



CAMPAGNE INTERPOLE

PROGRAMME GINS 1999



LEG2 : 27 juin (Québec) – 24 juillet (Reykjavik)

LEG3 : 25 juillet (Reykjavik) – 16 août (Tromsø)

LEG4 : 18 août (Tromsø) – 6 septembre (Brest)

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

CTD – ADCP DE COQUE – THERMOSALINOGRAPHE



par Annie Kartavtseff, LODYC

Jean Claude Gascard, LODYC

Rapport Interne LODYC n° 2001-01

Décembre 2001

SOMMAIRE

| PARTIE | | Page |
|--------|--|---------------|
| 1 - | INTRODUCTION | 1 |
| 2 - | TRAITEMENT DES DONNEES | 9 |
| | Chapitre 1 Données CTD | 11 |
| | Chapitre 2 Données ADCP | 21 |
| 3 - | PRESENTATION DES DONNEES | 31 |
| | Chapitre 1 Sections CTD et ADCP | 33 |
| | Chapitre 2 Profils des Stations CTD | 63 |

Première partie

Introduction

1.1 Le programme

Le programme hydrologique GINS (Greenland-Iceland-Norwegian-Seas) s'inscrit dans la continuité du projet ESOP2 (European Subpolar Ocean Project) du programme européen MAST3, dont l'objectif premier est l'identification des composantes principales de la circulation thermohaline dans les Mers Nordiques (Groenland - Norvège - Islande).

Dans le contexte de la proposition INTERPOLE de l'IFRTP, et de la campagne IMAGES V à bord du Marion Dufresne, il a été décidé la fusion des programmes hydrologiques GINS (PIs; Jean-Claude Gascard et Elisabet Fogelqvist) et SIGNATURES (PI: Catherine Jeandel), auxquels s'est ajouté le programme SURATLANTE (PI: Gilles Reverdin) qui propose des relevés systématiques de température et salinité de surface, dans la partie Sud du Gyre Subpolaire Nord Atlantique.

Un rapport de fin de campagne a été établi à bord, dans lequel ont été présentées les données brutes de CTD et les données de traceurs en temps réel.

Seront détaillées dans la suite du document les mesures concernant plus particulièrement le programme GINS, c'est à dire les mesures calibrées de CTD (température, salinité, oxygène) et les mesures directes de courant effectuées le long de la route du navire au moyen du courantomètre acoustique à effet Doppler (ADCP de coque). Les mesures "traceurs" (CFCs, SF6 et I129) qui constituent l'autre composante du programme GINS, feront l'objet d'un autre rapport.

1.2 La campagne

A cause des contraintes de temps et du nombre d'opérations de carottage de la campagne IMAGES, le nombre de stations hydrologiques a été limité à 50, dont 1/3 sur les sites de carottages, et 2/3 sur des sites dédiés, mais en limitant au maximum le temps de transit entre les stations hydrologiques et les sites de carottages.

Au cours du LEG2, 15 stations ont été effectuées, localisées principalement à la périphérie des mers du Labrador et d'Irminger, dont 4 concernent uniquement des prélèvements pour les études sur les alcénones, et 11 (7 profondes, 4 à 200m) sont dédiées au projet GINS - SIGNATURES. Les deux numéros 4 et 5 sont manquants, correspondant à des stations de prélèvements d'alcénones à 20m, mais également enregistrées en fichiers CTD.

Au cours du LEG 3, 13 stations profondes ont été effectuées, dont 7 sur des sites de carottages IMAGES, et 4 stations pour les études sur les alcénones.

Au cours du LEG 4, 30 stations ont été effectuées, dont 24 à des sites dédiés au projet GINS- SIGNATURES, localisées surtout le long de la marge continentale Est-Groenland, depuis le détroit de Fram jusqu'au détroit de Danemark. Des mesures ADCP en continu ont été faites du 20 au 28 Août, soit durant toutes les sections CTD le long de la marge continentale Est-Groenland, et pendant la section du détroit de Danemark.

La figure donne les cartes des positions des stations des 3 Legs, ainsi que le tracé de la route suivie par le navire pendant le Leg4, le long de laquelle ont été faites les mesures de l'ADCP de coque.

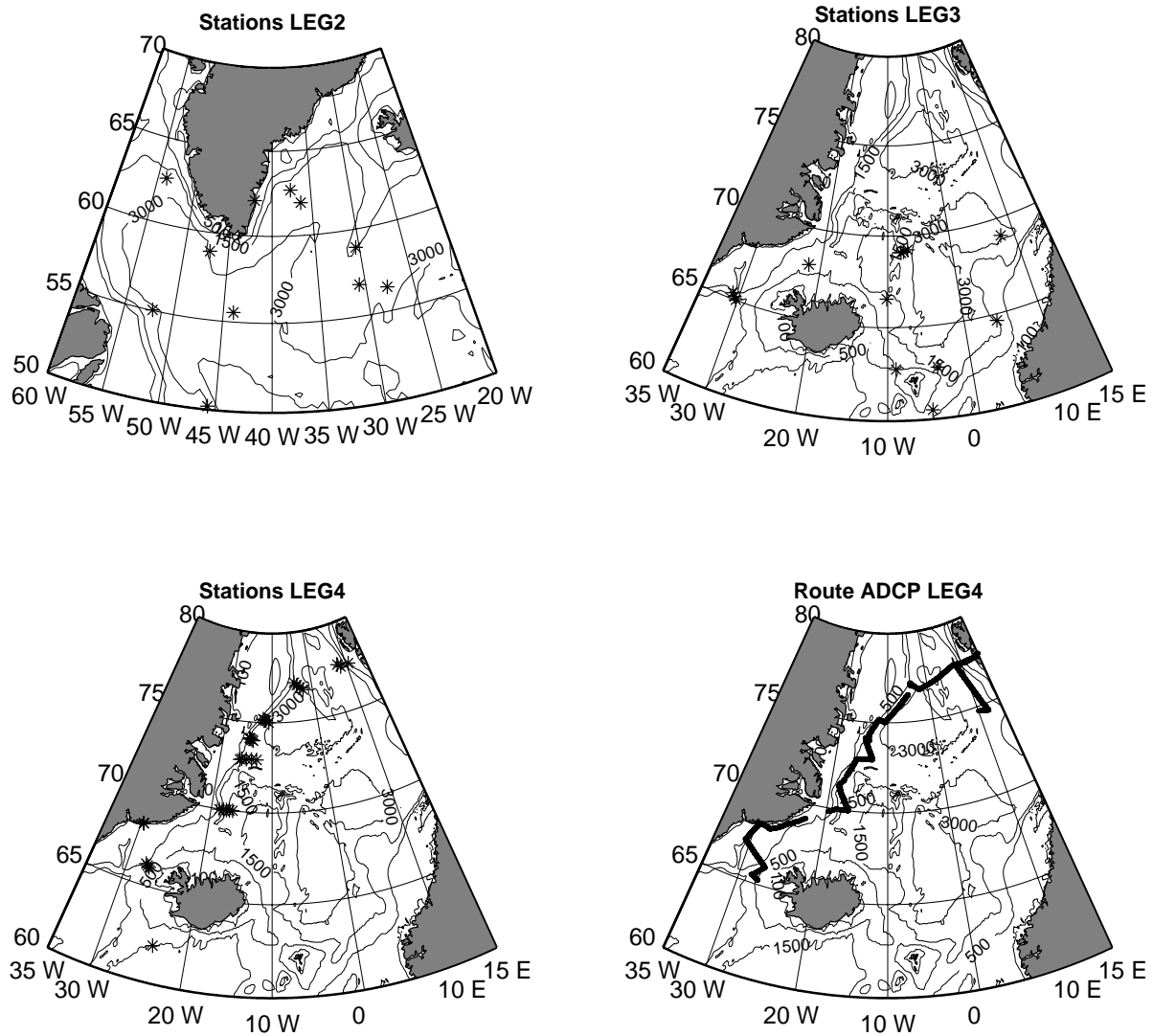


FIG. 0.1 : Positions des stations CTD des 3 legs et Route ADCP au LEG4

Les tableaux récapitulent la liste des stations CTD des 3 Legs. Les numéros des stations sont les numéros d'archivage des données CTD, et ne correspondent pas toujours aux numéros des sites de carottages ou des sites dédiés au projet GINS - SIGNATURES. Les heures, positions et sondes correspondent à la fin de la descente de la CTD.

| LEG 2 : Quebec (27 juin) - Reykjavik (24 juillet) | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-------|---------|----------|-------|
| Num sta | jour | mois | annee | H.min | Lat | Long | Sonde |
| 01 | 05 | 07 | 1999 | 01.30 | 55.0200 | -52.0838 | 2716 |
| 02 | 06 | 07 | 1999 | 20.57 | 58.5459 | -47.0693 | 2901 |
| 03 | 09 | 07 | 1999 | 03.20 | 62.3868 | -53.5425 | 2476 |
| 06 | 14 | 07 | 1999 | 01.50 | 50.1155 | -45.4074 | 3540 |
| 07 | 16 | 07 | 1999 | 05.40 | 55.3284 | -43.5759 | 3280 |
| 08 | 18 | 07 | 1999 | 12.45 | 62.0418 | -42.1179 | 1290 |
| 09 | 19 | 07 | 1999 | 05.42 | 62.4153 | -37.3716 | 2125 |
| 10 | 19 | 07 | 1999 | 19.10 | 61.5474 | -36.2129 | 2750 |
| 11 | 21 | 07 | 1999 | 05.29 | 58.5722 | -30.2313 | 1766 |
| 12 | 22 | 07 | 1999 | 10.54 | 56.2237 | -27.4882 | 2840 |
| 13 | 22 | 07 | 1999 | 22.04 | 56.4787 | -30.4000 | 2430 |

| LEG 3 : Reykjavik (25 juillet) - Tromso (16 août) | | | | | | | |
|--|------|------|-------|-------|---------|----------|-------|
| Num sta | jour | mois | annee | H.min | Lat | Long | Sonde |
| 14 | 27 | 07 | 1999 | 09.24 | 65.0128 | -30.1355 | 1875 |
| 15 | 27 | 07 | 1999 | 13.31 | 65.1940 | -30.5300 | 993 |
| 16 | 27 | 07 | 1999 | 16.11 | 65.1016 | -30.3064 | 1530 |
| 17 | 29 | 07 | 1999 | 15.00 | 67.5922 | -21.4699 | 861 |
| 18 | 01 | 08 | 1999 | 21.50 | 69.0423 | -07.5499 | 1020 |
| 19 | 02 | 08 | 1999 | 00.34 | 69.0704 | -07.2992 | 2030 |
| 20 | 02 | 08 | 1999 | 16.11 | 69.1294 | -06.5137 | 2500 |
| 21 | 03 | 08 | 1999 | 08.37 | 66.3313 | -10.0671 | 1450 |
| 22 | 04 | 08 | 1999 | 10.16 | 62.4484 | -09.0030 | 490 |
| 23 | 06 | 08 | 1999 | 01.10 | 60.2989 | -05.0064 | 1000 |
| 24 | 07 | 08 | 1999 | 11.50 | 62.4412 | -04.0029 | 1010 |
| 25 | 12 | 08 | 1999 | 02.05 | 64.3893 | 04.1111 | 1400 |
| 26 | 14 | 08 | 1999 | 15.15 | 69.0214 | 07.5820 | 3060 |

