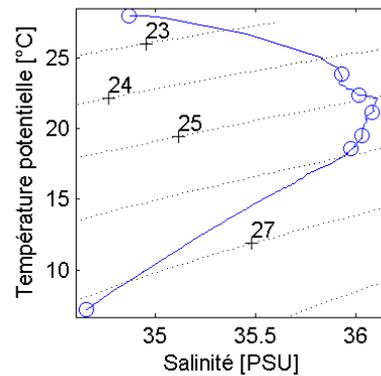
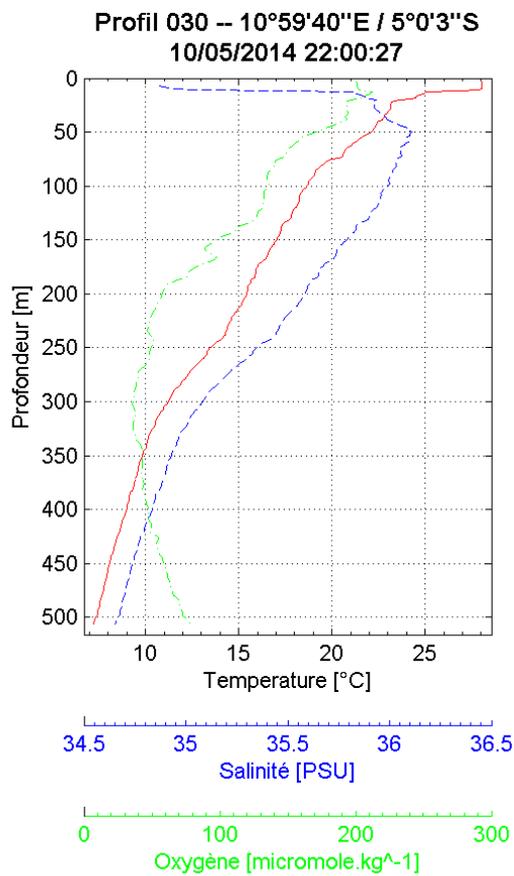


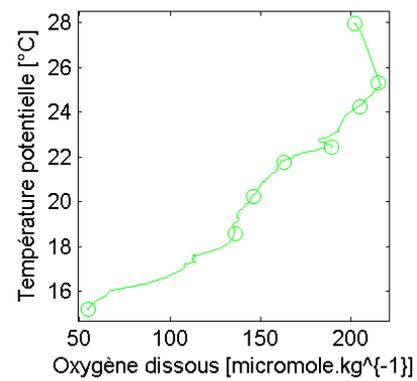
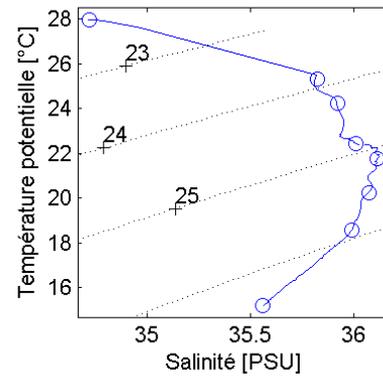
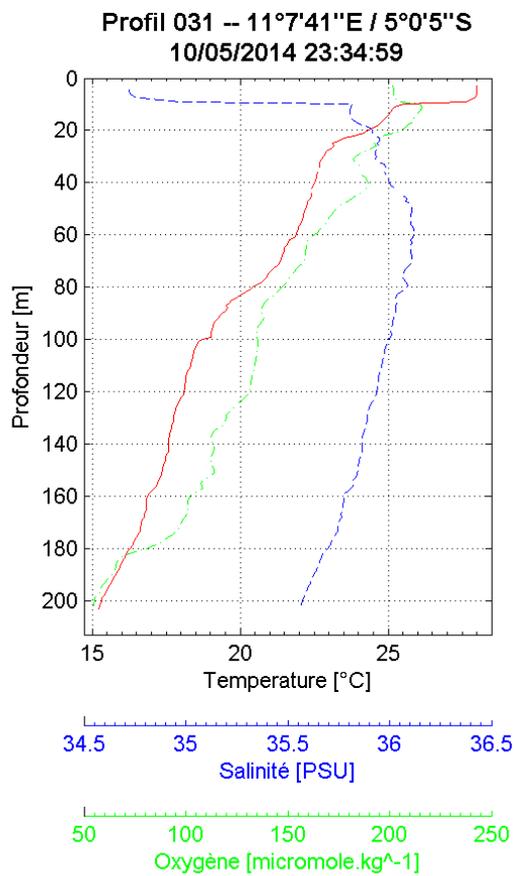


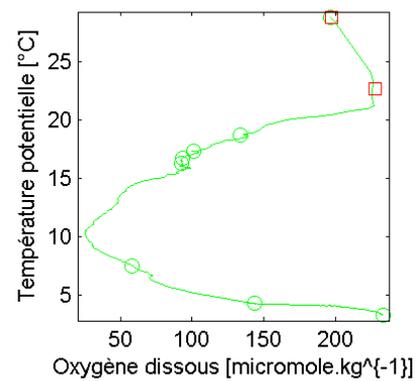
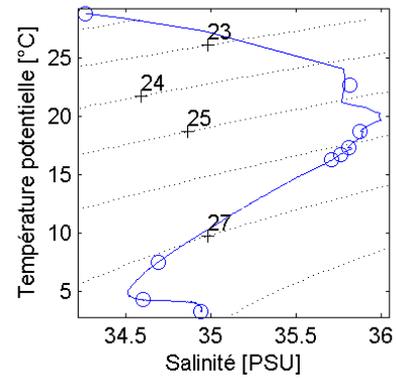
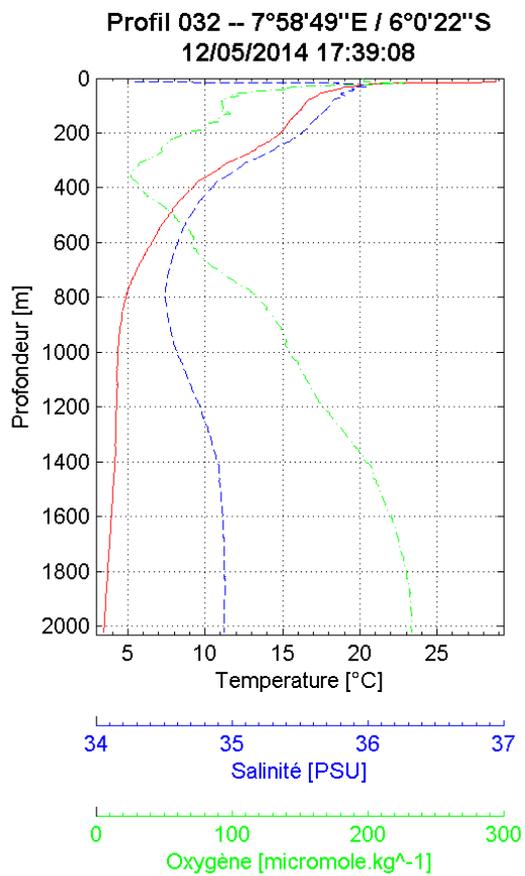


