



# CAMPAGNE TIP 2000

10 septembre (Surabaya) - 2 octobre 2000 (Fremantle)

*LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE DYNAMIQUE ET DE CLIMATOLOGIE*  
UMR 7617 CNRS/IRD/UPMC IPSL

*N.O. MARION DUFRESNE*  
*INSTITUT FRANCAIS POUR LA RECHERCHE ET LA TECHNOLOGIE POLAIRE*

## Recueil de données

*Chef de Mission : Michèle Fieux, LODYC*  
*Chef de Projet : Robert Molcard, LODYC*



**Elaboré par Annie Kartavtseff, LODYC**

Rapport Interne LODYC n°2002-01  
*Avril 2002*

## SOMMAIRE

Ce sommaire concerne l'extrait du recueil général consacré uniquement aux données ADCP de coque et CTD (sections)

| PARTIE |                                  | Page |
|--------|----------------------------------|------|
| 1 -    | INTRODUCTION                     | 1    |
| 2 -    | TRAITEMENT DES DONNEES           | 11   |
|        | Chapitre 1 Données CTD           | 13   |
|        | Chapitre 2 Données ADCP de coque | 29   |
| 3 -    | PRESENTATION DES DONNEES         | 41   |
|        | Chapitre 1 Sections CTD et ADCP  | 43   |

# Première partie

## Introduction



## 0.1 Les Objectifs Scientifiques

Les études théoriques du système couplé océan-atmosphère montrent l'importance, à l'échelle planétaire, de la région du Pacifique ouest et de la connexion tropicale avec l'océan Indien sur le climat.

Dans le cadre de l'étude de la circulation océanique générale des questions se posent sur le retour des eaux chaudes du Pacifique vers l'Atlantique nord. Le transport entre le Pacifique et l'Indien à travers les mers indonésiennes en représente un des maillons clés, mais les observations sont encore trop éparses, compte tenu de sa grande variabilité annuelle et interannuelle, pour en avoir encore une bonne estimation.

Au sud de cette région, le courant de Leeuwin est le seul courant de bord Est portant vers le pôle. Sa présence est liée à l'existence du transport d'eaux chaudes et peu salées entre l'océan Pacifique et l'océan Indien à travers les mers indonésiennes. C'est une région où de fortes anomalies du niveau de la mer se développent. Ces anomalies, détectées par altimétrie satellitaire, se propagent ensuite vers l'ouest et sont donc susceptibles de transporter de la chaleur et d'avoir un impact climatique.

Pour tenter de répondre à ces questions la campagne TIP 2000 a été lancée en septembre 2000.

Afin d'estimer la variabilité du transport entre l'océan Pacifique et l'océan Indien, la section entre Java et le plateau continental australien, réalisée lors de JADE 89 et JADE 92 (Programme JADE, M.Fieux et R.Molcard, LODYC, Paris), a été réoccupée pour en permettre une nouvelle évaluation par la méthode indirecte de la géostrophie associée aux mesures directes de courant par ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) et la comparer avec les précédentes.

A la suite des études réalisées au LEGOS/GRGS (R. Morrow) sur les anomalies du niveau de la mer au large des côtes australiennes et indonésiennes, l'étude de la structure en profondeur de ces anomalies, liées semble-t-il à des tourbillons, va permettre d'estimer si ces anomalies peuvent jouer un rôle important dans le transport de chaleur et d'autres traceurs vers l'océan intérieur.

Ces objectifs entrent dans le programme international d'étude de la variabilité du climat CLIVAR (CLImate VARIability and Predictibility).

## 0.2 Opérations réalisées

La campagne s'est déroulée à bord du "MARION DUFRESNE", navire de l'IFRTP (Institut Français pour la Recherche Technique et Polaire), du 10 septembre au 2 octobre 2000, entre Surabaya (Java, Indonésie) et Fremantle (Australie). La partie nord du programme se situait dans la zone économique exclusive indonésienne, la partie sud dans la zone économique exclusive australienne. Dans le cadre de la longue coopération entre la France et l'Indonésie depuis 1989 et grâce à l'aide du BPPT à Jakarta nous avons pu obtenir la permission d'effectuer les stations situées dans les eaux indonésiennes avec une équipe de quatre indonésiens à bord que nous avons embarqués à Surabaya le 9 septembre et débarqués à Banyuwangi le 17 septembre.

Nous avons effectué une section hydrologique (27 stations jusqu'à 4000m) entre l'Indonésie (Java est) et le plateau continental Australien en deux parties : la première de la station 1 à la station 12 correspondant à la zone économique indonésienne, la seconde de la station 21 à 35. Puis nous avons effectué des profils jusqu'à 1500m-2000m dans une anomalie de niveau de la mer

située au sud de Java de la station 14 à la station 20. Au large de la côte australienne occidentale dans la zone du courant de Leeuwin, à travers des anomalies positives et négatives du niveau de la mer, quatre sections hydrologiques comportant 36 stations ont été réalisées. Les mesures ont été effectuées jusqu'à 50-100m du fond sur la section 39-45, et, par manque de temps, limitées à 2000m sur la section 46-51, jusqu'au fond de la station 52 à 57, à 4000m à la station 58, limitées à 3000m de 59 à 62 et limitées à 2000m de 63 à 75. Ces sections comportaient des profils de température, de salinité, d'oxygène, de fluorescence et des prélèvements pour les mesures de phosphates, nitrates, silicates, néodyme et thorium qui seront analysés ultérieurement ainsi que des mesures d'alcalinité et de pH de surface toutes les 15 minutes. Un LADCP (profileur acoustique de courant à effet Doppler) était installé sur le bâti de la bathysonde Sea Bird associée à une rosette de 24 bouteilles de 12 litres. Les sections dans la zone du courant de Leeuwin ont été positionnées à l'aide des cartes satellite de niveau de la mer et de température de surface reçues à bord afin d'échantillonner les structures tourbillonnaires.

En outre, le long de la route, des mesures de température et de salinité de surface ont été enregistrées ainsi que des mesures météorologiques. Un profileur de courant acoustique à effet Doppler (ADCP) installé sur la coque du Marion Dufresne a permis de mesurer les profils de courant en continu le long de la route.

Quatre carottages, faisant partie du programme Images, ont été réalisés au cours de la campagne (responsable à bord : François Guichard, LSCE, CNRS-Gif). Ils correspondent aux stations 13, 36, 37 et 38 où des profils jusqu'à 250m ont été effectués.

La figure suivante donne la position des stations ainsi que le tracé de la route suivie par le navire.

Les tableaux suivants récapitulent la liste des stations CTD. Les numéros des stations doublées sont notés 111,112,271,272,291,292,331,332. Les heures, positions et sondes correspondent à la fin de la descente de la CTD.

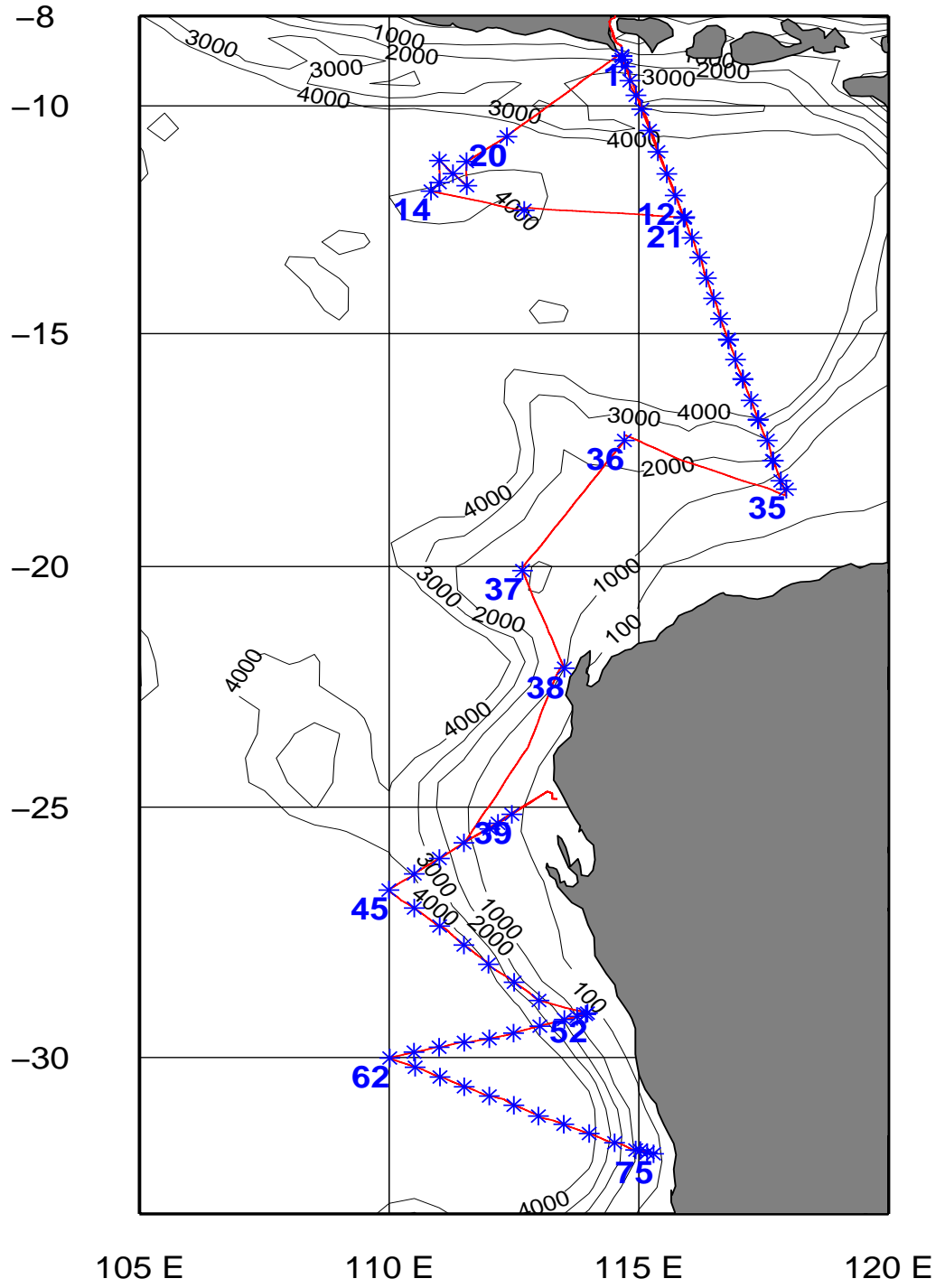


FIG. 1 -: Positions des stations CTD et Route ADCP

| TIP 2000 - Stations 1 à 35 |      |      |       |       |          |          |       |
|----------------------------|------|------|-------|-------|----------|----------|-------|
| Num sta                    | jour | mois | annee | H.min | Lat      | Long     | Sonde |
| 01                         | 10   | 09   | 2000  | 23.13 | -8.5372  | 114.3982 | 1000  |
| 02                         | 11   | 09   | 2000  | 02.03 | -8.5327  | 114.3959 | 680   |
| 03                         | 11   | 09   | 2000  | 05.13 | -8.5810  | 114.3963 | 1600  |
| 04                         | 11   | 09   | 2000  | 08.58 | -9.0745  | 114.4377 | 2090  |
| 05                         | 11   | 09   | 2000  | 14.09 | -09.2623 | 114.4914 | 4100  |
| 06                         | 11   | 09   | 2000  | 19.44 | -09.4582 | 114.5660 | 4324  |
| 07                         | 12   | 09   | 2000  | 03.12 | -10.0421 | 115.0350 | 4200  |
| 08                         | 12   | 09   | 2000  | 11.00 | -10.3259 | 115.1276 | 3400  |
| 09                         | 12   | 09   | 2000  | 16.51 | -11.0102 | 115.2281 | 5000  |
| 10                         | 12   | 09   | 2000  | 23.25 | -11.3032 | 115.3369 | 5850  |
| 111                        | 13   | 09   | 2000  | 09.20 | -11.5885 | 115.4360 | 5400  |
| 112                        | 13   | 09   | 2000  | 12.10 | -11.5885 | 115.4360 | 5400  |
| 121                        | 13   | 09   | 2000  | 16.58 | -12.2708 | 115.5508 | 5000  |
| 122                        | 13   | 09   | 2000  | 19.52 | -12.2819 | 115.5390 | 5000  |
| 13                         | 14   | 09   | 2000  | 15.44 | -12.1853 | 112.4247 | 2500  |
| 14                         | 15   | 09   | 2000  | 02.16 | -11.5294 | 110.5027 | 3900  |
| 15                         | 15   | 09   | 2000  | 05.42 | -11.4176 | 111.0035 | 4200  |
| 16                         | 15   | 09   | 2000  | 09.37 | -11.1253 | 111.0037 | 4800  |
| 17                         | 15   | 09   | 2000  | 13.42 | -11.2976 | 111.1656 | 4350  |
| 18                         | 15   | 09   | 2000  | 17.29 | -11.4592 | 111.3332 | 3650  |
| 19                         | 15   | 09   | 2000  | 22.18 | -11.1392 | 111.3290 | 4300  |
| 20                         | 16   | 09   | 2000  | 05.16 | -10.4069 | 112.2167 | 5650  |
| 21                         | 18   | 09   | 2000  | 04.16 | -12.2863 | 115.5491 | 5050  |
| 22                         | 18   | 09   | 2000  | 09.49 | -12.5465 | 116.0385 | 5380  |
| 23                         | 18   | 09   | 2000  | 15.42 | -13.2049 | 116.1317 | 5690  |
| 24                         | 18   | 09   | 2000  | 21.03 | -13.4758 | 116.2105 | 5680  |
| 25                         | 19   | 09   | 2000  | 02.54 | -14.1406 | 116.2973 | 5680  |
| 26                         | 19   | 09   | 2000  | 08.02 | -14.4074 | 116.3826 | 5730  |
| 271                        | 19   | 09   | 2000  | 13.20 | -15.0743 | 116.4752 | 5730  |
| 272                        | 19   | 09   | 2000  | 15.41 | -15.0865 | 116.4798 | 5730  |
| 28                         | 19   | 09   | 2000  | 19.36 | -15.3395 | 116.5620 | 5418  |
| 291                        | 20   | 09   | 2000  | 00.36 | -15.5899 | 117.0474 | 5700  |
| 292                        | 20   | 09   | 2000  | 02.41 | -15.5958 | 117.0509 | 5700  |
| 30                         | 20   | 09   | 2000  | 06.24 | -16.2682 | 117.1486 | 5475  |
| 311                        | 20   | 09   | 2000  | 11.11 | -16.5224 | 117.2334 | 3374  |
| 312                        | 20   | 09   | 2000  | 13.09 | -16.5164 | 117.2358 | 3500  |
| 32                         | 20   | 09   | 2000  | 16.50 | -17.1859 | 117.3426 | 3120  |
| 331                        | 20   | 09   | 2000  | 20.56 | -17.4471 | 117.4069 | 1717  |
| 332                        | 20   | 09   | 2000  | 22.25 | -17.4469 | 117.4160 | 1800  |
| 34                         | 21   | 09   | 2000  | 01.46 | -18.1072 | 117.5050 | 530   |
| 35                         | 21   | 09   | 2000  | 03.55 | -18.2152 | 117.5731 | 100   |



| TIP 2000 - Stations 36 à 75 |      |      |       |       |          |          |       |
|-----------------------------|------|------|-------|-------|----------|----------|-------|
| Num sta                     | jour | mois | annee | H.min | Lat      | Long     | Sonde |
| 36                          | 21   | 09   | 2000  | 21.26 | -20.0513 | 112.4012 | 2800  |
| 37                          | 22   | 09   | 2000  | 22.19 | -22.0823 | 113.3038 | 980   |
| 38                          | 23   | 09   | 2000  | 12.04 | -25.4380 | 111.2994 | 1115  |
| 42                          | 24   | 09   | 2000  | 12.16 | -25.2675 | 112.0113 | 1150  |
| 41                          | 24   | 09   | 2000  | 15.46 | -25.1993 | 112.1082 | 490   |
| 40                          | 24   | 09   | 2000  | 17.30 | -25.0909 | 112.2723 | 250   |
| 39                          | 25   | 09   | 2000  | 19.46 | -25.0909 | 112.2723 | 120   |
| 43                          | 25   | 09   | 2000  | 15.43 | -26.0278 | 111.0028 | 2750  |
| 44                          | 25   | 09   | 2000  | 20.54 | -26.2141 | 110.3029 | 4050  |
| 45                          | 26   | 09   | 2000  | 02.50 | -26.4095 | 109.5965 | 4725  |
| 46                          | 26   | 09   | 2000  | 08.23 | -27.0256 | 110.3002 | 5280  |
| 47                          | 26   | 09   | 2000  | 13.07 | -27.2416 | 111.0057 | 5040  |
| 48                          | 26   | 09   | 2000  | 17.31 | -27.4683 | 111.2991 | 4725  |
| 49                          | 26   | 09   | 2000  | 22.12 | -28.0983 | 111.5928 | 4423  |
| 50                          | 27   | 09   | 2000  | 02.41 | -28.3139 | 112.3033 | 2740  |
| 51                          | 27   | 09   | 2000  | 08.20 | -28.5304 | 113.0002 | 2280  |
| 52                          | 27   | 09   | 2000  | 13.20 | -29.0780 | 113.5810 | 120   |
| 53                          | 27   | 09   | 2000  | 14.15 | -29.0915 | 113.5604 | 260   |
| 54                          | 27   | 09   | 2000  | 15.53 | -29.1155 | 113.4576 | 900   |
| 55                          | 27   | 09   | 2000  | 18.43 | -29.1540 | 113.3038 | 2175  |
| 56                          | 27   | 09   | 2000  | 23.40 | -29.2306 | 113.0105 | 3375  |
| 57                          | 28   | 09   | 2000  | 05.28 | -29.3127 | 112.2939 | 5190  |
| 58                          | 28   | 09   | 2000  | 11.48 | -29.3806 | 112.0035 | 5193  |
| 59                          | 28   | 09   | 2000  | 17.32 | -29.4212 | 111.3004 | 5190  |
| 60                          | 28   | 09   | 2000  | 22.32 | -29.4789 | 111.0014 | 5400  |
| 61                          | 29   | 09   | 2000  | 04.28 | -29.5353 | 110.2974 | 5430  |
| 62                          | 29   | 09   | 2000  | 10.58 | -30.0045 | 110.0077 | 5458  |
| 63                          | 29   | 09   | 2000  | 15.13 | -30.1120 | 110.3125 | 5400  |
| 64                          | 29   | 09   | 2000  | 19.00 | -30.2269 | 111.0119 | 5340  |
| 65                          | 29   | 09   | 2000  | 22.53 | -30.3400 | 111.3019 | 5100  |
| 66                          | 30   | 09   | 2000  | 02.44 | -30.4472 | 112.0042 | 5100  |
| 67                          | 30   | 09   | 2000  | 06.58 | -30.5542 | 112.2992 | 5040  |
| 68                          | 30   | 09   | 2000  | 11.33 | -31.0809 | 112.5924 | 5046  |
| 69                          | 30   | 09   | 2000  | 15.44 | -31.1757 | 113.2981 | 4860  |
| 70                          | 30   | 09   | 2000  | 19.35 | -31.2820 | 114.0042 | 4590  |
| 71                          | 30   | 09   | 2000  | 23.36 | -31.3891 | 114.3096 | 2000  |
| 72                          | 01   | 10   | 2000  | 02.36 | -31.4709 | 114.5623 | 615   |
| 73                          | 01   | 10   | 2000  | 03.58 | -31.4773 | 115.0162 | 315   |
| 74                          | 01   | 10   | 2000  | 05.28 | -31.5009 | 115.1021 | 160   |
| 75                          | 01   | 10   | 2000  | 06.42 | -31.5161 | 115.1783 | 100   |

### 0.3 Quelques résultats préliminaires

La structure de la section Java-Australie présente le long de la côte de Java une pente des isolignes traduisant une remontée d'eau plus froide et plus salée dans la couche de surface due à l'effet de la mousson de SE. Les eaux de surface dessalées ( $<34$ ) s'étendent vers le sud jusqu'à la station 25. En subsurface, entre 200m et 600m, un front de salinité et de teneur en oxygène, séparant l'eau Subtropicale et Centrale provenant de l'océan Indien sud de l'eau Indonésienne provenant de l'est, est situé vers  $12^\circ$  S, alors qu'en août 1989 et février 1992 il se situait à  $13^\circ$  30S. L'eau Subtropicale présente un maximum de salinité vers 200m de profondeur, au-dessous, l'eau Centrale est caractérisée par un maximum d'oxygène vers 400m. Dans la partie nord de la section, collée à la côte de Java, entre 300m et 700m, l'eau d'origine nord indienne est caractérisée par un minimum d'oxygène et un maximum relatif de salinité. Entre les deux, l'eau Intermédiaire Indonésienne se caractérise par des salinités très homogènes proches de 34,60 jusqu'à environ 1100m. Au-dessous se trouve l'eau profonde caractérisée par un maximum de salinité vers 2200m.

Les résultats des mesures de courant obtenues par l'ADCP de coque indiquent un fort courant de Java vers l'ouest près de la côte en concordance avec les vents de fin de mousson de sud-est sur la région qui entraînent les remontées d'eau froides près de la côte de Java. Dans la région ouest australienne, les mesures de courant montrent bien une circulation anticyclonique autour des anomalies positives du niveau de la mer.

Les profils effectués à travers ces anomalies indiquent une épaisse couche de mélange au centre atteignant jusqu'à 250m et une déformation des isothermes et des isohalines jusqu'à près de 2000m correspondant à une forte anomalie de quantité de chaleur. Ce qui semble indiquer que ces anomalies sont susceptibles de transporter de la chaleur vers l'ouest.

### 0.4 Remerciements

Membres de l'équipe scientifique TIP:

Bensoussan Nathaniel, COM Marseille, français,  
 Birol Florence, CLS, Toulouse, française,  
 Bournot-Marec Claudie, Division Technique de l'INSU, française,  
 Candaudap Frédéric, CLS, Toulouse, français,  
 Cortecchi Gianni, Université de Bologne, italien,  
 Ferreira David, LODYC, Paris, français,  
 Fieux Michèle (chef de mission), LODYC, Paris, française,  
 Guilyardi Eric, LODYC, Paris, français,  
 Lacan François, CLS, Toulouse, français,  
 Lo-Monaco Claire, COMarseille, française,  
 Madec Gurwan, LODYC, Paris, français,  
 Sabrina Marie, LPCM, Paris, française,  
 Martin Nicolas, LODYC, Paris, français,  
 Masson Sébastien, LODYC, Paris, français,  
 Molcard Robert (chef de projet), LODYC, Paris, français,  
 Moore Thomas, CSIRO, Australie, américain,

Morrow Rosemary (co-responsable scientifique), Observatoire Midi-Pyrénées, australienne,  
 Vossepoel Femke. LODYC, Paris, hollandaise,

Participants indonésiens entre Surabaya et Banyuwangi :

Endro Soeyanto, BPPT, Jakarta

Abdul Gani Ilahude, LIPI, Jakarta

Dadang Ahmad, University of Hassanuddin, Sulawesi

Lieutenant Iwan Kusuwanto, officier de sécurité indonésien

Cette campagne a été menée à bien grâce à la collaboration sur le plan national avec plusieurs laboratoires ( LEGOS-Toulouse, COM-Marseille, UMR Dimar-Marseille) et sur le plan international avec le CSIRO Australien, l'Université Italienne de Bologne, le LIPI et le BPPT Indonésiens.

Nous remercions l'équipe IFRTP (Xavier Morin, Martin Mellet, Sacha Fouchard, Renaud Cagna et Bernard Ollivier) de nous avoir soutenus lors de cette campagne. Nous tenons aussi à remercier le Commandant Gilles Foubert et son équipage pour leur aide efficace et chaleureuse. Les difficultés rencontrées avec le matériel CTD et rosette n'ont été surmontées que grâce à la présence de Claudie Bournot-Marec de la Division Technique de l'INSU dont la compétence et la disponibilité nous ont été très précieuses tout au long de la campagne.

Le traitement des données CTD et ADCP de coque, ainsi que la présentation de tous les résultats ont été effectués par Annie Kartavtseff au laboratoire, le traitement des données LADCP a été effectué par Nicolas Martin et Robert Molcard.

L'IFRTP et l'INSU ont permis le financement de cette campagne.

## 0.5 Responsables scientifiques

- . Michèle Fieux, LODYC, T. 15 2ème ét., case 100, UPMC, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05 , tél: 01 4427 3807, email: fieux@lodyc.jussieu.fr
- . Robert Molcard, LODYC, T. 15 2ème ét., case 100, UPMC, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, tél: 01 4427 7074, email: bob@lodyc.jussieu.fr
- . Rosemary Morrow, LEGOS/GRGS, UMR 5566, 18 av. Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 4, tél: 05 6133 2944, email: Rosemary.Morrow@cnes.fr

Les mesures de néodyme et de thorium sont sous la responsabilité de Catherine Jeandel au CLS à Toulouse.

Les mesures de nutritifs sont sous la responsabilité de Patrick Raimbault au COM à Marseille.



Deuxième partie

Traitement des Données



# Chapitre 1

## Données CTD

Les deux CTD Seabird SBE 9+ de L'IFRTP et de l'INSU ont été utilisées, équipées d'un capteur d'oxygène dissous Beckman et d'un fluorimètre. De nombreux problèmes d'acquisition se sont produits en début de campagne, conduisant la responsable INSU, Claudie Bournot, à effectuer plusieurs changements de capteurs. Le tableau ci-dessous résume l'utilisation des CTD et des capteurs. Pour le capteur d'oxygène, les chiffres entre parenthèses désignent les voies analogiques de connexion.

| Station | CTD   | Capteur P | Capteur T | Capteur C | Capteur O2      |
|---------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| 1 à 3   | INSU  | 29760     | 1016      | 702       | 130262 (0 et 1) |
| 4       | INSU  | 29760     | 1016      | 702       | 130262 (4 et 5) |
| 5 à 10  | INSU  | 29760     | 1820      | 1491      | 130262 (4 et 5) |
| 11 à 42 | IFRTP | 59934     | 1820      | 1491      | 130380 (0 et 1) |
| 43 à 75 | IFRTP | 59934     | 1820      | 1491      | 130380 (4 et 5) |

TAB. 1.1 –: Utilisation des CTD et capteurs pendant la campagne TIP 2000

Le changement des capteurs de conductivité et d'oxygène conduisent obligatoirement à découper la campagne en trois périodes au minimum pour l'étalonnage en salinité et oxygène.

**Période 1** Stations 1 à 4

**Période 2** Stations 5 à 10

**Période 3** Stations 11 à 75

Le fluorimètre Chelsea n'a subi aucune modification pendant toute la campagne, et a été équipé du même capteur, numéro 88/2050/081, sur la voie analogique numéro 2.

Les capteurs de température et de pression avaient été étalonnés avant la campagne. Aucun étalonnage de ces capteurs n'a été prévu à la fin de la campagne.

Les mesures CTD ont été effectuées à bord par Claudie Bournot, Eric Guilyardi, Gurwan Madec, Nicolas Martin, Robert Molcard et Rosemary Morrow.

Les échantillons de salinité ont été analysés à bord au moyen du salinomètre Autosal Guildline du LODYC, par David Ferreira, Sébastien Masson et Femke Vossepoel, puis au LBCM Paris par Michèle Fieux, au moyen du Salinomètre Autosal Guildline du LBCM, le salinomètre du LODYC ayant présenté des dysfonctionnements en fin de campagne. Les échantillons d'oxygène ont été analysés par Gianni Cortecci, Sabrina Marie et Nathaniel Bensoussan.

La calibration en conductivité a été effectuée au LODYC par Annie Kartavtseff en utilisant la procédure décrite par Billant (1986) et Charriaud (1991), par comparaison des mesures du salinomètre et des mesures données par la sonde.

La calibration en oxygène a été également effectuée au LODYC par Annie Kartavtseff, en utilisant l'algorithme de calcul décrit par Owens et Millard (1985).

Les différentes étapes pour obtenir les données hydrologiques définitives sont les suivantes :

**Etalonnage** des capteurs de pression, température, conductivité et oxygène.

**Validation et réduction** des données brutes.

**Calcul** des paramètres hydrologiques.

## 1.1 Etalonnage des capteurs

Les capteurs de pression et de température sont étalonnés en laboratoire ou par le constructeur, ceux de conductivité et d'oxygène sont étalonnés *in situ* à partir des prélèvements effectués sur les bouteilles hydrologiques.

### Pression

Un premier étalonnage en pression de la sonde INSU été réalisé par le Service Métrologie et essais de l'IFREMER en Novembre 1999, au moyen d'une balance DESGRANGES et HUOT, modèle 5020, par l'intermédiaire du relais huile-eau DESGRANGES et HUOT modèle 5016. Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes en dbars pour les profils de descente et de montée faits à deux températures, 5 et 20 degrés C.

| Pression ref D | Pression ctd D | Pression ctd M |
|----------------|----------------|----------------|
| 0.             | 4.2115         | 4.257          |
| 1000.          | 1004.982       | 1005.204       |
| 2000.          | 2005.492       | 2005.692       |
| 3000.          | 3006.079       | 3006.155       |
| 4000.          | 4006.528       | 4006.807       |
| 5000.          | 5007.558       | 5007.714       |
| 6000.          | 6008.474       | 6008.474       |

TAB. 1.2 –: CTD INSU : Etalonnage IFREMER (dbars) du capteur de pression (Novembre 99)

Un deuxième étalonnage a été réalisé par Sea-Bird le 10 Décembre 1999. Il s'agit d'une comparaison entre les valeurs données par un capteur de pression "test" identique à celui qui équipe la sonde utilisée, et les valeurs d'un capteur de référence. Les valeurs de contrôle du capteur de pression "test" sont données dans le tableau ci-dessous, en psia.

| Pression ref D | Pression ctd D | Pression ref M | Pression ctd M |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 20.6           | 14.7           | 20.7           | 14.7           |
| 1472.2         | 1465.1         | 1470.1         | 1465.1         |
| 2923.4         | 2915.5         | 2923.6         | 2915.5         |
| 4374.6         | 4365.9         | 4374.8         | 4365.9         |
| 5825.6         | 5816.3         | 5825.9         | 5816.3         |
| 7277.7         | 7266.7         | 7277.9         | 7266.7         |
| 8729.5         | 8717.1         | 8729.5         | 8717.1         |

TAB. 1.3 –: CTD INSU : Etalonnage Sea-Bird (psia) du capteur de pression (10.12.99)

On utilisera les résultats de cet étalonnage, le plus récent, pour les deux premières périodes, soit les stations 1 à 10.

L'étalonnage en pression de la sonde IFRTP a été réalisé par le constructeur le 4 Novembre 1998, également par comparaison entre les valeurs données par un capteur de pression "test", identique à celui qui équipe la sonde utilisée, et les valeurs d'un capteur de référence. Les valeurs de contrôle du capteur de pression "test" sont données dans le tableau ci-dessous.

Dans les calculs d'étalonnage de la conductivité et de l'oxygène, on utilisera cette valeur de la pression, pour la troisième période, stations 11 à 75.



| Pression ref D | Pression ctd D | Pression ref M | Pression ctd M |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 14.637         | 14.574         | 14.604         | 15.358         |
| 2014.737       | 2015.691       | 2014.657       | 2015.589       |
| 4014.589       | 4015.488       | 4014.584       | 4015.476       |
| 6014.329       | 6015.229       | 6014.313       | 6015.219       |
| 8013.994       | 8014.854       | 8013.967       | 8014.999       |
| 10013.938      | 10013.987      | 10013.938      | 10013.987      |

TAB. 1.4 –: CTD IFRTP : Etalonnage Sea-Bird (psia) du capteur de pression (04.11.98)

Tout au long de la campagne , et pour les deux CTD, l'offset de pression est très faible, on adoptera une valeur moyenne de 0.5 dbar pour les stations de 1 a 10 (CTD INSU), et de -0.2 dbar pour les stations 11 à 75 (CTD IFRTP).

Les deux figures suivantes présentent les 5 polynômes tracés à partir des valeurs d'étalonnage de pression pour chacun des capteurs. Pour rester en accord avec la "pression corrigée" calculée par le constructeur, et utilisée dans les calculs du logiciel Sea-Bird (fichiers de prélèvements bouteilles), on adoptera dans les deux cas le polynôme du premier degré.

Dans le cas de la CTD INSU, l'écart-type pour le polynôme du premier degré est de 0.232 pour la descente, 0.486 pour la montée. Dans le cas de la CTD IFRTP, ces deux valeurs sont respectivement 0.011 et 0.037.