| LEG 4: Tromso (18 août) - Brest (6 septembre) | | | | | | | |
|--|------|------|-------|-------|---------|----------|-------|
| Num sta | jour | mois | annee | H.min | Lat | Long | Sonde |
| 27 | 20 | 08 | 1999 | 20.15 | 77.3129 | 8.2381 | 2271 |
| 28 | 21 | 08 | 1999 | 8.29 | 77.3314 | 10.3583 | 1075 |
| 29 | 22 | 08 | 1999 | 3.32 | 77.4018 | 7.4111 | 3003 |
| 30 | 22 | 08 | 1999 | 16.30 | 76.4446 | -2.1983 | 2550 |
| 31 | 22 | 08 | 1999 | 20.01 | 76.5331 | -3.0190 | 1990 |
| 32 | 22 | 08 | 1999 | 23.52 | 77.0183 | -3.4506 | 1797 |
| 33 | 23 | 08 | 1999 | 3.40 | 77.1106 | -4.2336 | 1575 |
| 34 | 23 | 08 | 1999 | 20.26 | 74.5982 | -10.4520 | 3000 |
| 35 | 23 | 08 | 1999 | 23.33 | 75.0660 | -11.2147 | 2071 |
| 36 | 24 | 08 | 1999 | 02.36 | 75.0883 | -11.4053 | 1580 |
| 37 | 24 | 08 | 1999 | 04.58 | 75.1163 | -11.5844 | 1015 |
| 38 | 24 | 08 | 1999 | 12.49 | 73.5780 | -13.5127 | 2321 |
| 39 | 24 | 08 | 1999 | 15.38 | 74.0067 | -14.1055 | 1995 |
| 40 | 24 | 08 | 1999 | 18.19 | 74.0387 | -14.2892 | 1500 |
| 41 | 24 | 08 | 1999 | 20.25 | 74.0659 | -14.4234 | 985 |
| 42 | 25 | 08 | 1999 | 03.54 | 72.5477 | -12.5846 | 2690 |
| 43 | 25 | 08 | 1999 | 07.43 | 72.5515 | -13.5866 | 2530 |
| 44 | 25 | 08 | 1999 | 11.37 | 72.5509 | -14.5937 | 2313 |
| 45 | 25 | 08 | 1999 | 15.27 | 72.5481 | -15.5085 | 2000 |
| 46 | 25 | 08 | 1999 | 17.57 | 72.5241 | -16.1091 | 1520 |
| 47 | 26 | 08 | 1999 | 18.33 | 69.5986 | -16.2937 | 1080 |
| 48 | 26 | 08 | 1999 | 21.03 | 70.0010 | -17.0017 | 1280 |
| 49 | 26 | 08 | 1999 | 23.35 | 70.0017 | -17.3051 | 1618 |
| 50 | 27 | 08 | 1999 | 02.30 | 69.5997 | -18.0017 | 1655 |
| 51 | 27 | 08 | 1999 | 05.25 | 69.5961 | -18.4051 | 1190 |
| 52 | 28 | 08 | 1999 | 16.30 | 68.1233 | -29.3797 | 350 |
| 53 | 28 | 08 | 1999 | 17.30 | 68.1203 | -29.3801 | 410 |
| 54 | 29 | 08 | 1999 | 10.30 | 66.0987 | -27.3027 | 500 |
| 55 | 29 | 08 | 1999 | 12.15 | 66.0459 | -27.1489 | 625 |
| 56 | 29 | 08 | 1999 | 13.57 | 66.0030 | -26.5890 | 560 |
| 57 | 31 | 08 | 1999 | 10.15 | 61.5976 | -23.5976 | 1500 |

1.3 Participants

LEG2 Quebec (27 juin) - Reykjavik (24 juillet)

CTD : Claudie Bournot (INSU, Brest)

SIGNATURES : Matthieu Roy-Barman (LEGOS, Toulouse)

LEG3 Reykjavik (25 juillet) - Tromso (16 août)

CTD : Michel Calzas (INSU, Brest)

GENS : Toste Tanhua, Emil Jeansson (Université de Goteborg, Suède)

SIGNATURES : Frédéric Candaudap (LEGOS, Toulouse), Danièle Mazaudier (CEREGE, Marseille)

LEG4 Tromso (18 août) - Brest (6 septembre)

CTD : Pierre Sangiardi, Christine Drezen (INSU, Brest)

GENS : Anders ollson, Marie Persson, Kristina Jonsson, Emil Jeansson (Université de Goteborg) Jean Claude Gascard, Marie Noelle Houssais, Annie Kartavtseff, Catherine Rouault (LODYC, Paris)

SIGNATURES : Catherine Jeandel (LEGOS, Toulouse), Aurélien Gouzy (Université d'Orsay)

Deuxième partie

Traitement des Données

Chapitre 1

Données CTD

Nous avons utilisé la sonde Seabird SBE 9+ de L'IFRTP, équipée d'un capteur d'oxygène dissous Beckman et d'un fluorimètre. Les échantillons de salinité ont été analysés à bord au moyen du salinomètre Autosal Guildline du LODYC. Aucun prélèvement n'a été fait pour la calibration des mesures d'oxygène, les données figurant dans les fichiers définitifs sont donc les données brutes. Les capteurs de température et de pression avaient été étalonnés chez SeaBird en Novembre 1998. Aucun étalonnage de ces capteurs n'a été prévu à la fin de la campagne. La calibration en conductivité a été effectuée au LODYC en utilisant la procédure décrite par Billant (1985) et Charriaud (1991), en comparant les mesures du salinomètre Guildline et les mesures données par la sonde Seabird.

Les différentes étapes pour obtenir les données hydrologiques calibrées et archivées sont les suivantes :

Etalonnage des capteurs de pression, température et conductivité.

Validation et réduction des données brutes.

Calcul des paramètres hydrologiques: température potentielle et densité potentielle.

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

L'étalonnage en pression a été réalisé par le constructeur le 4 Novembre 1998. 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.

| 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. 1.1 –: Etalonnage Sea-Bird du capteur de pression (04.11.98)

D'après ces mesures, le constructeur a établi une "pression corrigée", utilisée dans les programmes du logiciel Sea-Bird de traitement. Cette pression corrigée est obtenue au moyen de la formule suivante :

$$P \text{ corrigée} = -0.6836 + 1.00004 * P \text{ mesurée [dbars]}$$

Dans les calculs d'étalonnage de la conductivité, on utilisera cette valeur de la pression, et on tiendra également compte de l'offset de pression qu'on arrondira à 1 dbar, compte tenu de la répartition ci-dessous. La courbe en trait donne l'offset-pression avant la descente, la courbe en trait pointillé après la remontée.

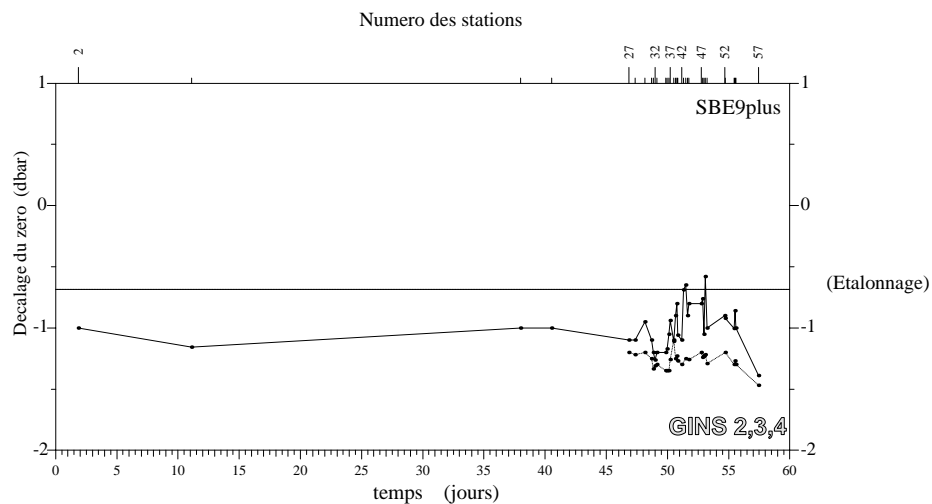


FIG. 1.1 –: Variation de l'offset-pression en fonction du temps, Legs 2,3,4

Température

L'étalonnage en température du capteur de la sonde a été réalisé par le constructeur le 5 Novembre 1998. 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 :

$$g = 4.86345165e-03$$

$$h = 6.79505768e-04$$

$$i = 2.70806075e-05$$

$$j = 2.15219133e-06$$

$$f_0 = 1000.000$$

Pour T en degrés C, 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 du capteur de température sont données dans le tableau ci-dessous.

| Temp bain | Freq ctd | Temp ctd | Tctd - Tbain |
|-----------|-----------|----------|--------------|
| -1.5241 | 6401.086 | -1.5241 | 0.00002 |
| 1.0373 | 6778.476 | 1.0373 | -0.00001 |
| 4.6116 | 7331.548 | 4.6115 | -0.00002 |
| 8.1183 | 7904.861 | 8.1183 | 0.00001 |
| 11.6222 | 8508.853 | 11.6222 | -0.00001 |
| 15.1827 | 9155.303 | 15.1827 | 0.00004 |
| 18.6465 | 9816.557 | 18.6465 | 0.00001 |
| 22.1475 | 10518.077 | 22.1475 | -0.00003 |
| 25.6752 | 11259.351 | 25.6752 | -0.00000 |
| 29.1466 | 12023.164 | 29.1466 | -0.00001 |
| 32.6216 | 12822.525 | 32.6216 | 0.00001 |

TAB. 1.2 –: Etalonnage Sea-Bird du capteur de température (05.11.98)

On utilisera dans tous les calculs ultérieurs la température mesurée par la ctd sans correction.

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) du prélèvement au moyen des relations UNESCO, avec $C(35,15,0) = 42,914$ mmho/cm.

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

La calibration du capteur de conductivité consiste à comparer la conductivité brute C_{ctd} et la conductivité in-situ C_{hydro} , et à faire coïncider au mieux ces deux valeurs par la méthode des moindres carrés. 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.

Résultats

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. 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. Un premier calcul est fait en utilisant tous les points des Legs 2, 3 et 4.

| Nb de points total | Nb de passages | Nb de points retenus | Nb de points éliminés | Ecart-type σ | Filtre $2,8*\sigma$ |
|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 250 | 3 | 245 | 5 | 0,0046 | 0,0128 |

TAB. 1.3 —: Capteur de conductivité, 3 legs confondus

Le résultat de cet étalonnage global est donné sur la figure 1.2 suivante:

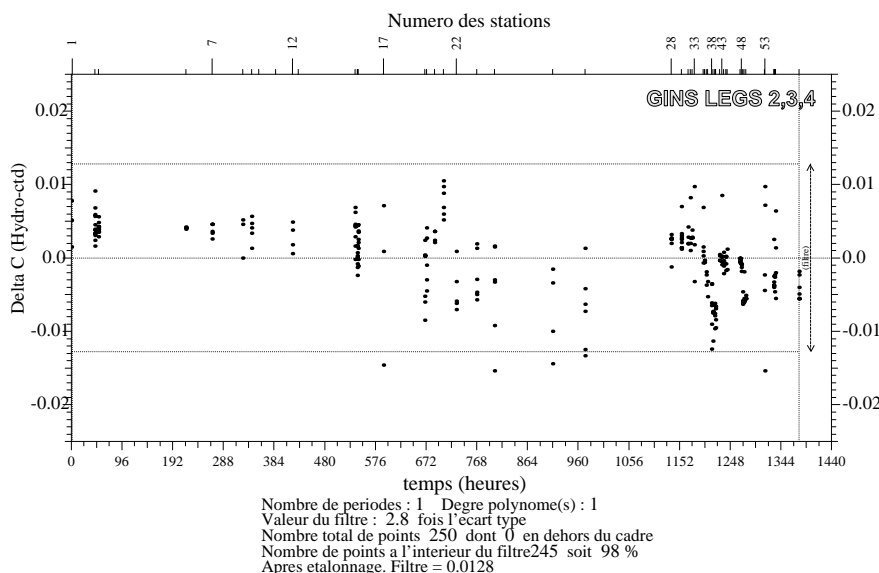


FIG. 1.2 —: Delta C (hydro - ctd) en fonction du temps, pour les Legs 2,3,4, après étalonnage

Un contrôle est fait d'après le tracé des Ecart en conductivité en fonction de la conductivité, leg par leg (figure 1.3).