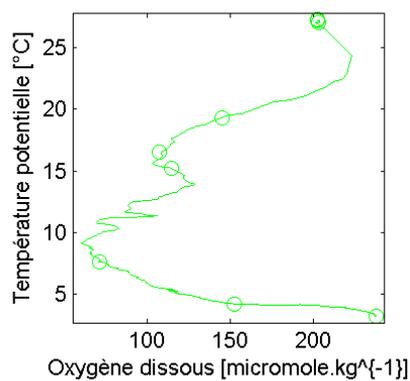
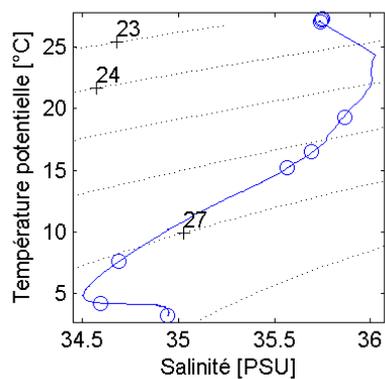
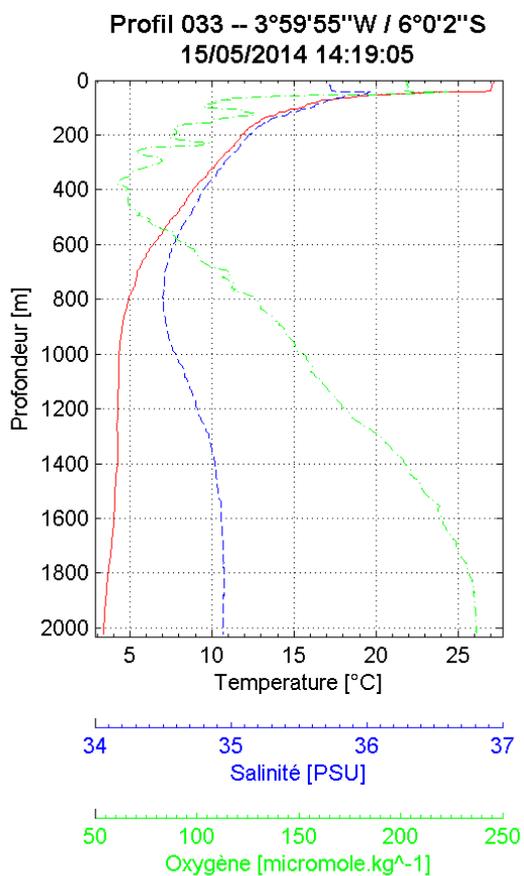


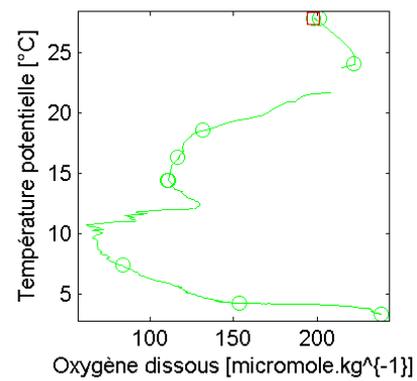
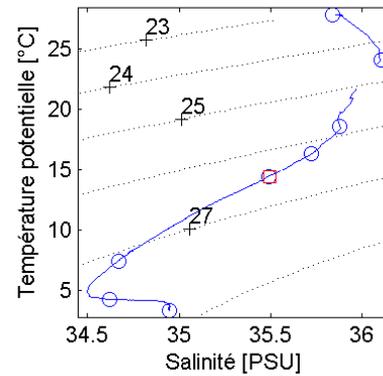
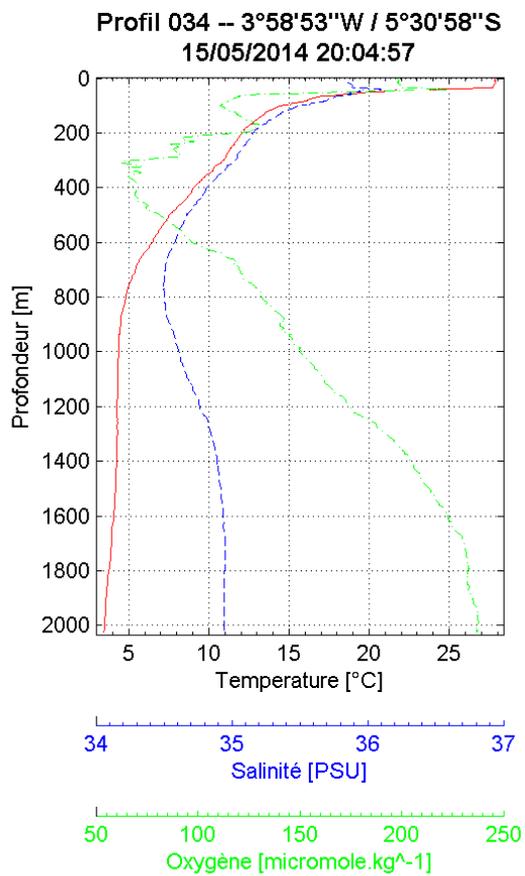