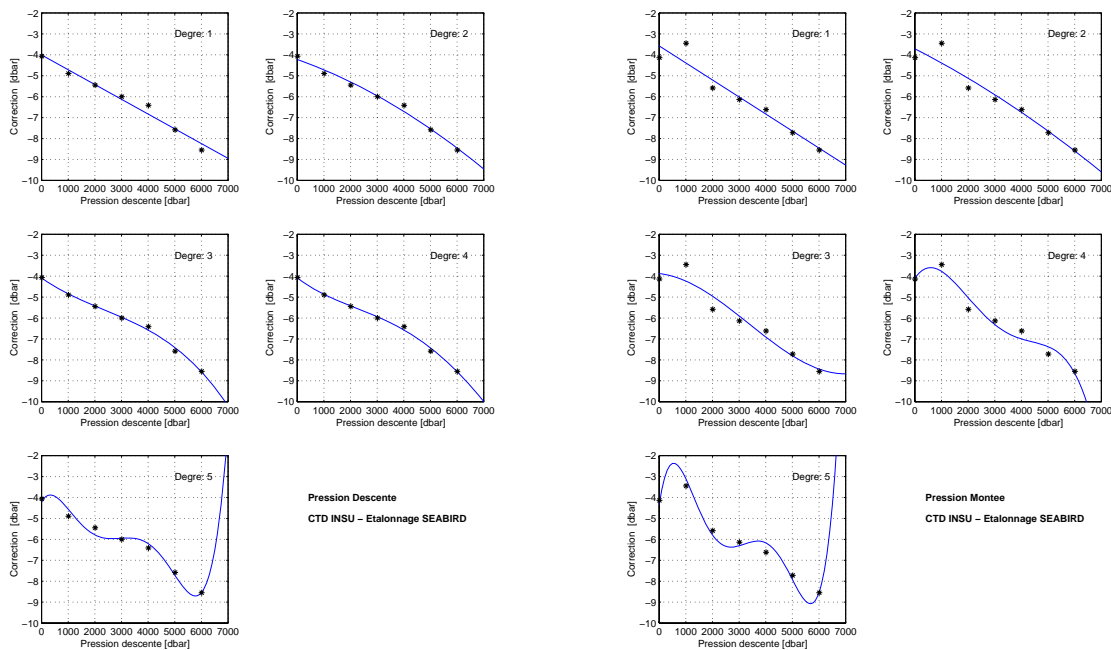


FIG. 1.1 –: Etalonnage de la pression en descente et en montée pour la sonde INSU

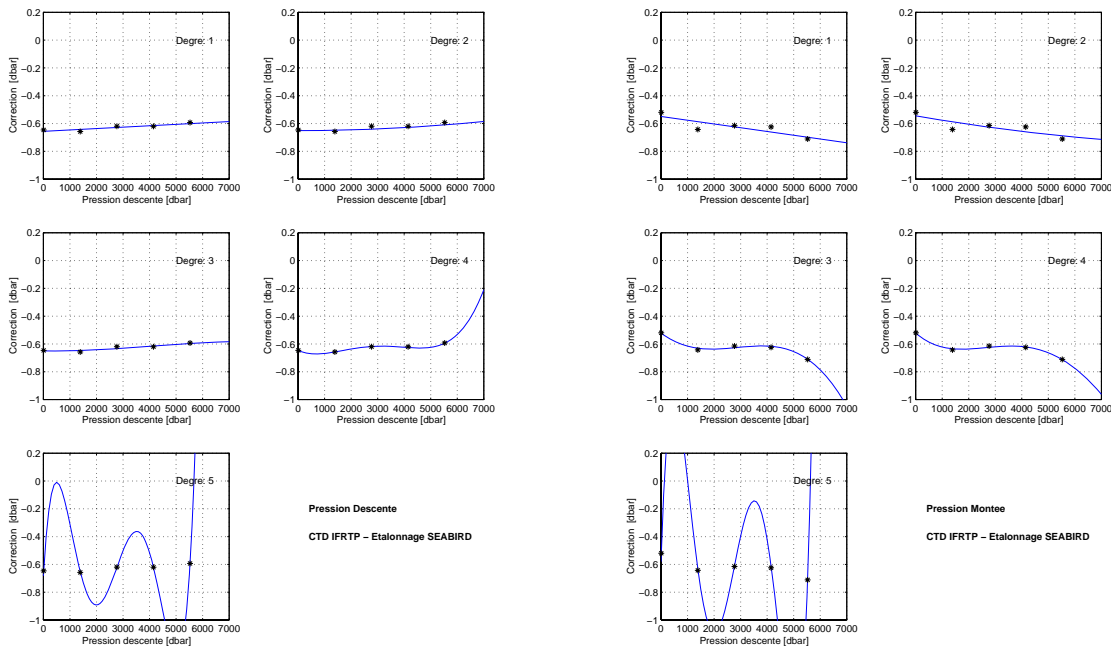


FIG. 1.2 –: Etalonnage de la pression en descente et en montée pour la sonde IFRTP

## Température

L'étalonnage en température des capteurs de température INSU (N/S 1016) et IFRTP (N/S 1820) ont été réalisés chez Sea-Bird respectivement le 15 Novembre 1999 et le 15 Avril 2000. Le laboratoire de métrologie de Sea-Bird utilise l'échelle de température ITS-90 depuis Janvier 1995. Le thermomètre à résistance de platine Rosemount qui mesure la température du bain est étalonné à deux points fixes de l'EIT90 : le point triple de l'eau et le point de fusion du Gallium. On utilise un pont de mesure de résistances ASL F18.

Les coefficients qui permettent de calculer la température ctd à partir de la fréquence ctd sont les suivants :

Capteur 1016(INSU)

$$\begin{aligned}
 g &= 4.80737326e-03 \\
 h &= 6.74714925e-04 \\
 i &= 2.72274396e-05 \\
 j &= 2.29325223e-06 \\
 f_0 &= 1000.000
 \end{aligned}$$

Capteur 1820(IFRTP)

$$\begin{aligned}
 g &= 4.86523656e-03 \\
 h &= 6.81999508e-04 \\
 i &= 2.82103432e-05 \\
 j &= 2.32199432e-06 \\
 f_0 &= 1000.000
 \end{aligned}$$

Pour T en degrés C (Température ITS-90), l'équation est de la forme :

$$T_{90} = 1 / \{g + h[\ln(f_0/f)] + j[\ln^3(f_0/f)]\} - 273,15 \quad (1.1)$$

Les valeurs d'étalonnage des capteurs de température sont données dans les tableaux ci-dessous.

Les résidus étant inférieurs à 0.00007 pour le capteur INSU, et à 0.00019 pour le capteur IFRTP, on utilisera dans tous les calculs ultérieurs la température mesurée par la ctd sans corrections.

| Temp bain | Freq ctd  | Temp ctd | Tctd -Tbain |
|-----------|-----------|----------|-------------|
| -1.5145   | 5913.171  | -1.5145  | -0.00002    |
| 1.0470    | 6262.715  | 1.0470   | -0.00000    |
| 4.6202    | 6774.885  | 4.6203   | 0.00004     |
| 8.1269    | 7306.017  | 8.1270   | 0.00004     |
| 11.6305   | 7865.601  | 11.6304  | -0.00005    |
| 15.1905   | 8464.592  | 15.1905  | -0.00007    |
| 18.6541   | 9077.437  | 18.6541  | 0.00001     |
| 22.1553   | 9727.722  | 22.1553  | 0.00005     |
| 25.6829   | 10414.874 | 25.6829  | 0.00002     |
| 29.1542   | 11122.972 | 29.1542  | -0.00000    |
| 32.6288   | 11864.021 | 32.6288  | -0.00002    |

TAB. 1.5 –: Etalonnage Sea-Bird du capteur de température INSU (15.11.1999)

| Temp bain | Freq ctd  | Temp ctd | Tctd -Tbain |
|-----------|-----------|----------|-------------|
| -1.5128   | 6402.338  | -1.5126  | 0.00014     |
| 1.0480    | 6779.610  | 1.0478   | -0.00019    |
| 4.6225    | 7332.768  | 4.6224   | -0.00005    |
| 8.1295    | 7906.180  | 8.1295   | 0.00005     |
| 11.6335   | 8510.252  | 11.6335  | 0.00006     |
| 15.1940   | 9156.772  | 15.1940  | 0.00008     |
| 18.6578   | 9818.101  | 18.6578  | 0.00001     |
| 22.1587   | 10519.634 | 22.1586  | -0.00006    |
| 25.6862   | 11260.925 | 25.6861  | -0.00006    |
| 29.1574   | 12024.738 | 29.1574  | -0.00004    |
| 32.6322   | 12824.080 | 32.6323  | 0.00007     |

TAB. 1.6 –: Etalonnage Sea-Bird du capteur de température IFRTP (15.04.2000)

## Conductivité

### Méthode

La salinité mesurée sur l'échantillon prélevé (S hydro) permet de calculer la conductivité in-situ (C hydro), aux conditions de pression (P sonde recalée) et de température (T sonde recalée) du prélèvement au moyen des relations UNESCO, avec  $C(35,15,0) = 42,914$  mmho/cm.

(S hydro, T ctd recalée, P ctd recalée)  $\rightarrow$  C hydro

La calibration du capteur de conductivité consiste à comparer la conductivité brute C ctd, corrigée de l'effet de température et de pression sur la cellule, et la conductivité in-situ C hydro, et à faire coïncider au mieux ces deux valeurs par la méthode des moindres carrés. Dans le cas des bathysondes Sea-Bird, la constante de temps du capteur de conductivité est corrigée directement par l'électronique de la sonde. L'algorithme utilisé pour la correction de l'effet de température et de pression est le suivant:

dt = température - température précédente  
ctm =  $-1.0 * b * ctm$  précédente +  $a * dcdt * dt$   
ccor = c + ctm

avec

$$\begin{aligned} a &= 2 * \alpha / (\text{inter} * \beta + 2) \\ b &= 1 - (2 * a / \alpha) \\ \text{dcdt} &= 0.1 * (1 + 0.006 * (\text{température} - 20)) \\ \alpha &= 0.04 \\ 1/\beta &= 8. \\ \text{inter} &= 1/24 \end{aligned}$$

La figure ci-dessous montre la répartition des écarts de conductivité en fonction du temps, entre les mesures brutes de la sonde et les mesures des échantillons, avant étalonnage.

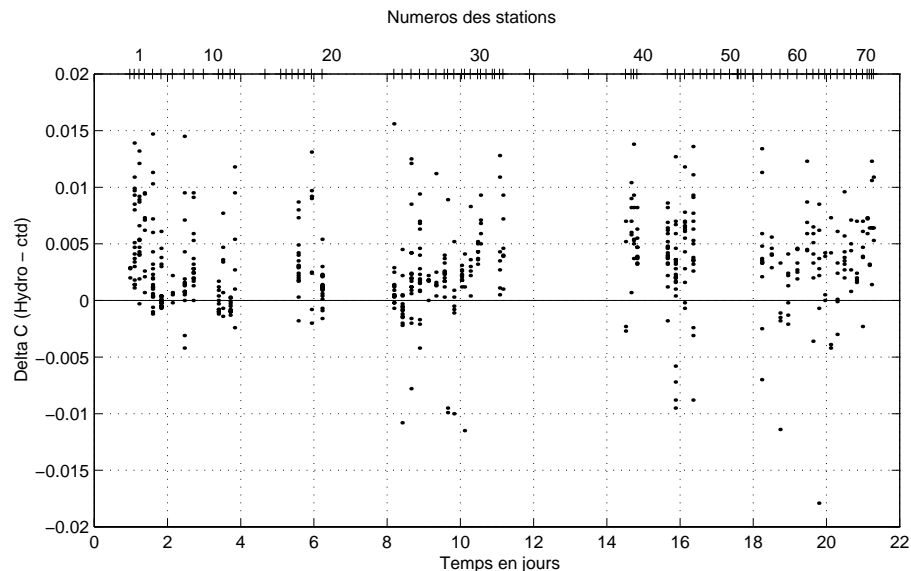


FIG. 1.3 —: Delta C (Hydro - ctd) en fonction du temps, pour toute la campagne, avant étalonnage

## Résultats

Un premier calcul est fait avec l'ensemble des points retenus. On élimine alors les points pour lesquels la différence de conductivité est supérieure au filtre (égal à 2,8 fois l'écart-type). Le calcul est répété et les points dont l'écart est supérieur à 2,8 fois le nouvel écart-type sont de nouveau éliminés. Le processus est arrêté lorsqu'il n'y a plus de points à éliminer. Un polynôme du premier degré est généralement suffisant.

Le fichier d'étalonnage est construit à partir des fichiers .btl créés par le logiciel Sea-Bird, concaténés et associés aux valeurs de salinité mesurées au moyen du salinomètre. Une première vérification des niveaux de prélèvement est effectuée par tracé sur le même graphique des prélèvements et des profils ctd bruts, ce qui permet de corriger les inversions de bouteilles. Dans le fichier, les numéros de bouteilles de prélèvement dont les écarts en salinité sont trop importants sont précédés du signe - et ne seront pas pris en compte dans le calcul.

En raison des changements de capteurs, il a été nécessaire de scinder la campagne en trois périodes : stations 1 à 4, stations 5 à 10, puis stations 11 à 75.

Le tableau suivant donne les résultats de cet étalonnage.

| Stations | Nb de points total | Nb de passages | Nb de points retenus | Nb de points éliminés | Ecart-type $\sigma$ | Filtre $2,8*\sigma$ |
|----------|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 1 à 4    | 44                 | 1              | 44                   | 0                     | 0,0030              | 0,0084              |
| 5 à 10   | 77                 | 5              | 71                   | 6                     | 0,0016              | 0,0045              |
| 11 à 75  | 428                | 3              | 413                  | 15                    | 0,0030              | 0,0083              |

TAB. 1.7 –: Etalonnage du capteur de conductivité pour 3 périodes

La figure suivante illustre la variation de l'écart entre les mesures de conductivité de la CTD et des échantillons, en fonction du temps .

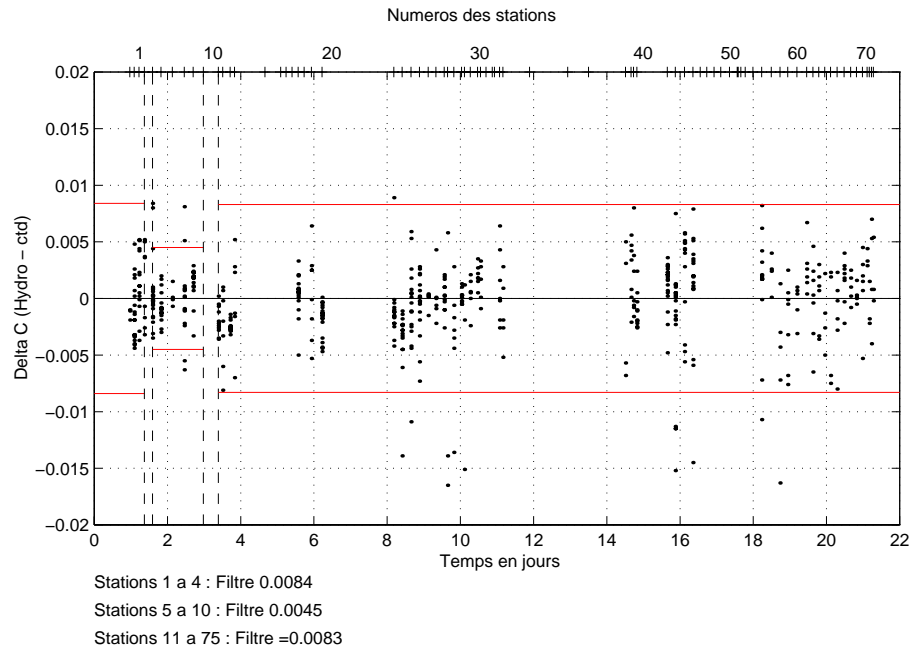


FIG. 1.4 –: Delta C (Hydro - ctd) en fonction du temps, pour les trois périodes, après étalonnage

Dans ce tracé de Delta C en fonction du temps, aucune variation systématique en fonction du temps n'apparaît à l'intérieur de chaque période, ce premier découpage, dépendant uniquement des changements de capteurs et de CTD, sera donc conservé.

Les trois polynômes adoptés sont les suivants :

$$\begin{aligned}
 \text{Stations 1 à 4 : } C_{cal} &= 1.00030 * C_{ctd} - 0.00627947 \\
 \text{Stations 5 à 10 : } C_{cal} &= 1.00028 * C_{ctd} - 0.00827077 \\
 \text{Stations 11 à 75 : } C_{cal} &= 1.00024 * C_{ctd} - 0.00591870
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

Un contrôle est fait d'après le tracé des écarts en conductivité en fonction de la conductivité, puis en fonction du numéro de bouteille, de la température et de la pression.

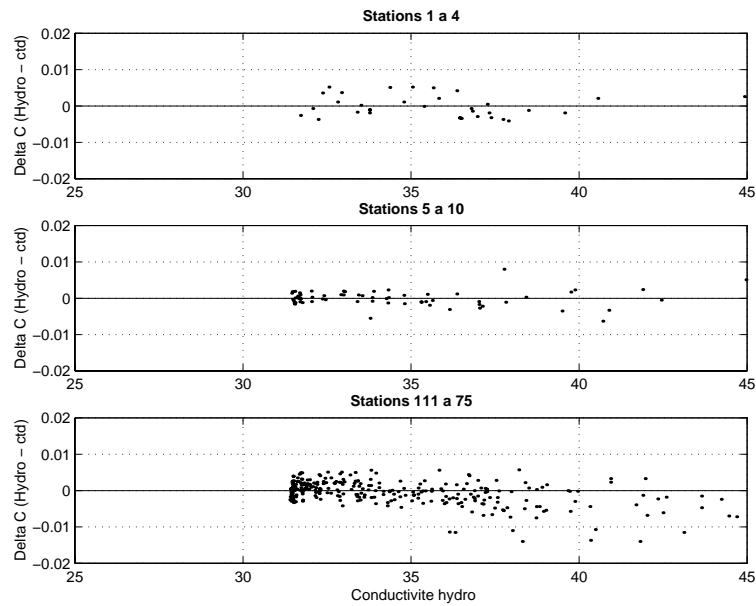


FIG. 1.5 —: Delta C (Hydro - ctd) en fonction de la conductivité, pour chaque période, après étalonnage

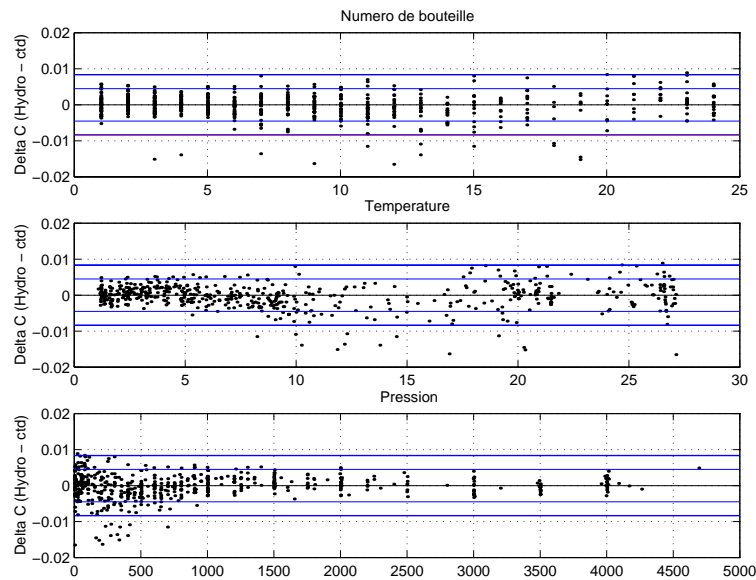


FIG. 1.6 —: Delta C en fonction du numéro de bouteille, de la température et de la pression, 3 périodes

Les filtres sont respectivement de 0,0084, 0,0045 et 0,0083 pour les trois périodes.

Sur la figure précédente, aucune fuite n'est particulièrement visible (tracé en fonction du numéro de bouteille), les écarts en fonction de la température sont centrés autour de zéro, et d'autre part on n'observe pas de fluctuation des écarts en fonction de la pression, donc il ne sera pas nécessaire d'appliquer une correction supplémentaire en fonction de la pression.

Les deux figures suivantes, présentent les histogrammes des écarts en conductivité et salinité avant et après étalonnage. Après étalonnage, les valeurs sont centrées sur zéro, et 90 p.cent des écarts en salinité sont inférieurs à 0,0055 PSU.

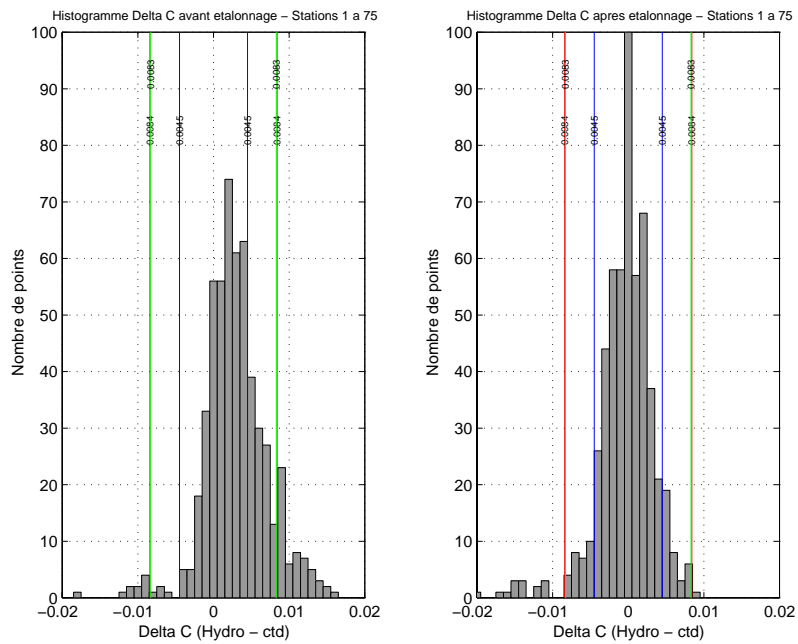


FIG. 1.7 –: Distribution des écarts en conductivité avant et après étalonnage

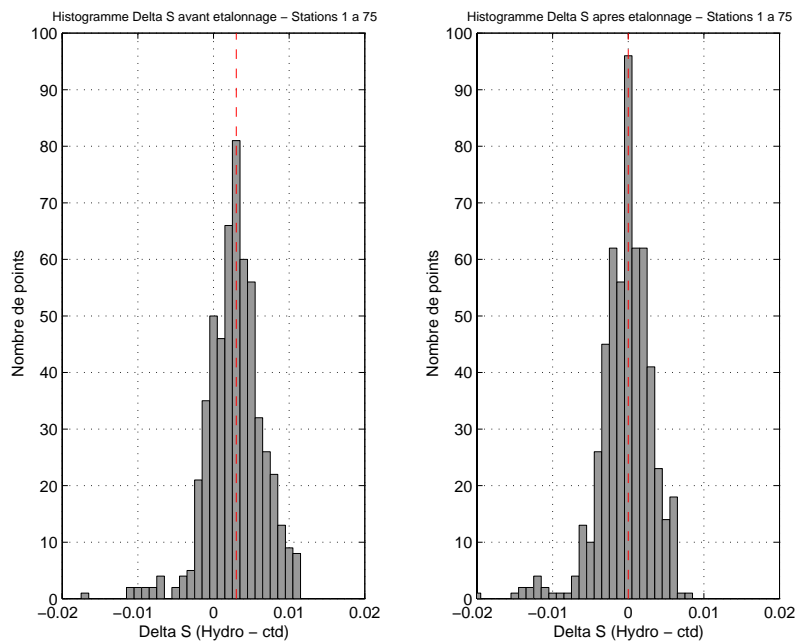


FIG. 1.8 –: Distribution des écarts en salinité avant et après étalonnage

## Oxygène

### Méthode

La sonde transmet 2 paramètres pour le calcul de l'oxygène dissous: le courant oxygène  $O_c$  et la température de l'électrolyte  $O_t$ . L'algorithme de calcul de l'oxygène dissous à partir du courant oxygène et de la température de l'électrolyte est l'algorithme de Owens et Millard (1985):

$$O_2(ml/l) = [Soc*(O_c + tau*dO_c/dt) + Boc]*OXSAT*exp[tcor*(T_c + wt*(O_t - T_c))] + pcor*P_c \quad (1.3)$$

où

$O_c$  = Courant oxygène

$O_t$  = Température de l'électrolyte du capteur

$T_c$  = Température de l'eau de mer donnée par la sonde (calibrée)

$P_c$  = Pression donnée par la sonde (calibrée)

$OXSAT$  = Valeur d'oxygène à saturation à la température  $T_c$  et la salinité  $S$  données par la sonde (formule de Weiss, 1970)

$tcor$  = facteur de correction de l'effet de température sur la membrane

$pcor$  = facteur de correction de l'effet de pression sur la membrane

$wt$  = facteur de pondération de l'écart ( $O_t - T_c$ )

$Soc$  = pente du courant oxygène

$Boc$  = biais du courant oxygène

$tau$  = temps de réponse du capteur

$(dO_c/dt)$  = gradient du courant oxygène en fonction du temps obtenu par la méthode des moindres carrés sur un intervalle de 11 dbars.

Les 6 coefficients  $Soc$ ,  $Boc$ ,  $tau$ ,  $tcor$ ,  $wt$  et  $pcor$  sont déterminés par une procédure d'ajustement itérative. Les valeurs d'oxygène de la sonde sont ajustées aux valeurs d'oxygène des prélèvements par la méthode des moindres carrés. Les calculs sont renouvelés après élimination des points pour lesquels la différence  $O_{2hydro} - O_{2ctd}$  est supérieure à deux fois l'écart-type. Le processus s'arrête quand il n'y a plus de valeurs à éliminer (processus analogue à celui de la conductivité).

Pour les mêmes raisons que lors de l'étalonnage en conductivité il est obligatoire de découper la campagne en trois périodes minimum, stations 1 à 4, stations 5 à 10, stations 11 à 75.

La figure ci-dessous montre la répartition des écarts d'oxygène en fonction du temps, entre les mesures de la sonde et les mesures des échantillons, après étalonnage sur trois périodes.

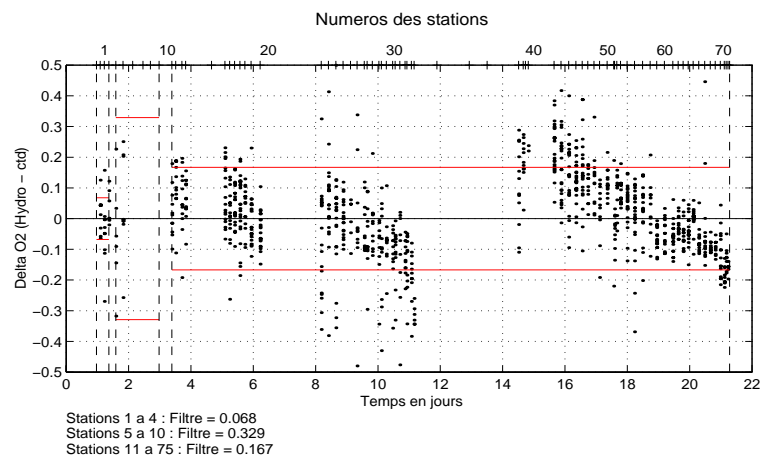


FIG. 1.9 —: Delta O2 en fonction du temps, 3 périodes



Il apparait nécessaire de découper la 3ème partie, entre les stations 11 et 75, en 3 périodes de nouveau, c'est à dire stations 11 à 20, puis 20 à 35, et enfin 36 à 75, comme ci-dessous :

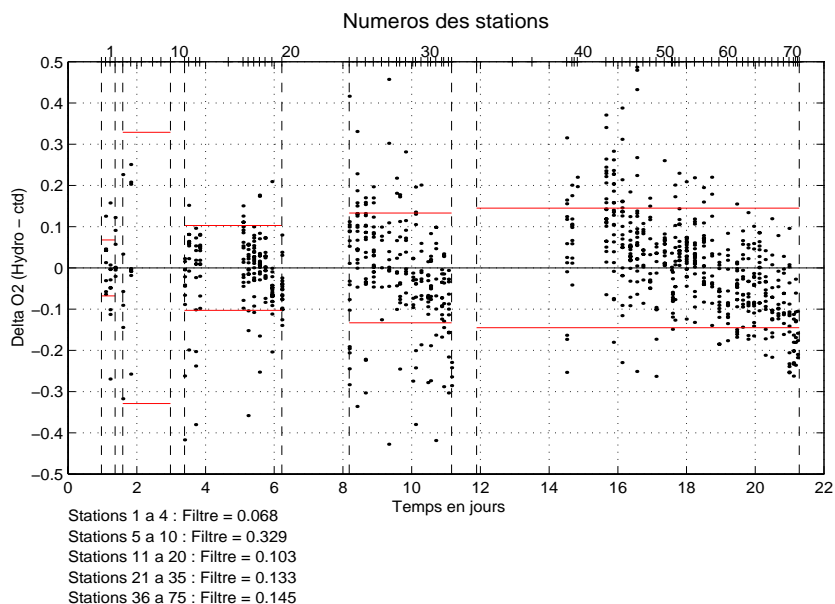


FIG. 1.10 –: Delta O2 en fonction du temps, 5 périodes

Au vu de ce graphique, il semble nécessaire de séparer le dernier groupe de 4 stations, soit les stations 72 à 75, pour lesquelles l'écart est négatif. On aura donc 6 groupes de stations. La méthode de calcul appliquée à chacun des groupes de stations donne les résultats du tableau ci-dessous.

| Stations | Nb de points total | Nb de passages | Nb de points retenus | Nb de points éliminés | Nb de points deltaO2<0.075 | Ecart-type $\sigma$ |
|----------|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|
| 1 à 4    | 27                 | 12             | 19 (70.4%)           | 8                     | 20                         | 0.034               |
| 5 à 10   | 19                 | 17             | 19 (73.7%)           | 2                     | 7                          | 0.1645              |
| 11 à 20  | 156                | 7              | 131 (84.0%)          | 25                    | 109                        | 0.0531              |
| 21 à 35  | 234                | 11             | 165 (70.5%)          | 69                    | 113                        | 0.0668              |
| 36 à 71  | 494                | 14             | 298 (60.3%)          | 196                   | 244                        | 0.0685              |
| 72 à 75  | 22                 | 4              | 19 (86.4%)           | 3                     | 22                         | 0.0276              |

TAB. 1.8 –: Etalonnage du capteur d'oxygène pour 6 périodes

Les coefficients adoptés pour les 6 groupes de stations sont les suivants:

| Stations | Boc   | Soc        | pcor       | tcor        | wt         | tau         |
|----------|-------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1 à 4    | 0.096 | 0.1017E-03 | 0.6652E-03 | 0.6088E-01  | 0.4404     | -0.3313E+02 |
| 5 à 10   | 0.136 | 0.922E-03  | 0.2436E-03 | 0.1538E-01  | 0.8124     | 0.1939E+02  |
| 11 à 20  | 0.045 | 0.299E-02  | 0.1800E-03 | -0.2113E-01 | 0.8215E+00 | 0.1095E+02  |
| 21 à 35  | 0.051 | 0.2886E-02 | 0.1696E-03 | -0.2100E-01 | 0.9369E+00 | 0.8387E+01  |
| 36 à 71  | 0.196 | 0.1854E-02 | 0.4484E-03 | -0.8186E-02 | 0.2965E+01 | 0.5723E+01  |
| 72 à 75  | 0.194 | 0.1847E-02 | 0.4659E-03 | -0.7877E-02 | 0.3092E+01 | 0.7859E+01  |

Un contrôle est effectué au moyen de nouveau du tracé de deltaO2 en fonction du temps, puis en fonction du numéro de bouteille, de la température et de la pression.

