

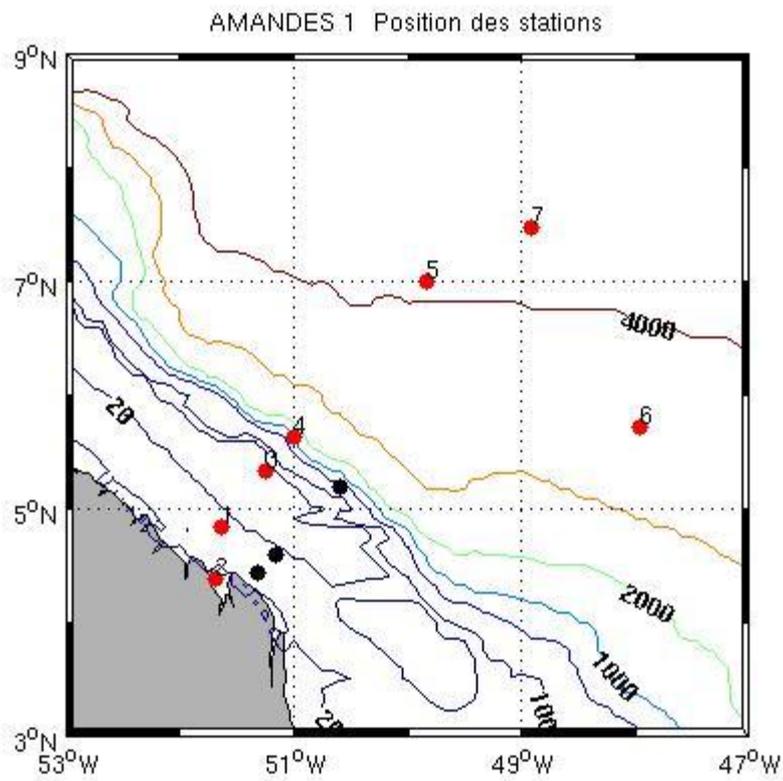
AMANDES1

du 25 octobre au 1 novembre 2007

CALIBRATION DES MESURES CTD-O₂

Rémy CHUCHLA

Legos Toulouse



1- Acquisition des données CTDO2

7 stations (avec 26 profils) ont été réalisées au cours de la campagne AMANDES1 avec une sonde Seabird de type 911 + , à bord du N/O Antea en octobre 2007.

Les personnes ayant participé lors de la campagne à l'acquisition des mesures 'sonde', que ce soit sous forme de quarts ou d'assistance électronique, sont les suivantes :

Rémy CHUCHLA	LEGOS-Toulouse
Jacques GRELET	IRD-Brest
Bruno HAMELIN	CEREGE
Lionel SCOUARNEC	INSU-Brest

2- Présentation des sondes utilisées et de l'acquisition des mesures.

Chaque sonde comporte :

- un capteur de pression ; ce capteur est un capteur à quartz développé par la société Paroscientific Inc. Il est muni d'un capteur de température interne pour pouvoir effectuer une correction de température sur la mesure de pression. Il permet des mesures de 0 à 10000 psia ('pound per square inch, absolute' soit 6800 dbar, avec 1 dbar=1.4503774 psia) avec une résolution de 0.001% de la pleine échelle (soit 0.068 dbar) et une précision de 0.015% de la pleine échelle (soit environ 1 dbar).
- deux capteurs de température ; ces capteurs à sonde de platine permettent des mesures entre -5°C et +35°C, avec une résolution de 0.0002°C et une précision de 0.002°C.
- deux capteurs de conductivité ; ces capteurs à électrodes sont placés dans un tube en verre et mesurent la conductivité absolue. La gamme de mesure se situe de 0 à 7 S/m (Siemens par mètre, équivalent à 0-70 mmho/cm), avec une résolution de $4 \cdot 10^{-5}$ S/m et une précision de 0.0003 S/m.
- deux capteurs d'oxygène, de type SBE43, permettant des mesures de 0 à 15 ml/l, avec une précision de 0.1 ml/l et une résolution de 0.02 ml/l (soit approximativement 600 µmol/kg, 4 µmol/kg et 0.4 µmol/kg respectivement).