Les mesures de conductivité sont très différentes d'un leg à l'autre. Pour le Leg2, l'écart est positif, et les valeurs de conductivité centrées autour de 32 mmho/cm. Pour le Leg3, la gamme de conductivités mesurées est beaucoup plus étendue, et le nuage de points est encore légèrement positif. Enfin, pour le Leg4, les valeurs de conductivité sont en majorité très basses, (autour de 29 mmho/cm), et le décalage est centré autour de 0.

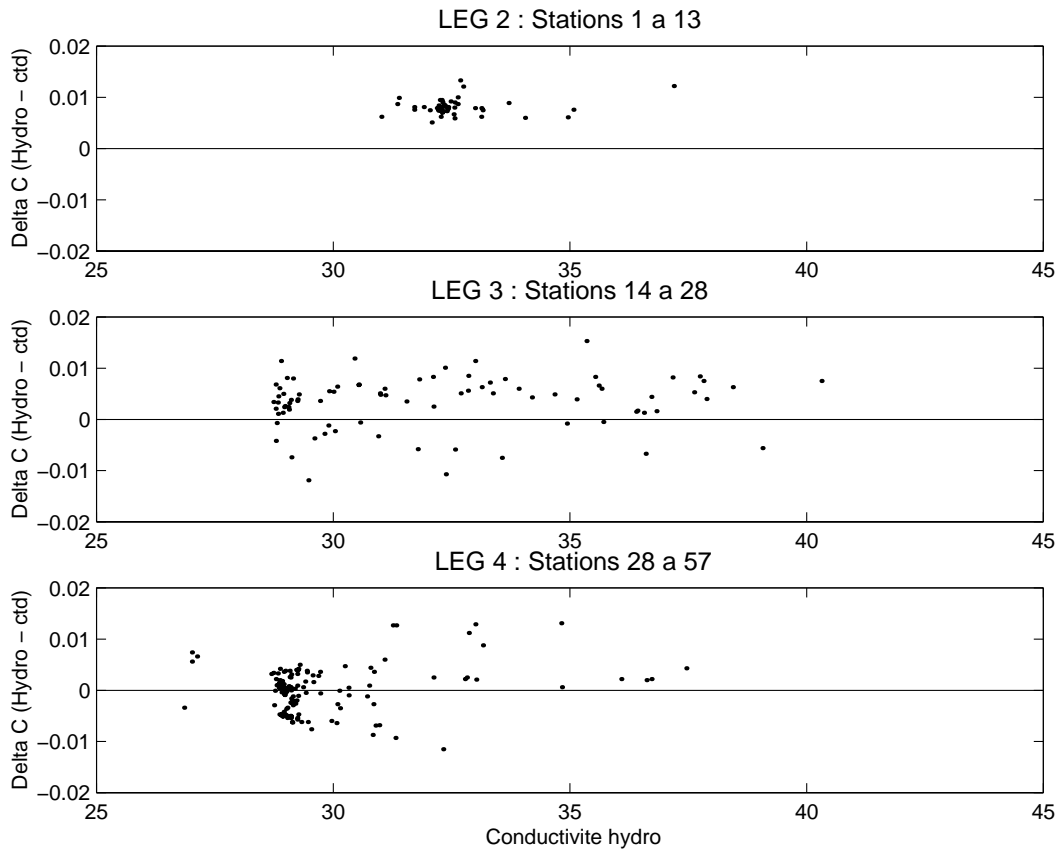


FIG. 1.3 –: Delta C (hydro - ctd) en fonction de la conductivité, Leg par Leg, avant étalonnage

Ces figures confirment que chaque Leg doit être traité séparément.
Un deuxième calcul est donc fait pour chaque leg.

| Leg | Nb de points total | Nb de passages | Nb de points retenus | Nb de points éliminés | Ecart-type σ | Filtre 2,8 *sigma |
|-----|--------------------|----------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
| 2 | 44 | 3 | 42 | 2 | 0,0013 | 0,0036 |
| 3 | 83 | 3 | 81 | 2 | 0,0046 | 0,0129 |
| 4 | 129 | 2 | 128 | 1 | 0,0043 | 0,0120 |

TAB. 1.4 –: Capteur de conductivité, étalonnage Leg par Leg

Les résultats ne sont pas très différents pour le Leg3, mais nettement améliorés pour le Leg 4 et surtout pour le Leg 2.

Les trois polynômes adoptés sont les suivants :

$$\begin{aligned}
 \text{Leg 2 : } C_{cal} &= 1.00027 * C_{ctd} - 0.0003136 \\
 \text{Leg 3 : } C_{cal} &= 1.00013 * C_{ctd} - 0.0000363 \\
 \text{Leg 4 : } C_{cal} &= 1.00067 * C_{ctd} - 0.0192874
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

La différence entre les deux mesures de la conductivité (salinomètre et CTD) est alors ramenée à :

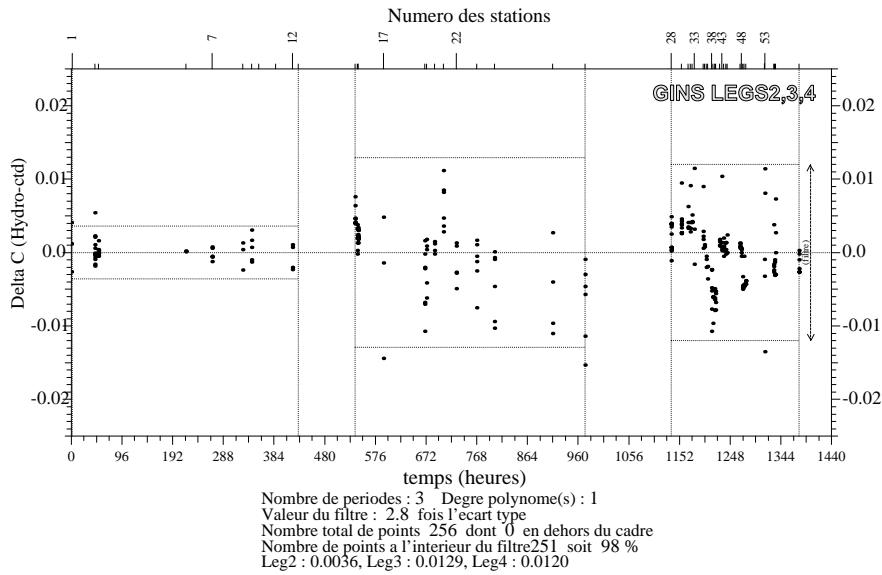


FIG. 1.4 – Variation de Delta C(hydro-ctd) en fonction du temps, Legs 2,3,4

Les deux figures suivantes (1.5 et 1.6) donnent la répartition des écarts ($C_{hydro} - C_{ctd}$) en fonction du numéro de bouteille (aucune fuite n'est particulièrement visible), de la conductivité, de la température (écarts répartis autour de zéro), et enfin de la pression. Cette dernière figure ne montre également pas de fluctuation particulière des écarts autour de zéro, et donc il ne sera pas nécessaire d'appliquer une correction supplémentaire en fonction de la pression.