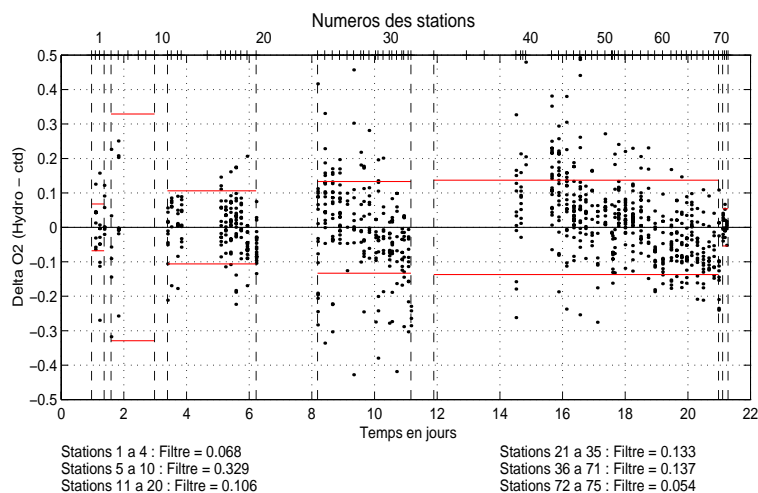


FIG. 1.11 –: Delta O2 (ml/l) en fonction du temps, 6 périodes

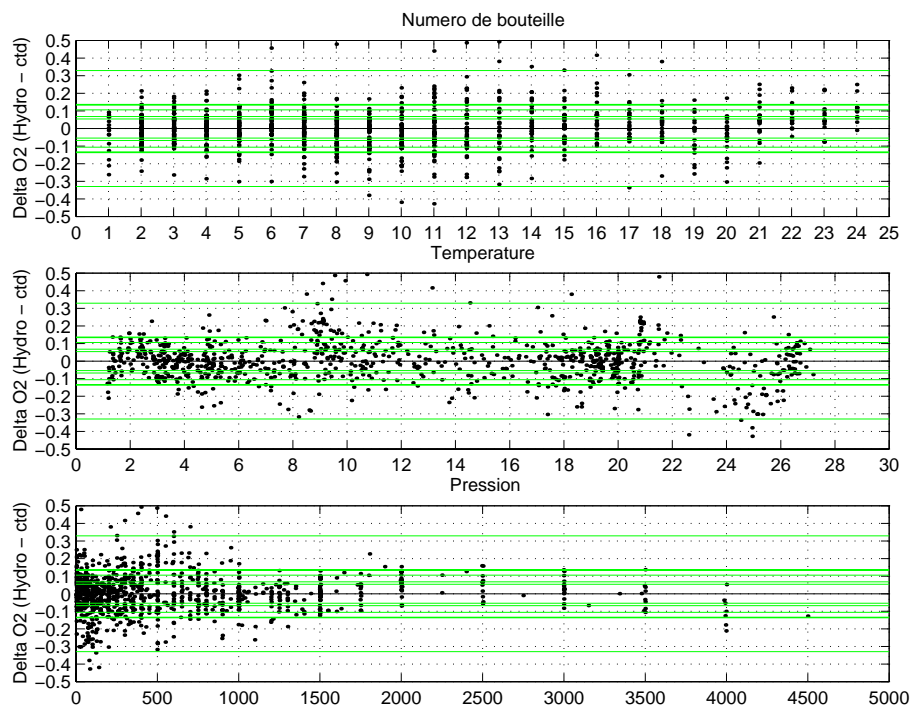


FIG. 1.12 –: Delta O2 (ml/l) en fonction du numéro de bouteille, de la température et de la pression, 6 périodes

De même que lors de l'étalonnage en conductivité, aucune fuite n'est détectée (décalages en fonction du numéro de bouteille), et les écarts sont centrés autour de zéro dans les tracés en fonction de la température.

Par contre, on observe une dérive du capteur dans le tracé en fonction de la pression, ce qui conduira à remplacer les données CTD en profondeur par les données échantillons interpolées à partir des données échantillons, pour les stations énumérées à la fin de ce chapitre.

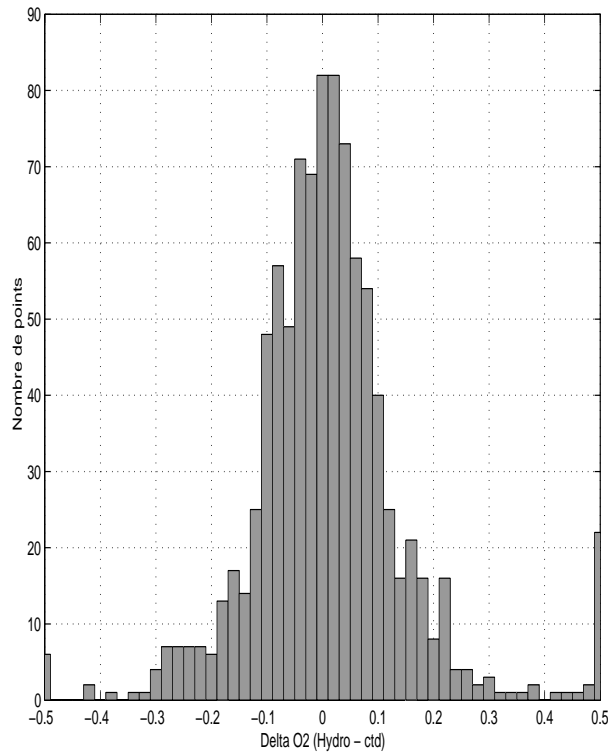


FIG. 1.13 —: Distribution des écarts en oxygène après étalonnage

La distribution des écarts en oxygène ci-dessus montre que ces écarts sont centrés sur zéro, et que 68% seulement sont inférieurs en valeur absolue à 0.1. La dérive du capteur pour les valeurs profondes est confirmée par cet histogramme pour une vingtaine de points (écarts de 0.5 ml/l).

## 1.2 Validation et réduction des données brutes

La sonde transmet 24 fois par seconde un cycle complet de 7 mesures (pression, température, conductivité, courant et température oxygène, transmissiomètre, fluorimètre). Les valeurs d'oxygène dissous enregistrées ont été calculées par le logiciel Sea-Bird, sans étalonnage ultérieur (comparaison avec une méthode de mesure chimique).

La réduction des mesures consiste à obtenir des valeurs moyennées tous les décibars suivant la méthode décrite par A. Billant (1984, 1986). Cette méthode a été mise au point pour une sonde Neil-Brown, mais est applicable aux données Sea-Bird avec quelques modifications (fréquence d'acquisition, recalage de la mesure de la conductivité dans le temps par rapport aux mesures de pression et température).

Les pressions brutes sont d'abord recalées. Ensuite, à chaque cycle de mesure, chacun des paramètres est comparé à sa valeur précédente validée; si l'écart entre deux valeurs consécutives est supérieur au filtre choisi, le cycle complet de mesures est supprimé. Les mesures de chaque cycle sont rangées dans un tableau centré sur  $P_{ref}$ , entre  $(P_{ref} - 1 \text{ dbar})$  et  $(P_{ref} + 1 \text{ dbar})$ . La moyenne est affectée à la pression  $P_{ref}$ .

Les programmes de réduction à 1 dbar et de validation des données utilisant les polynômes déterminés précédemment pour le calcul de la température et de la conductivité laissent apparaître, dans les forts gradients, des inversions de salinité créées par des pics de salinité. Des anomalies de salinité sont parfois également rencontrées dans les couches profondes homogènes. Toutes les inversions de densité supérieures à 0.005 sont recherchées. L'examen des valeurs de P,T,S,  $\sigma$  de part et d'autre de ces inversions permet de déceler des valeurs aberrantes éventuelles. Les niveaux concernés sont alors supprimés.

Une seconde réduction à 10 dbars est obtenue en faisant la moyenne arithmétique des grandeurs mesurées dans la couche à plus ou moins 5 dbars de part et d'autre de la pression Pref. A partir de ces valeurs moyennées, on calcule les températures potentielles et  $\sigma\theta$ . Plusieurs stations, au début de la campagne, présentent des profils de salinité et/ou oxygène aberrants. Partout où cela était possible, on a conservé les mesures ctd étalonnées, et on a complété les profils au moyen des données interpolées (interpolation cubique) à partir des mesures validées des échantillons. Seules les stations 43,44,45 ont été interpolées linéairement. Liste des stations concernées :

**Station 1** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 530 dbar.

**Station 3** Interpolation de la salinité sur 10 dbars à partir de 560 dbar.

**Station 4** Interpolation de la salinité sur 10 dbars à partir de 500 dbar et de l'oxygène à partir de 1500 dbar. Valeur de surface remplacée par la mesure échantillon.

**Station 5** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars sur tout le profil.

**Station 6** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 580 dbar. Valeurs de surface remplacées par les mesures des échantillons.

**Station 7** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 1580 dbar.

**Station 8** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars sur tout le profil.

**Station 9** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars sur tout le profil.

**Station 10** Pas de mesures d'oxygène.

**Station 111** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3000 dbar.

**Station 121** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3000 dbar.

**Station 15** Interpolation de l'oxygène sur 1 dbar jusqu'à 73 dbar.

**Station 24** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3500 dbar.

**Station 25** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3500 dbar.

**Station 271** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3000 dbar.

**Station 28** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3000 dbar, en prenant comme valeur à 3000 dbar la valeur donnée par la CTD.

**Station 291** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3000 dbar.

**Station 30** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3000 dbar, en prenant comme valeur à 3000 dbar la valeur donnée par la CTD.

**Station 311** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 2500 dbar.

**Station 32** Interpolation de l'oxygène sur 1 dbar jusqu'à 93 dbar.

**Station 40** Interpolation de l'oxygène sur 1 dbar sur tout le profil.

**Stations 43, 44, 45** Interpolation linéaire de l'oxygène sur 10 dbars sur tout le profil.

**Station 57** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 3500 dbar.

**Station 72** Interpolation de l'oxygène sur 10 dbars à partir de 430 dbar.

La campagne a permis d'obtenir en tout 81 profils CTD, dont 75 profils profonds. En résumé, deux séries de données sont disponibles :

- données réduites au décibar : pression, température, conductivité, oxygène dissous (ml/l), fluorimètre. On dispose d'un fichier par profil.
- données réduites à 10 décibars : paramètres identiques. On dispose d'un fichier pour la campagne, tous les profils sont concaténés. Les tracés présentés par la suite sont effectués sur ces derniers fichiers (diagrammes  $\theta/S$ , profils en fonction de la pression, sections).

### 1.3 Précision des mesures

En résumé la précision des mesures est la suivante:

**Température:** elle est  $< \pm 0,0002^{\circ}C$ .

**Pression:** à la descente elle varie entre  $\pm 0,23$  db (stations 1 à 10) et  $\pm 0,01$  db (stations 11 à 75) car il y a eu changement de capteur.

**Salinité:** elle est de  $\pm 0,005$  psu

**Teneur en oxygène:** elle varie selon les groupes de stations, entre  $\pm 0,03$  ml/l (stations 72 à 75) et  $\pm 0,16$  ml/l (stations 5 à 10).

### 1.4 Formules utilisées

**Température** échelle internationale de température 1990 (ITS90)

**Salinité** échelle pratique de salinité 1978 (PSU78)

$\sigma$  nouvelle équation d'état de l'eau de mer, 1980 (EOS80)

**Température potentielle** formule de Bryden H. (1973)

En ce qui concerne les calculs de conductivité in-situ à partir d'une salinité et inversement d'une salinité à partir d'une conductivité in-situ, l'algorithme de calcul est celui recommandé par le Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards (JPOTS).

### 1.5 Références

UNESCO Technical papers in marine science, 1981, numéro 36. Tenth report of the Joint Panel on Oceanographic Tables and Standards.

UNESCO Technical papers in marine science, 1983, numéro 44. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater.

**Benson B.B. and Krause D.** The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in freshwater and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 11, 1984, pp 267-277.

**Billant A.** Description et utilisation du système embarqué de mesures d'hydrologie recueillies par une sonde Neil Brown. DERO/EO, octobre 1984, IFREMER.

**Owens W.B. and Millard R.C.** A new Algorithm for CTD Oxygen Calibration. *Journal of Physical Oceanography*, 1985, vol. 15, pp 621-631.

**Millero F.J.** Solubility of oxygen in seawater. UNESCO Technical papers in marine science, 1986, numéro 50.

**Billant A.** Mesures de la sonde Neil-Brown; étude critique et améliorations apportées au traitement des données. DERO/EO, décembre 1986, IFREMER.

**Mailloux L.** Mise au point et optimisation du dosage de l'oxygène dissous sur titroprocesseur Metrohm. Rapport de stage DERO/EO, 1988, IFREMER.

**Lueck R. G.** Thermal Inertia of Conductivity Cells: Theory. American Meteorological Society, octobre 1990, pp 741-755

**Charriaud. E., Gamberoni L., Kartavtseff A., Rouault C.** Etalonnage de la sonde et traitement des données d'une campagne hydrologique. Rapport interne LOP-LODYC, mars 1991.

## Chapitre 2

# Données ADCP

Les données ADCP ont été acquises au moyen de l'ADCP de coque du Marion Dufresne, qui provient du Marion Dufresne I (Profileur acoustique à effet Doppler, RDI, 75 KHz). La configuration choisie par l'ingénieur IFRTP est une longueur d'ensemble de 5 minutes, et une longueur de bin de 16m (configuration nominale pour la fréquence de 75 KHz). La navigation a été acquise séparément au moyen du GPS du bord, non différentiel.

L'acquisition et le stockage des données ont été effectués à bord par Martin Mellet, technicien IFRTP, au moyen du logiciel DAS. Le traitement ultérieur a été effectué au laboratoire par Annie Kartavtseff, au moyen du logiciel CODAS3 (E. Firing, Université d'Hawaii).

La base de données finale commence le 10.09.2000, et se termine le 01.10.2000. Le traitement se déroule en 5 phases :

**Chargement des fichiers bruts** . Cette phase comporte aussi une première élimination des données non enregistrables (erreurs de chronologie, mauvaises durées d'ensembles, etc...).

**Obtention et Vérification de la navigation** . Il est préférable d'avoir une acquisition des données de navigation indépendante de l'acquisition ADCP .

**Edition des données ADCP** . Cette phase, très importante, permet d' éliminer toutes les mesures mauvaises ou douteuses et de repérer le fond si nécessaire.

**Calibration des données** . Se fait au moyen des données de navigation.

**Mise en forme définitive** . Introduction des données de navigation dans la base ADCP. Contrôle de la qualité des données. Construction de différentes grilles, spatiales et/ou temporelles, permettant de tracer les graphiques de présentation.

## 2.1 Chargements des fichiers bruts

Les fichiers bruts sont stockés sur CD-ROM , chaque fichier de longueur à peu près constante se dénomme généralement pingdata.nnn. La commande scanping du logiciel CODAS3 permet de scuter les premières anomalies de ces fichiers bruts, (par exemple longueur de la durée d'ensemble différente de la durée choisie de 5 minutes), et de préparer le fichier d'entrée de la commande de chargement du logiciel CODAS, loading.

A ce stade, on dispose d'un repertoire nomme generalement adcpdb (pour adcp data base), dans lequel les données sont maintenant organisées en blocs, dont la longueur et le contenu sont définis par l'utilisateur au moyen d'un fichier spécial, ici tip.def, lui-même dans ce même repertoire. Plusieurs outils permettent de vérifier le contenu de la base de données, et d'obtenir des informations utiles.

La commande showdb permet d'obtenir la structure précise de la base de données. L'exemple ci-dessous donne la liste des variables de la base. La commande permet aussi de connaître le contenu d'une variable.

| num | name               | units | v-ty | ac | ac0   | ac1 |
|-----|--------------------|-------|------|----|-------|-----|
| 0   | DEPTH              | m     | 3    | 1  | 9960  | 64  |
| 7   | AMP-SOUND-SCAT     | none  | 1    | 2  | 0     | 0   |
| 8   | U                  | m/s   | 3    | 2  | 1     | 1   |
| 9   | V                  | m/s   | 3    | 2  | 2     | 2   |
| 32  | PROFILE-COMMENTS   | none  | 2    | 2  | 3     | 3   |
| 33  | BLOCK-COMMENTS     | none  | 2    | 1  | 10024 | 41  |
| 34  | PROFILE-FLAGS      | none  | 1    | 2  | 4     | 4   |
| 35  | CONFIGURATION-1    | none  | 11   | 1  | 10065 | 76  |
| 36  | CONFIGURATION-2    | none  | 11   | 1  | 0     | 0   |
| 37  | ANCILLARY-1        | none  | 11   | 2  | 5     | 5   |
| 38  | ANCILLARY-2        | none  | 11   | 2  | 6     | 6   |
| 39  | ACCESS-VARIABLES   | none  | 11   | 2  | 7     | 7   |
| 54  | W                  | m/s   | 3    | 2  | 8     | 8   |
| 55  | ERROR-VEL          | m/s   | 3    | 2  | 9     | 9   |
| 56  | PERCENT-GOOD       | none  | 1    | 2  | 10    | 10  |
| 57  | PERCENT-3-BEAM     | none  | 1    | 2  | 11    | 11  |
| 58  | SPECTRAL-WIDTH     | none  | 1    | 2  | 12    | 12  |
| 59  | U-STD-DEV          | m/s   | 3    | 2  | 13    | 13  |
| 60  | V-STD-DEV          | m/s   | 3    | 2  | 14    | 14  |
| 61  | W-STD-DEV          | m/s   | 3    | 2  | 15    | 15  |
| 62  | EV-STD-DEV         | m/s   | 3    | 2  | 16    | 16  |
| 63  | AMP-STD-DEV        | none  | 0    | 2  | 17    | 17  |
| 64  | RAW-DOPPLER        | none  | 3    | 2  | 18    | 18  |
| 65  | RAW-AMP            | none  | 1    | 2  | 19    | 19  |
| 66  | RAW-SPECTRAL-WIDTH | none  | 11   | 2  | 20    | 20  |
| 67  | BEAM-STATS         | none  | 1    | 2  | 21    | 21  |
| 68  | NAVIGATION         | none  | 11   | 2  | 22    | 22  |
| 69  | BOTTOM-TRACK       | none  | 11   | 2  | 23    | 23  |
| 75  | USER-BUFFER        | none  | 10   | 2  | 24    | 24  |
| 76  | ADCP-CTD           | none  | 11   | 2  | 25    | 25  |

La commande *lst - block* permet d'obtenir le nombre, la longueur (nombre de profils) et les dates des extrémités des blocs.

- Database summary for: tip
- 0 n= 72 tip001.blk 2000/09/10 16:23:25 to 2000/09/10 22:31:57
- 1 n= 32 tip002.blk 2000/09/10 22:40:44 to 2000/09/11 01:15:46
- ...
- 165 n= 27 tip166.blk 2000/10/01 04:50:54 to 2000/10/01 07:00:52

## 2.2 Obtention et vérification de la navigation

Selon un document transmis par B. Ollivier (IPEV), du côté de l'instrumentation scientifique géré par l'Ipev, le navire est équipé de:

**GPS1** Récepteur Sercel NR103T (1995) en état de marche. Il fournit le message suivant:

@GPS1,1,(heure,date, lat,lon,cog,sog,qualité) à une cadence de 1 Hz. Plusieurs fois par jour, il envoie aussi des messages d'état. En mode différentiel: Il reçoit les corrections RTCM lorsqu'elles sont disponibles. Il possède plusieurs entrées servant à dater et localiser des "événements extérieurs". Utilisé surtout en sismique. Il serait possible de procéder de même avec les ADCP NB ou BB.

**GPS2** Récepteur Sercel NR230 (1995) en état de marche mais les données en sortie contiennent parfois des anomalies au niveau de la date, avant le changement de jour (TUC). C'est un triple récepteur associé à un calculateur d'attitude (roulis, tangage et cap). Il fournit les messages suivants:

@GPS2,3,(heure,date, lat,lon,cog,sog,qualité) à une cadence de 1 Hz.

&GPS2,6, (heure, cap,roulis, tangage, qualité) à une cadence de 0.6 Hz.

Plusieurs fois par jour, il envoie des messages d'état, de géométrie de la constellation GPS et de statistiques.

En mode différentiel:

Le récepteur n1 (maitre) accepte des corrections RTCM mais il est maintenu en mode naturel.

Le récepteur n2 (esclave, mode naturel) fournit le message suivant aux profileurs RDI ADCP-VM 150 kHz et 75 kHz:

\*A,(date,heure,lat,lon,sog,cog) à une cadence de 0.125 Hz (1 msg / 8 secondes, cadence adaptée au 75 kHz avec des ensembles de 300 secondes)

Le récepteur n3 (esclave, mode naturel) fournit les messages NMEA183 \$GPGGA et \$GPVTG au gyrocompas Sperry MK37VT pour la compensation de vitesse et latitude. Il peut dater des événements extérieurs.

**Gyrocompas** C'est un gyrocompas SPERRY MK37VT numérique (1995) en état de marche. Il est placé au pont C et se trouve donc moins soumis aux accélérations latérales que celui de la passerelle, de marque différente (Anschutz) Il délivre un message de cap compensé automatiquement NMEA \$HEHDT à une cadence de 20 Hz. Il reçoit l'attitude et la vitesse fond (SOG) du navire à partir du récepteur n2 du Sercel d'attitude NR230. Il fournit aussi le cap au format triphasé 400 hz / 26V (SelSyn ou synchroémetteur) vers les ADCP équipés de convertisseur idoine. A partir de 1999, l'information d'attitude et de vitesse a toujours été présente en entrée du système de compensation.



**Gestion de la date et l'heure** Les PC fonctionnant sous DOS exclusivement et exécutant le programme DAS sont équipés d'une carte de décodage de signaux IRIG-B issus d'une horloge de référence (GPS, TCXO ou Rubidium). Ces derniers temps, l'année enregistrée par le DAS est erronée et de juillet 2004 à novembre 2004 la date elle-même est également erronée. Une correction des pingdata est prévue.

Le document ci-dessus reproduit donne une vision théorique des systèmes d'acquisition de la navigation. En fait, les données de cap "vrai" GPS ont été acquises à partir de l'automne 2000, elles n'ont pas été acquises lors de la campagne TIP 2000.

Un exemple de fichier de navigation brut est donné en Annexe I.

Une commande du logiciel CODAS permet d'obtenir un fichier des caps suivis pendant les ensembles ADCP. Ce fichier servira par la suite de référence pour obtenir les dates des ensembles, converties en unités spécifiques au logiciel CODAS (jours décimaux plus secondes dans le jour)...

Le fichier de navigation brut, dont chaque ligne comporte une date, une latitude et une longitude, est extrait à partir des données du concentrateur du Marion Dufresne, au moyen d'un programme fortran, sa cadence est de une donnée par seconde. Puis les dates de ce fichier brut sont converties en unités de date CODAS, et le fichier est ensuite moyenné toutes les 30 secondes. Le résultat comprend pour chaque ligne un temps, exprimé en unités spécifiques au logiciel CODAS, une latitude et une longitude. Le fichier est édité pour supprimer les positions douteuses qui subsistent et les inversions de dates. La carte de la figure 1 montre le tracé de ces données de navigation.

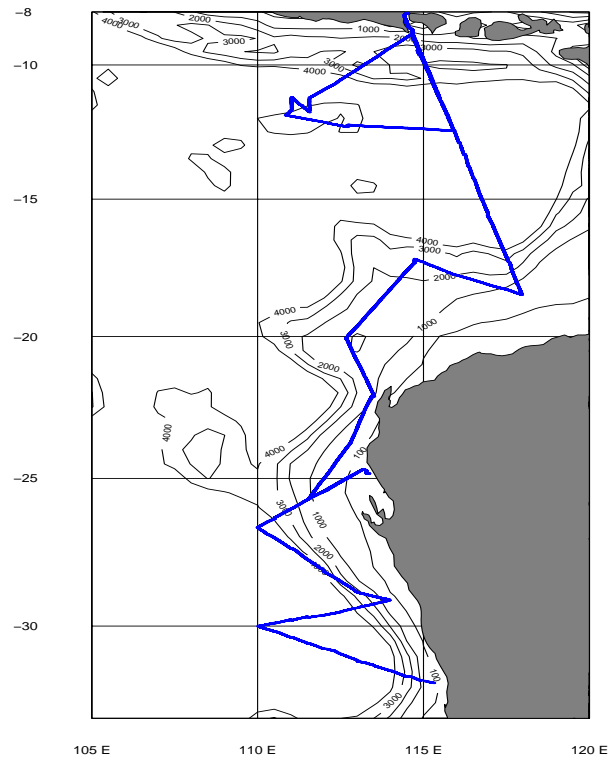


FIG. 2.1 —: Fichier des positions GPS de la campagne TIP 2000

## 2.3 Edition des données ADCP

Une première vérification est celle de la vitesse du son, qui peut être figée à une vitesse constante, ou varier suivant la température du transducteur ( la salinité a une valeur constante). C'est cette deuxième option qui a été choisie pendant la campagne.

On s'assure tout d'abord que la température du transducteur est correcte, en la comparant à la température de surface de la CTD. Un programme Matlab permet de tracer les deux températures ainsi que la vitesse du son. Le graphique de la vitesse du son en fonction du temps montre 5 périodes où la vitesse du son est supérieure à la moyenne, correspondant aux passages à faible profondeur où la mesure de la vitesse par rapport au fond a été mise en route ("bottom velocity is ON"). C'est ainsi que nous avons détecté des valeurs trop faibles de vitesse du son pour les passages sans acquisition de la vitesse par rapport au fond (les vitesses du son calculées pendant les stations CTD confirment cette erreur. La figure de la vitesse du son montre, tracée en rouge, la vitesse calculée avec une salinité de 35 PSU. Une vérification dans la base ADCP a montré que la salinité utilisée pour le calcul était de 0 (pour une fenêtre remplie avec de l'eau douce), alors qu'elle est plus vraisemblablement de 35 PSU (fenêtre non étanche, avec pénétration de l'eau de mer). Dans les fichiers de configuration avec "bottom tracking", la valeur de la salinité était bien de 35 PSU. La calibration par "water tracking" effectuée dans la suite du traitement confirmera cette erreur. En effet, si la vitesse du son est trop faible, la vitesse ADCP est aussi trop faible, et la méthode du "water tracking" donnera un facteur d'amplitude  $A > 1$ . C'est ce qu'on observera pour cette campagne, avec  $A$  de l'ordre de 1,02. La calibration permettra de corriger cette erreur sur l'amplitude, et de ramener l'amplitude à 1.

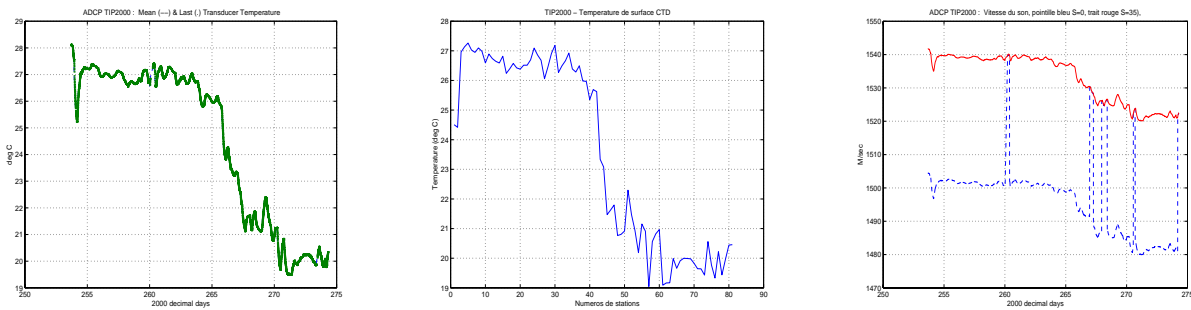


FIG. 2.2 —: Température de l'eau (transducteur ADCP et CTD) et vitesse du son

La vitesse par rapport au fond a été acquise pendant les périodes ci-dessous.

- du 17.09.2000 à 05.20.10 au 17.09.2000 à 09.05.11
- du 23.09.2000 à 23.14.54 au 24.09.2000 à 06.29.56
- du 24.09.3000 à 22.56.40 au 25.09.2000 à 09.41.41
- du 27.09.2000 à 13.17.07 au 27.09.2000 à 16.47.06
- du 01.10.2000 à 04.50.54 au 01.10.2000 à 07.00.52 (fin de la campagne)

En ce qui concerne les données des profils ADCP, le premier stade est le passage de programmes de calculs de statistiques, qui permettent de déterminer les seuils d'erreurs maxima pour plusieurs paramètres: vitesse (composantes  $u$  et  $v$ ), amplitude, erreur verticale. Ces calculs se font sous Matlab. Les valeurs utilisées pour la campagne TIP sont les suivantes :

- pgood-threshold 30
- d2w-threshold 239
- d2uv-threshold 333
- ev-threshold 100
- wvar-threshold 10100

La visualisation des profils se fait aussi au moyen de Matlab. Les différentes erreurs répertoriées sont marquées par des signes de couleurs et de formes différentes. L'opérateur peut accepter les suppressions de données automatiques, en supprimer plus ou bien décider d'annuler le marquage de valeurs erronées. Cette dernière possibilité est très utile dans le cas de couches de diffusion (plancton) qui font apparaître des pics d'amplitude du signal, confondus au niveau des programmes avec les pics d'amplitude produits par la réflexion sur le fond. Toutefois, la forme et la hauteur de ces pics permet de lever l'ambiguïté, ainsi bien sur que la position géographique. La figure ci-dessous montre l'aspect des profils d'amplitude.

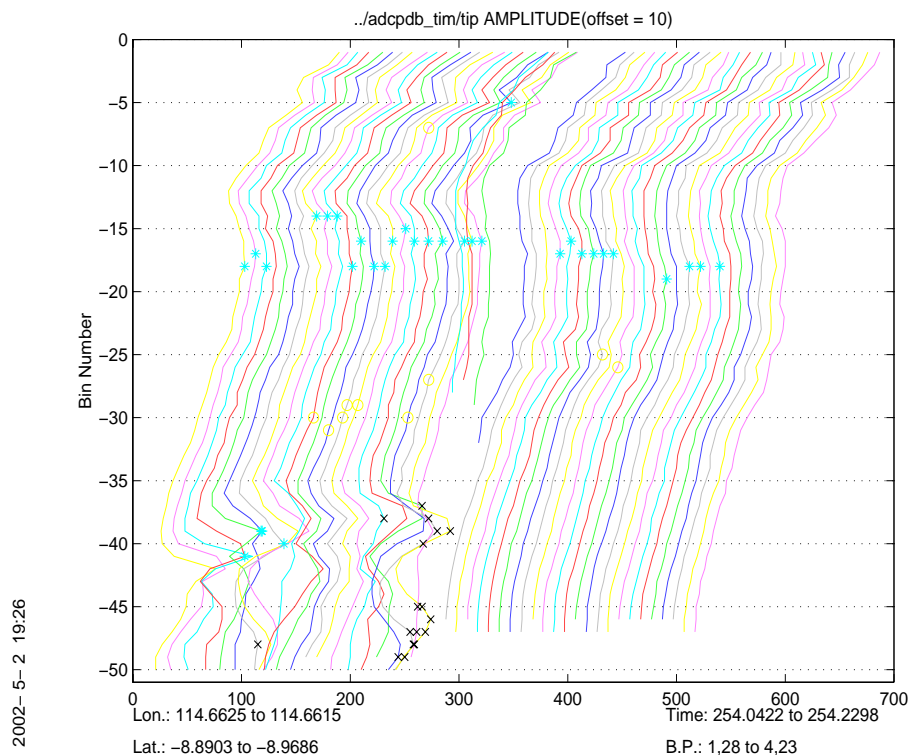


FIG. 2.3 — Profils d'amplitude du signal ADCP

La partie gauche du graphique correspond à un trajet en route, avec des profils de mauvaise qualité, qui s'améliorent nettement à l'arrivée en station (Première station CTD). D'une façon générale, les profils sont mauvais en route libre.

Les bins marqués comme mauvais, les profils supprimés, les bins correspondant au fond sont enregistrés respectivement dans 3 fichiers ASCII, badbin, badprf, bottom. Ces fichiers seront consultés ensuite pour la validation de la base de données.

## 2.4 Calibration des données

Le principe général de la calibration est de passer de vitesses relatives par rapport au bateau à des vitesses absolues dans un référentiel terrestre. On peut utiliser deux méthodes: comparer le déplacement du bateau par rapport au fond déduit de la détermination du fond par l'ADCP ("bottom tracking"), ou bien comparer l'accélération par rapport à l'eau mesurée au moyen de l'ADCP, avec l'accélération calculée au moyen des points satellites ("water-tracking"). Ces deux méthodes donnent des résultats identiques (à 0.5 % près) pour la détermination de l'orientation du transducteur sur la

coque. Dans les deux cas, il faut également examiner la qualité des positions satellites (validation du fichier navigation) et du gyro-compass.