Une pompe externe relie les différents capteurs, afin d'assurer une meilleure synchronisation de leurs réponses. De même, chaque capteur de température est relié à un capteur de conductivité par un conduit, afin qu'ils mesurent exactement la même eau. Ainsi, on dispose de deux ensembles de capteurs T/C (température-conductivité).

Étaient aussi associés à la sonde un capteur de fluorimétrie et un capteur de transmissiométrie.

Pour plus de détails sur les différents capteurs de la SEABIRD 911, prière de se référer au site internet du constructeur : <http://www.seabird.com/911plus.htm>.

Les numéros de série des différents capteurs utilisés pendant la campagne Amandes 1 sont reportés dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 :

Stations	1-7
sonde	IRD S/N 09P10828-0419
Temp_0	4750
Temp_1	4775
Cond_0	3203
Cond_1	3341
Pression	419
Oxygène SBE43	1210
Fluometer	835
Transmissometer	373DR

Les capteurs des sondes IRD et INSU ont été calibrés par SEABIRD avant la campagne. Les mesures de conductivité n'ont pas été calibrées. Les capteurs d'oxygène sont calibrés une fois pour toutes en usine lors de leur fabrication. Les mesures 'brutes' d'oxygène de la sonde ne peuvent *a priori* être utilisées que pour visualiser les variations de la concentration en oxygène selon la verticale. Cependant, le logiciel d'acquisition de SEABIRD prend en compte un algorithme (Owens et Millard, 1985) qui permet de corriger la mesure du capteur d'oxygène de l'influence de la pression. La correction des mesures est alors affinée par les comparaisons avec les mesures *in-situ*; en effet, les concentrations 'absolues' d'oxygène sont obtenues à partir d'une calibration effectuée à partir des dosages chimiques des échantillons d'eau de mer prélevés pendant la remontée lors de chaque profil.

Les données mesurées par la sonde ont été acquises à l'aide du logiciel SEASOFT (version 7.11) fourni par le constructeur de la sonde. Lors d'un profil les mesures de la sonde, effectuées à la fréquence de 24 Hz, sont transmises à un micro-ordinateur (de type PC) d'acquisition via le programme SEASAVE. Une fois la station terminée, une procédure de traitement préalable préconisée par le constructeur est appliquée aux données des profils de descente et de montée (voir le document joint au logiciel et indiqué en référence).

La procédure exécutée à la suite des programmes suivants :

- DATCNV : ce programme convertit les mesures brutes de la sonde en données physiques (pression, température, conductivité et les paramètres permettant de déduire l'oxygène dissous –courant et température-).
- WILDEDIT : ce programme vérifie les mesures et repère les mesures a priori incorrectes (s'écartant de plus de deux écarts-types d'une moyenne calculée sur 24 mesures, soit toutes les secondes).
- ALIGNCTD : ce programme avance de 3 secondes les mesures relatives à l'oxygène afin de les recalibrer par rapport aux mesures de pression.
- CELLTM : ce programme corrige les données de conductivité en fonction de 'l'effet de masse thermique'.
- FILTER : ce programme applique un filtre 'passe-bas' à la conductivité (0.03 s) et à la pression (0.15s).
- LOOPEDIT : ce programme vérifie si le déplacement vertical de la sonde est correct pour effectuer les mesures. Il repère les mesures 1) dont la variation de pression est opposée au déplacement vertical moyen (descente ou montée) ou 2) pour lesquelles la vitesse verticale est inférieure à 25 cm/s.
- DERIVE (O₂). programme utilisé pour le calcul des concentrations en oxygène (ml/l et $\mu\text{mole/kg}$).
- BINAvg : ce programme effectue une moyenne des mesures . Ici, la moyenne est effectuée en fonction de la pression tous les décibars.
- DERIVE (salinité) : ce programme calcule la valeur de salinité.
- SPLIT : ce programme crée deux fichiers (descente et remontée).
- BOTTLESUM : ce programme crée un fichier BTL contenant les informations relatives aux prélèvements effectués à la remontée de la sonde.