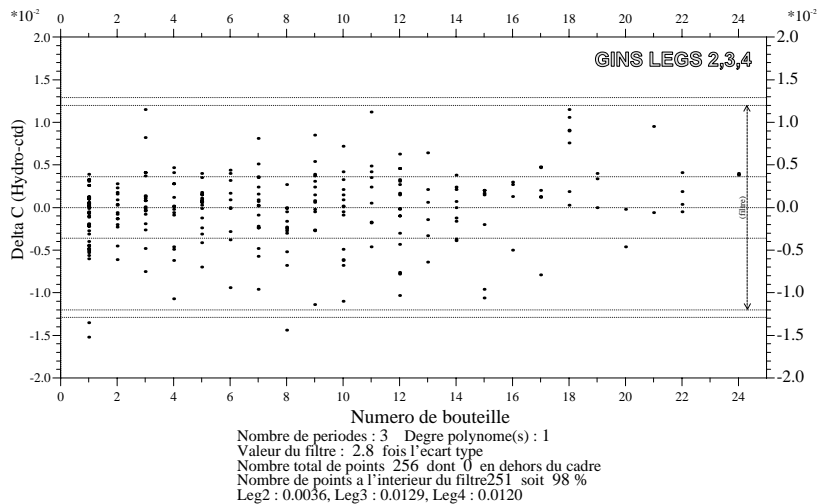


FIG. 1.5 – Delta C en fonction du numéro de bouteille, Legs 2,3,4

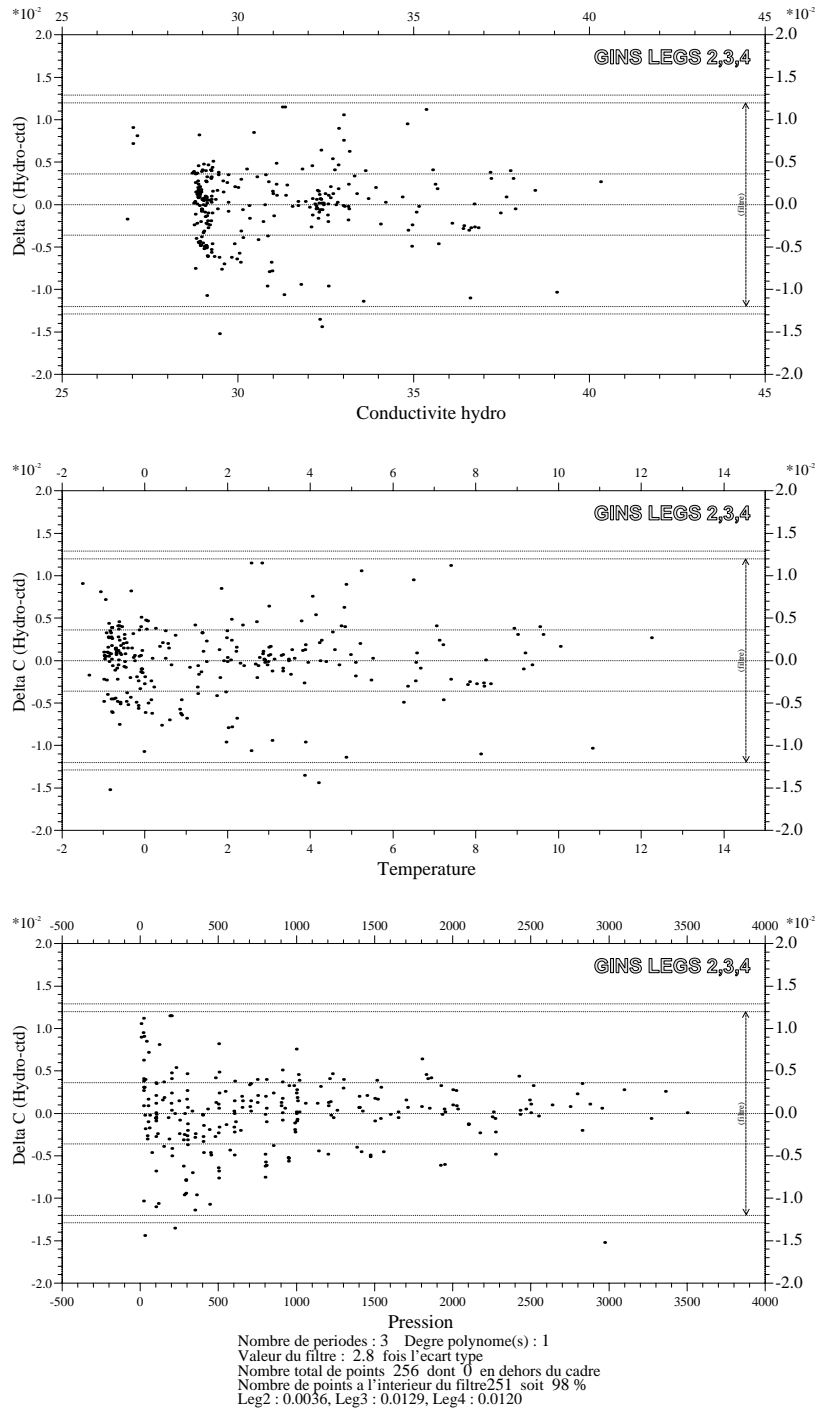


FIG. 1.6 –: Delta C en fonction de la Conductivité, de la Température et de la Pression, Legs 2,3,4

Les deux figures suivantes (1.7 et 1.8), présentent les histogrammes des écarts en conductivité et salinité avant et après étalonnage. Avant l'étalonnage, le décalage moyen est de $+0.003$. Après étalonnage, les valeurs sont centrées sur zéro, et 95 p.cent des écarts en salinité sont inférieurs à $0,0129$ PSU.

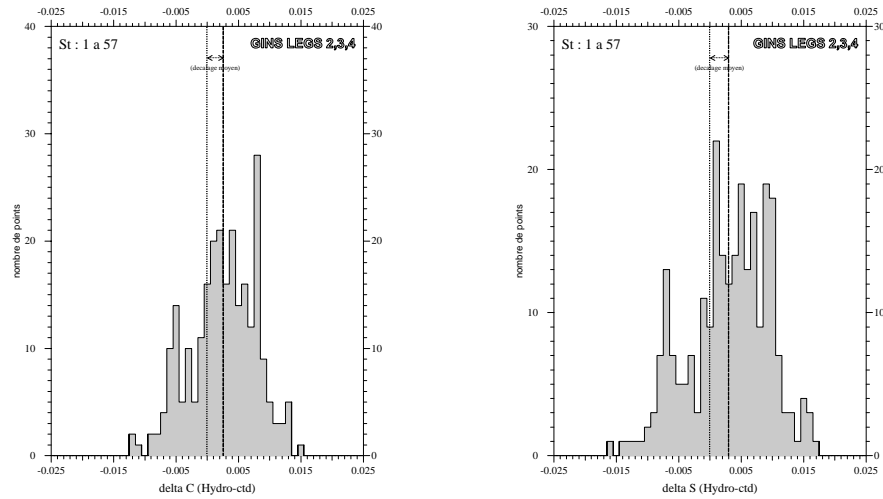


FIG. 1.7 –: Distribution des écarts en conductivité et salinité avant étalonnage

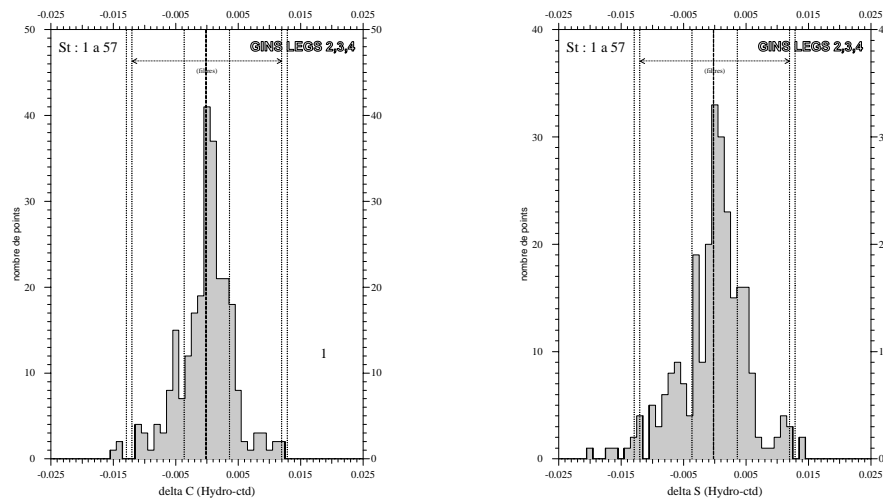


FIG. 1.8 –: Distribution des écarts en conductivité et salinité après étalonnage

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 par 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 Pref, entre (Pref - 1 dbar) et (Pref + 1 dbar). La moyenne est affectée à la pression Pref. On tient compte également de la vitesse de descente de la sonde. Elle a été calculée en chaque point, et on a gardé uniquement les points dont la vitesse était comprise entre 0.5 et 1.5 m/s.

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 "sauts" 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, σ 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 $\sigma\theta$.

La campagne a permis d'obtenir en tout 55 profils CTD profonds (11 pour le LEG2, 13 pour le LEG3, 31 pour le LEG4). Ne sont pas décomptés les profils de surface effectués pour les prélèvements destinés aux alcénones. En résumé, deux séries de données sont disponibles :

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

1.3 Formules utilisées

Température échelle internationale de température 1990 (ITS90)

Salinité échelle pratique de salinité 1978 (PSU78)

σ 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).

1.4 Références

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

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.

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 était une longueur d'ensemble de 180 secondes, et une longueur de bin de 8m. 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 IF RTP, au moyen de deux logiciels différents, DAS et Transect. Le traitement ultérieur a été effectué au LODYC, au moyen du logiciel CODAS3 (E. Firing, Université d'Hawaii), après avoir mis toutes les données au même format.

La base de données ADCP commence le 20.08.1999, et se termine le 29.08.1999.

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 V/erification 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 scanning 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, loadping. Pour la campagne GINS, à cause des différents formats d'enregistrement, les données sont partagées en trois sous-fichiers:

gins1 : Du 20 08 1999 à 00.51.51 au 26 08 1999 à 01.21.31

gins2 : Du 26 08 1999 à 02.12.07 au 27 08 1999 à 08.12.14

gins3 : Du 27 08 1999 à 13.46.12 au 29 08 1999 à 22.32.01

A ce stade, on dispose d'un repertoire nomme généralement 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 gins.def, lui-même dans ce même répertoire. 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. Elle permet aussi de connaître le contenu d'une variable.

| num | name | units | v-ty | ac | ac0 | ac1 |
|-----|--------------------|-------|------|----|------|-----|
| 0 | DEPTH | m | 3 | 1 | 9600 | 180 |
| 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 |
| 34 | PROFILE-FLAGS | none | 1 | 2 | 4 | 4 |
| 35 | CONFIGURATION-1 | none | 11 | 1 | 9780 | 76 |
| 36 | CONFIGURATION-2 | none | 11 | 1 | 0 | 0 |
| 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: gins1
- 0 n= 57 gins1-001.blk 1999/08/20 00:51:51 to 1999/08/20 03:42:39
- 1 n= 57 gins1-002.blk 1999/08/20 03:45:40 to 1999/08/20 06:33:41
- ...
- 53 n= 14 gins1-054.blk 1999/08/26 00:42:32 to 1999/08/26 01:21:31

2.2 Obtention et vérification de la navigation

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. Ce fichier brut est comparé au fichier des caps suivis pendant les ensembles ADCP, au moyen d'un programme adapté à partir de la bibliothèque CORRYGE de G. Eldin. Le résultat est un fichier navigation ramené aux temps des ensembles ADCP, comprenant pour chaque ligne un temps, le plus proche du temps ensemble ADCP (moins de 1 seconde d'écart), exprimé en unités spécifiques du logiciel CODAS, une latitude et une longitude. Le fichier est édité pour supprimer les positions douteuses. La carte de la figure 1 montre le tracé de ces données de navigation.

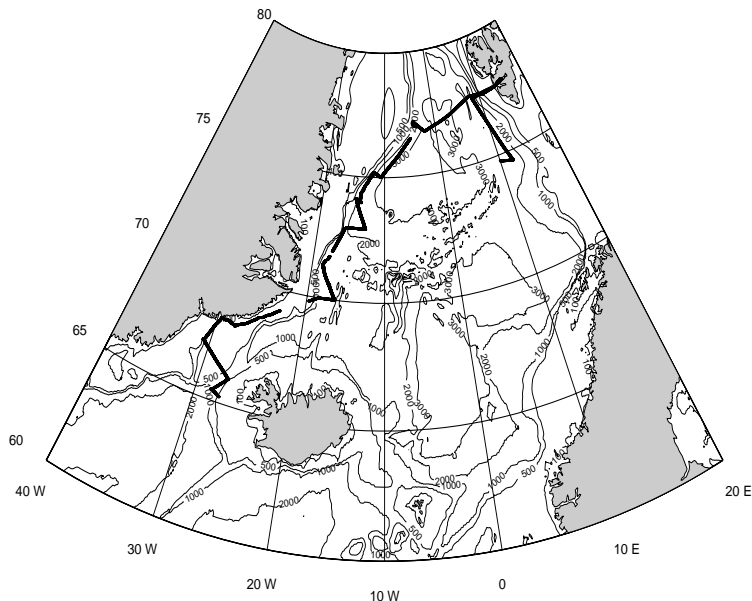


FIG. 2.1 – Fichier des positions GPS aux temps des ensembles ADCP

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. C'est cette deuxième option qui a été choisie pendant GINS1 et GINS3 (acquisition DAS). Par contre, pendant GINS2 (acquisition TRANSECT), la vitesse du son a été fixée à 1536 m par seconde. Cette valeur est un peu élevée pour la zone étudiée, mais l'erreur provoquée est très faible en regard des autres erreurs de mesures.

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. 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 permettent de lever l'ambiguïté, ainsi bien sur que la position géographique. La figure ci-dessous montre l'aspect des profils d'amplitude.