Pour la calibration par "water-tracking" que nous avons utilisée pour corriger les défauts d'alignement du transducteur, on commence par extraire de la base ADCP, validée au moyen des fichiers créés lors de l'édition des profils, les vitesses d'une couche de référence, choisie ici entre les bins 2 et 12 (soit 32 à 192 m), sous forme d'un fichier comprenant les temps des ensembles, et les composantes des vitesses de la couche de référence. Le fichier des points GPS obtenu lors du traitement de la navigation permet d'obtenir les vitesses absolues de la couche de référence. Un programme de tracé Matlab permet d'afficher ces vitesses avant et après lissage, pour contrôle:

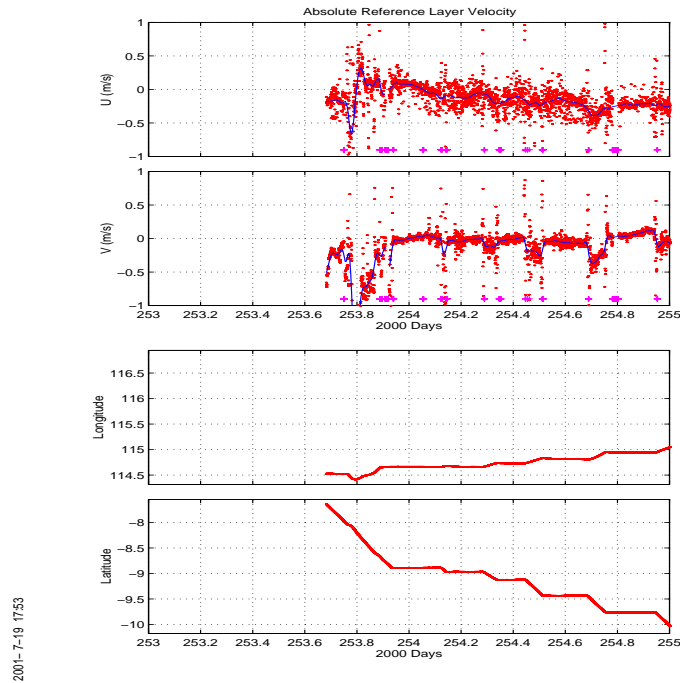


FIG. 2.4 —: Navigation et vitesse de la couche de référence avant calibration

Les pics correspondent à des décalages de temps entre les deux fichiers aux arrivées et départs de stations. Ils seront normalement éliminés par la calibration.

On détecte ensuite les accélérations du navire à partir des vitesses ADCP, puis on les compare aux accélérations issues des données GPS, en faisant "glisser" les deux fichiers (vitesses de la couche de référence et GPS) de manière à faire correspondre les temps le mieux possible (programme timslip). Les accélérations se produisent lors des arrivées et départs de station CTD ou carottage, lors des changements de direction, et bien sûr lors des ralentissements et accélérations du navire sur sa route directe. On détermine ainsi le décalage de temps entre l'horloge du PC d'acquisition des données ADCP, soit le temps de la base ADCP, et le temps GPS, ainsi que l'angle du transducteur par rapport à l'axe du navire. Le nombre de points extraits par le programme de détection des accélérations/décélérations (timslip) est théoriquement égal, au minimum, au double du nombre des stations. Le programme effectue un filtrage des valeurs erronées. Deux essais ont été faits, avec des fenêtres de "7 fixes", soit 35 minutes (ensembles de 5 mn), et "5 fixes", soit 25 minutes. On a choisi la fenêtre de "5 fixes", car c'est pour cette durée que le plus grand nombre de points de calibration est gardé, même si les écarts-type sont légèrement plus élevés.

La figure ci-dessous montre le résultat de cette calibration.

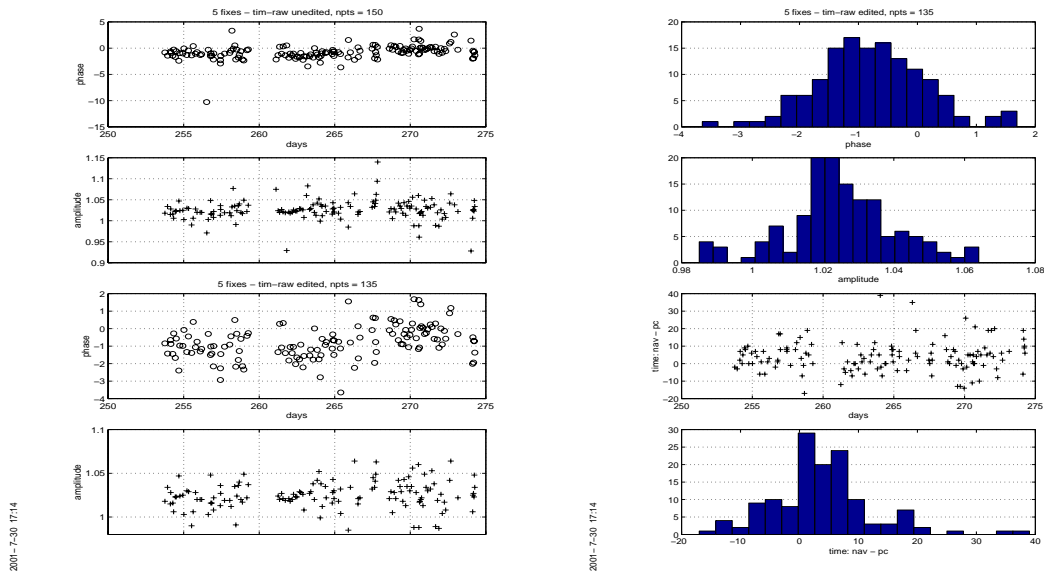


FIG. 2.5 — Détermination de la phase, de l'amplitude et d'un décalage d'horloge

Un décalage d'horloge (variable `time: nav-pc`) inférieur à 2 secondes est admissible. Ici, on observe un décalage d'horloge de 4 secondes, trop important, il a donc été nécessaire de le corriger de +4 secondes au moyen d'un module du logiciel CODAS (`chtime`). Les opérations ci-dessus réitérées donnent cette fois-ci:

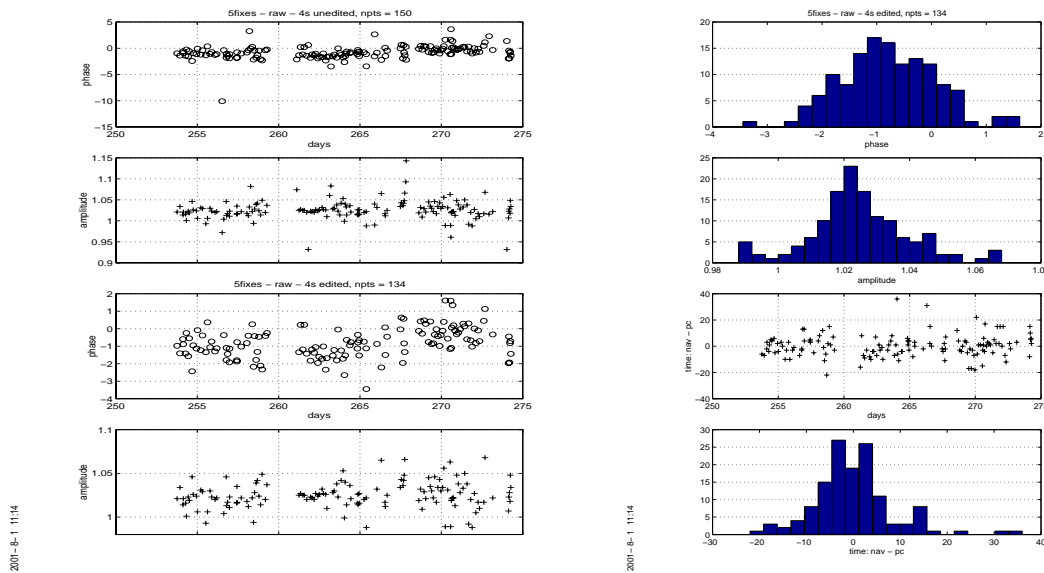


FIG. 2.6 — Détermination définitive de la phase et de l'amplitude

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de tolérance maximum pour les paramètres de la calibration :

Time range 253.76 to 274.27  
 delta-u min = -100.00, max = 100.00;  
 delta-v min = -100.00, max = 100.00  
 clip-amp = 0.05, clip-ph = 3.0  
 clip-dt = 60, clip-var = 0.050  
 Number of edited points: 135 out of 150

Le résultat est le suivant (les 2 nombres sont respectivement la moyenne et l'écart-type).

**amplitude** 1.0251 0.0154  
**phase** -0.7961 0.8670  
**nav-pc** 0.2313 8.6066  
**var** 0.0131 0.0096  
**min var** 0.0113 0.0085  
**delta-u** 0.1042 4.3648  
**delta-v** 0.0490 4.6330

Le décalage d'horloge est ramené à 0.2 secondes en moyenne. Pour la phase, l'écart-type admissible est de l'ordre de 1.5 degré, et pour l'amplitude, il est de 2%. Les valeurs de la calibration sont donc tout a fait correctes. On adoptera donc pour la phase, l'amplitude et la différence de temps :

**phase** -0.7961 (std=0.8670)  
**amplitude** 1.0251 (std=0.0154)  
**nav-pc** 0.2313 (std=8.6066)

Dans le cas où la campagne se fait par petits fonds, il est possible d'utiliser la procédure de calibration dite "bottom-tracking", basée sur la comparaison entre la trace de la route du bateau sur le fond déterminée par les positions satellites et celle déduite de la vitesse ADCP. Comme la durée de "bottom-tracking" de la campagne a été très courte, nous utiliserons dans la procédure de calibration définitive l'option "water-tracking" seule.

La deuxième composante de la calibration est l'évaluation de la variation du gyrocompas. Un essai de contrôle du gyrocompas a été effectué au moyen de programmes adaptés de la bibliothèque CORRYGE. Le premier stade est l'extraction des caps gyro à partir des fichiers bruts de navigation, puis la comparaison avec le fichier des caps extrait de la base ADCP (suffixe .hdg). Le résultat est un fichier .ang, de différences entre les caps gyro et les caps ADCP. Malheureusement les valeurs de ces différences d'angle ne sont pas exploitables ( trop peu de différences calculées, les caps gyro ne figurant pas dans tous les enregistrements des fichiers bruts de navigation extraits du concentrateur).

Une autre moyen d'évaluer la variation du gyrocompas est d'évaluer l'influence de la latitude, en tracant la phase extraite au moyen du programme "timslip" ci-dessus en fonction de la latitude. Si le gyrocompas avait parfaitement fonctionné, la phase serait constante avec la latitude. Cette méthode est ici possible grâce au nombre de points de calibration (150 au départ).

Le résultat est un polynôme du premier degré qui permet d'obtenir un fichier d'angles (phases), variant avec la latitude, a partir du fichier de navigation. Ce fichier d'angles est construit en prenant comme constante du polynôme la constante calculée par le fit (-1.9266), corrigée de la phase constante (-0.7961) obtenue au moyen de la calibration par water-tracking.

**angle** -1.1305 - 0.0589 \* latitude

Une rotation des données de navigation est tout d'abord effectuée en test, d'abord avec les coefficients de phase et d'amplitude constants puis avec le fichier d'angles variant avec la latitude.

Le résultat pour une rotation constante est le suivant :

**amplitude** 1.0002 0.0148

**phase** -0.0124 0.8659

**nav-pc** 0.3577 8.2611

Et pour la somme des deux actions:

**amplitude** 1.0002 0.0148

**phase** -0.0243 0.8053

**nav-pc** 0.4058 8.1084

Dans le deuxième cas, la phase résultante est légèrement plus forte, mais l'écart-type est nettement amélioré. Surtout, la variation de la phase dans le temps ("trend") est beaucoup plus faible:

**phase** =  $-0.02 - 0.0148 (t - 264.4)$

**phase** =  $-0.01 + 0.0540 (t - 264.3)$

On choisira donc cette dernière forme de calibration.

Après obtention des données de calibration (ici un angle et une amplitude constants pour corriger l'alignement du transducteur, et un fichier d'angles permettant d'améliorer les mesures du gyrocompas), on effectue la rotation des données de vitesse.

Un contrôle de la variation de la phase avec la latitude est effectué après la rotation. La figure ci-dessous donne le résultat de ce contrôle. Après la rotation, la variation de la phase avec la latitude est quasi-nulle, ce qui confirme la validité de la méthode de construction du fichier d'angles.

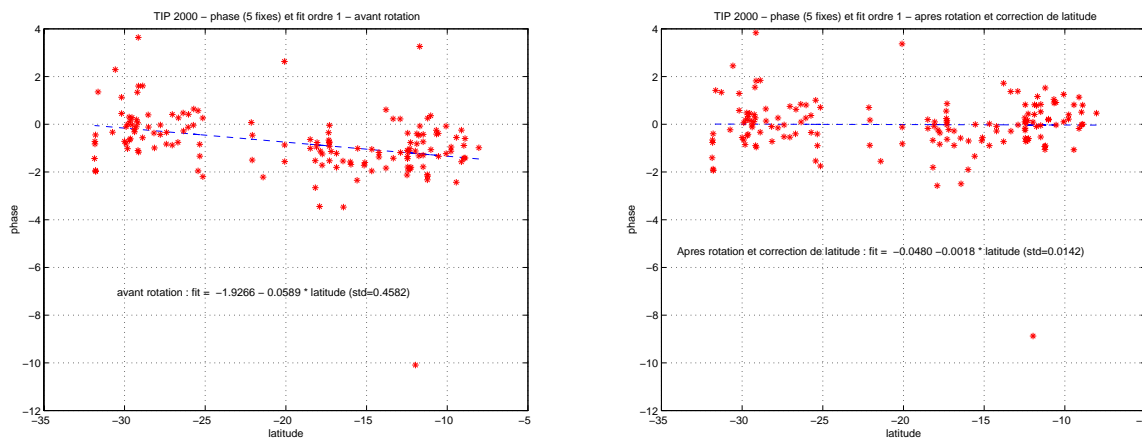


FIG. 2.7 —: TIP 2000 : Variation de la phase avec la latitude, avant et après rotation

## 2.5 Mise en forme définitive de la base de données

Le dernier stade de l'élaboration de la base est l'intégration des données de navigation calibrés dans cette base. Il est alors possible de construire des grilles de différents formats, suivant un maillage spatial ou temporel, qui serviront de base pour la conversion des données en ASCII sous forme de fichiers formattables pour être lus sous Matlab, et pour les tracés.

La construction des grilles spatiales se fait en 2 temps, d'abord avec le programme lgrid, qui demande la définition de la grille en latitude et longitude, puis le résultat (un tableau de temps) sert de contrôle pour le programme adcpssect, soit pour créer les fichiers de contours .con, associés à des fichiers de statistiques .sta, soit des fichiers de vecteurs à différents niveaux: .vec. Ces derniers peuvent être tracés au moyen du programme vector de CODAS. On utilise un programme de tracés de contours MATLAB pour les sections, qui utilise les fichiers .con.

La construction de grilles temporelles se fait également en 2 temps, d'abord au moyen du programme timegrid, dans lequel on rentre un pas de temps régulier pendant la durée de traitement désirée, et un programme adcpsect ne faisant aucune moyenne sur les données, ce qui permet d'obtenir tous les ensembles directement en ASCII (la base CODAS est en binaire). Au vu des premiers tracés de sections, et compte tenu de la mauvaise qualité des données en route, il a été nécessaire d'extraire les données en station. Un fichier des temps de début et de fin de station a été construit, donc avec une grille de temps à pas irrégulier. Sont conservés les écarts-type sur les composantes U et V, le nombre d'ensembles sur lesquels est calculé le profil moyen, ainsi que les minima et maxima des deux composantes. Le pas de profondeur est de 10m. Ce fichier permet des comparaisons faciles avec d'autres types de mesures, LADCP en station en particulier.

Les différents formats sont donnés en Annexe II.

## 2.6 Evaluation de l'erreur

### Erreur globale sur l'ensemble des mesures (qualité)

Une évaluation des erreurs sur les composantes U,V,W de la vitesse, le taux de "bonnes valeurs", l'amplitude et la largeur spectrale du signal, est faite à ce stade. La figure 8 donne le résultat de cette évaluation pour les composantes U et V, la composante W, et l'erreur sur la détermination de la vitesse (en trait plein pour les profils en station, en pointillé pour les profils en route). Les données en route sont beaucoup plus mauvaises, c'est malheureusement souvent le cas sur le Marion Dufresne, qui n'est pas assez chargé lors des campagnes océanographiques, et dont l'assiette est sur l'arrière.

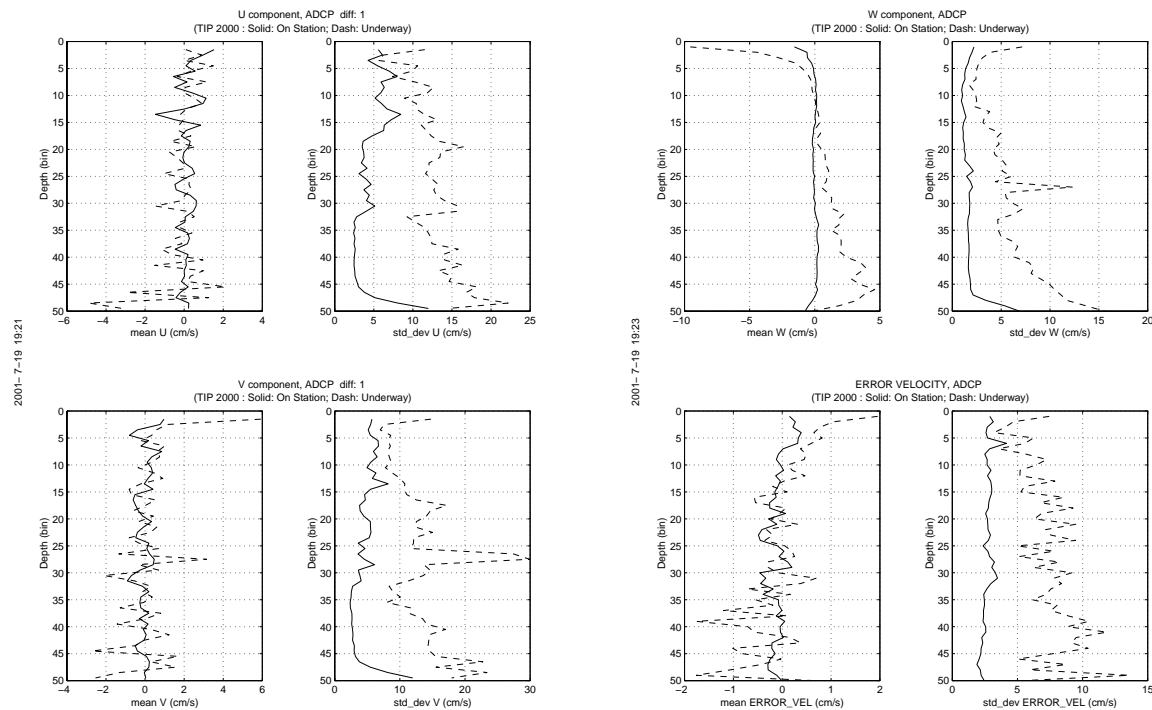


FIG. 2.8 — TIP 2000 : Tests de qualité des mesures en route et en station



### Erreur sur la vitesse relative (erreurs sur l'amplitude)

La première source d'erreur est, comme nous l'avons vu plus haut, l'erreur sur la vitesse du son. Nous avons vu que l'erreur sur la salinité dans les fichiers de configuration, donc sur la vitesse du son, entraînait une erreur de 2 % sur la vitesse relative. Par exemple, pour une vitesse de bateau de 10 noeuds, soit environ 5m/s, l'erreur est alors de 10 cm/s pour la composante longitudinale (dans l'axe du bateau).

Les bulles peuvent aussi réduire la vitesse du son. C'est souvent le cas pour le Marion Dufresne, qui est la plupart du temps quasi lège pendant les opérations scientifiques, et avec une assiette sur l'arrière. Par gros temps, on n'a pratiquement aucune mesure dans les premiers bins.

### Erreur sur la vitesse absolue (erreurs sur la phase)

En supposant que la vitesse du bateau est bien connue (précision des points GPS), les erreurs sur la composante transversale proviennent des erreurs sur le gyro-compass et sur le positionnement (horizontal et vertical) du transducteur.

La méthode de la couche de référence permet de corriger les erreurs éventuelles sur les points GPS. Ces erreurs étaient fréquentes avec l'ancien système Transit, très rares avec le système GPS, même dégradé. La méthode est toutefois conservée pour ses outils de visualisation et de contrôle.

L'erreur sur le positionnement horizontal (angle par rapport à l'axe longitudinal du navire) peut être évaluée et corrigée au moyen de la méthode du water-tracking (Pollard et Read), à condition d'avoir un nombre suffisant de points de calibration (idéalement, au moins 64, pour avoir une précision de 0.2° sur la calibration), ce qui est le cas ici (150 points).

L'erreur sur le positionnement vertical (roulis, tangage, assiette) est normalement corrigée en configuration Janus (les axes du transducteur sont en X par rapport à l'axe du navire).

L'erreur sur le gyrocompass a été évaluée approximativement au moyen de la variation avec la latitude. Une erreur de 0.6° entraîne une erreur de 1 % de la vitesse du bateau sur la composante transverse (soit 5 cm/s pour une vitesse de 10 noeuds).

En résumé, compte tenu des difficultés d'appréciation des erreurs de gyro-compass, une incertitude de +/- 10cm/s sur le module de la vitesse paraît une estimation raisonnable. Toutefois les directions sont réalistes.

Comme il l'est rappelé dans la plupart des publications techniques sur les mesures ADCP de coque, ces mesures ne semblent pas utilisables pour le calcul de transports.

## 2.7 Références

- Firing E.** Report from the WOCE/NOAA Workshop on ADCP measurements, held in Austin, Texas, March 1-2 1988, U.S. WOCE Planning Report No. 13, U.S. Planning Office for WOCE, College Station, TX.
- Pollard R. and Read J.** , A method for calibrating shipmounted acoustic Doppler profilers, and the limitations of gyro compasses, J. Atmos. Oceanic. Technol., 6, 859-865, 1989.
- RD Instruments** Acoustic Doppler Current Profilers Principles of Operation : A Practical Primer, 1989, RD Instruments, Businesspark AVenue, San Diego, CA 92131
- Firing E. and Bahr F., Caldwell P., Ranada J., Zhu W.** Processing ADCP Data with the CODAS software System, Version 3.1, "unpublished manuscript", 1995, JIMAR, University of Hawaii, 1000 Pope Road, Honolulu, Hawaii 96822
- Eldin G.** Correction des erreurs gyro-compass par GPS System, version 1.2, "unpublished manuscript", août 2000



Troisième partie

**Présentation des Données**

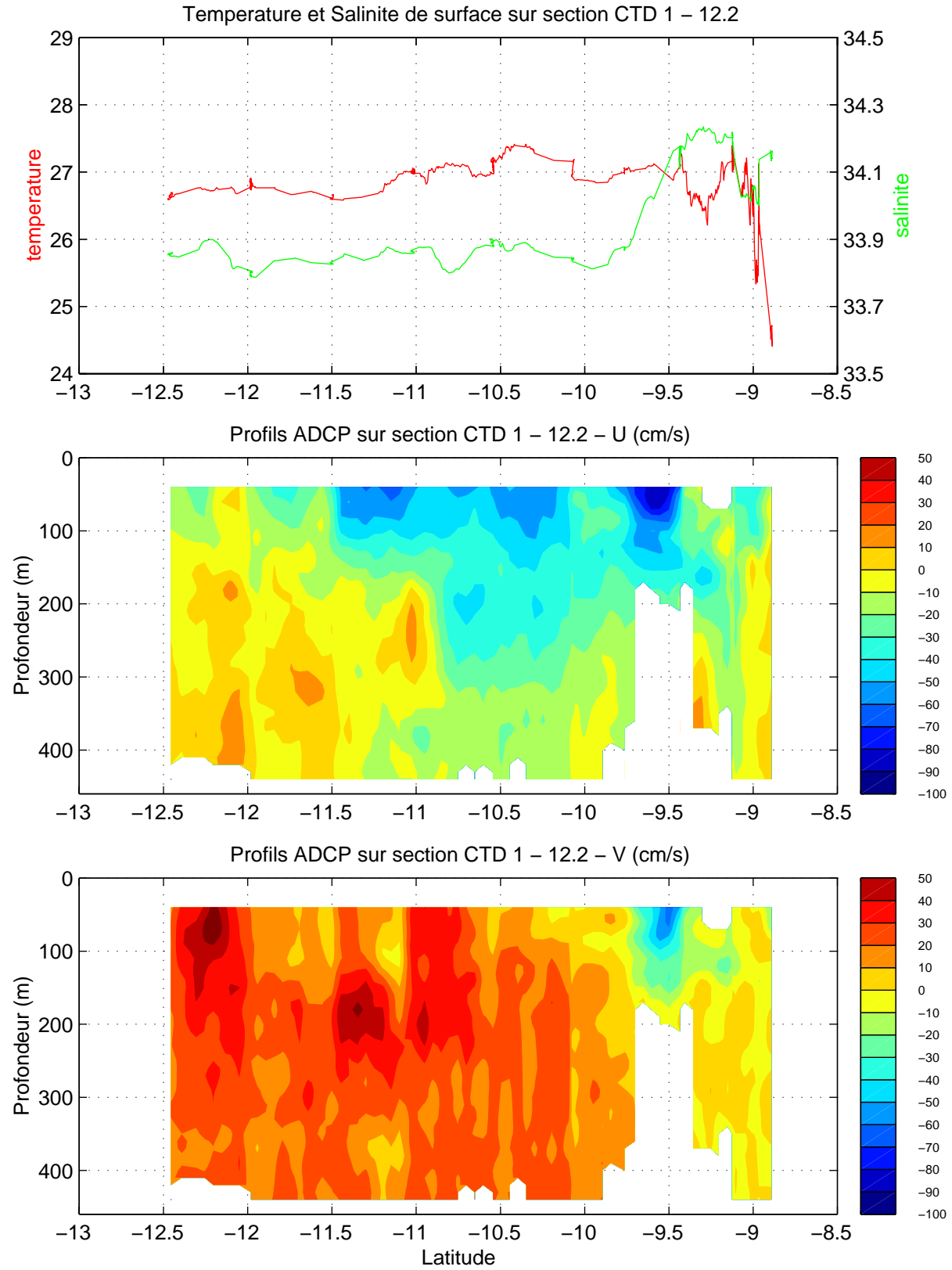


# Chapitre 1

## Sections CTD et ADCP de coque

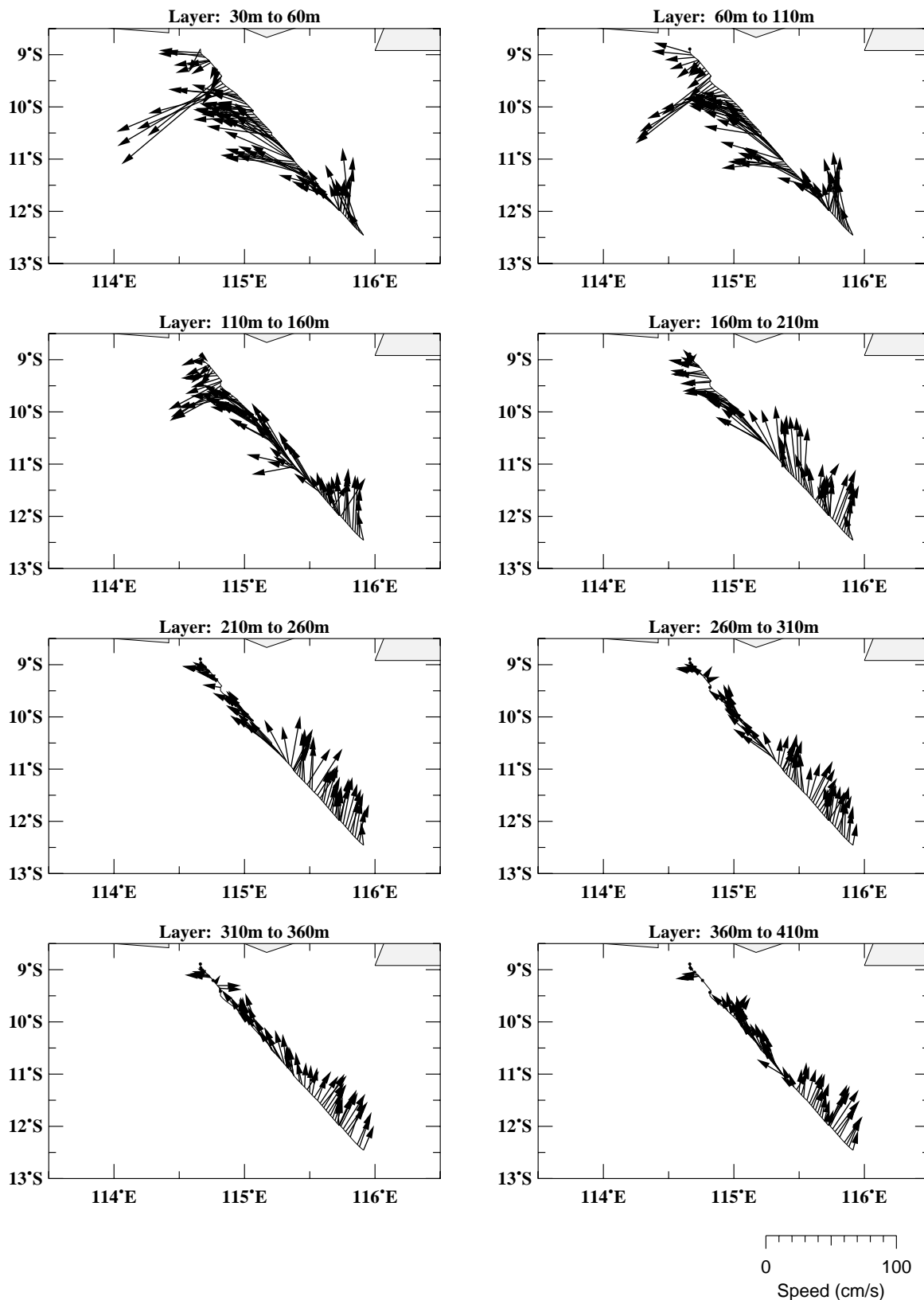
Pour chaque section CTD, sont présentées les sections de température, salinité, oxygène, densité potentielle de 0 à 2000 db et de fluorimétrie de 0 à 300db, ainsi que la carte donnant la position de la section, et en regard, un diagramme Theta-S des stations de la section.

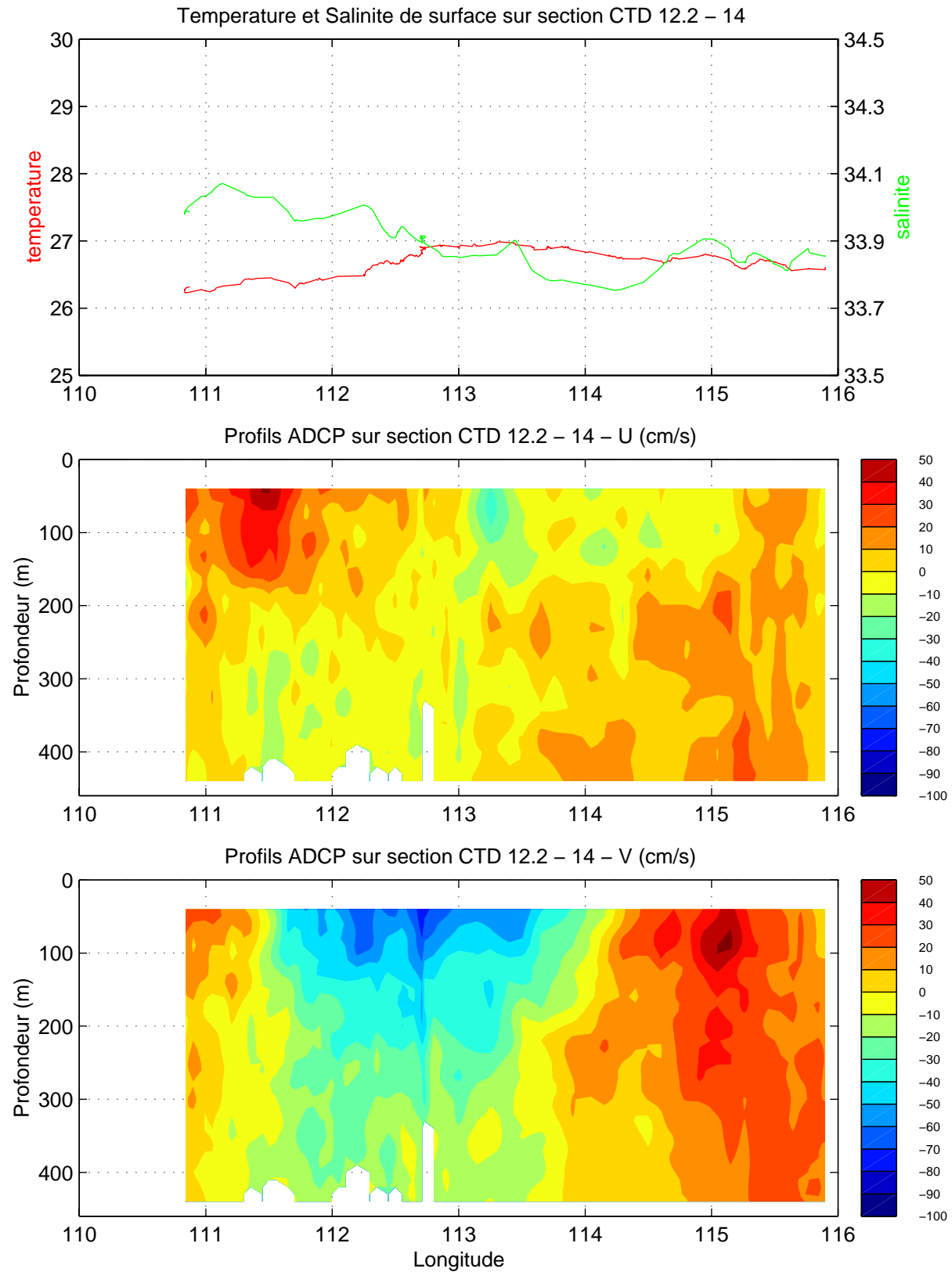
Sont présentés également les sections ADCP correspondantes, une section de la vitesse méridienne et une section de la vitesse zonale, associées à un tracé de l'enregistrement du thermosalinographe pendant la même section, et à un diagramme en bâtons des vitesses dans différentes couches : 30-60 m, 60-110m, 110-160m, 160-210m, 210-260m, 260-310m, 310-360m, 360-410m. La salinité donnée par le thermosalinographe est trop basse d'environ 0.04 - 0.05 PSU.