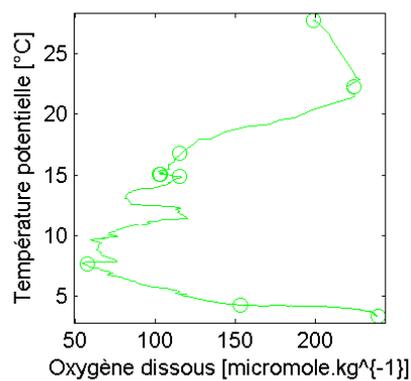
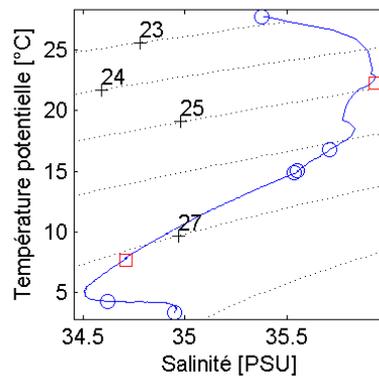
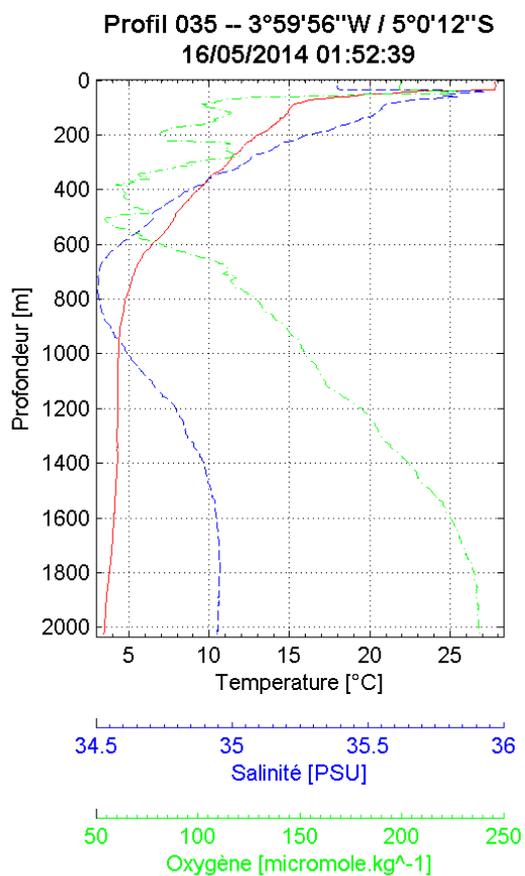


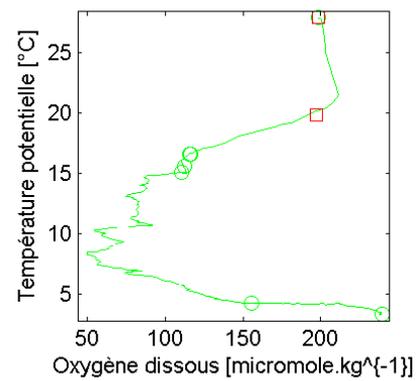
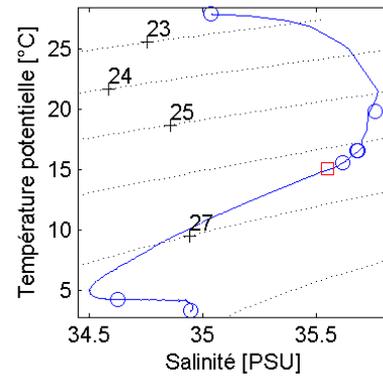
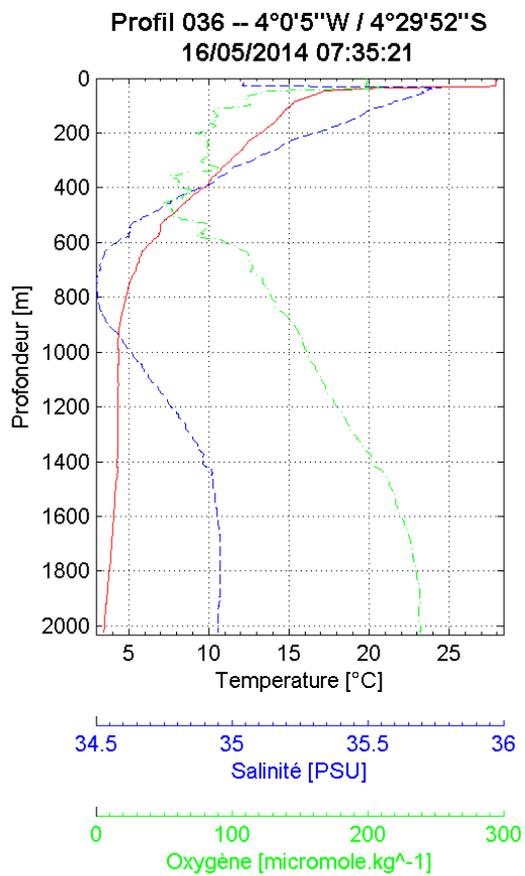