Pour plus de détails sur ces procédures, prière de se référer au document SEABIRD relatif au logiciel, mentionné dans les références bibliographiques.

Après chaque station hydrologique, l'ensemble des mesures (brutes, et issues de ce traitement préliminaire) est systématiquement enregistré en double sur des disques réseaux.

3- Déroulement des travaux.

7 stations hydrologiques (3 stations de 0 à 100 dbar et 4 stations de 0 à 3400 dbar) ont été effectuées pendant la campagne AMANDES1.

Il y a eu 62 prélèvements pour l'analyse de l'oxygène et des sels nutritifs et 34 prélèvements pour l'analyse du CO₂.

Pour vérifier le poste de dosage de l'oxygène, aux stations 504 et 604, 12 bouteilles ont été fermées à 500 dbar.

4- Calibration de l'oxygène.

4a. Calibration :

Les mesures du capteur d'oxygène de la sonde sont calibrées en comparant les résultats des analyses chimiques avec les mesures de la sonde obtenues à la même pression, en prenant en compte le profil de remontée (fichier *.BTL).

La calibration se fait en utilisant la méthode préconisée par SEABIRD (note 64), qui prend en compte le courant transmis par l'électrode du capteur d'oxygène SBE43. Les coefficients du modèle sont déterminés par itérations successives sur l'ensemble de cette campagne.

La figure 1 montre les écarts, en ml/l, entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde extraites du profil de descente, avant et après la calibration des profils.

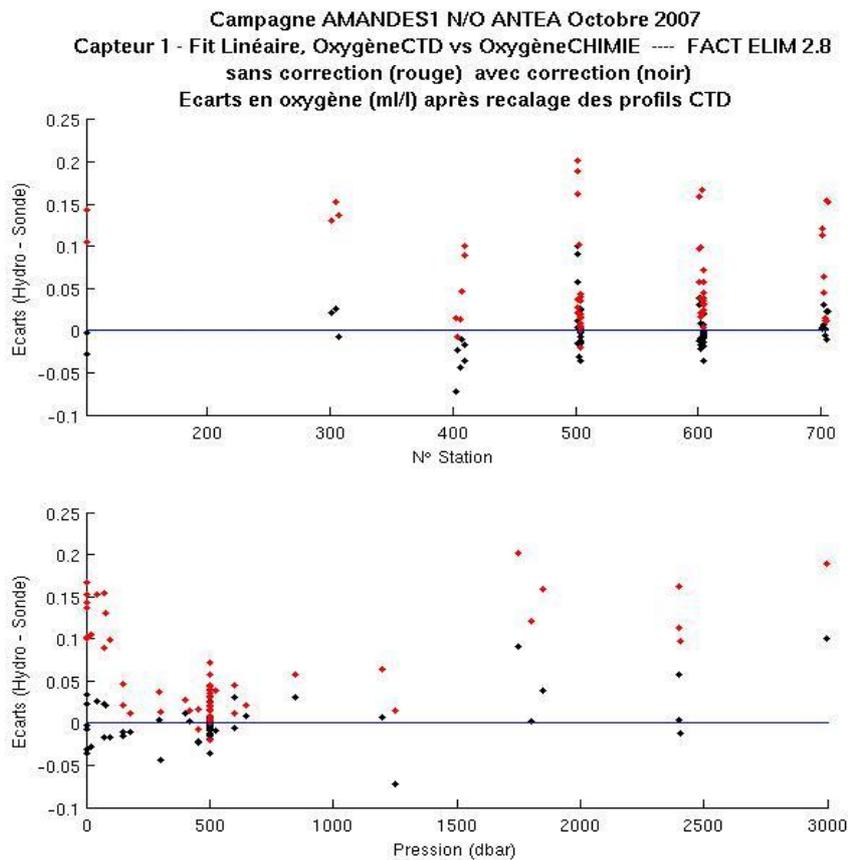


Figure 1 : Ecart d'oxygène dissous (en ml/l), entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde lors du profil de descente, avant et après calibration ; en fonction de temps (numéro de station, en haut) et de la pression (en bas).