# TIP 2000, Stations 1 a 12-2

10-13 Septembre 2000

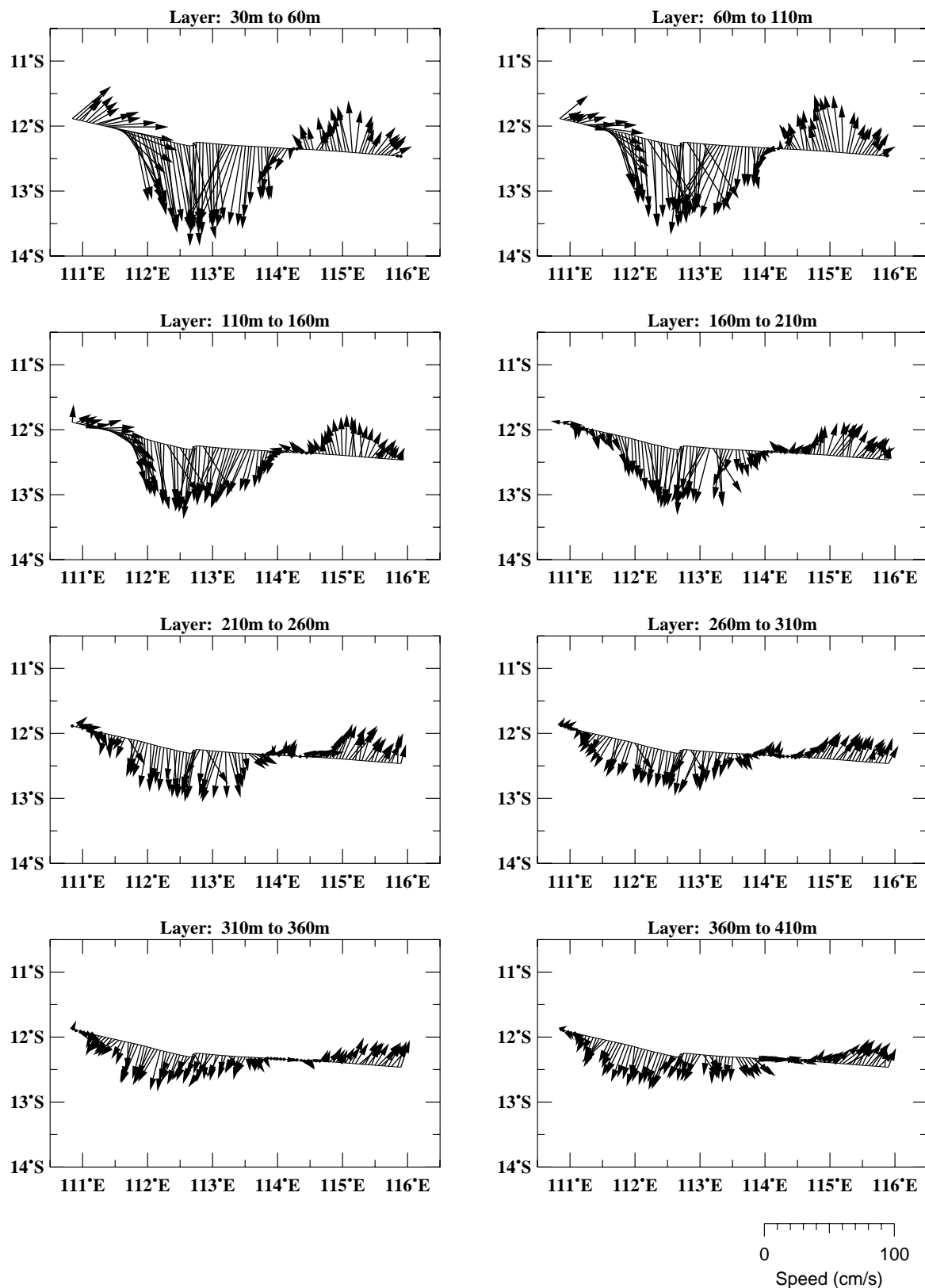


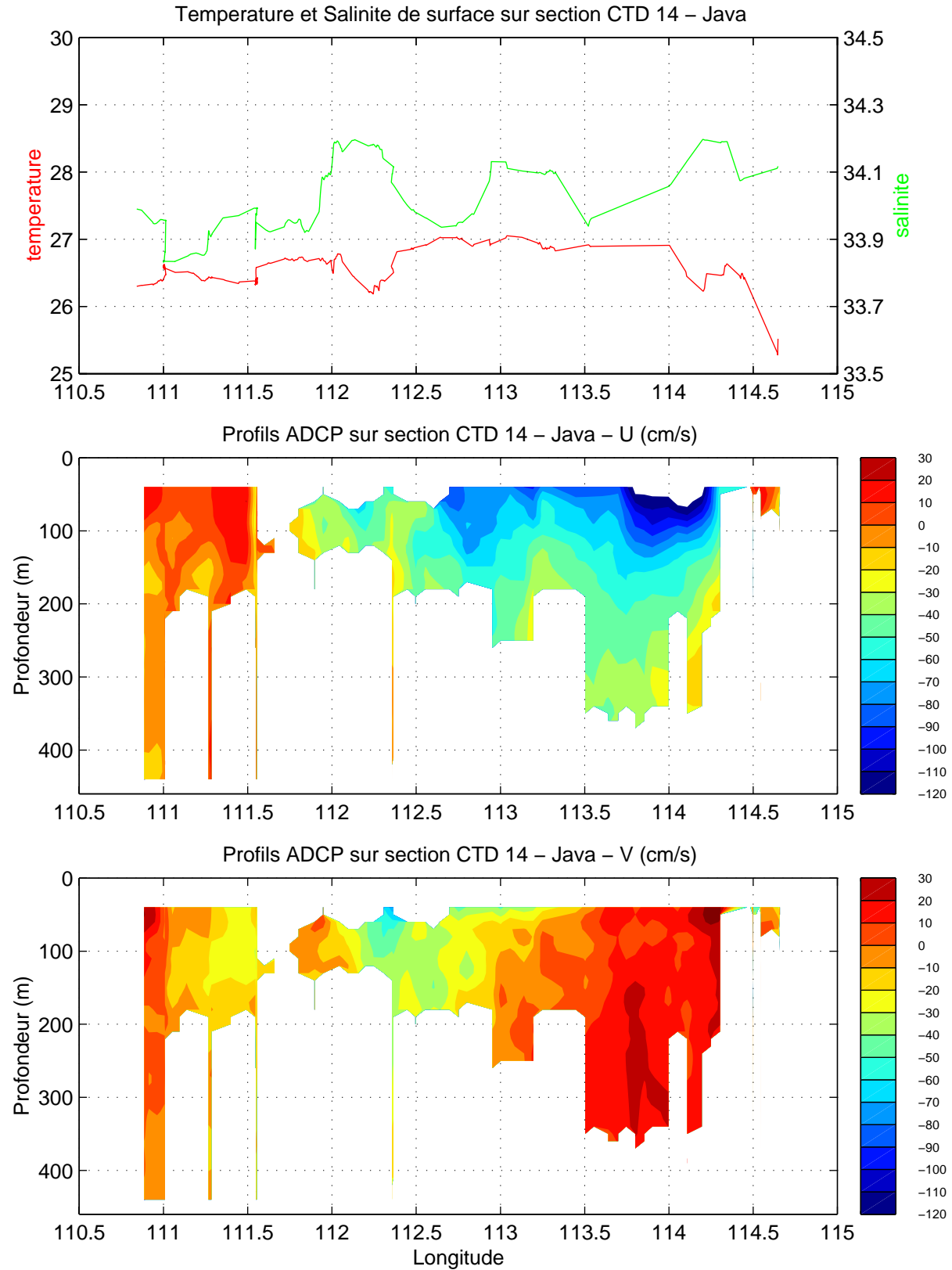




# TIP 2000, Stations 12-2 a 14

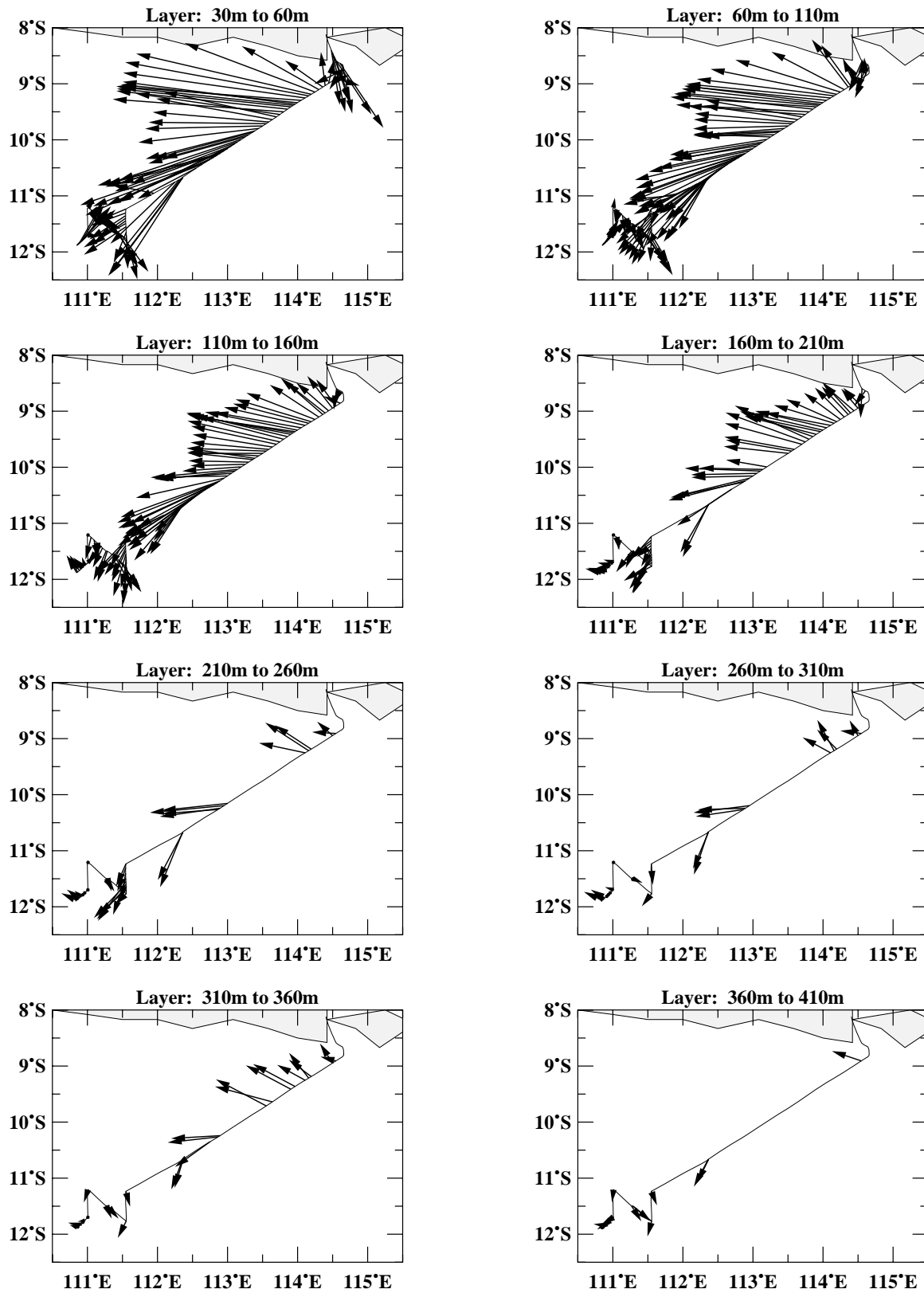
13-15 Septembre 2000

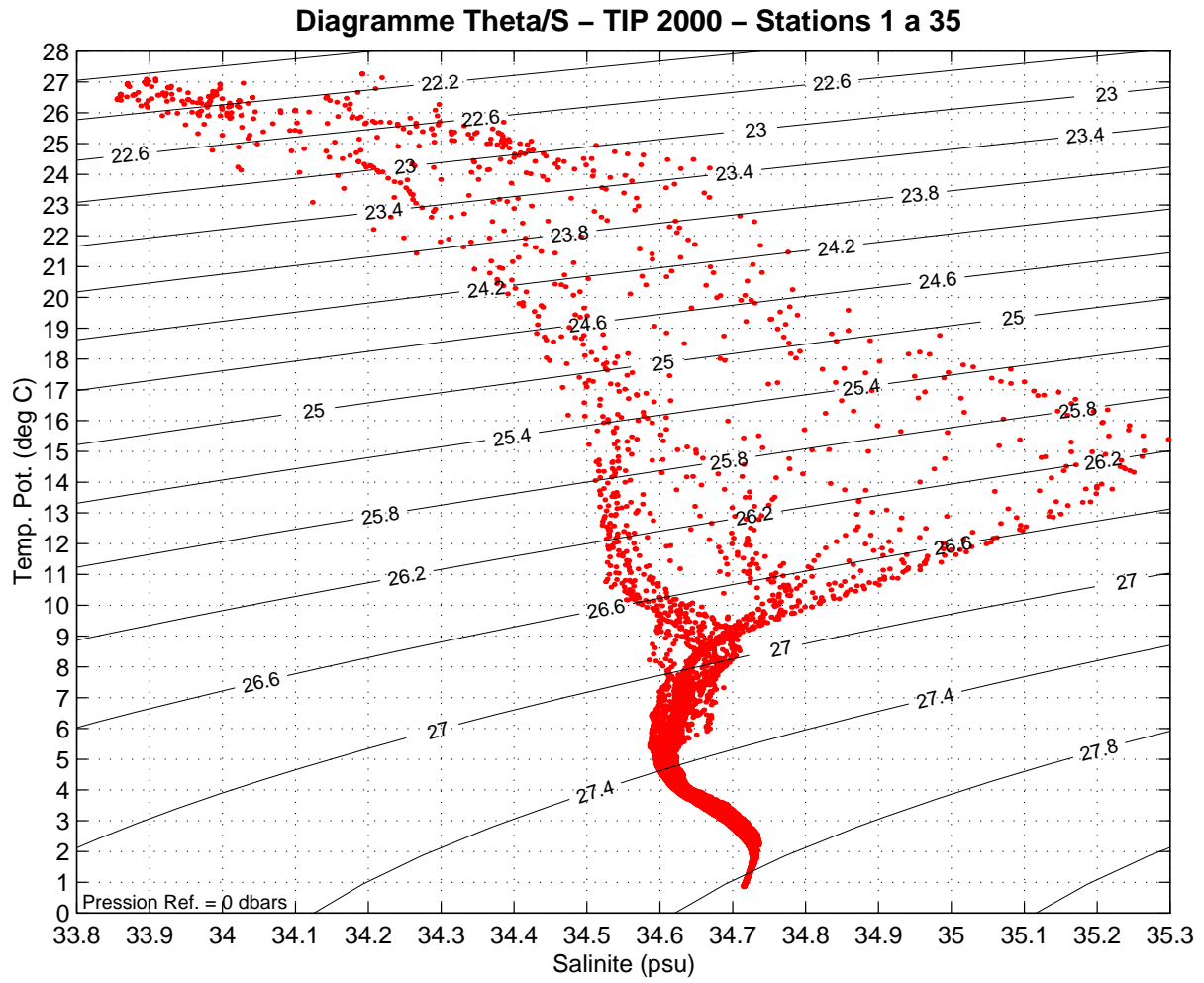


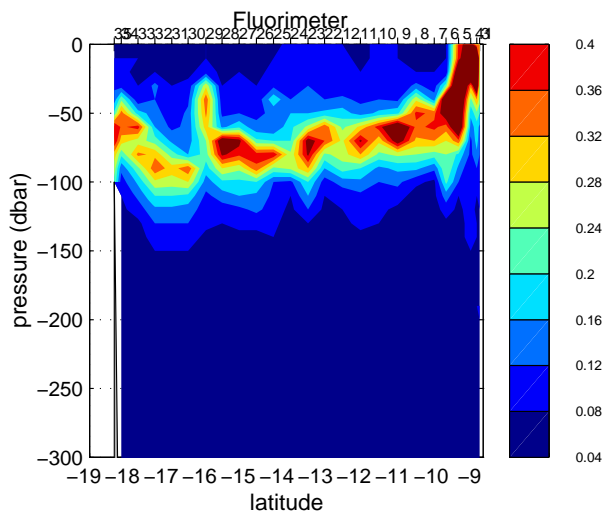
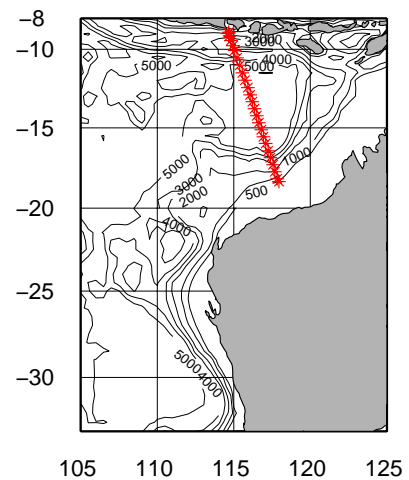
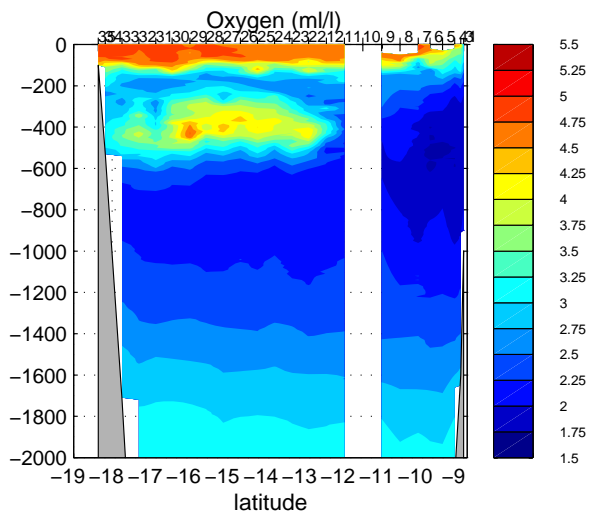
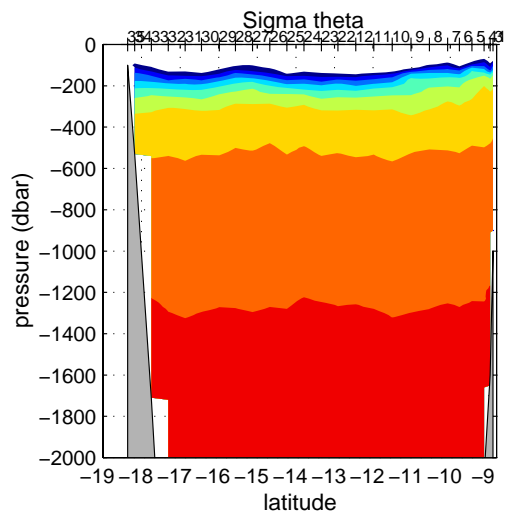
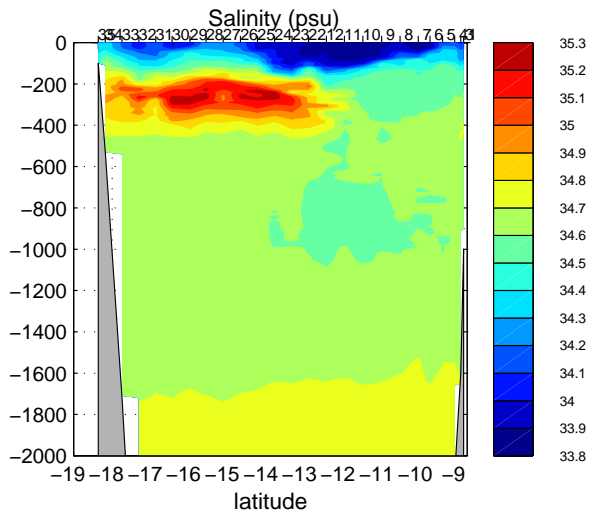
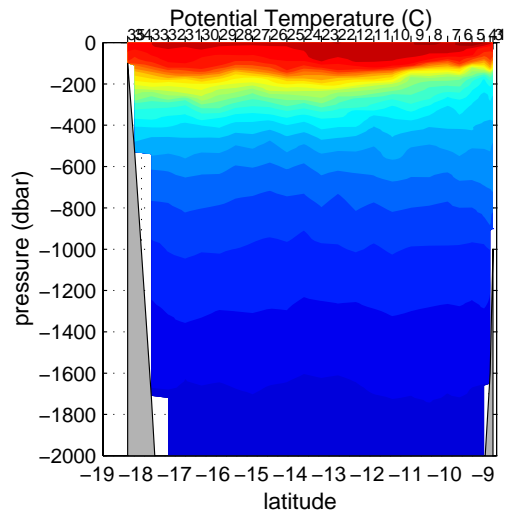


# TIP 2000, Station 14 a Java

15-17 Septembre 2000

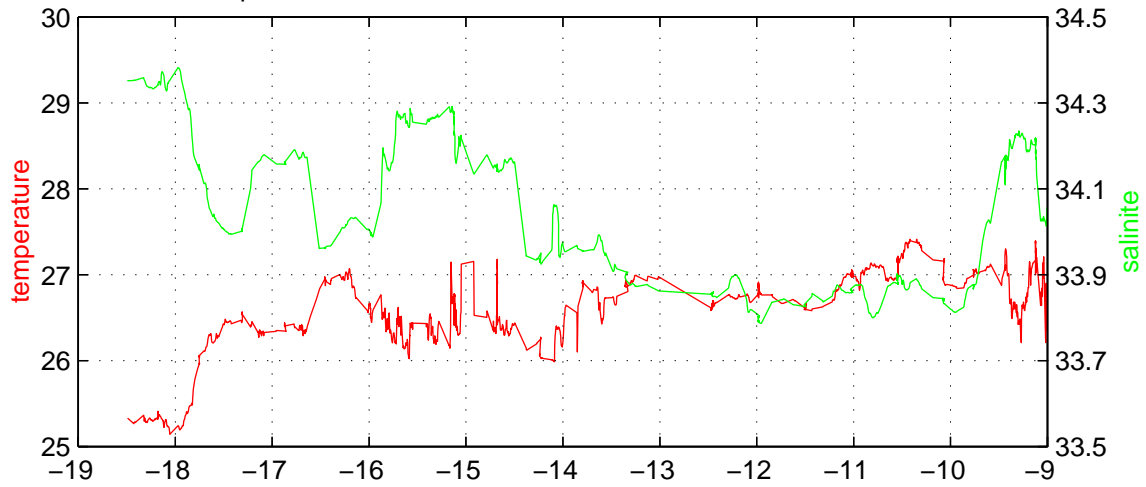




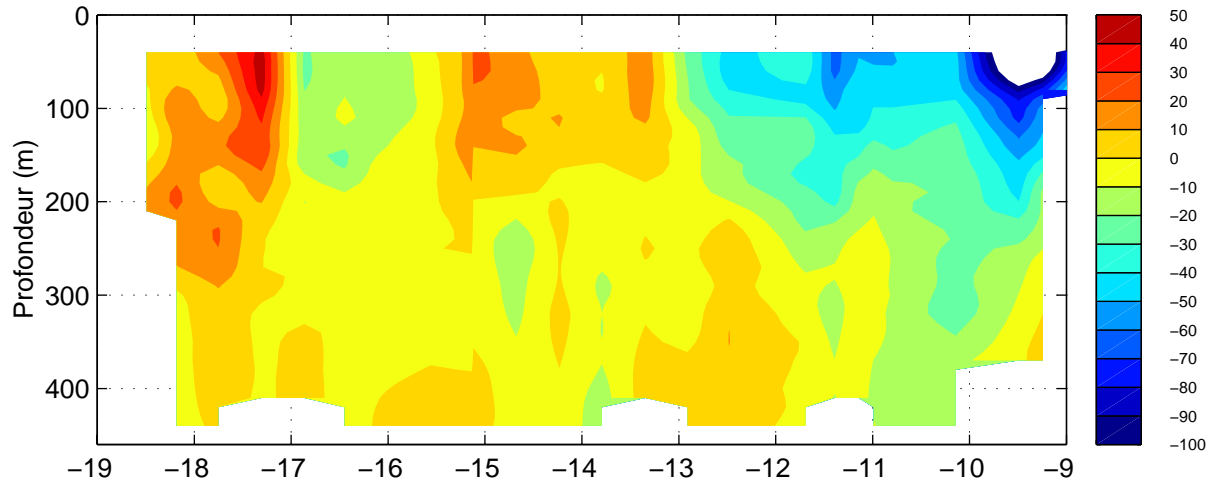


TIP2000 – Section Java–Australia (St 1–35)

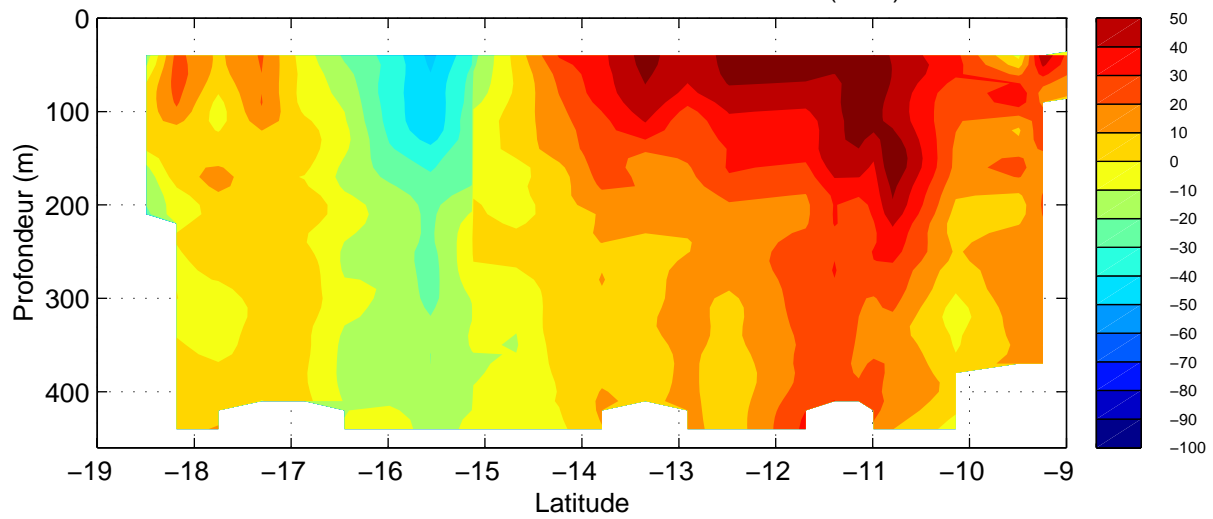
Temperature et Salinite de surface sur section Java – Station 35



Profils ADCP sur section Java – Station 35 – U (cm/s)

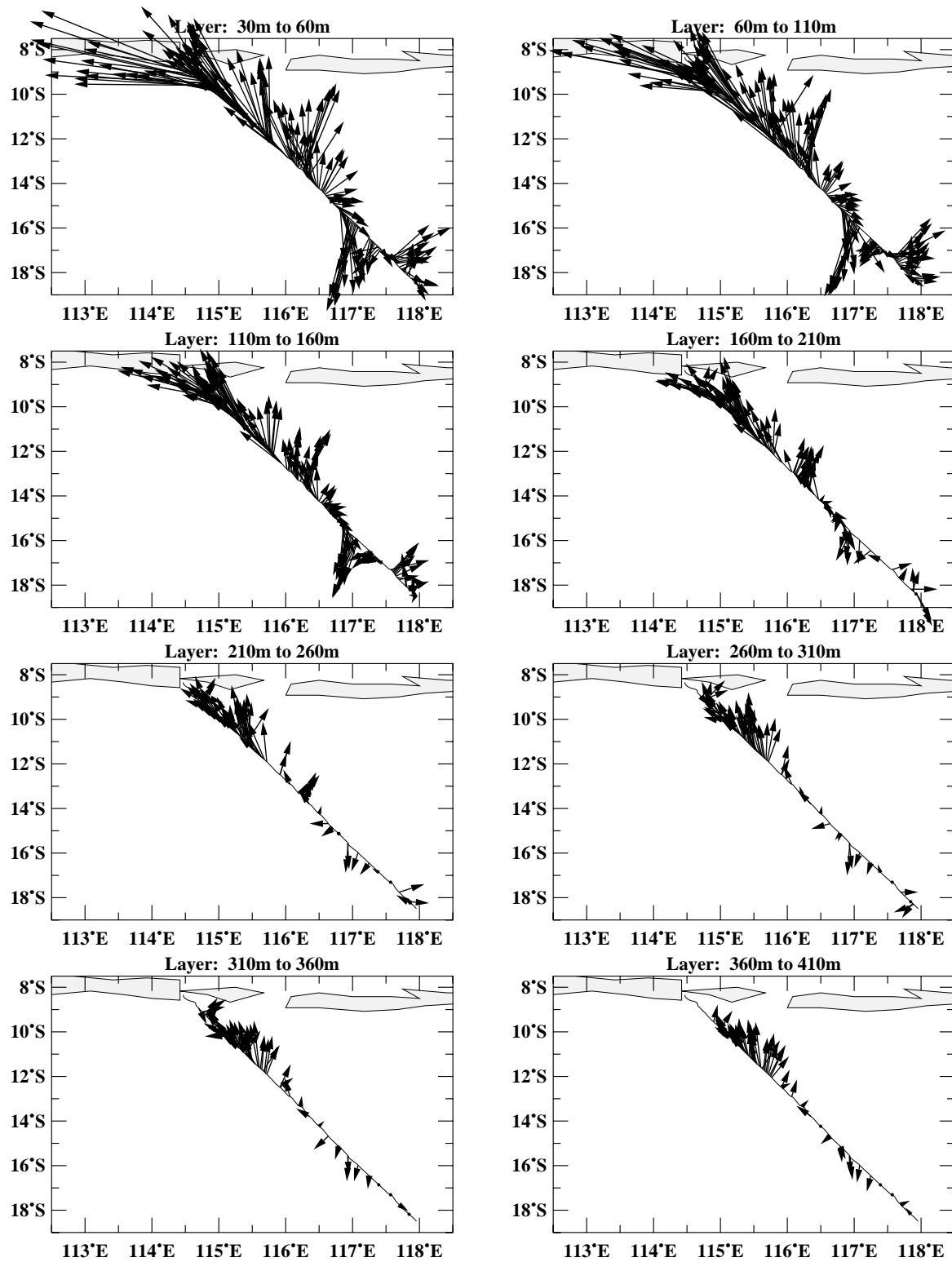


Profils ADCP sur section Java – Station 35 – V (cm/s)