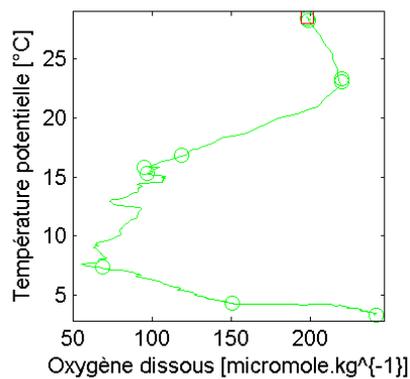
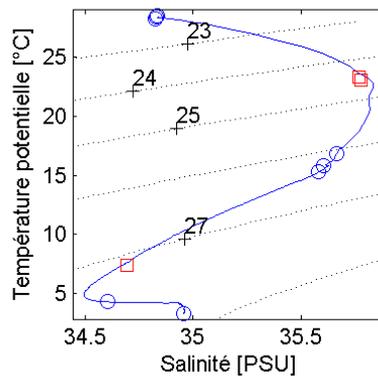
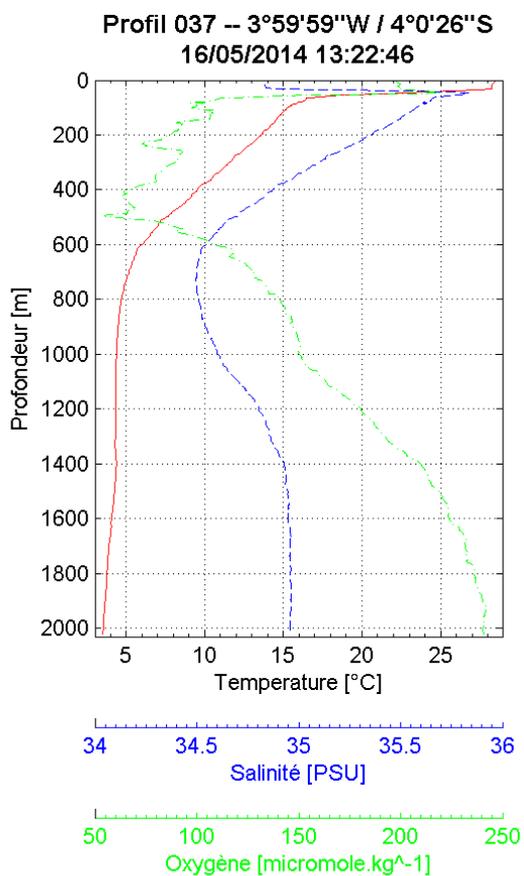


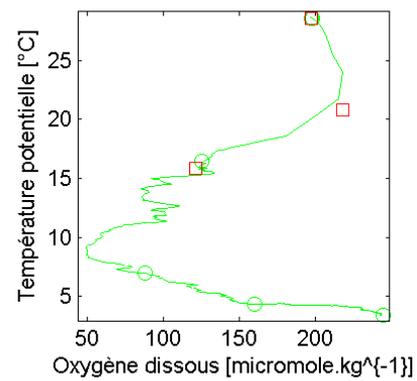
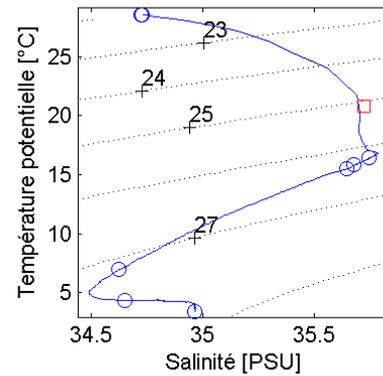
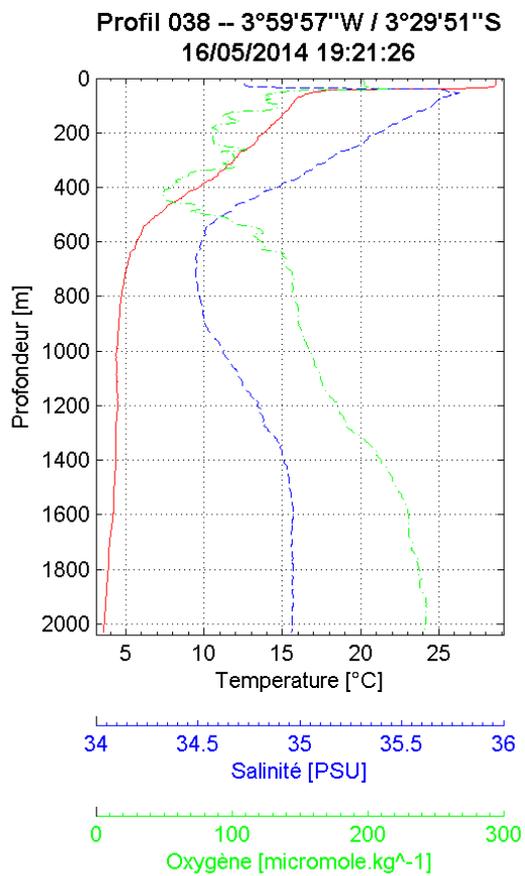


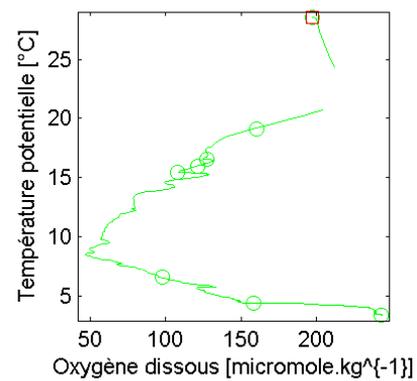
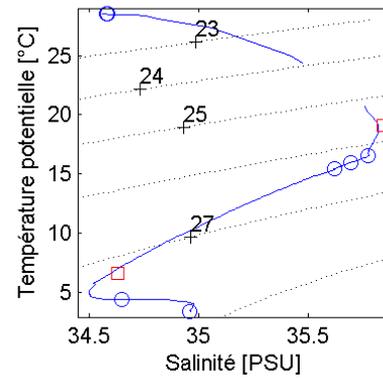
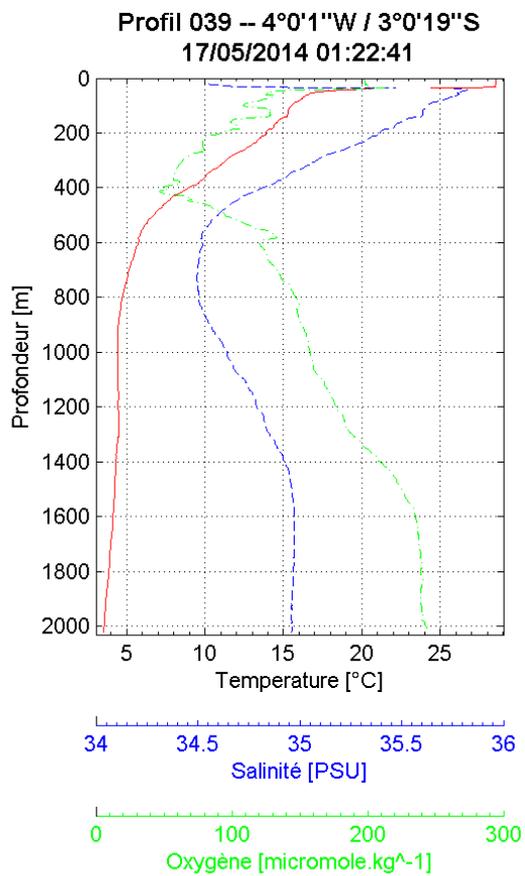