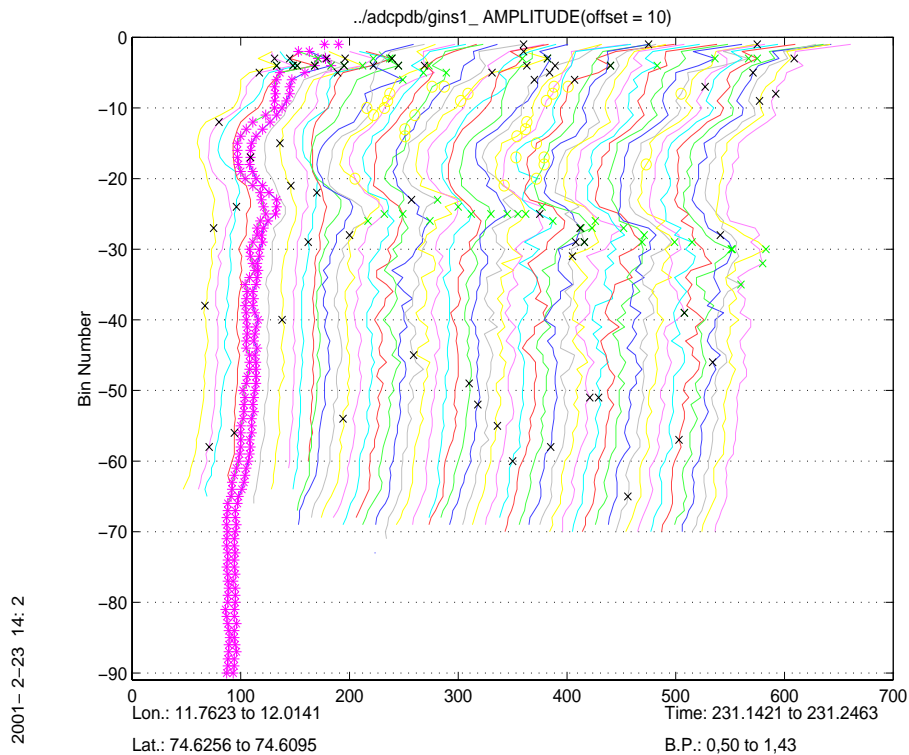


FIG. 2.2 — Profils d'amplitude du signal ADCP

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-compas. Le début des données de navigation et également des données ADCP n'a pas été retenu pour ces raisons, et la calibration définitive commence le 21 août.

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 en général entre les bins 5 et 20 (soit 40 à 160 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 :

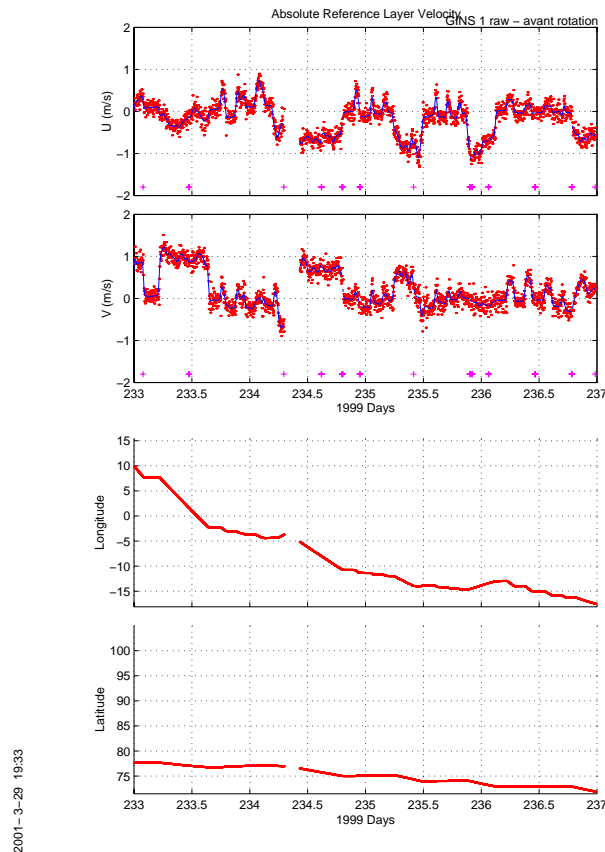


FIG. 2.3 —: Tracé de la navigation et de la vitesse de la couche de référence

Les pics correspondent à des décalages de temps entre les deux fichiers aux arrivées et départs de stations. Ils seront 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. Les accélérations se produisent lors des arrivées et départs de station CTD ou carottage, lors des changements de direction, et bien sur 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. On a choisi une fenêtre de "7 fixes", soit 21 minutes (ensembles de 3mn). La figure ci-dessous montre le résultat de cette calibration pour la première partie des données (fichier GINS1).

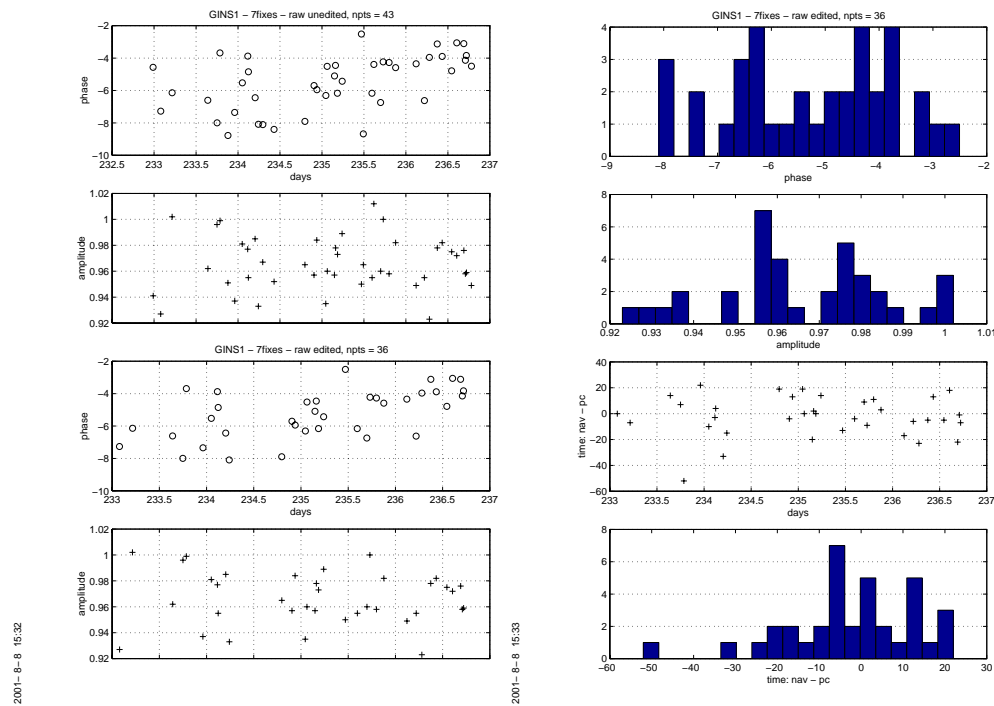


FIG. 2.4 –: Détermination de la phase et de l'amplitude

Un décalage d'horloge (variable time: nav-pc) de l'ordre de 2 secondes est admissible. Pour la phase, l'écart-type est de l'ordre de 1.5 degré, et pour l'amplitude, il est de 2%. Selon les critères du logiciel CODAS, ces valeurs sont un peu élevées (elles devraient être respectivement de l'ordre de 1.2 degré et de 1.5 % au maximum). Compte tenu des particularités de l'acquisition ADCP à bord du Marion Dufresne, ce fait est dû à la mauvaise qualité des données en route.

Pour les 3 parties, les valeurs de phase, d'amplitude et la différence de temps sont respectivement:

GINS1 -5.2427(1.5135) 0.9662(0.0205) -2.4444

GINS2 -4.4542(1.4989) 0.9761(0.0170) -0.4118

GINS3 -3.0192(1.4807) 0.9672(0.0231) +1.6154

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. Il est possible aussi d'utiliser les deux procédures en même temps. Dans le cas de la campagne GINS, seule la calibration par "water-tracking" a été utilisée.

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 (problèmes de format des fichiers bruts de navigation).

Une autre moyen d'évaluer la variation du gyrocompas est d'évaluer l'influence de la position du navire, en traçant la phase extraite au moyen du programme "timslip" ci-dessus en fonction de la latitude (Fig 2.5). Si le gyrocompas avait parfaitement fonctionné, la phase serait constante avec la latitude.

Le résultat est un polynôme du premier degré qui permet d'obtenir un fichier d'angles (phases), variant avec la latitude, à partir du fichier de navigation .nav.

angle 32.5323 - 0.5068 * latitude (std=0.8677)

Le fichier d'angles est construit en prenant comme constante du polynôme la constante calculée par le fit, corrigée de la phase constante obtenue au moyen de la calibration par water-tracking.

angle 37.7750 - 0.5068 * latitude

Après obtention des données de calibration (d'une part un fichier d'angles, d'autre part un angle et une amplitude constants pour chacune des trois parties), on effectue la rotation des données de vitesse. Un module du logiciel CODAS effectue cette rotation.

Un contrôle de la variation de la phase avec la latitude a été également effectué, après la rotation. La figure ci-dessous donne le résultat de ce contrôle pour la partie GINS1. 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.

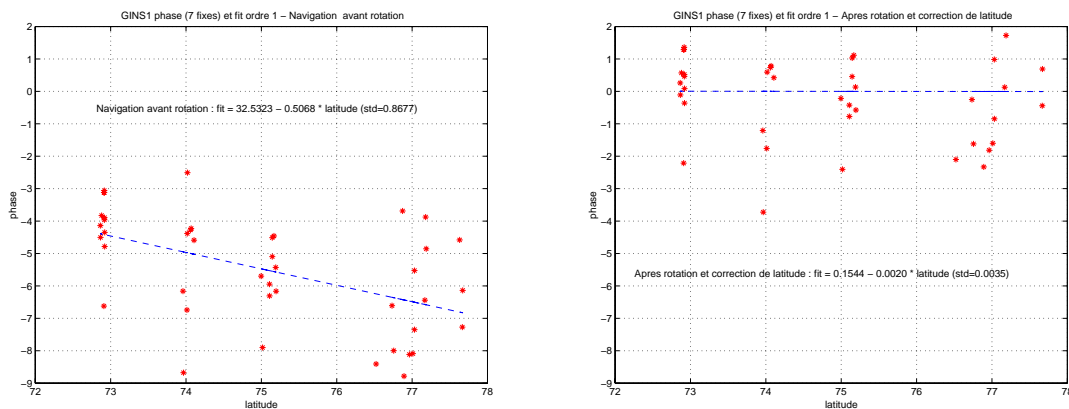


FIG. 2.5 —: GINS1 : Variation de la phase avec la latitude, avant et après rotation

Après cette rotation en deux temps , le résultat final pour la phase et l'amplitude est le suivant (pour chaque paramètre, les deux nombres sont la moyenne et l'écart-type) :

| | GINS1 | | GINS2 | | GINS3 | |
|-----------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| amplitude | 1.0002 | 0.0148 | 1.0045 | 0.0215 | 1.0068 | 0.0181 |
| phase | -0.0243 | 0.8053 | -0.3638 | 1.1232 | -0.3215 | 1.1896 |
| nav-pc | 0.4058 | 8.1084 | -5.4615 | 15.6131 | 0.8333 | 19.0875 |

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 calibrées 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 les tracés. Le logiciel CODAS fournit des programmes de tracé de vecteurs et de contours. Nous utiliserons une adaptation du tracé de vecteurs et un programme LODYC de tracé de sections de vitesses.

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 2.6 donne le résultat de cette évaluation pour les composantes U et V. 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. Cela nous conduit à supprimer dans la première partie, GINS1, les données en route, et à ne garder que les données en station. On gardera toutes les données dans les fichiers GINS2 et GINS3.