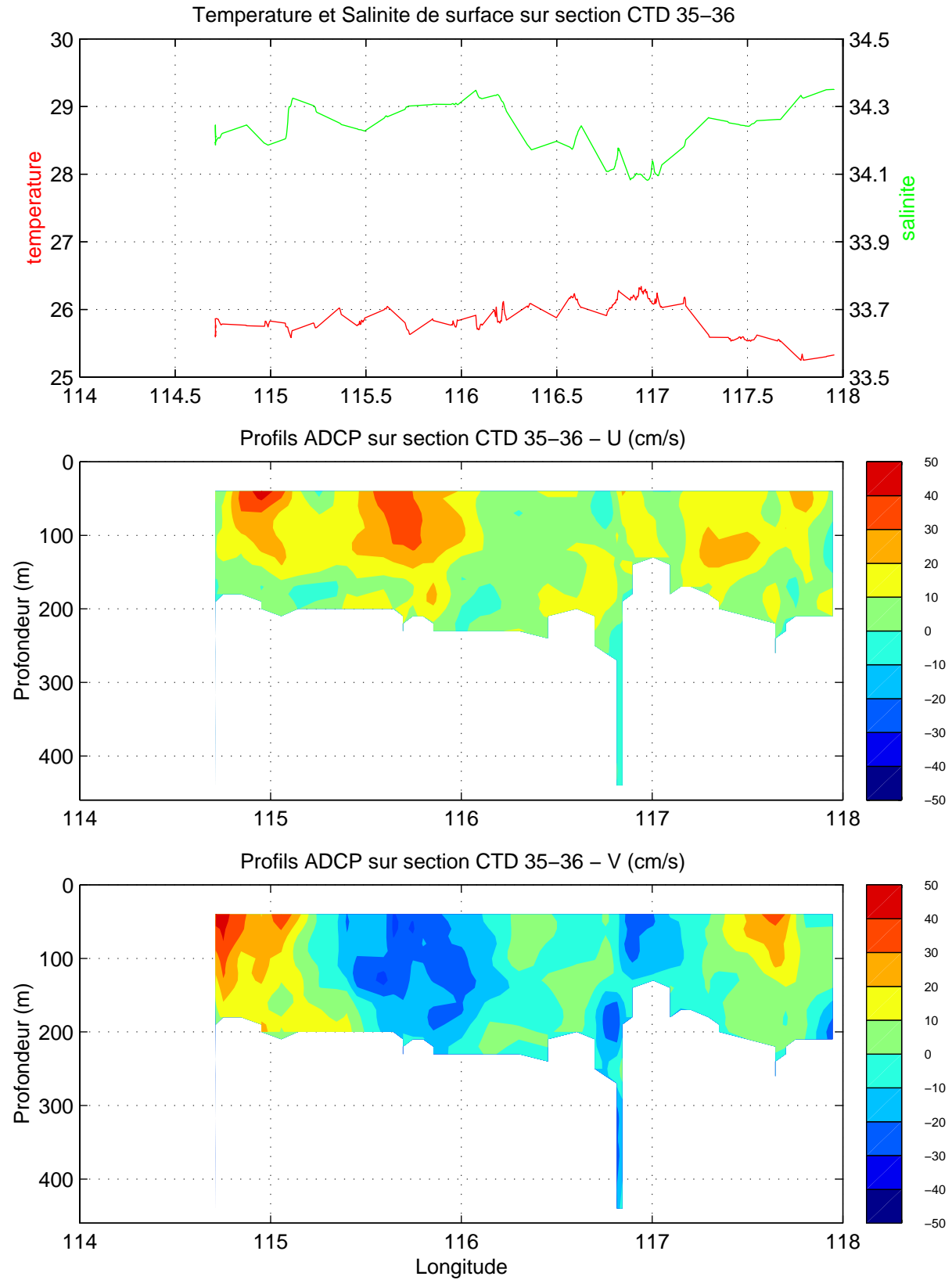


# TIP 2000, Section Java-Australie

17-21 Septembre 2000



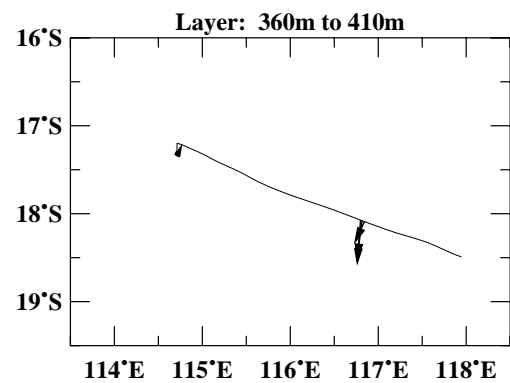
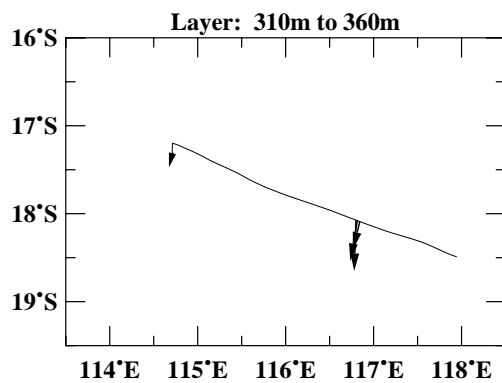
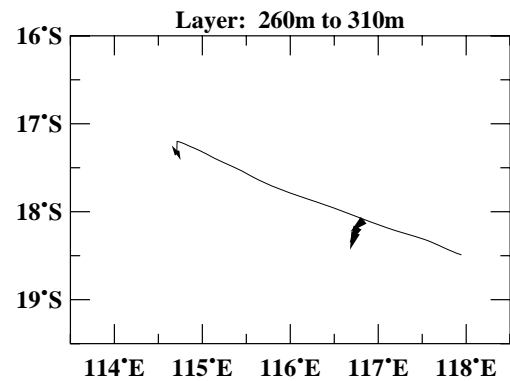
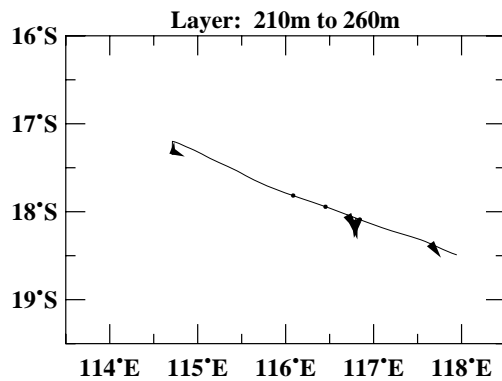
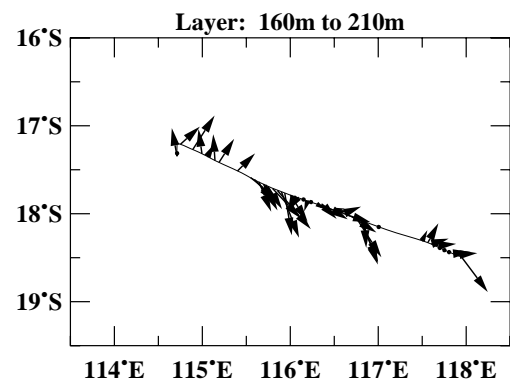
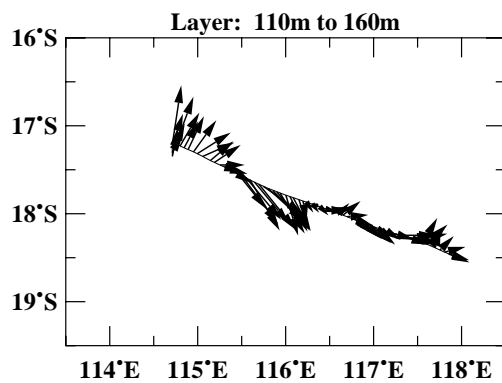
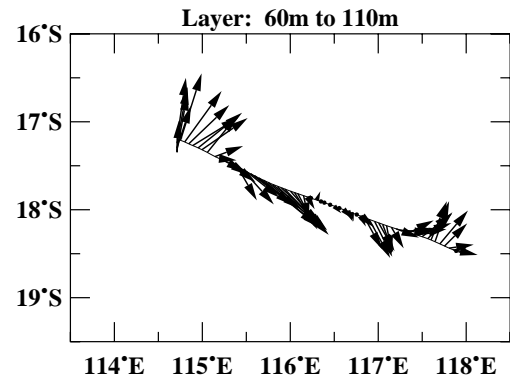
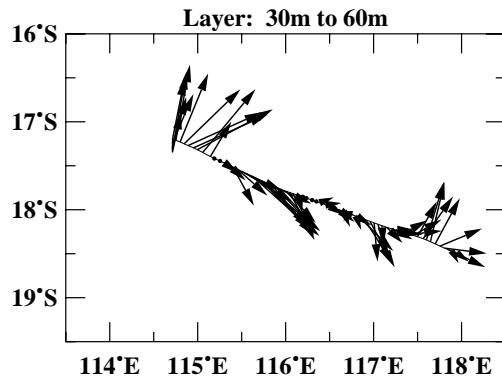
0 100  
Speed (cm/s)



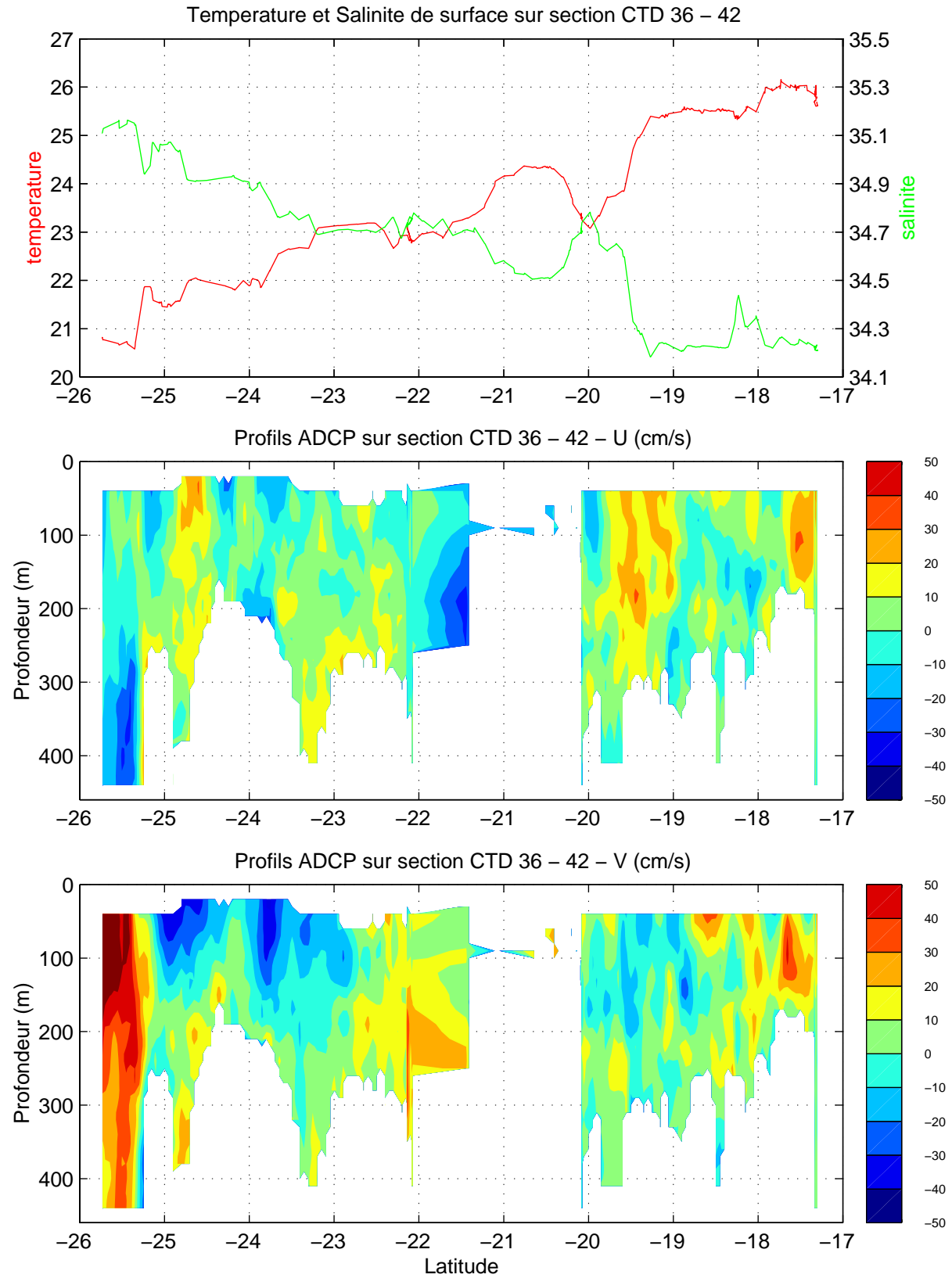


# TIP 2000, Stations 35 a 36

21 Septembre 2000

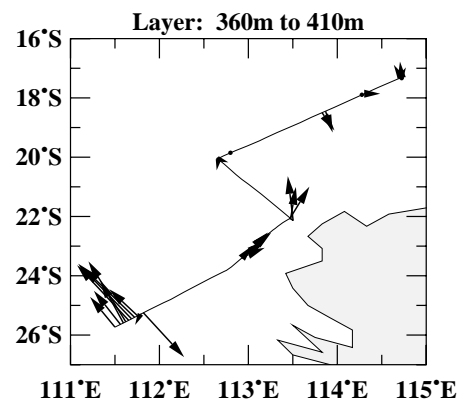
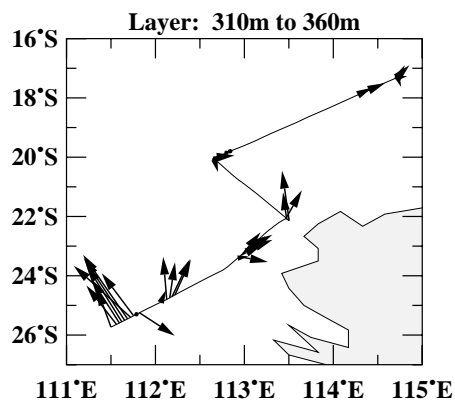
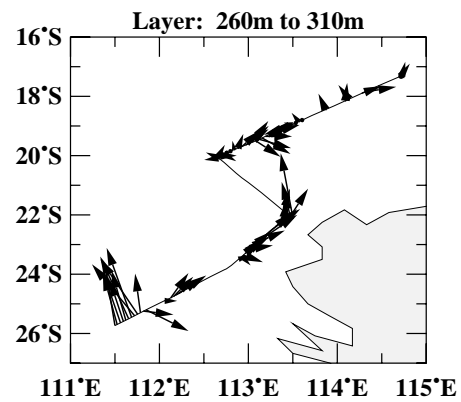
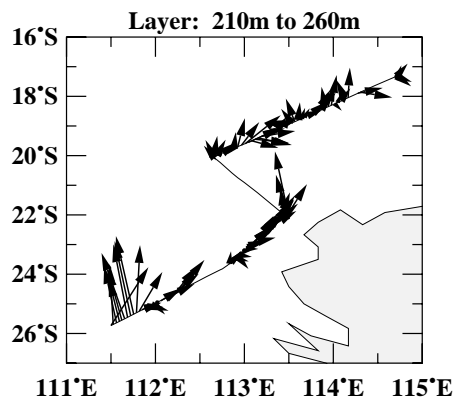
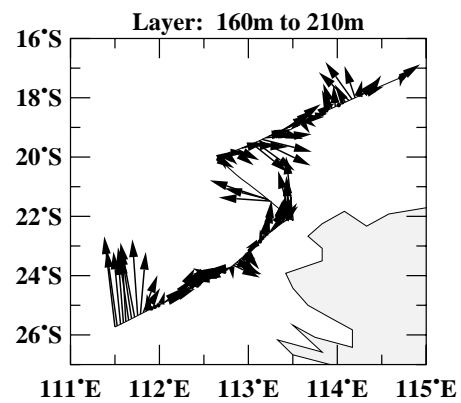
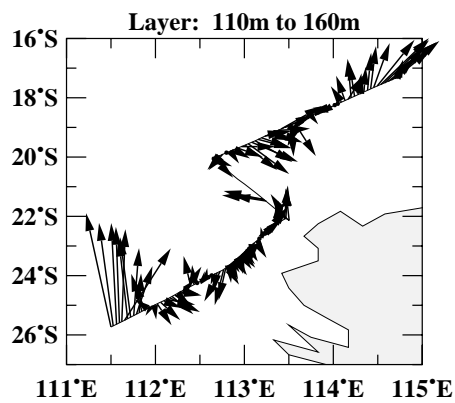
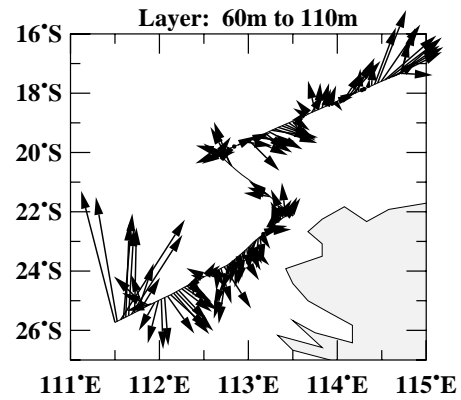
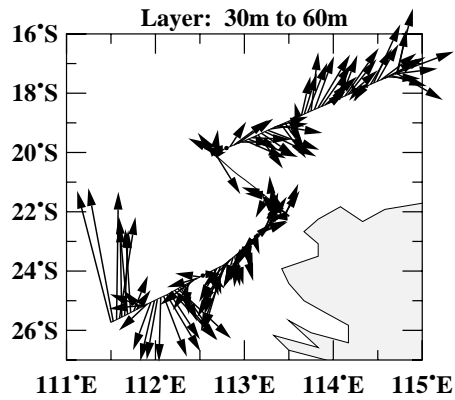


0 100  
Speed (cm/s)

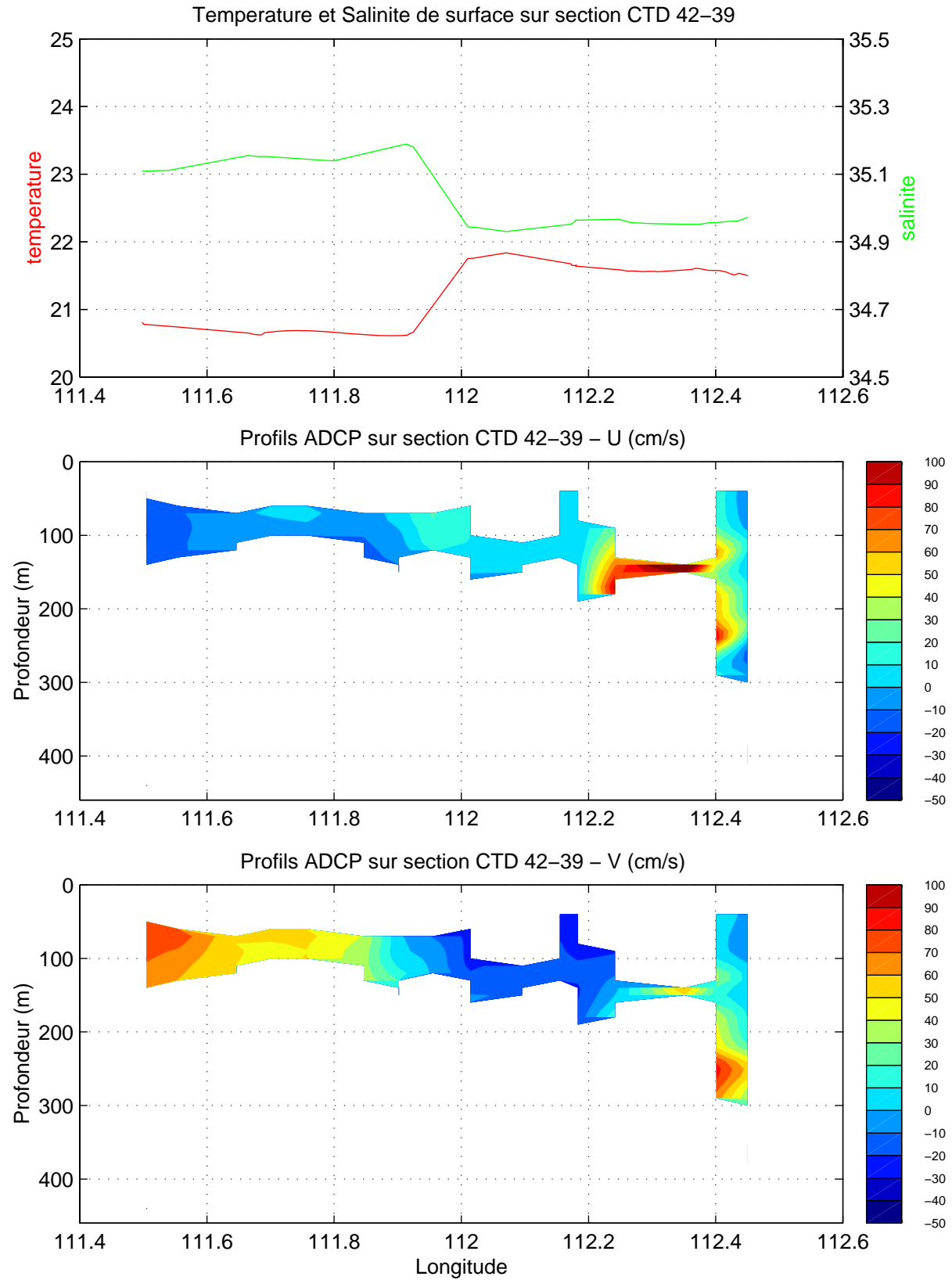


# TIP 2000, Stations 36 a 42

21-24 Septembre 2000



0 100  
Speed (cm/s)



# TIP 2000, Stations 42 a 39

24 Septembre 2000

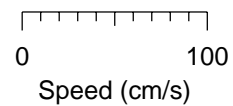
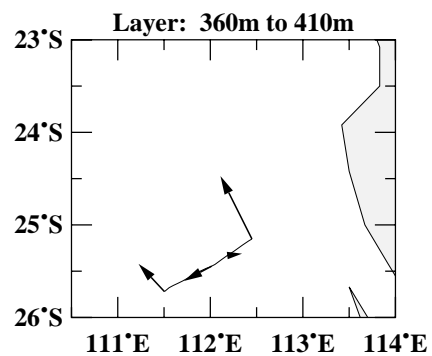
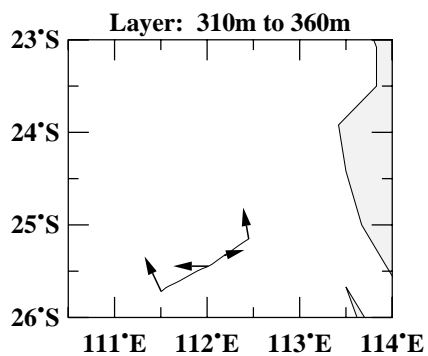
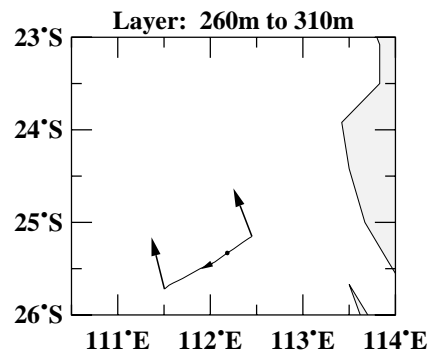
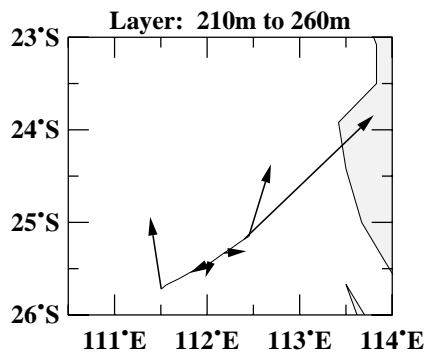
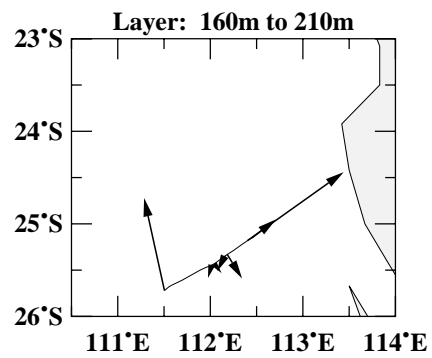
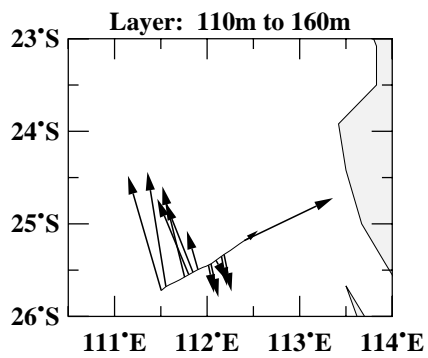
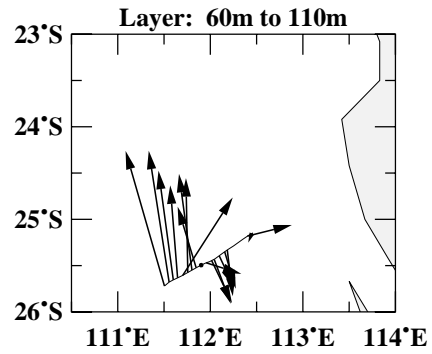
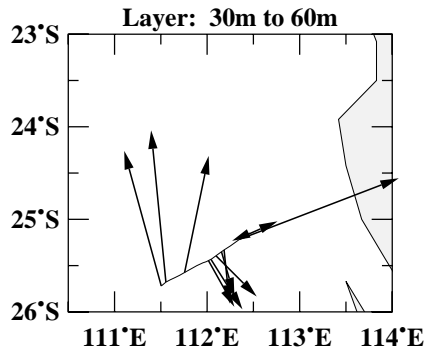
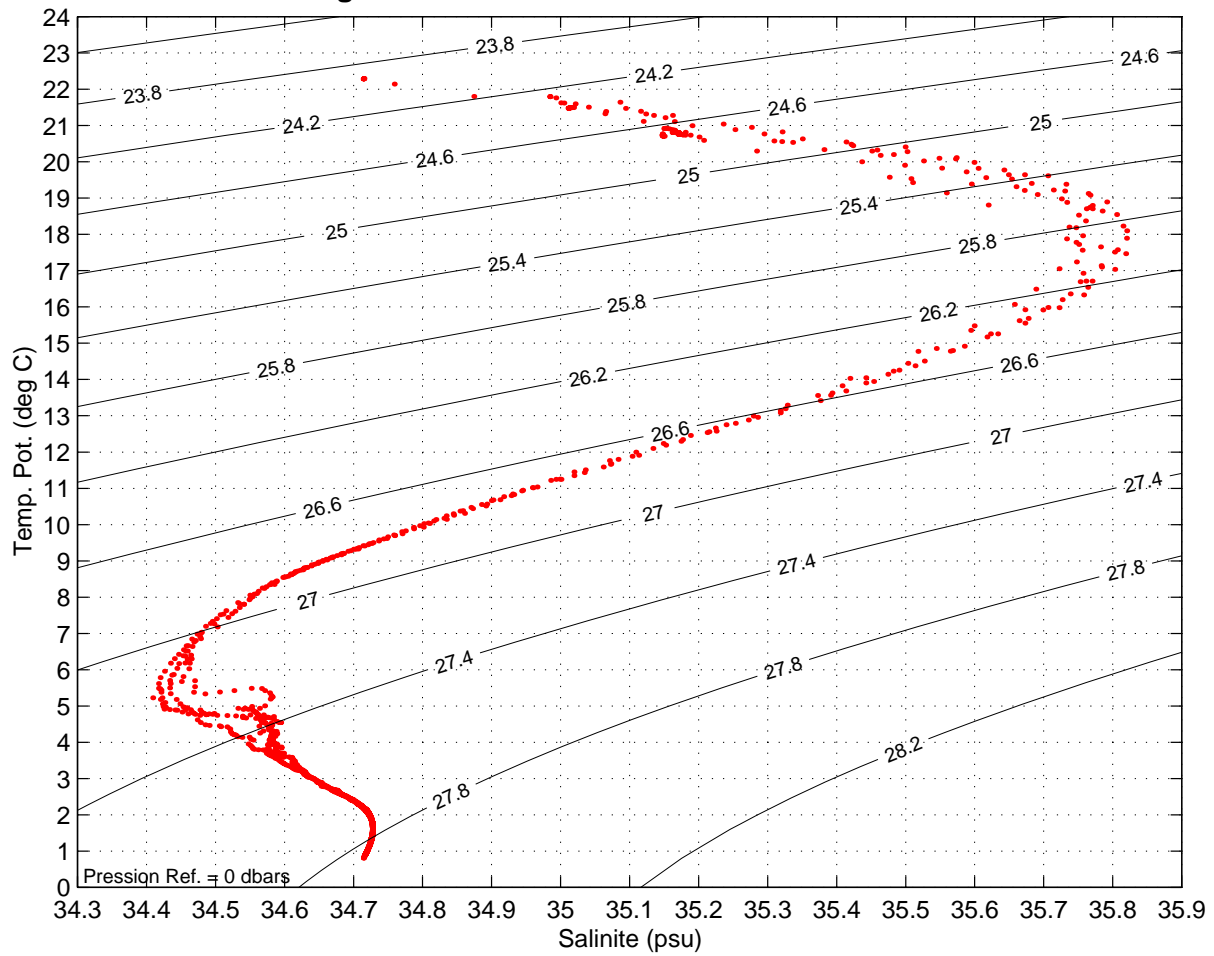
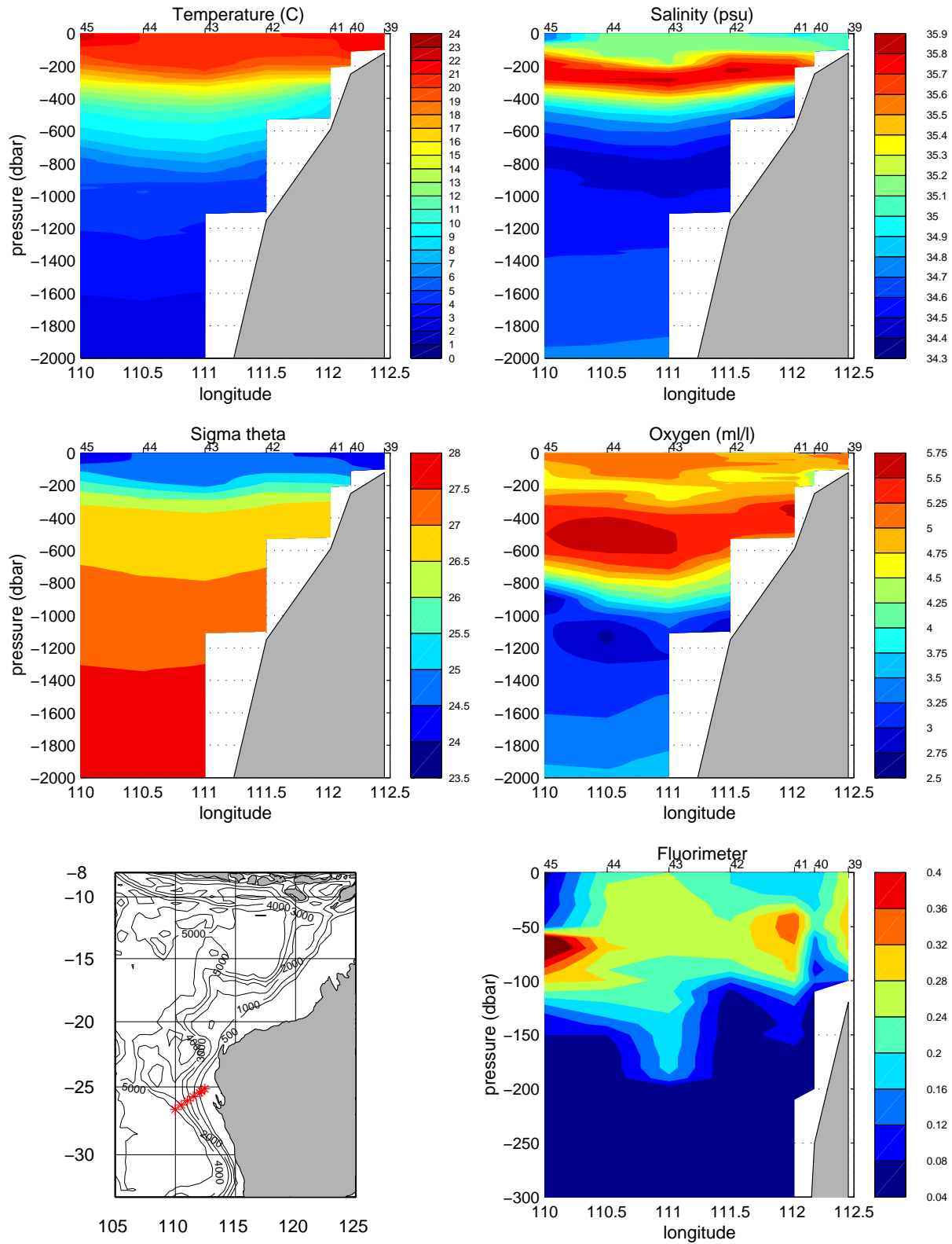
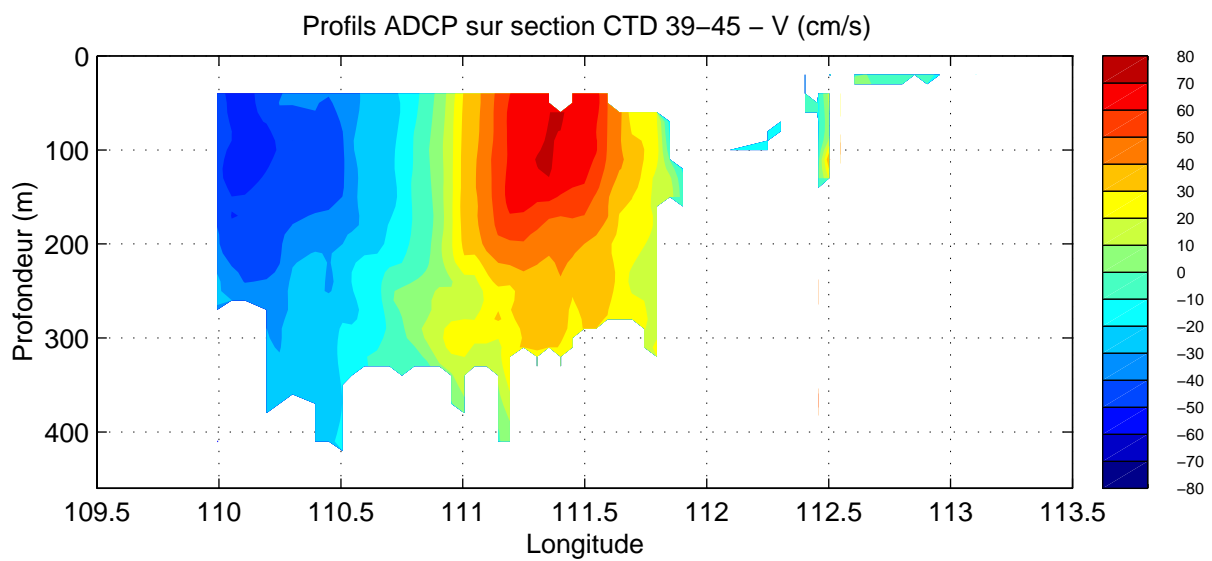
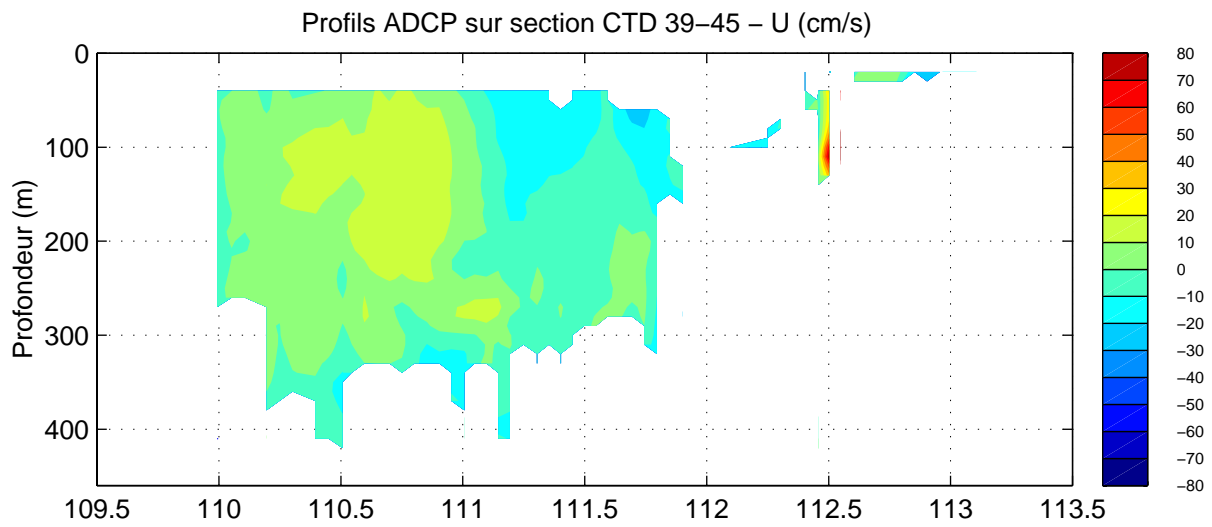
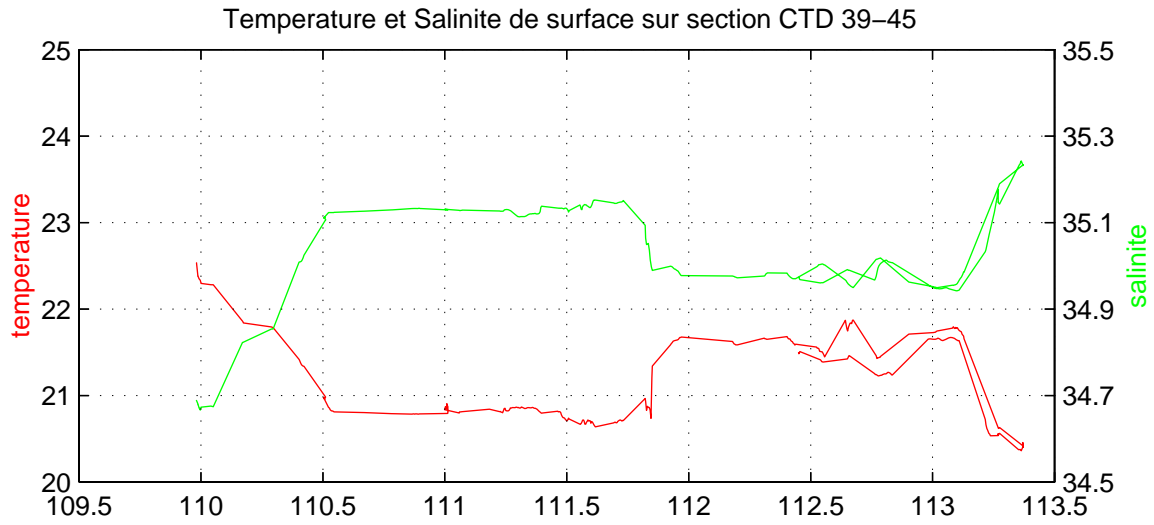