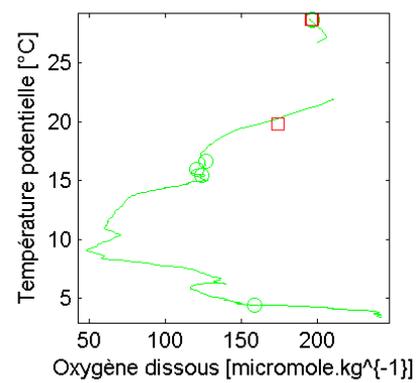
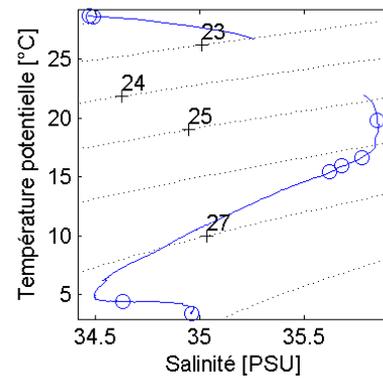
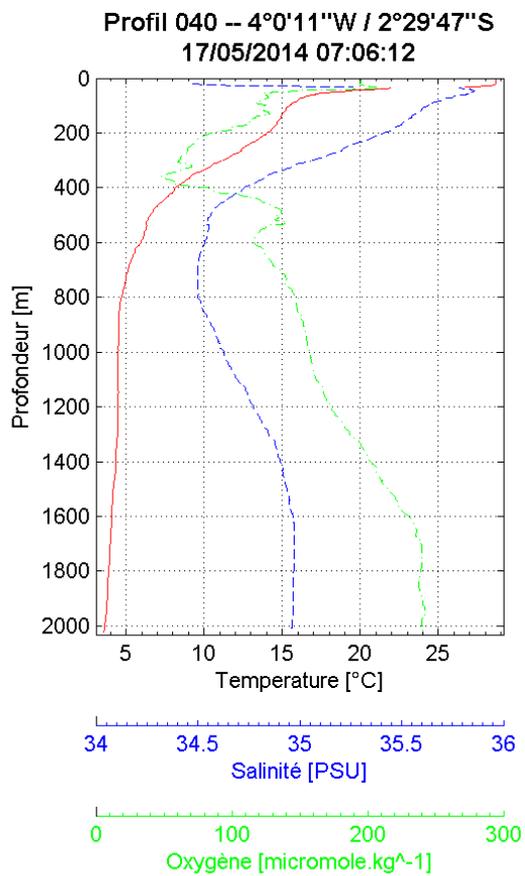


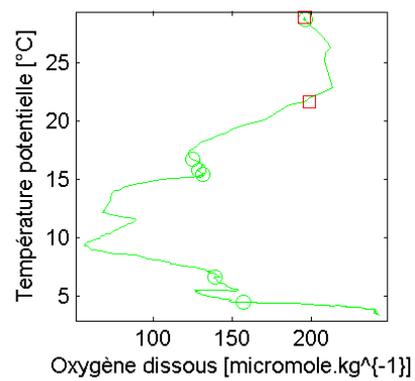
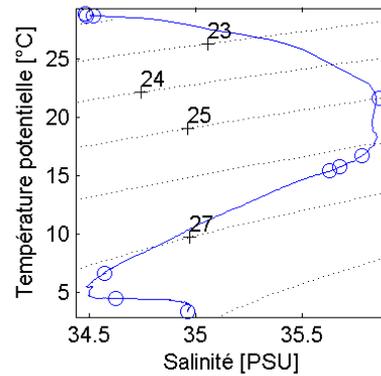
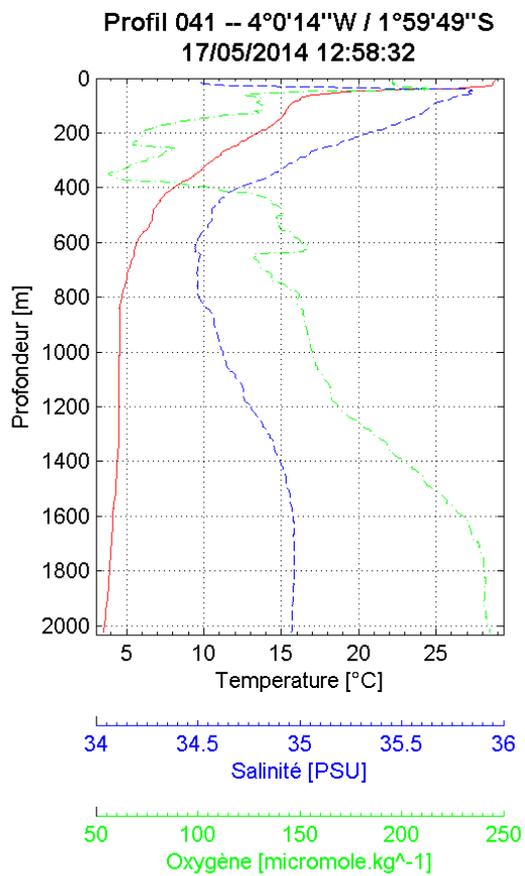