La figure 1 montre les écarts, en ml/l, entre les mesures des échantillons et les mesures de la sonde extraites du profil de descente, après la calibration des profils. Ces écarts sont tout-à-fait acceptables sur l'ensemble des stations et de la colonne d'eau. Ainsi, les histogrammes de la figure 2 montrent que la distribution des écarts est relativement bien centrée. Ainsi, l'écart est inférieur à ± 0.02 ml/l dans 41 % des cas, et inférieur à ± 0.05 ml/l dans 90 % des cas.

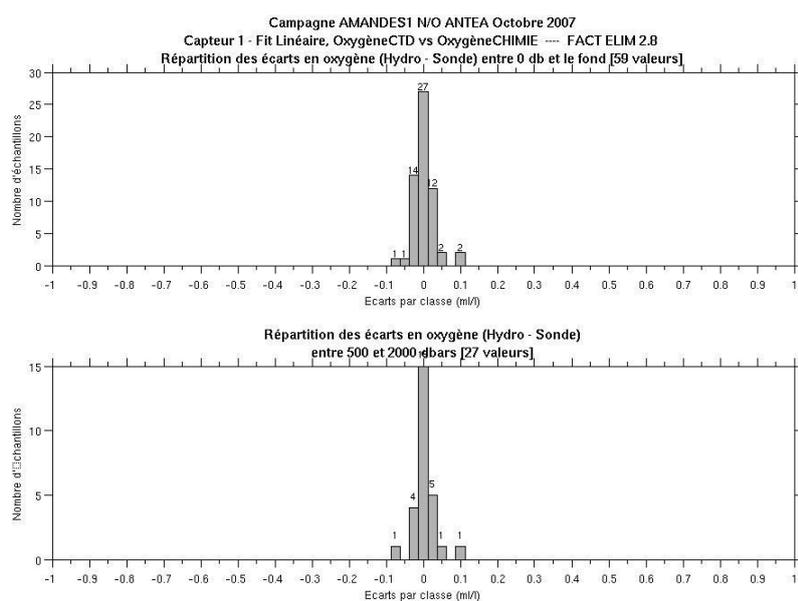


Figure 2 : Histogramme des écarts entre les valeurs d'oxygène dissous issues de l'analyse des échantillons et des mesures de la sonde après calibration. Ces écarts sont considérés de la surface au fond (en haut) et de 3000 dbar au fond (en bas) .

Description de la méthode utilisée (Application note N° : 64-2 08/ 2005 capteur SBE43)

L'équation utilisée par Sea Bird pour le calcul de la concentration de l'oxygène dissous en ml/l à partir du courant de sortie du capteur est donnée par la formule de Owens-Millard (1985) :

$$\text{Oxygène (ml/l) = } \{ \text{Soc} * (\text{V} + \text{Voffset} + \text{tau} * \text{dV/dT}) + \text{Boc} * \exp(-.003\text{T}) \} * \text{Oxsat(T,S)} * \exp(\text{tcor} * \text{T}) * \exp(\text{pcor} * \text{P})$$

où :

V= SBE courant de sortie (volts)

DV/dT= (volts/seconde)

T= Température de la sonde (°C)

S= salinité de la sonde (psu)

P= pression de la sonde (dbars)

Oxsat(T,S)= saturation d'oxygène (ml/l)

Soc,Boc,Voffset,tau et pcor sont les coefficients de calibration du capteur.