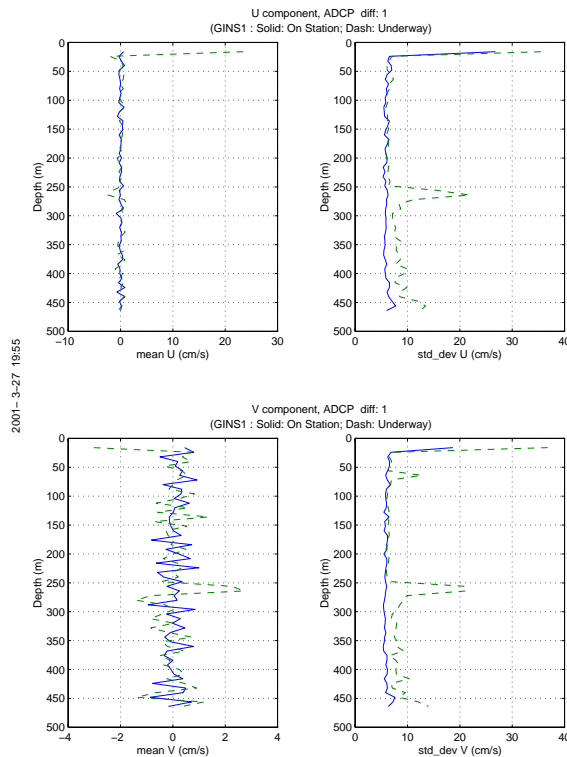


FIG. 2.6 –: GINS1 : Tests de qualité des mesures en route et en station

2.6 Références

- 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
- RD Instruments** Acoustic Doppler Current Profilers Principles of Operation : A Practical Primer, 1989, RD Instruments, Businesspark AVenue, San Diego, CA 92131
- Eldin G.** Correction des erreurs gyro-compas par GPSSystem, version 1.2,"unpublished manuscript", août 2000,

Troisième partie

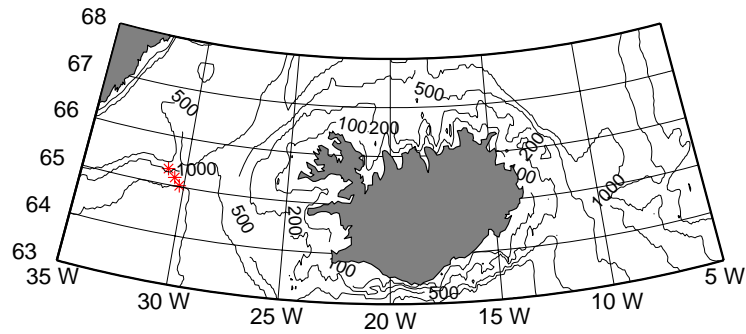
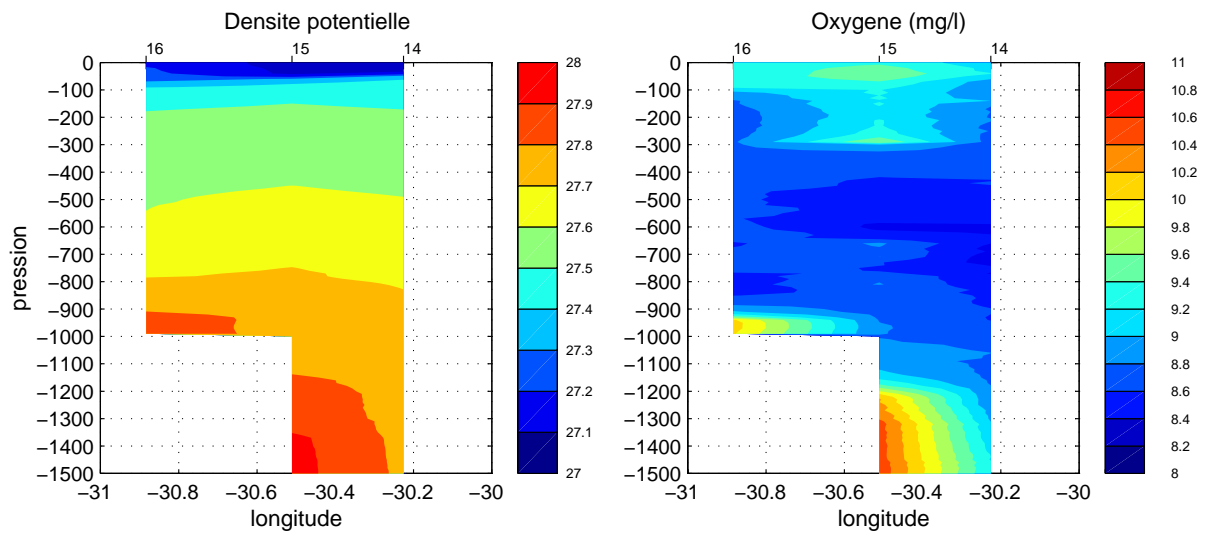
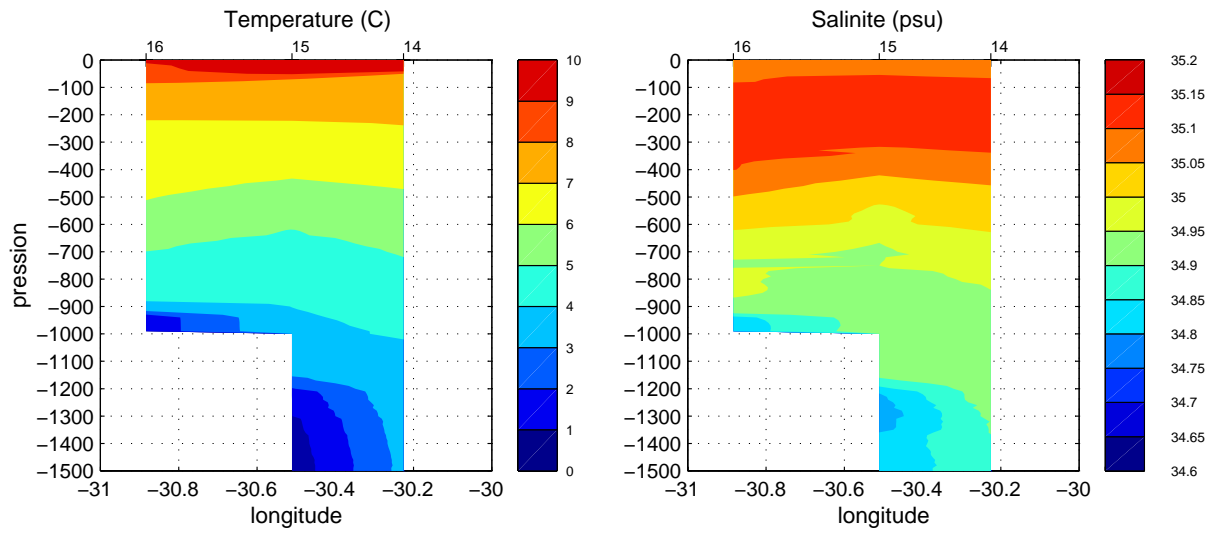
Présentation des Données

Chapitre 1

Sections CTD et ADCP

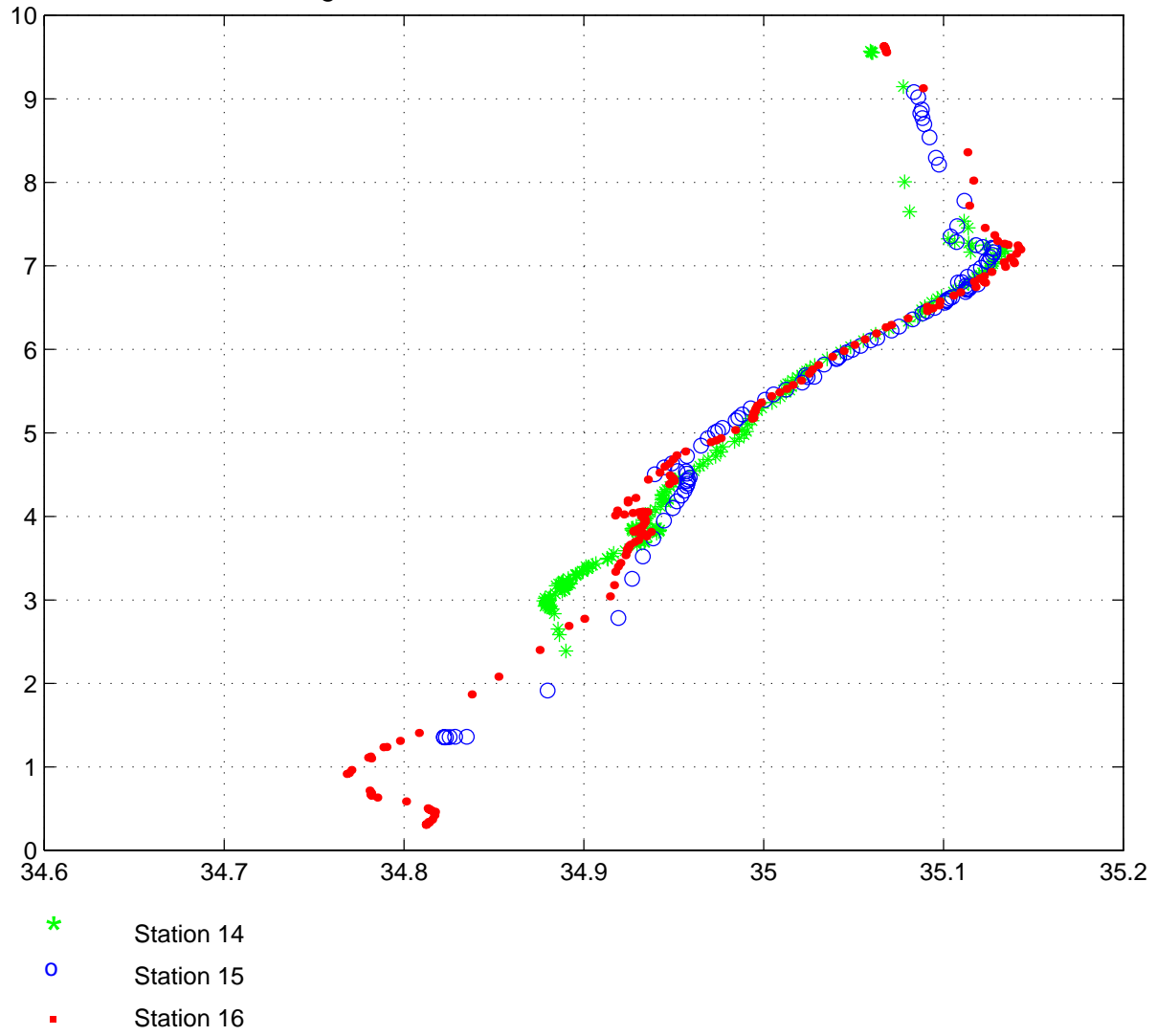
Pour chaque section CTD, sont présentées les sections de température, salinité, oxygène et densité potentielle, ainsi que la carte donnant la position de la section, et en regard, un diagramme Température potentielle-Salinité des stations de la section.