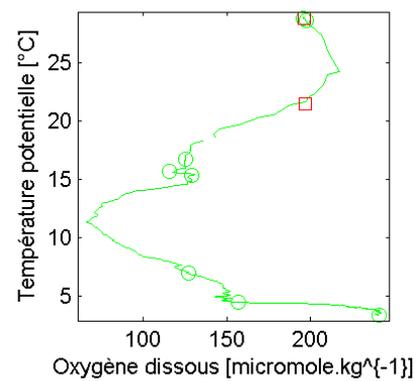
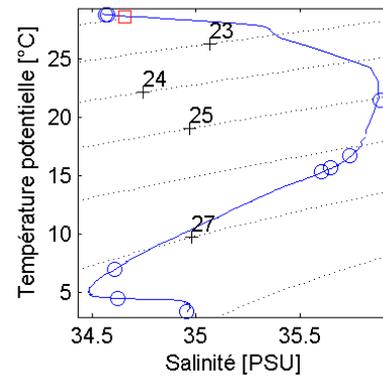
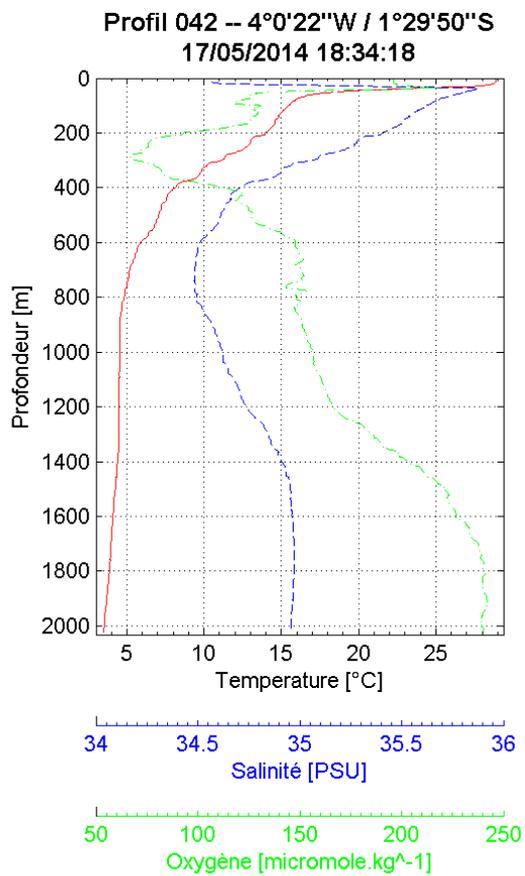


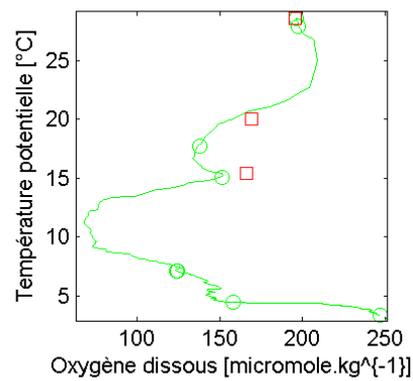
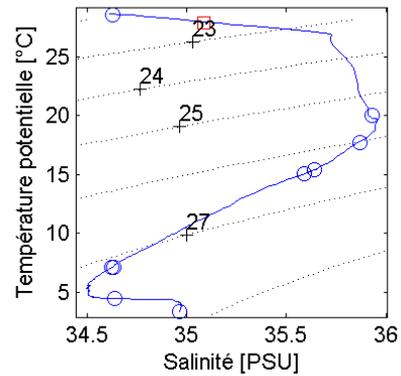
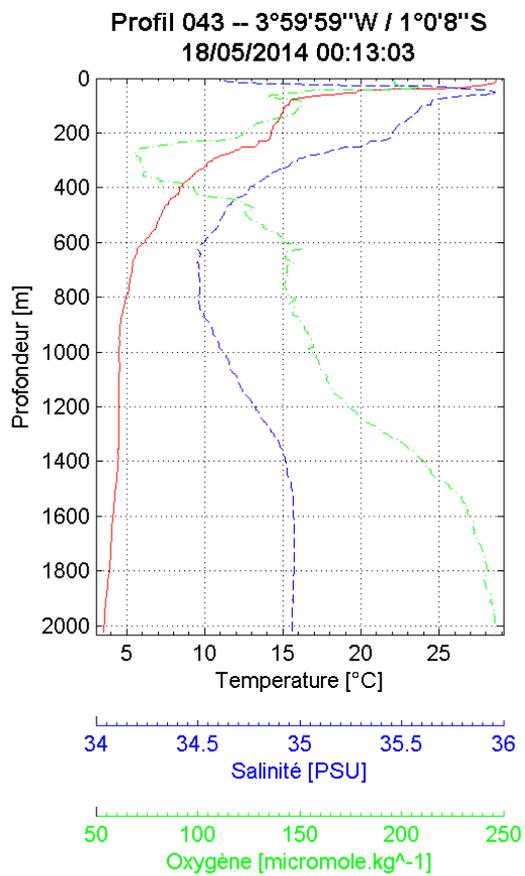
Laboratoire : US191
 Implantation : Brest