Pour le capteur SBE43 les coefficients Boc et tau sont nuls ;

Il en résulte la nouvelle équation suivante :

$$\text{Oxygène (ml/l) = } \{ \text{Soc} * (\text{V} + \text{Voffset}) \} * \text{Oxsat(T,S)} * \exp(\text{tcor} * \text{T}) * \exp(\text{pcor} * \text{P})$$

$$\text{On pose PHI} = \text{Oxsat(T,S)} * \exp(\text{tcor} * \text{T}) * \exp(\text{pcor} * \text{P})$$

L'équation devient alors:

$$\text{Oxygène(ml/l)} = \text{Soc} * (\text{V} + \text{Voffset}) * \text{PHI}$$

On peut écrire cette équation sous la forme linéaire suivante:

$$\text{Oxygène(ml/l)/PHI} = \text{Soc} * (\text{V} + \text{Voffset}) = \text{M} * \text{V} + \text{B}$$

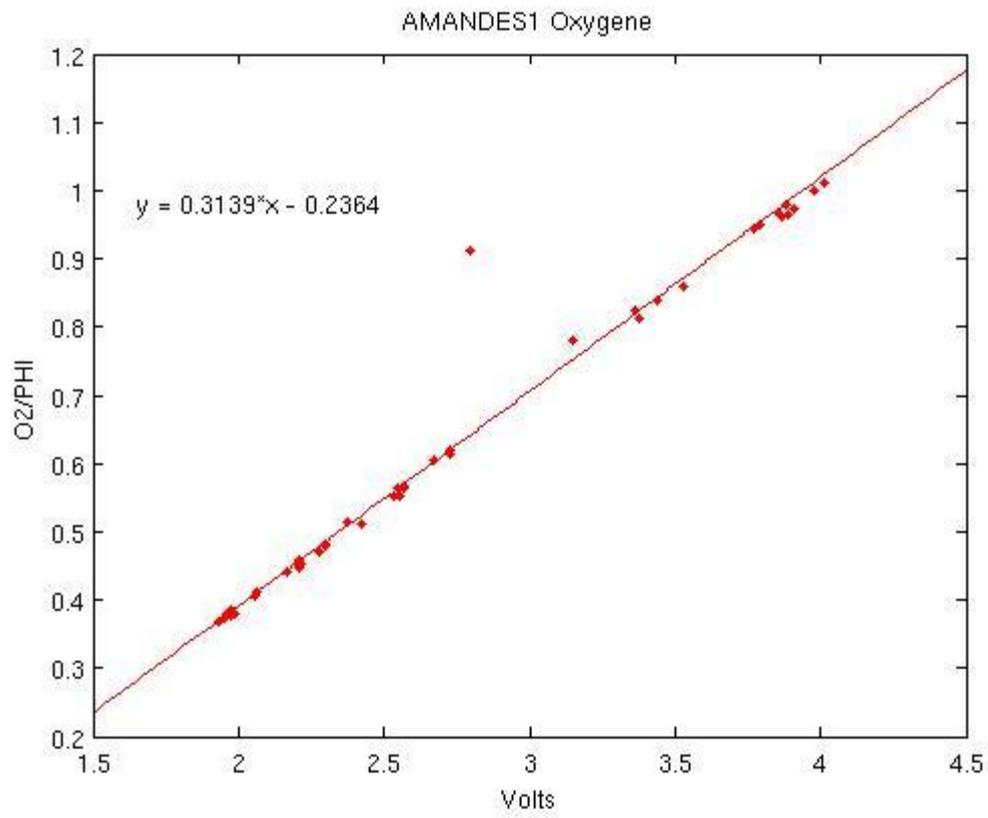
Où Soc= M et Voffset= B/M

Il suffit de calculer la valeur de Soc et de Voffset pour obtenir la nouvelle valeur de la concentration en Oxygène (ml/l).