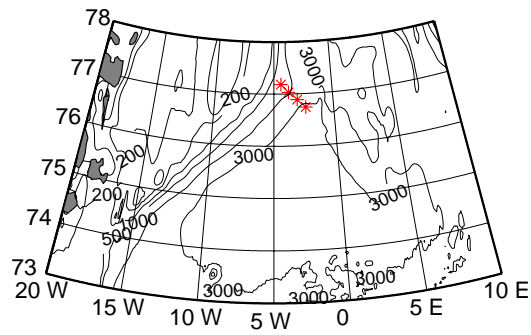
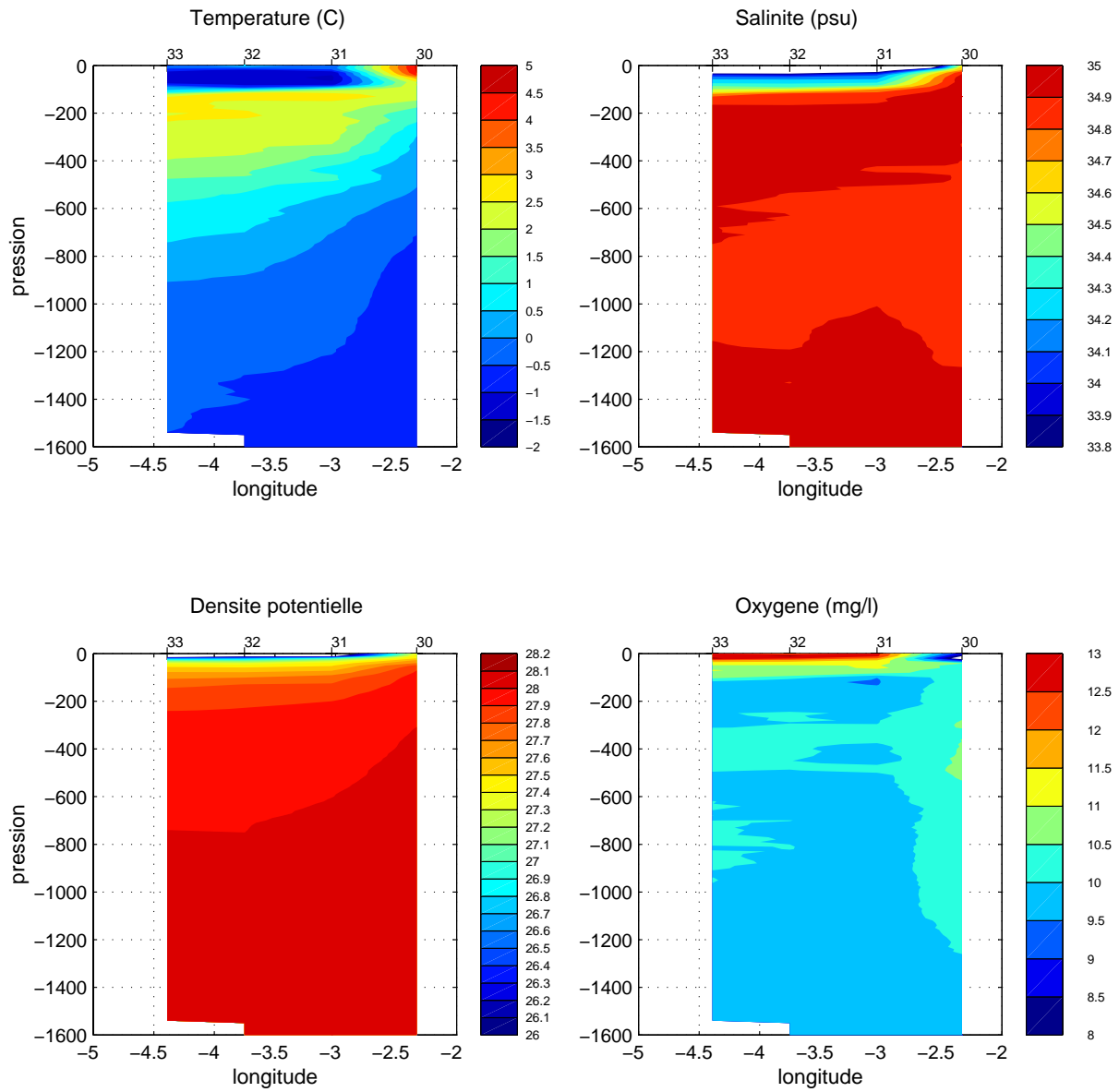
Sont présentées également les sections ADCP correspondantes, une section de la vitesse méridienne et une section de la vitesse zonale, associées à un tracé de température et salinité de surface, données par le thermosalinographe, et à un diagramme représentant les vecteurs vitesse dans différentes couches : 21-25 m, 25-75m, 75-125m, 125-175m, 175-225m, 225-275m, 275-325m, 325-375m.



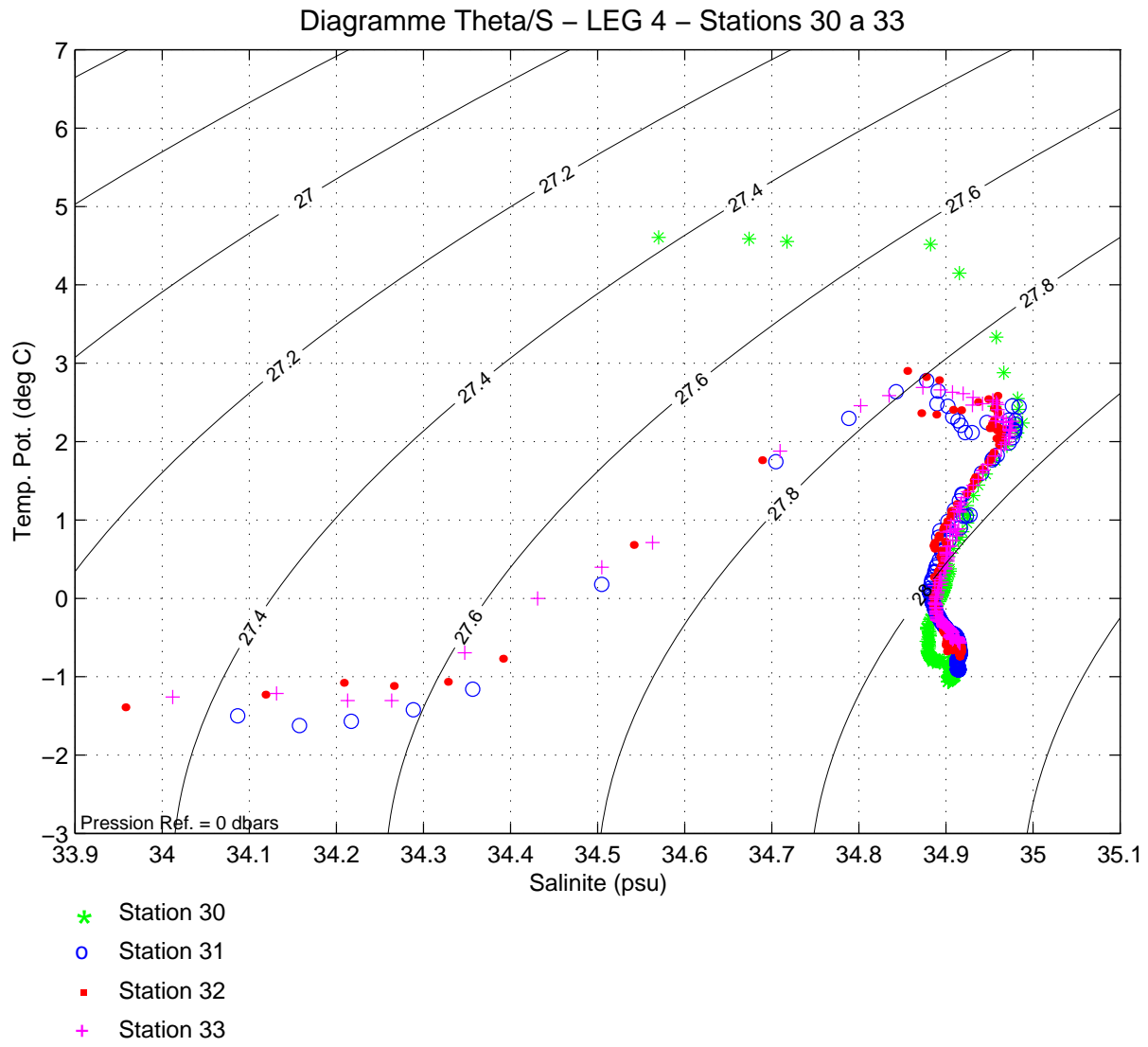
GINs – LEG3 – Stations 14,15,16

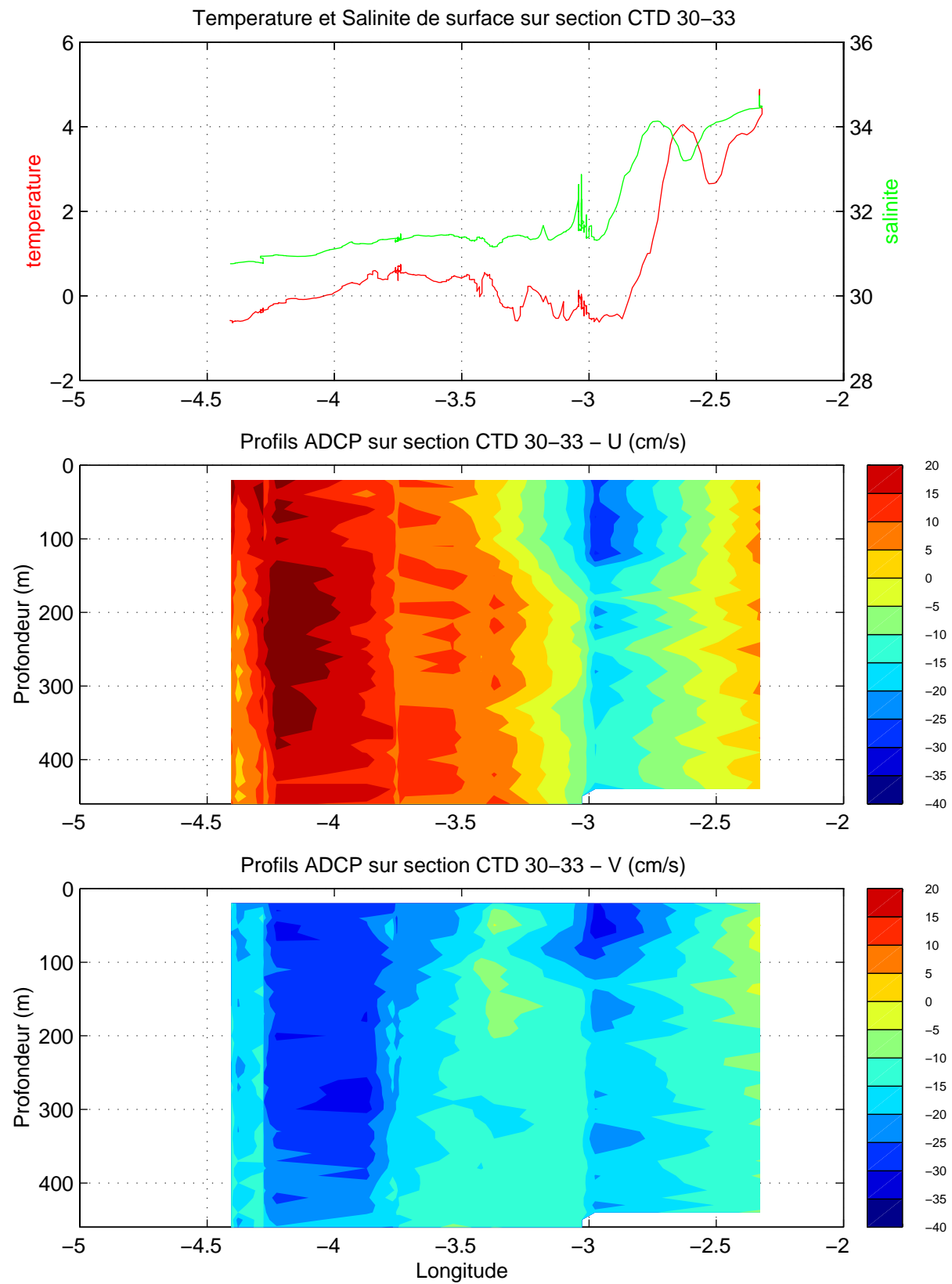
Diagramme Theta/S – LEG 3 – Stations 14 a 16