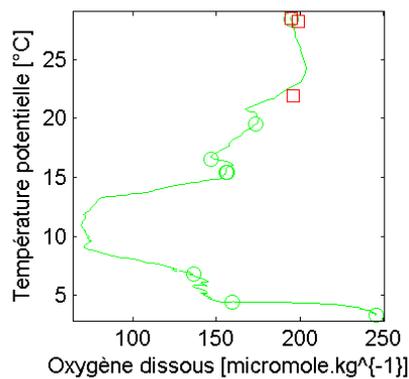
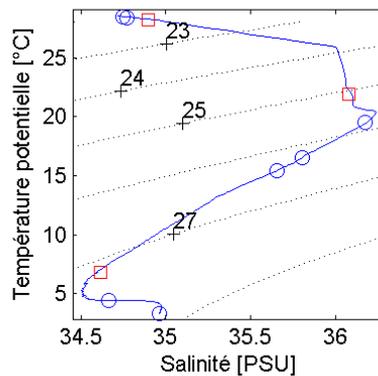
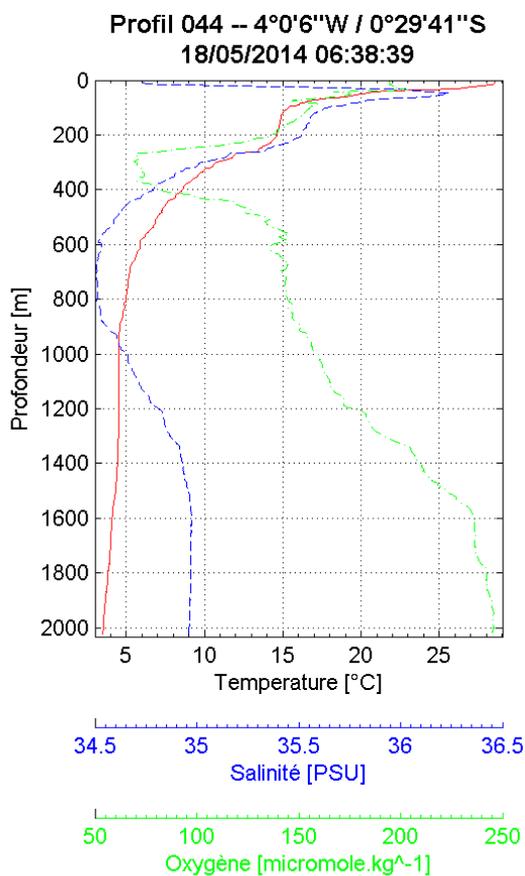
RAPPORT DE CALIBRATION
 Version 01
 Page 82/92

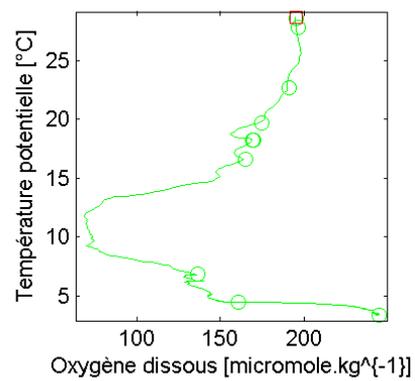
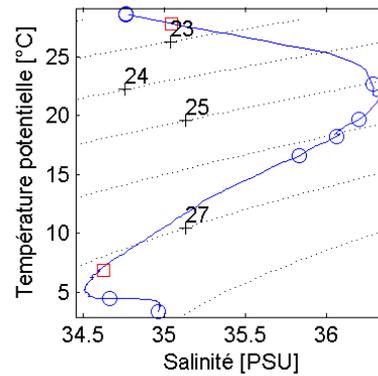
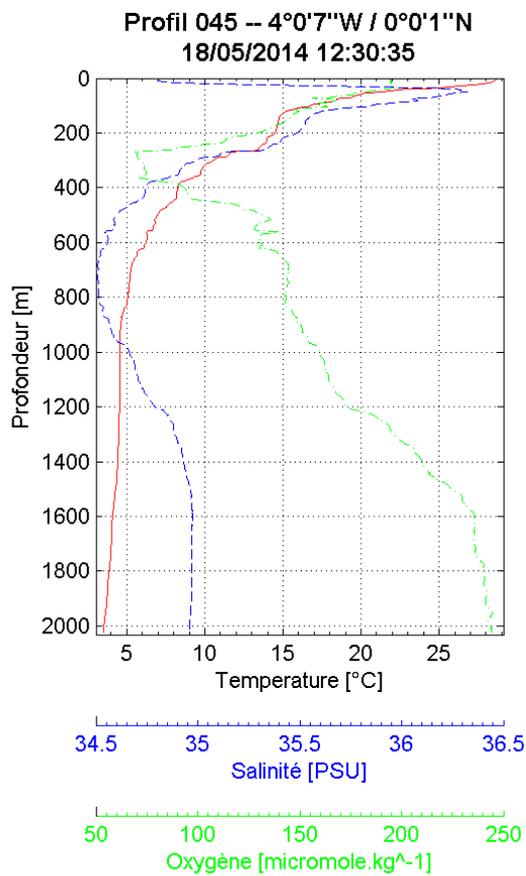


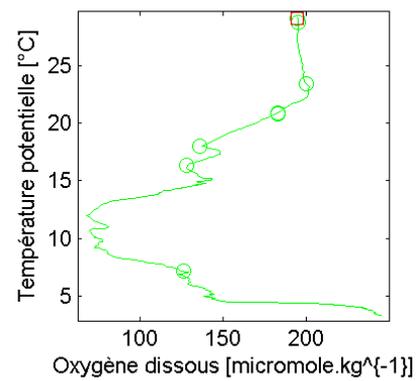
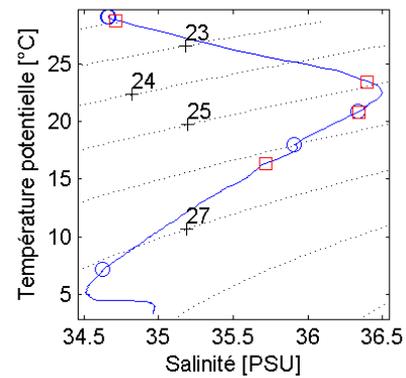
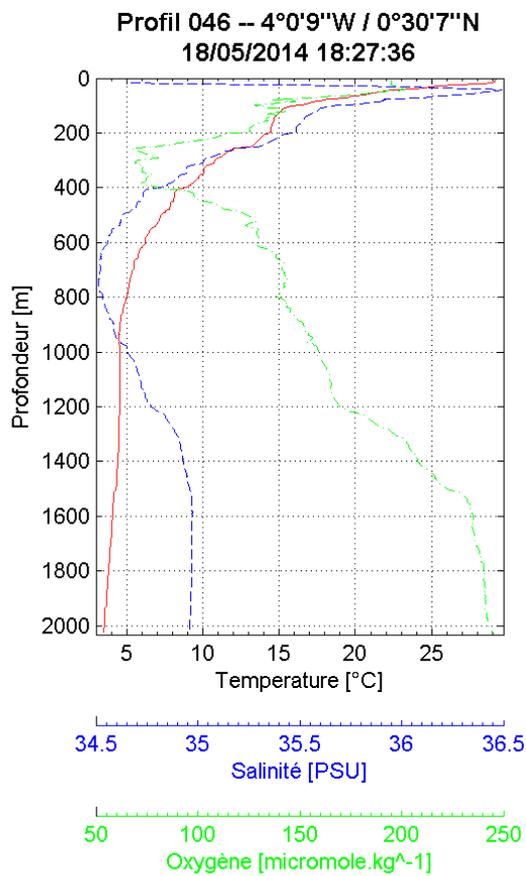