L'oxygène corrigé est de la forme : O2_cor= soc_new*(voffset_new)*PHI

Pour AMANDES1, la figure(3) montre la relation Volts-O2_analyse/PHI avec les données utilisées pour le calcul du fit où la nouvelle valeur du paramètre SOC est de .3139 et la nouvelle valeur du Voffset = (-.2364/SOC) = -.2364/.3139= - 0.7531.

Figure 3: Variations du courant d'oxygène en fonction du rapport oxygène analyse sur PHI.



4b. Vérification des résultats :

Les profils de salinité et les profils d'oxygène ont été comparés avec des profils réalisés en des mêmes positions lors de campagnes antérieures, à savoir Etambot1 (octobre 1995) et Etambot2 (Avril 1996). Au total, 6 comparaisons de diagrammes θ -O₂ et θ -S ont été effectuées, et les écarts observés indiquent un bon accord avec les profils historiques.

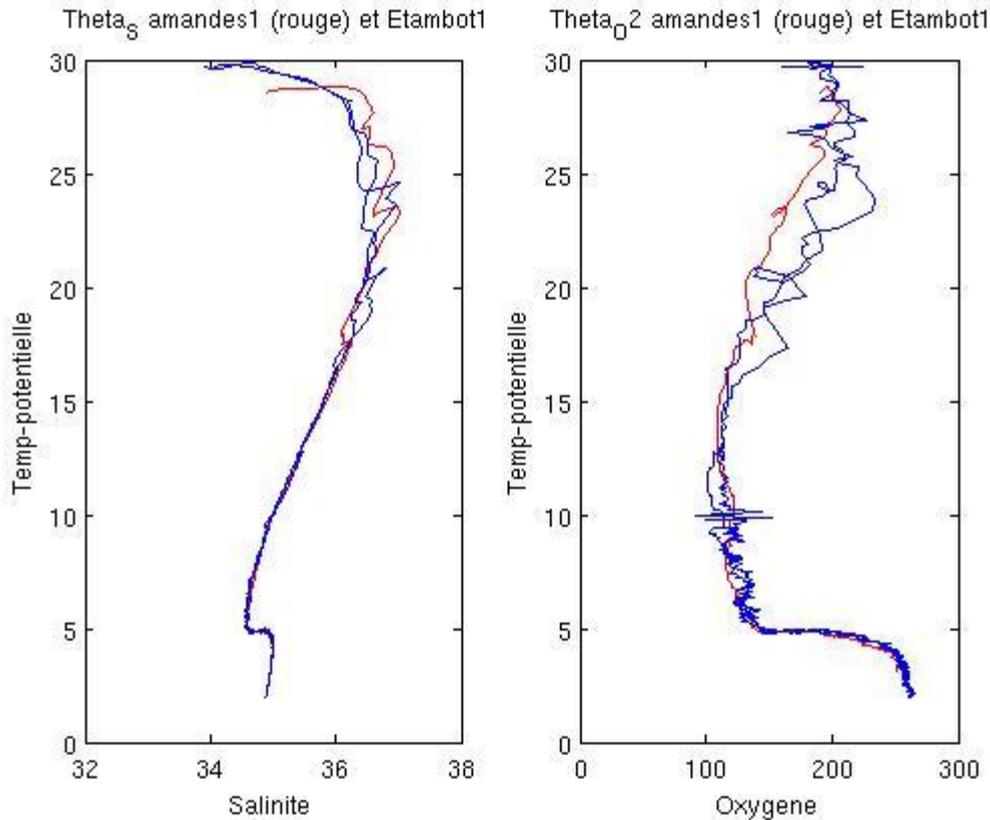


Figure 4 : Diagrammes θ -O₂ et θ -S de la station 7 (50°W-7°N).

5- Contenu et format des fichiers générés.