Diagramme Theta/S – TIP 2000 – Stations 39 a 45





**TIP2000 – Section 25S –27S – (St 39–45)**





# TIP 2000, Stations 39 a 45

24-26 Septembre 2000

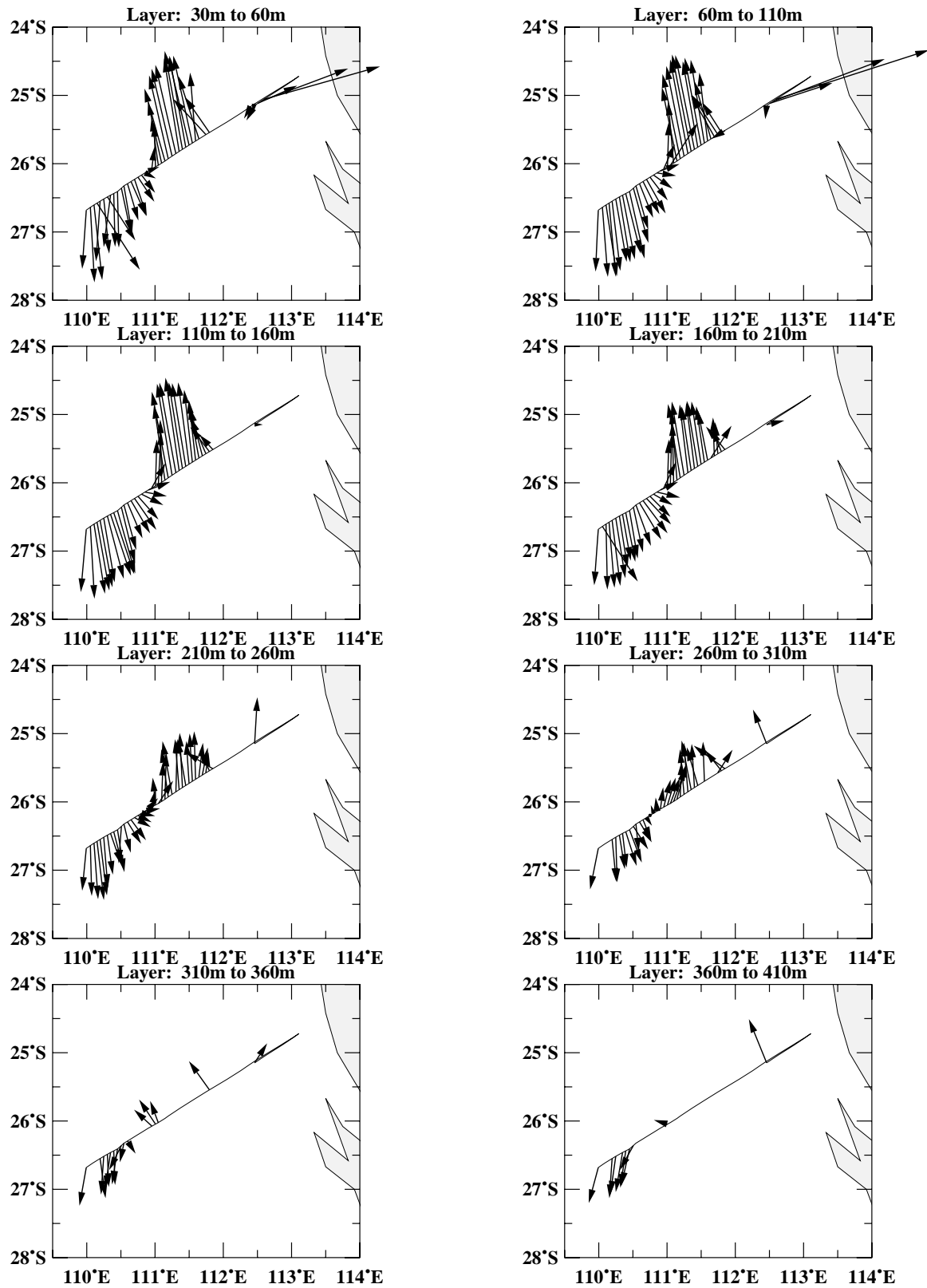
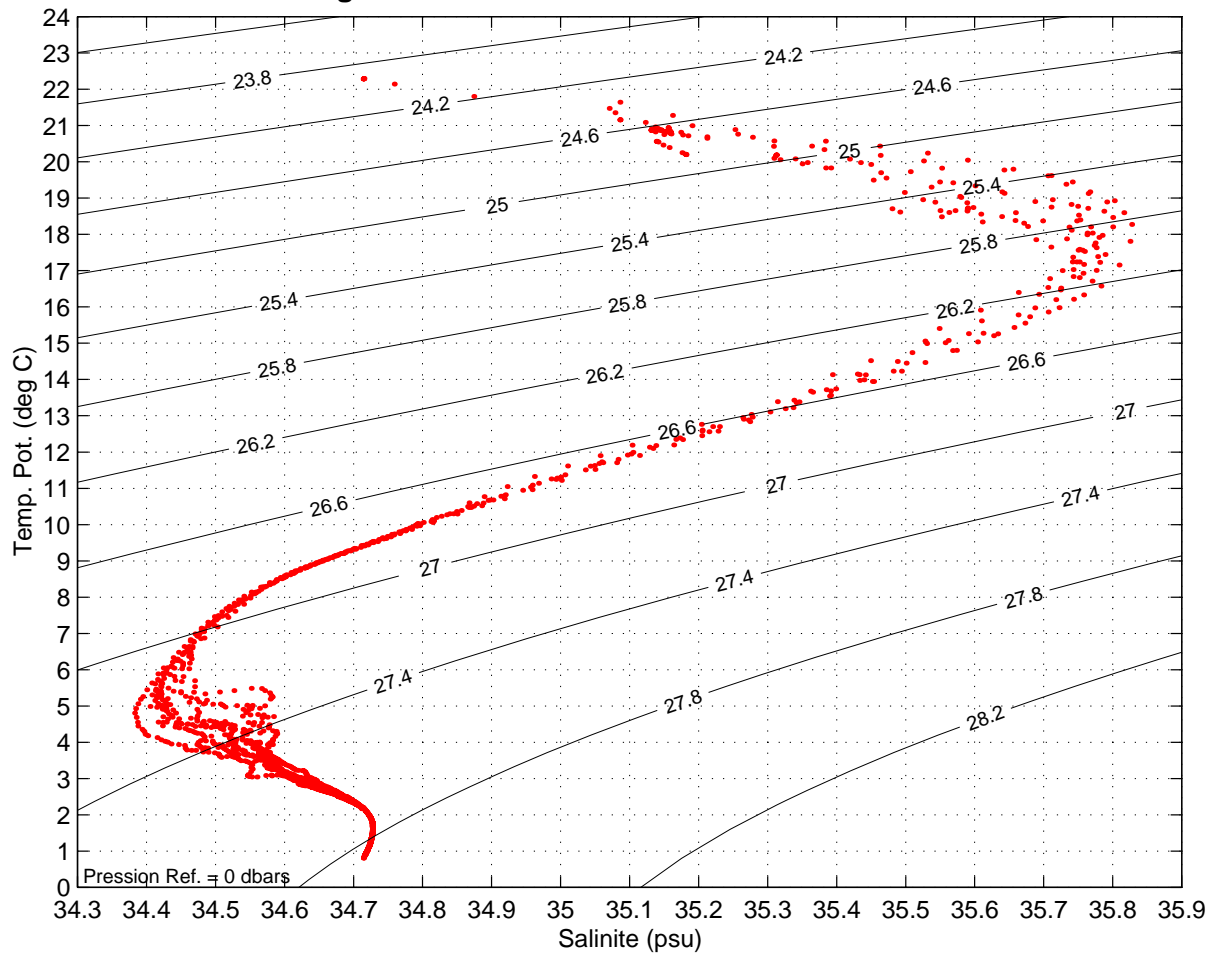
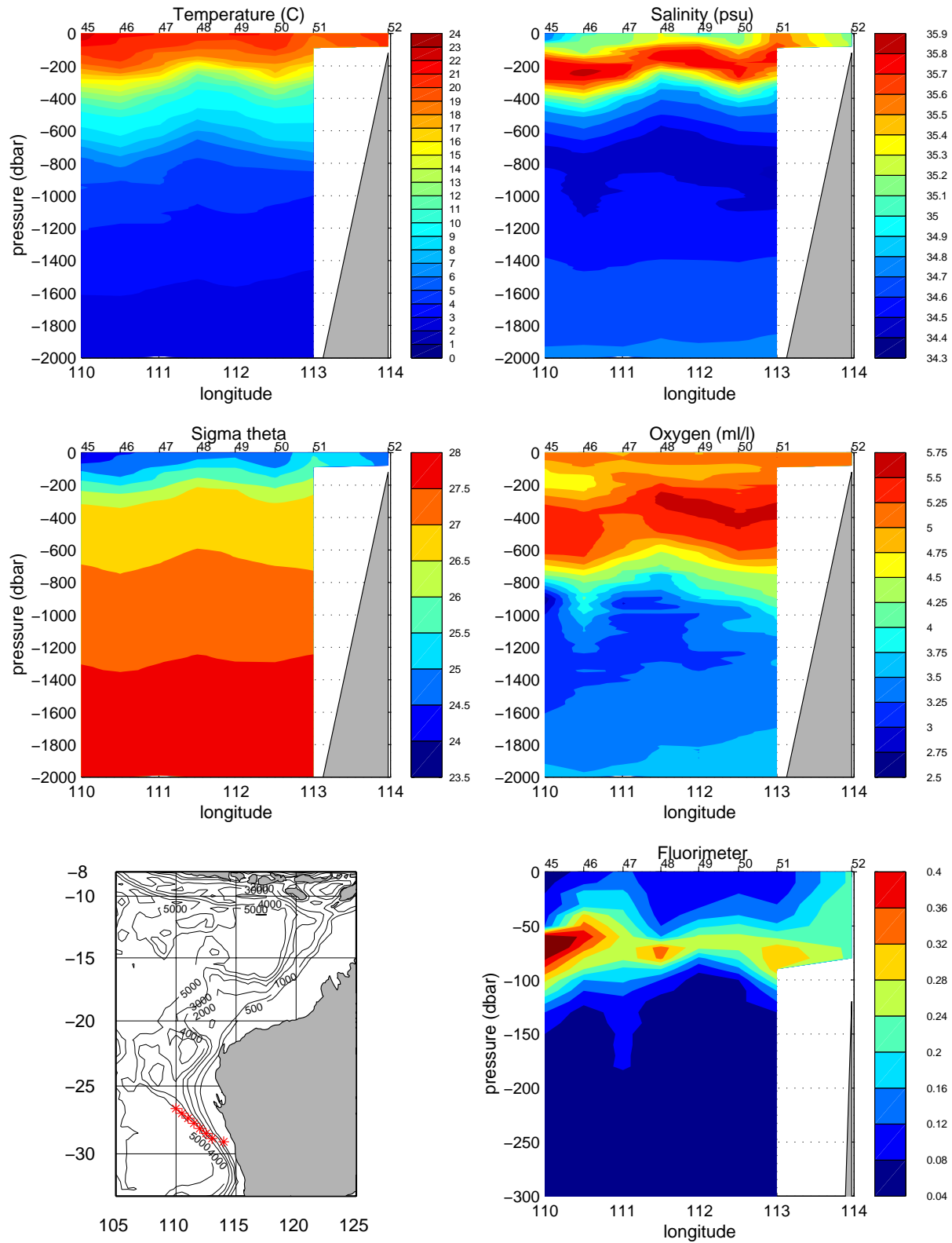
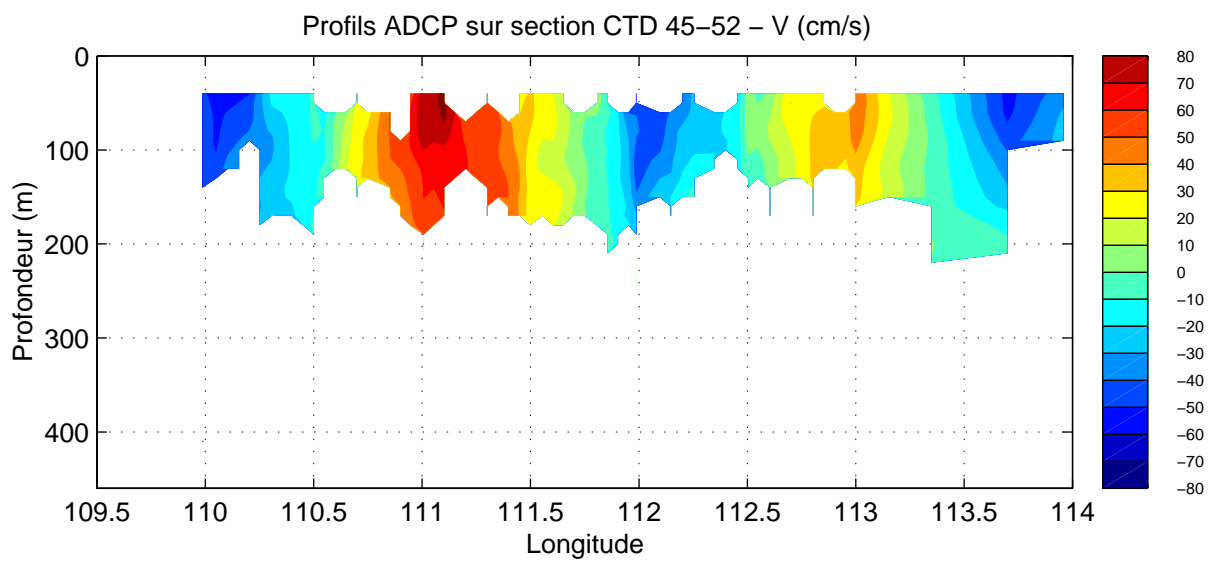
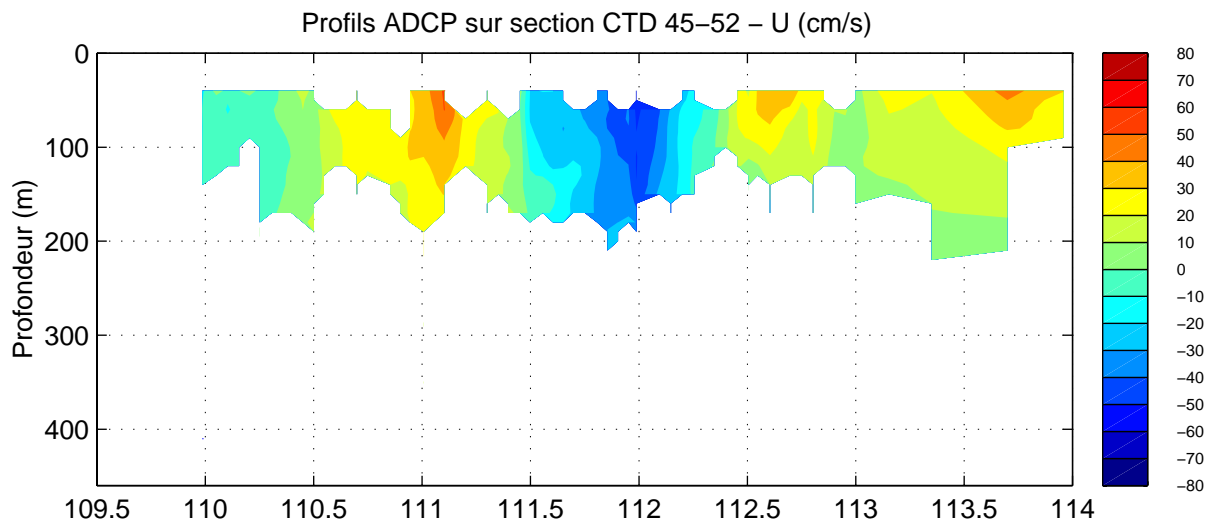
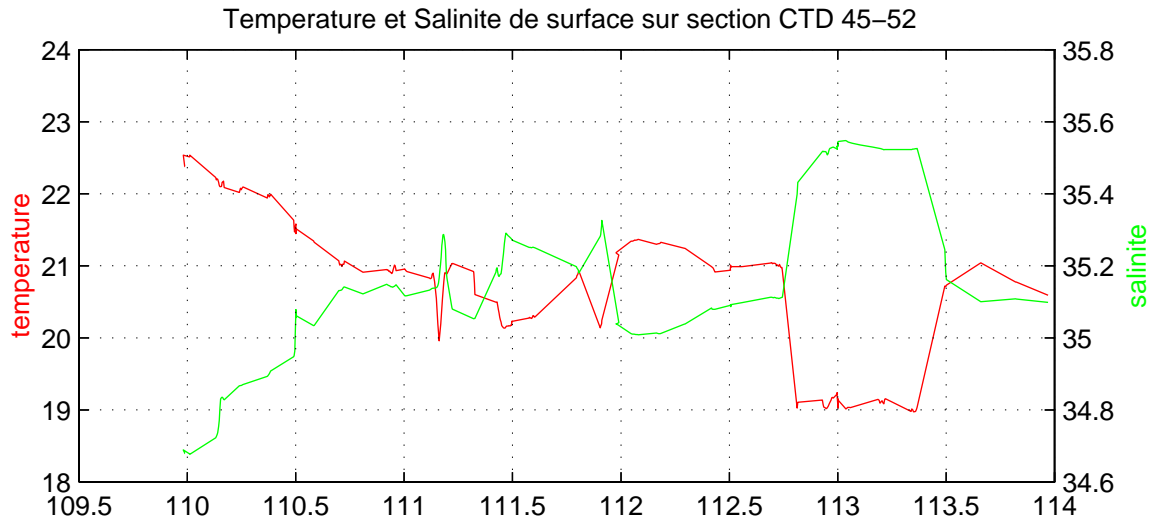


Diagramme Theta/S – TIP 2000 – Stations 45 a 52





**TIP2000 – Section 27S – 29S (St 45–52)**



# TIP 2000, Stations 45 a 52

26-27 Septembre 2000

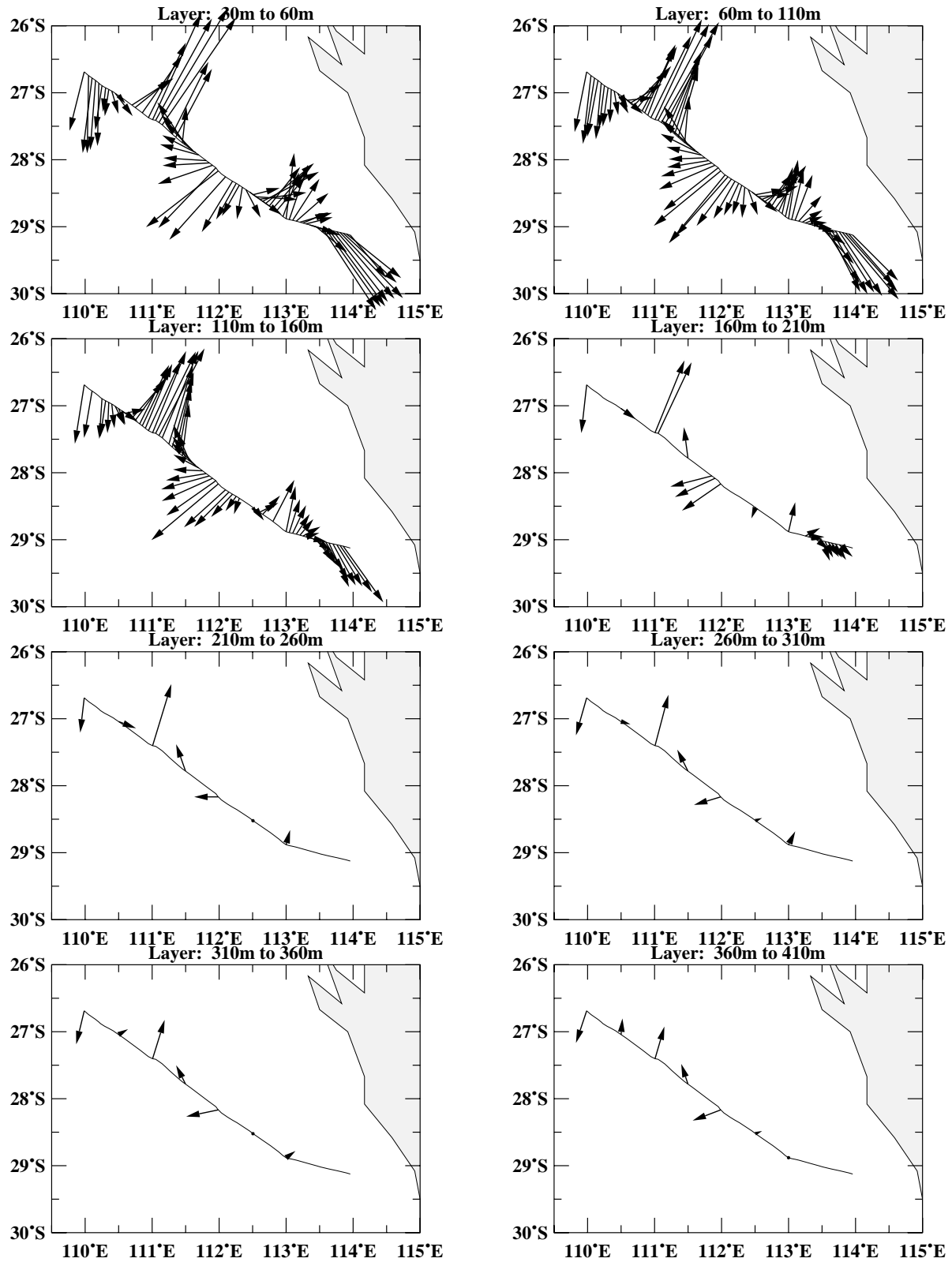
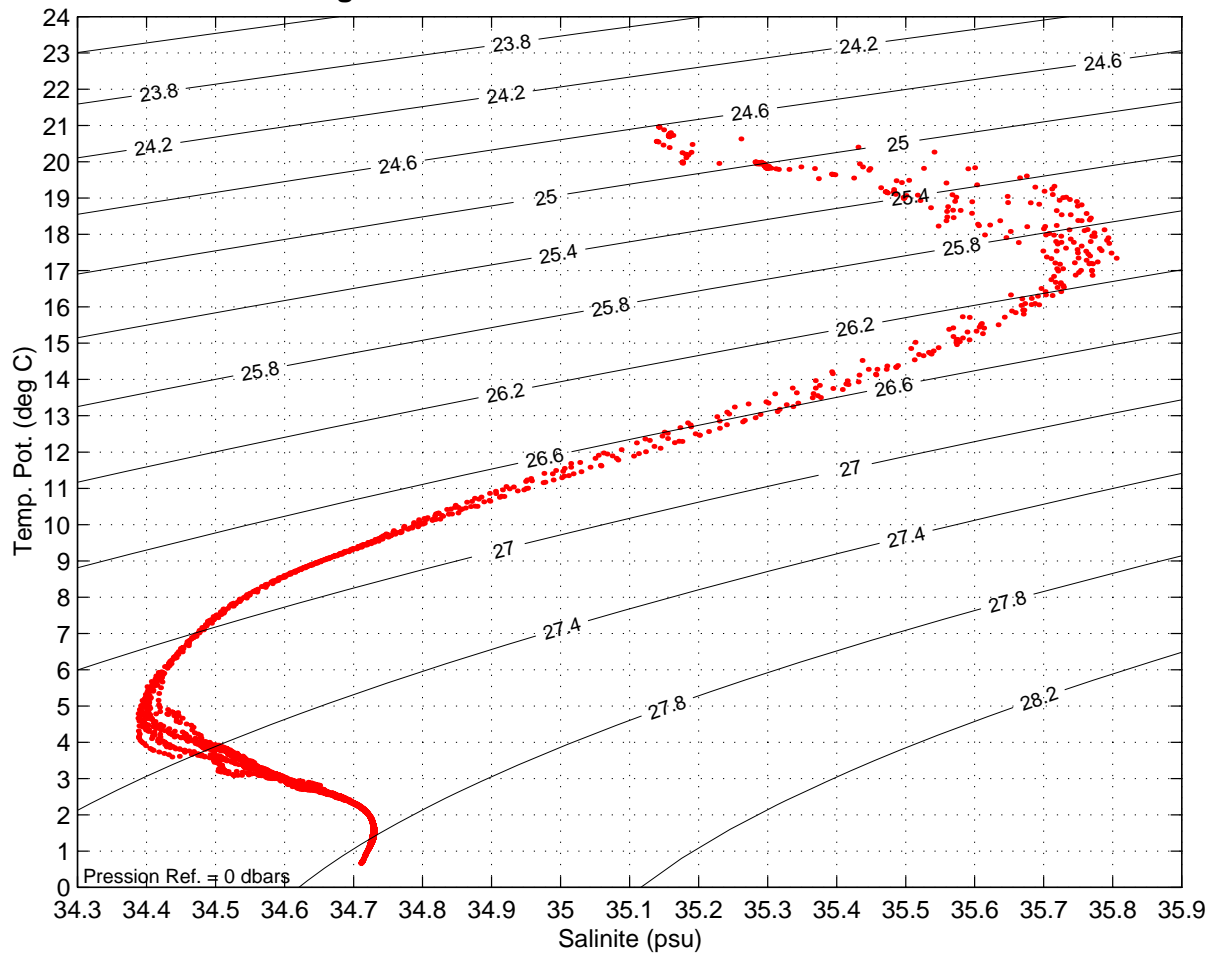
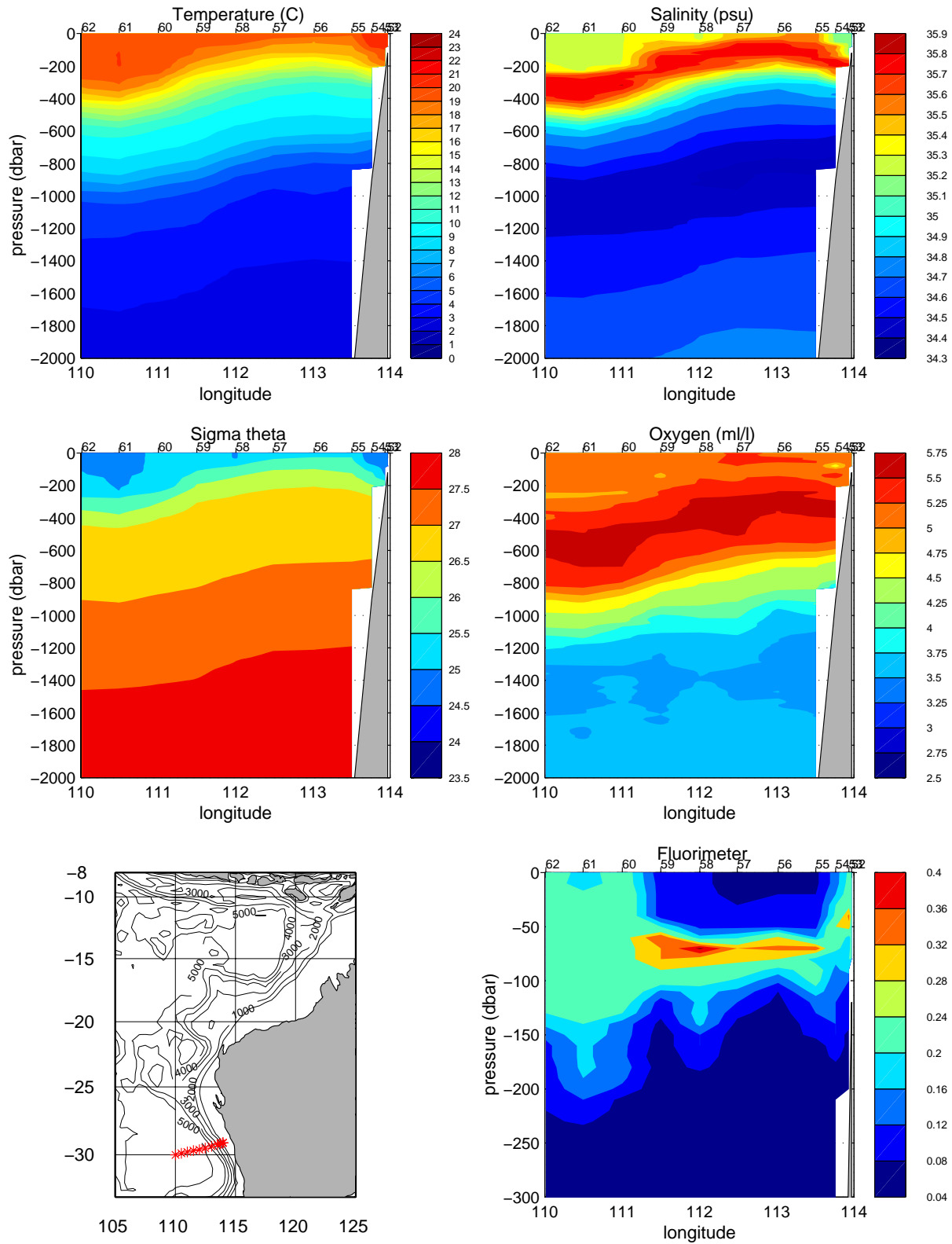
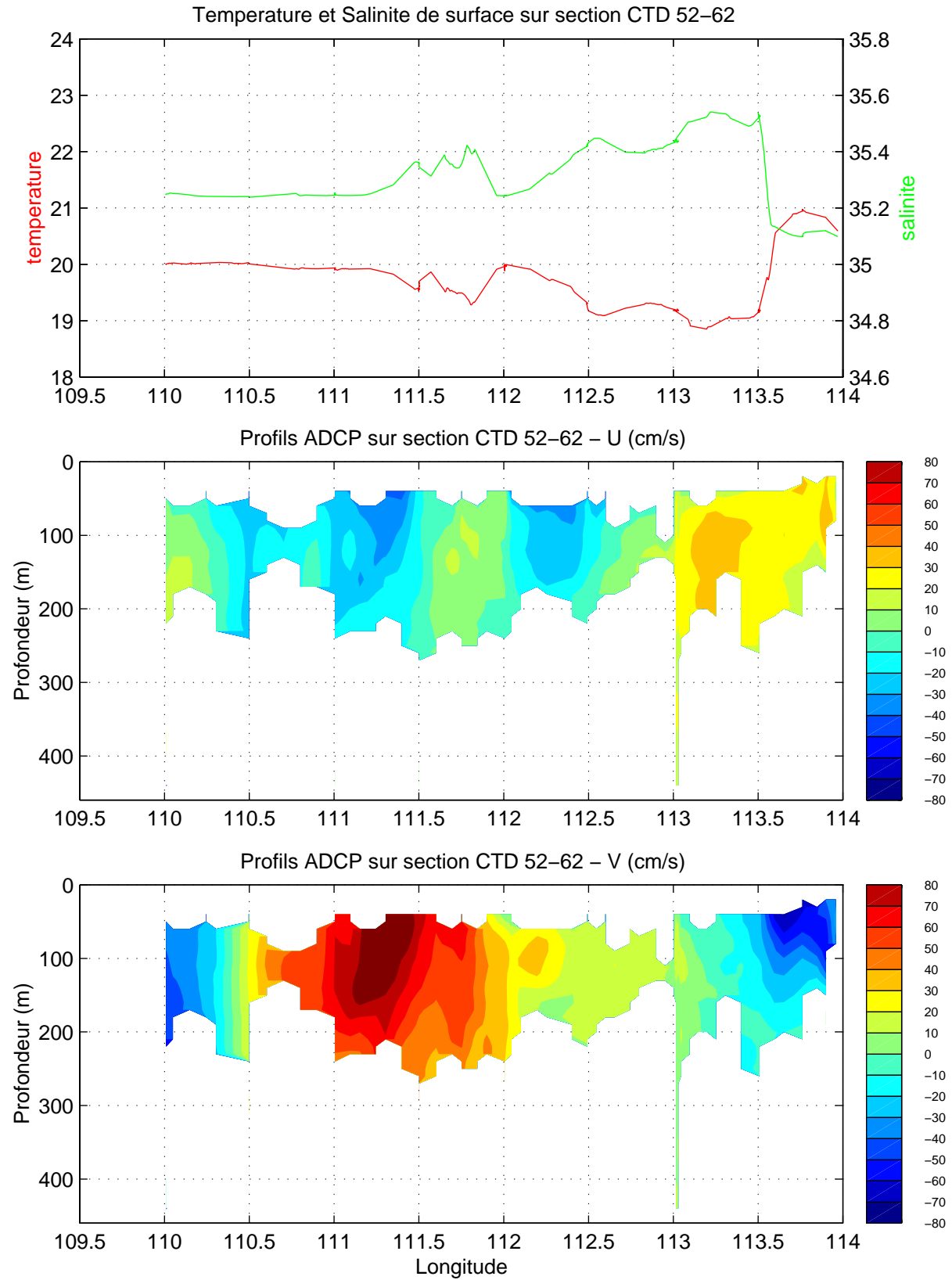