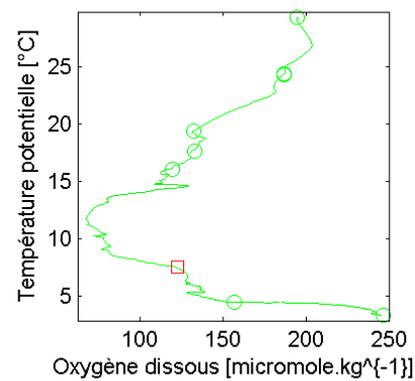
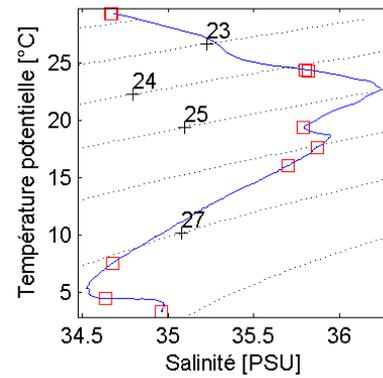
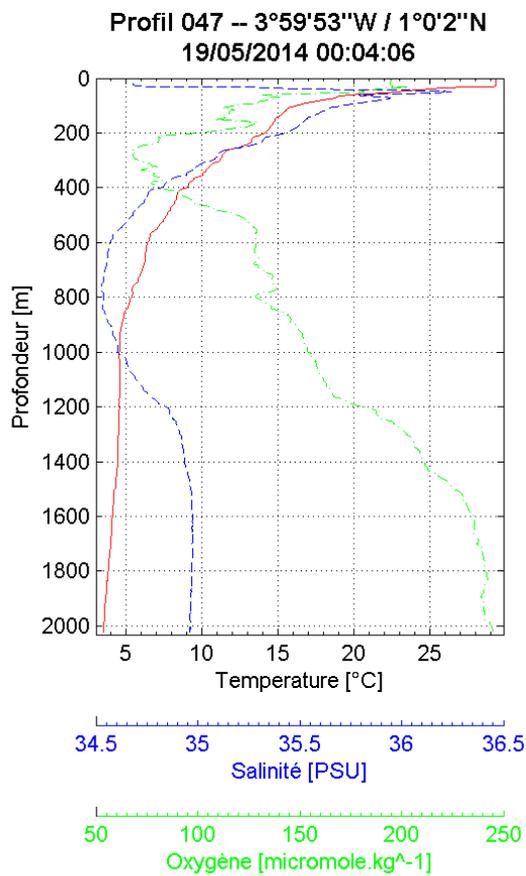


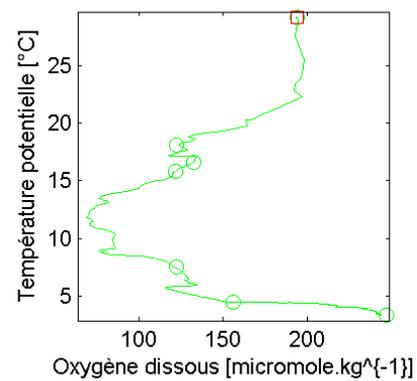
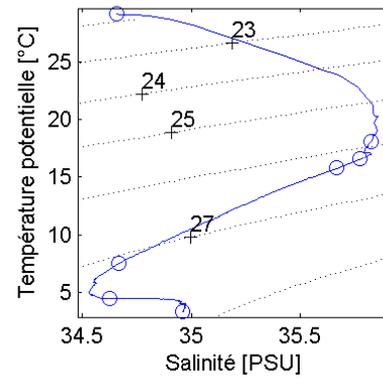
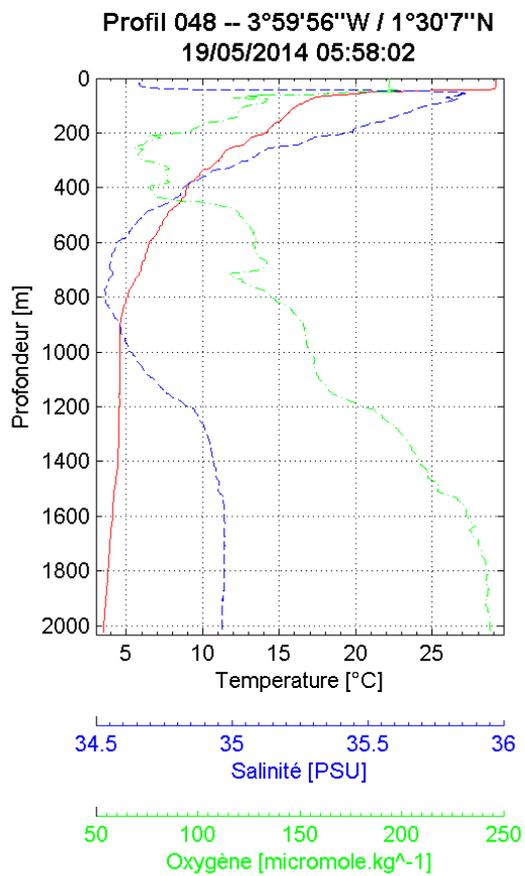












Laboratoire : US191
Implantation : Brest

RAPPORT DE CALIBRATION
Version 01
Page 91/92

14. 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
15/06/2017	01	Création
27/06/2017	02	Ajout offset transmissiomètre + suivi S/O2 avant ajustement + Abstract data

Relecteur	Date