Les fichiers, à raison d'un fichier par palanquée sont en ASCII à un type de format analogue (mais non identique - la position ici est fournie, mais le type d'instrument utilisé et la fréquence d'acquisition ne le sont pas -) à celui préconisé par le WHP (Joyce et Corry, 1994). Un exemple de début de fichier est fourni ci-dessous.

```

AMANDES1
STRNBR 1 CASTNO 1 NO.RECORDS 35
DATE: Oct 25 2007 00:19:36

LATITUDE: = 04 50.160 N LONGITUDE: = 051 37.800 W
CTDPRS  CTDTMP  CTDSAL  CTD OXY  CTD OXY  FLUORI  ATTENUATION  TRANSM  QUALT1
DBAR    ITS-90   PSS-78   ML/L    UMOL/KG  µg/L      L/M          Pct
*****  *****  *****  *****  *****  *****  *****      *****  *****
2.00    28.9460    29.2555  4.73    207.70   0.2802    1.6921      65.4874  22222222
3.00    28.7120    31.7594  4.65    203.50   0.1773    1.4056      70.3565  22222222
4.00    28.4633    34.9318  4.53    197.98   0.1311    0.9913      78.0804  22222222

```

5.00 28.3724 35.7990 4.49 195.92 0.0972 0.6758 84.4766 22222222

avec :

- 1^{ère} ligne : intitulé de la campagne.
- 2^{nde} ligne : indications de l'indice de la station, de la palanquée et du nombre de données du profil.
- 3^{ème} ligne : date, et heure (TU).
- 4^{ème} ligne : position (degrés, minutes.centièmes).
- 5^{ème} ligne : code des paramètres (p, T, S, O₂, nombre de mesures considérées pour le calcul des valeurs, code de qualité des valeurs)
- 6^{ème} ligne : unité des paramètres.

La signification des codes de qualité est la suivante :

<u>Code</u>	<u>Définition</u>
1	Non calibré
2	Mesure acceptable
3	Mesure douteuse
4	Mauvaise mesure
5	Non reporté
6	Interpolé sur un intervalle supérieur à 2 bar
7	Pics anormaux éliminés
8	Pas défini pour les mesures CTD-O ₂
9	Non échantillonné

6- Références bibliographiques.

- Billant, A., et P. Brannelec, Calibration des mesures CTD-O₂ ; Campagne CITHER-1 N/O ATALANTE (2 janvier – 19 mars 1993), Recueil de données, Vol.2 : CTD-O₂, Rapport Interne LPO (94-04), 1994.
- Gouriou, Y., Calibration des mesures CTD-O₂, dans « Campagne ETAMBOT 1, Recueil de données, Vol.1/2 : Introduction, Mesures ‘en route’, Courantométrie ADCP, mesures CTDO₂, Coupes de distributions verticales », Doc. Scient. du Centre ORSTOM de Cayenne, O.P. 22, 1997a.
- Gouriou, Y., Calibration des mesures CTD-O₂, dans « Campagne ETAMBOT 2, Recueil de données, Vol.1/2 : Introduction, Mesures ‘en route’, Courantométrie ADCP, mesures CTDO₂, Coupes de distributions verticales », Doc. Scient. du Centre ORSTOM de Cayenne, O.P. 24, 1997b.
- Joyce, T., et C. Corry, Requirements for WOCE hydrographic programme data reporting, WHP Office Report 90-1, WOCE Report n°67/91, Woods Hole, Mass., USA, 1994.
- Owen, W.B., et R.C. Millard, A new algorithm for CTD oxygen calibration, Journal of Physical Oceanography, 15, 621-631, 1985.
- Seabird Electronics, Inc., CTD Data Acquisition software, SEASOFT, version 4.234, Washington, USA, 2 octobre 1998 (email : seabird@seabird.com).
- World Ocean Circulation Experiment : WOCE Experiment Manual, WHP Office Report 90-1, WOCE Report No. 67/91, Rev.2, Woods Hole, Mass., USA, May 1994.