Diagramme Theta/S – TIP 2000 – Stations 52 a 62





**TIP2000 – Section 29S – 30S (St 52–62)**





# TIP 2000, Stations 52 a 62

27-29 Septembre 2000

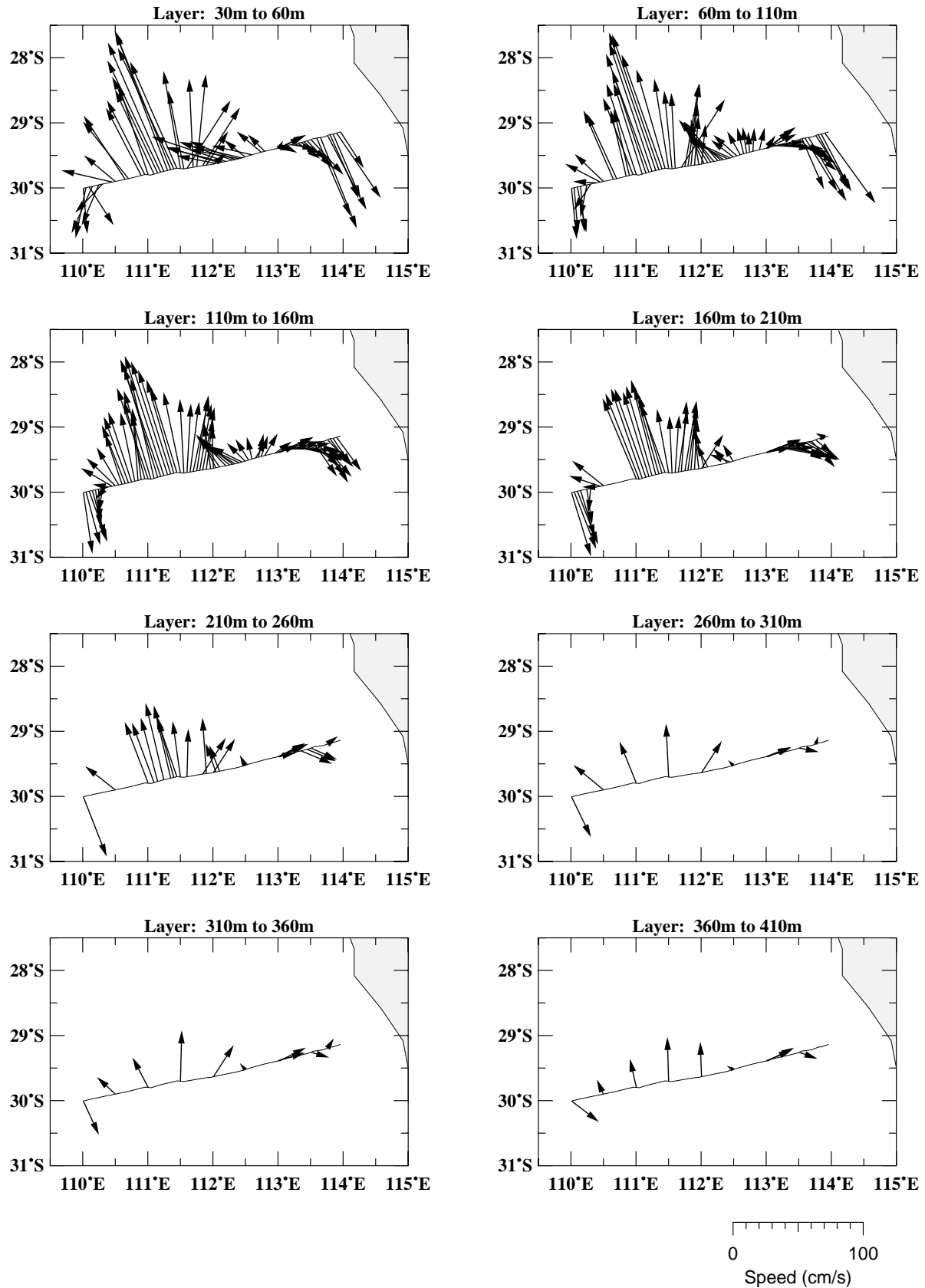
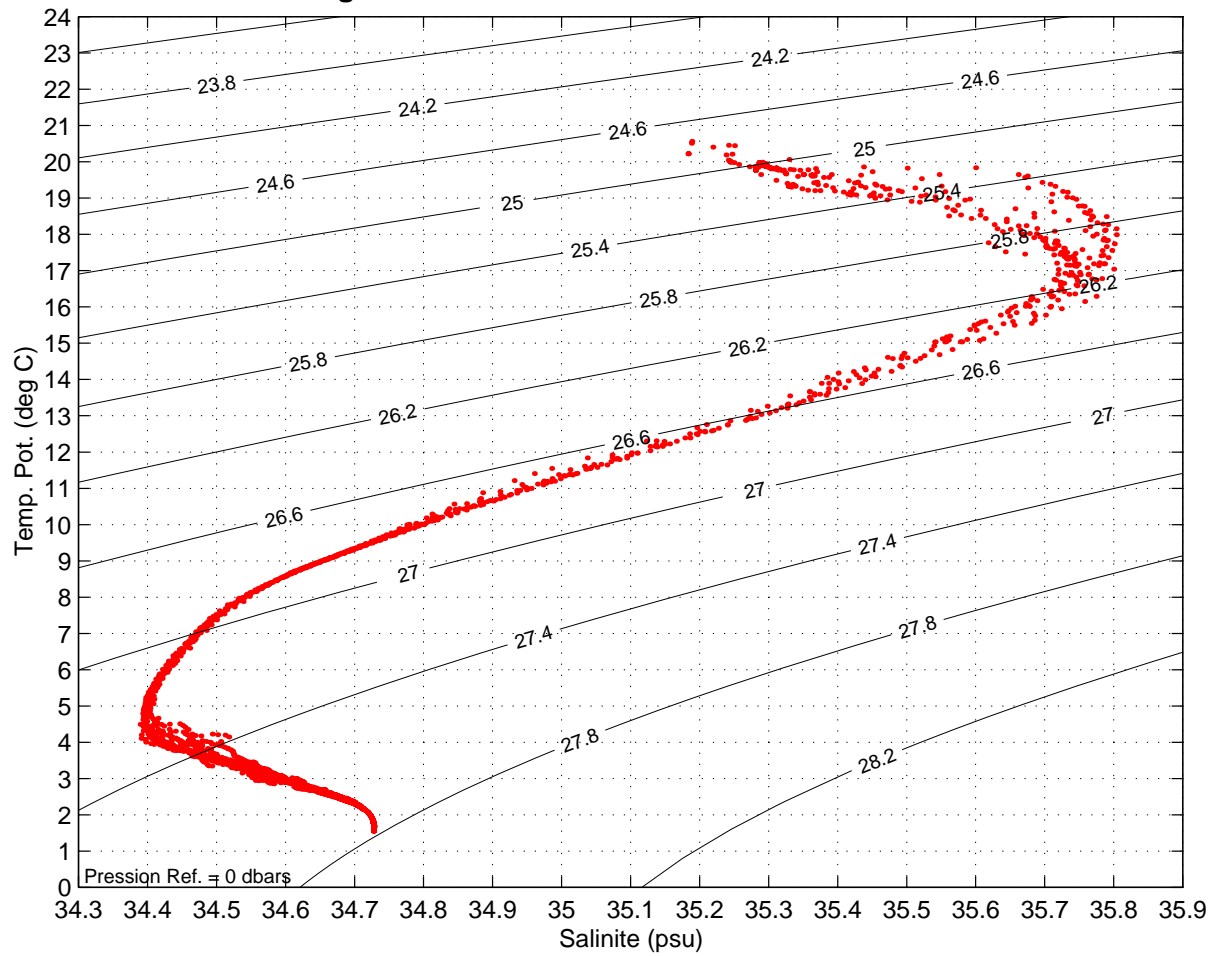
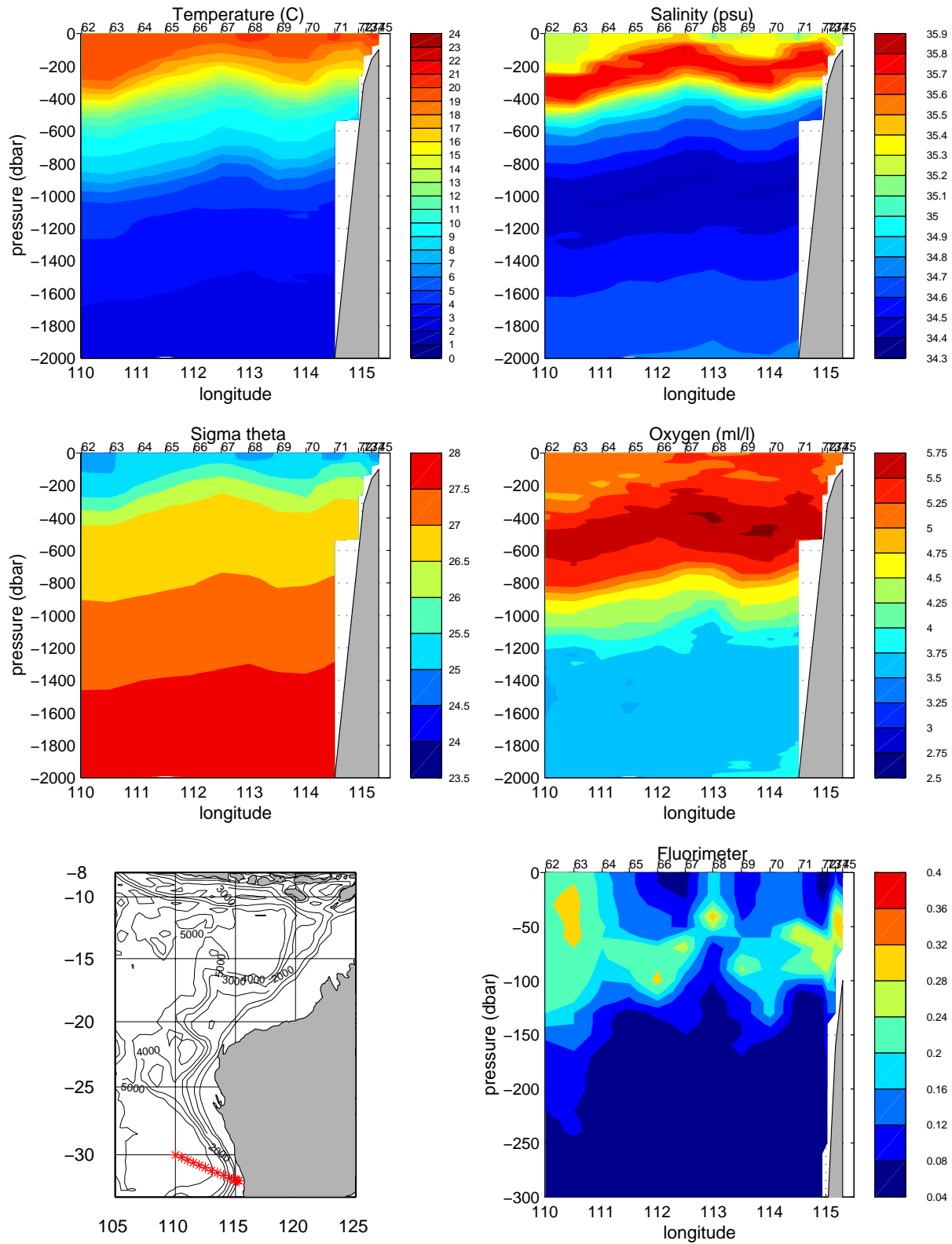
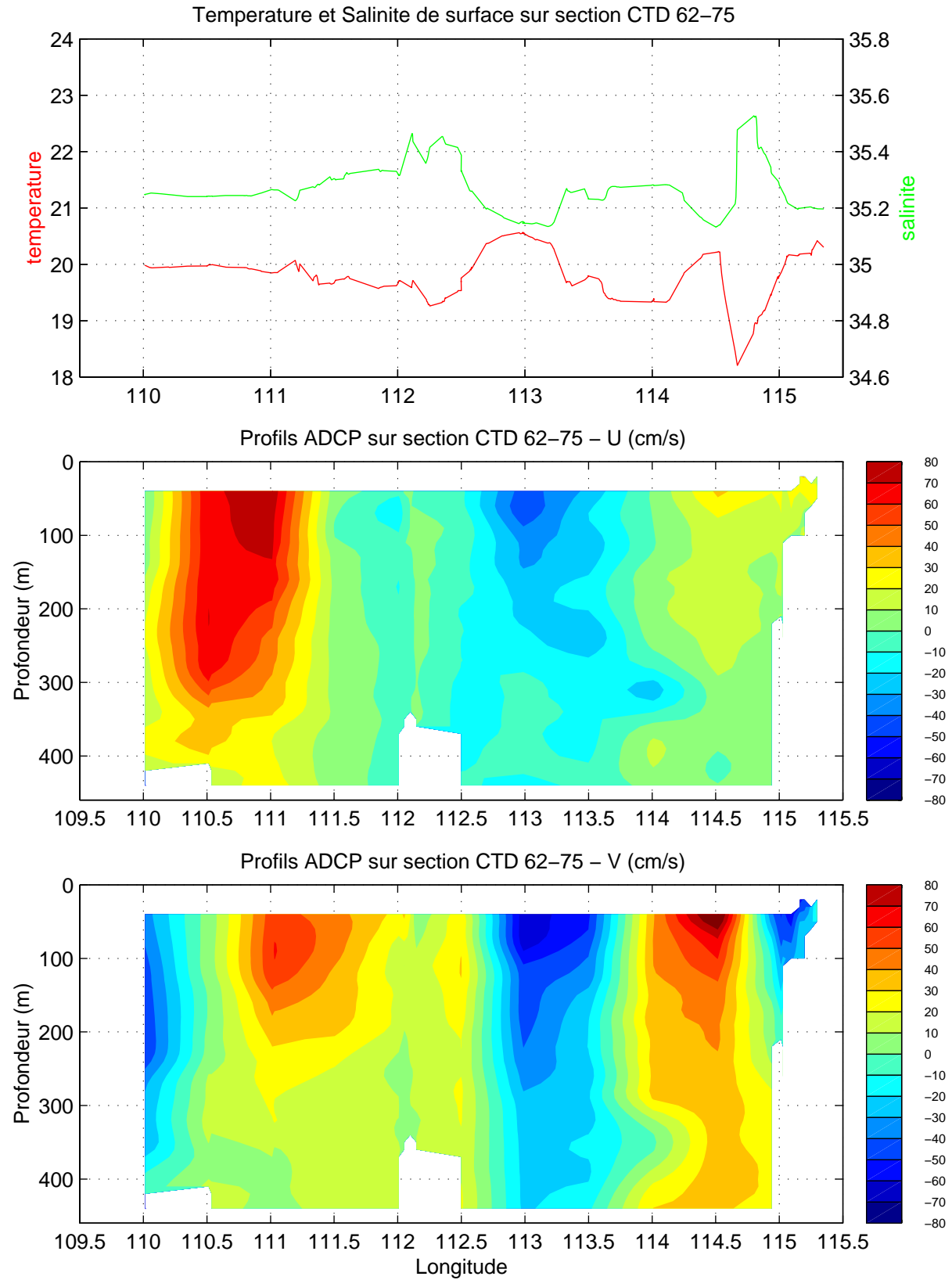


Diagramme Theta/S – TIP 2000 – Stations 62 a 75



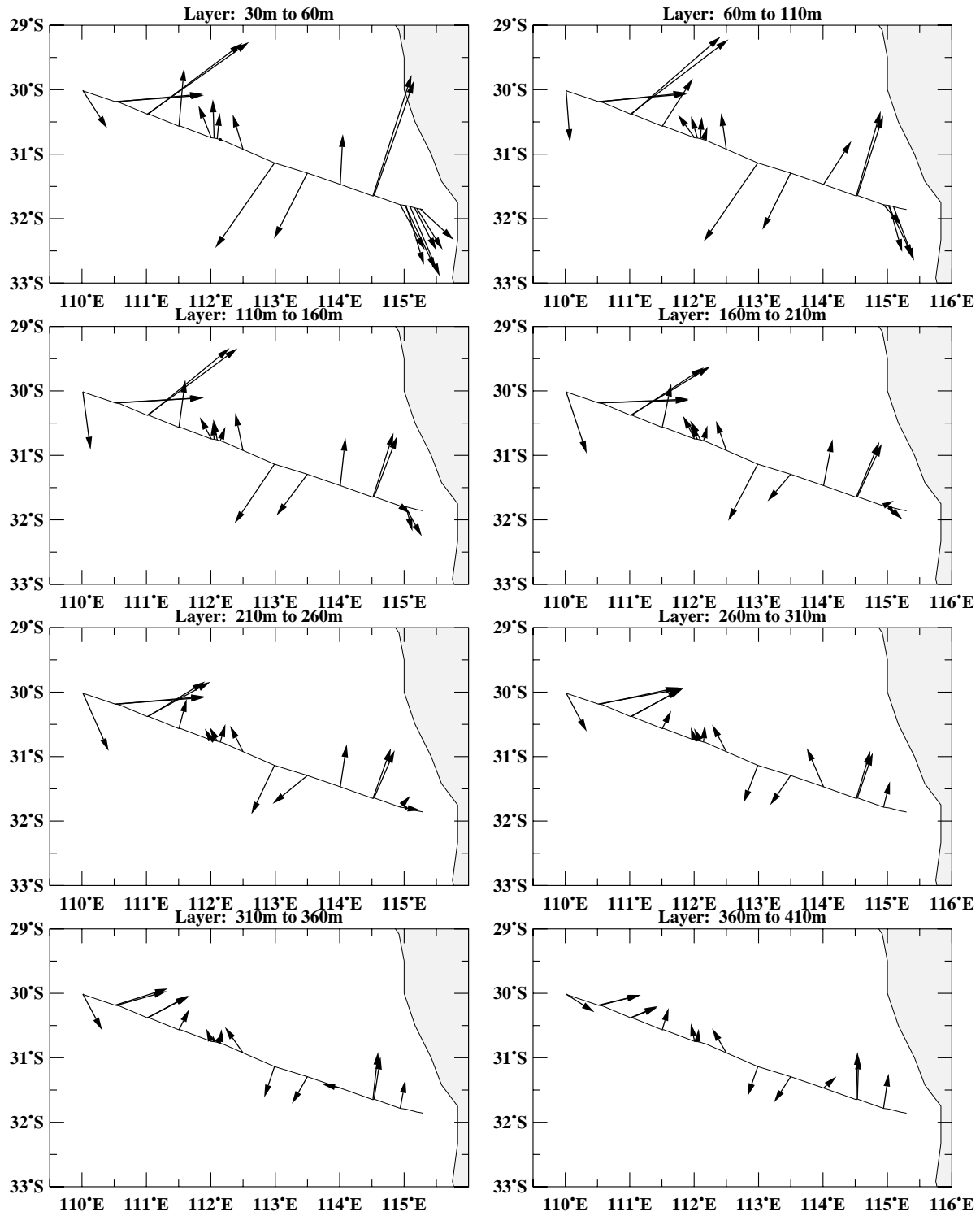


TIP2000 – Section 30S –32S (St 62–75)



# TIP 2000, Stations 62 a 75

29 Septembre - 1 Octobre 2000



0 100  
Speed (cm/s)

## ANNEXE I

```

&GPS2,6,114023.60,+046.72,T,-01.84,-00.26,02.7,09>05,031,0
@PMV2,1,114024.096,2055.96261,S,05519.13693,E,0.1,188.4,85.0,2,07,1.2,4.09,M,,9
.6,0970
@GPS2,3,114024,23,08,2002,2055.9590,S,05519.1196,E,034.4,00.03,07D9,2.5,1.5,30.3
5
&PMV2,1,114024.096,85.04,T,-0.12,0.00,0.01,1,1,0,1,1
@GYR1,0,84.5
&GPS2,6,114024.20,+046.64,T,-02.07,-00.30,02.7,09>05,031,0
&PMV2,1,114024.596,85.03,T,-0.11,0.02,0.00,1,1,0,1,1
@LOC1,0,+00.17,-00.01,E
@SBE5,3,1566EF0AE45F29198B1979CA08C2,27.4168,1.4951,0.7127,23.1908,50.9975
@GPS2,3,114025,23,08,2002,2055.9590,S,05519.1196,E,007.6,00.02,07D9,2.5,1.5,30.4
1
@PMV2,1,114025.096,2055.96267,S,05519.13693,E,0.1,184.2,85.0,2,07,1.2,4.06,M,,1
0.6,0970
&PMV2,1,114025.096,85.03,T,-0.11,0.02,-0.01,1,1,0,1,1
&GPS2,S,S11E 79A592S 7E 20A 82S 1E 25A361S 3E 11A431S28E 80A 96S 8E
25A202S00E000A000S20E136A450S31E 68A471S27E 19A25707D9
&GPS2,6,114024.80,+046.63,T,-01.81,-00.29,02.7,09>05,030,0
your_line#1982236114146 9526.2 9559.6 .0 -27. 0. -46. -42. -40.
-36. -29. -27. -21. -17. -11. -7. 0. 0. 0. 1.
0. 0. 0. 14. -5. 633. 479. 181. 100. 201. 118.
&PMV2,1,114025.596,85.04,T,-0.11,0.02,-0.01,1,1,0,1,1
@LOC1,0,+00.17,-00.01,E
@SBE5,3,15667E0AE45C2919F2197A6308CA,27.4126,1.4950,0.7127,23.1927,51.0088
&GPS2,6,114025.40,+046.65,T,-01.95,-00.14,02.7,09>05,030,0
&GPS2,3,114026,23,08,2002,2055.9590,S,05519.1196,E,346.6,00.02,07D9,2.5,1.5,30.3
9
@PMV2,1,114026.096,2055.96262,S,05519.13696,E,0.1,180.7,85.0,2,07,1.2,4.25,M,,5
.6,0970
&PMV2,1,114026.096,85.04,T,-0.11,0.02,-0.02,1,1,0,1,1
@GIL1,0,073,02.4
@GYR1,0,84.5
&GPS2,G,114026.00,+046.47,T,-01.80,+00.06,02.7,09>05,033,0
&PMV2,1,114026.596,85.04,T,-0.11,0.01,-0.01,1,1,0,1,1
@LOC1,0,+00.18,+00.00,E
@SBE5,3,1565F30AE4602919BE197CAE08CF,27.4073,1.4951,0.7129,23.1917,51.0518
@TSG1,3,+23.6327,+50.5693,34.18083,+23.2446,1530.1
@GPS2,3,114027,23,08,2002,2055.9591,S,05519.1196,E,260.9,00.01,07D9,2.5,1.5,30.3
7
&GPS2,6,114026.60,+046.41,T,-02.10,-00.04,02.7,09>05,035,0
@PMV2,1,114027.096,2055.96258,S,05519.13698,E,0.1,176.6,85.0,2,07,1.2,4.42,M,,6
.6,0970
&PMV2,1,114027.096,85.04,T,-0.11,0.00,0.00,1,1,0,1,1
&GPS2,6,114027.20,+046.47,T,-02.01,-00.07,02.7,09>05,030,0
&PMV2,1,114027.596,85.03,T,-0.11,-0.02,0.02,1,1,0,1,1

```

## ANNEXE II

### **Format des fichiers ASCII ADCP de coque Marion Dufresne II**

#### **Profil total**

Extraction de tous les profils, au moyen du programme adcpsect de CODAS, par grille temporelle avec un pas de temps régulier correspondant à la longueur d'un ensemble. Formattage au moyen du programme fortran adtimstaform.f. La sortie est une matrice matlab. Vérification au moyen du script matlab plot\_verif\_sta.m. Chaque profil est repéré par son numéro en première colonne.

En tête du profil (6 colonnes) : Numéro, jour-mois-année, heure-minute-seconde, latitude en degrés décimaux, longitude en degrés décimaux, temps en jours juliens.

Corps du profil (6 colonnes) : Numéro, profondeur, u,v, module de la vitesse, cap

#### **Valeurs de surface**

Extraction à partir des fichiers profils totaux des deux premières valeurs, au moyen du script matlab adcoqstalin.m. Il y a une ligne par profil :

Jour, mois, année, heure, minute, seconde, latitude en degrés décimaux, longitude en degrés décimaux, première profondeur, u, v à cette profondeur, u,v à la profondeur suivante (+ 16 m). Si les deux profondeurs ne se suivent pas (intervalle supérieur à 16m), la deuxième est remplacée par la valeur -999.

#### **Profils moyens en station**

Extraction des profils moyens en station, au moyen du programme adcpsect de CODAS, par grille temporelle avec un pas de temps irrégulier correspondant aux heures de début et fin des stations ctd. Formattage au moyen du programme fortran adcpstaform.f. La sortie est une matrice matlab. Chaque profil est repéré par son numéro en première colonne.

En tête du profil (10 colonnes) : Numéro, jour, mois, année, heure.minute, latitude en degrés décimaux, longitude en degrés décimaux, profondeur de la station ctd, temps en jours juliens, nombre de profils sur lesquels est faite la moyenne.

Corps du profil (10 colonnes) : Numéro, profondeur, u, v, écart-type sur u, u minimum, u maximum, écart-type sur v, v minimum, v maximum.