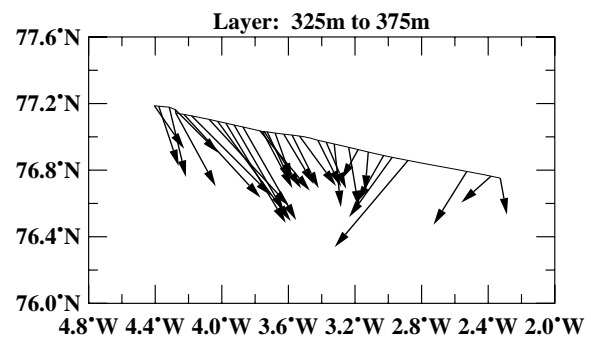
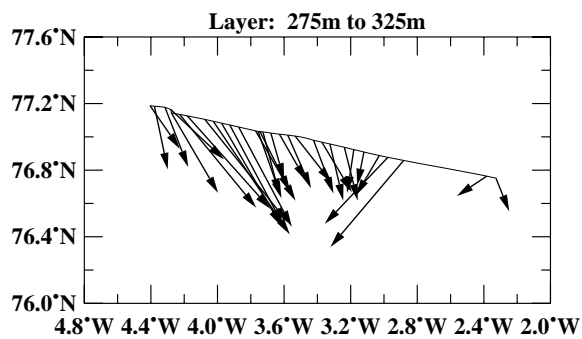
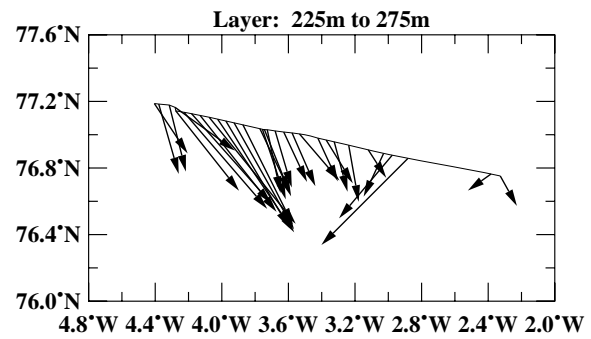
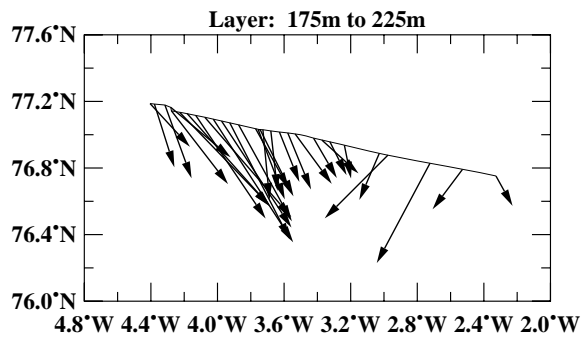
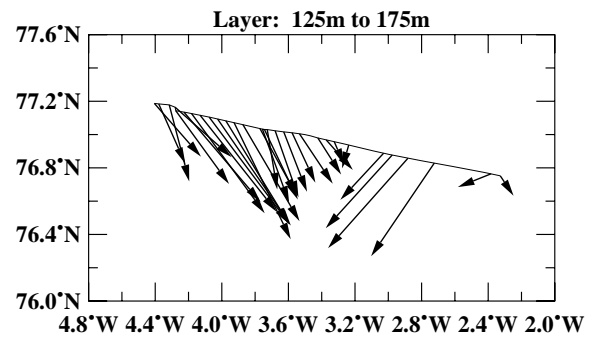
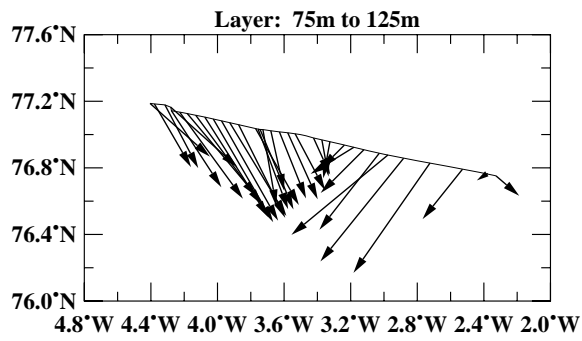
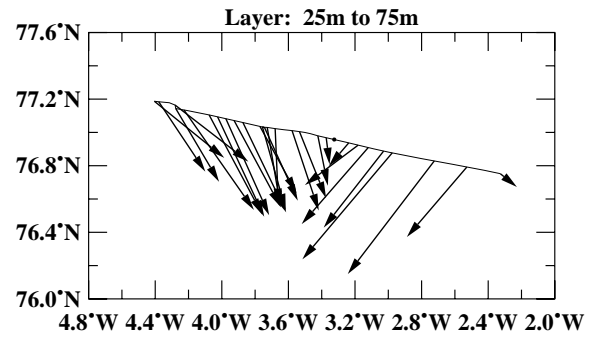
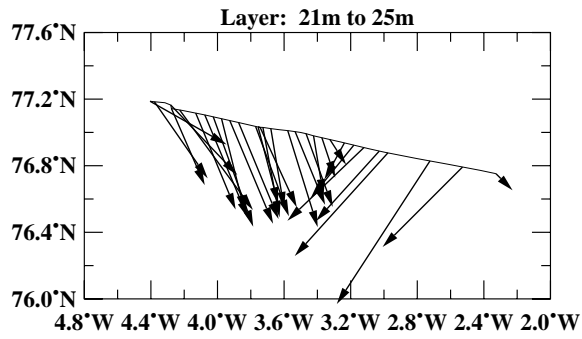
GINS – LEG4 – Stations 30,31,32,33



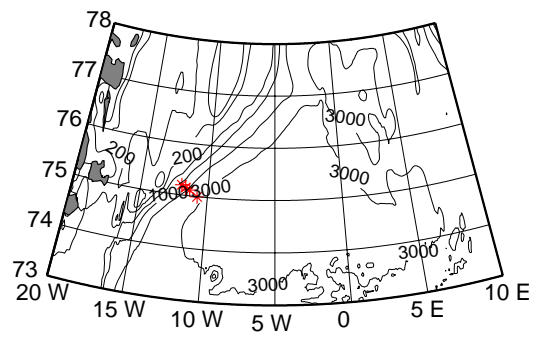
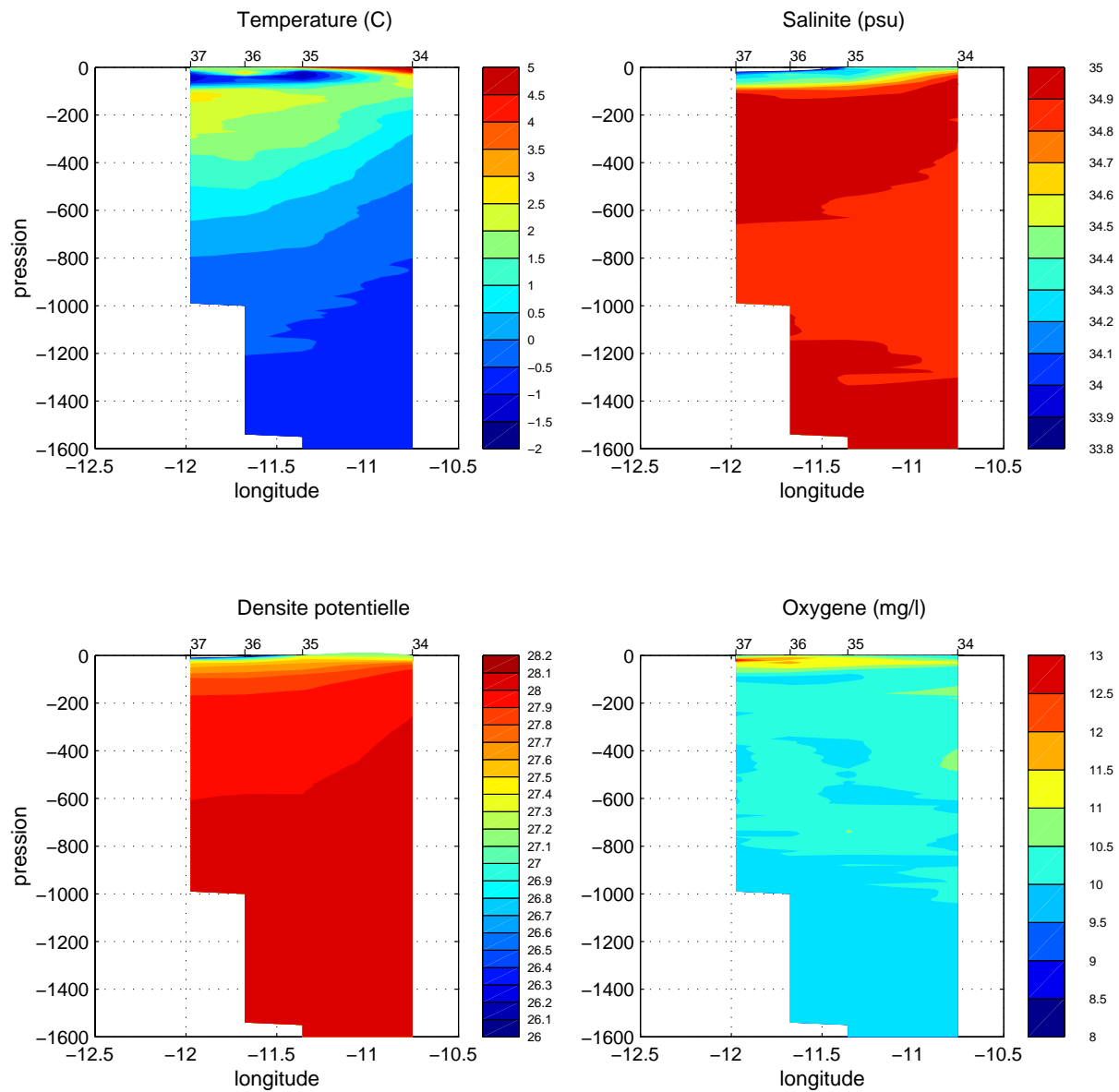


GINs 99, Section CTD 30-33

22-23 Aout 1999

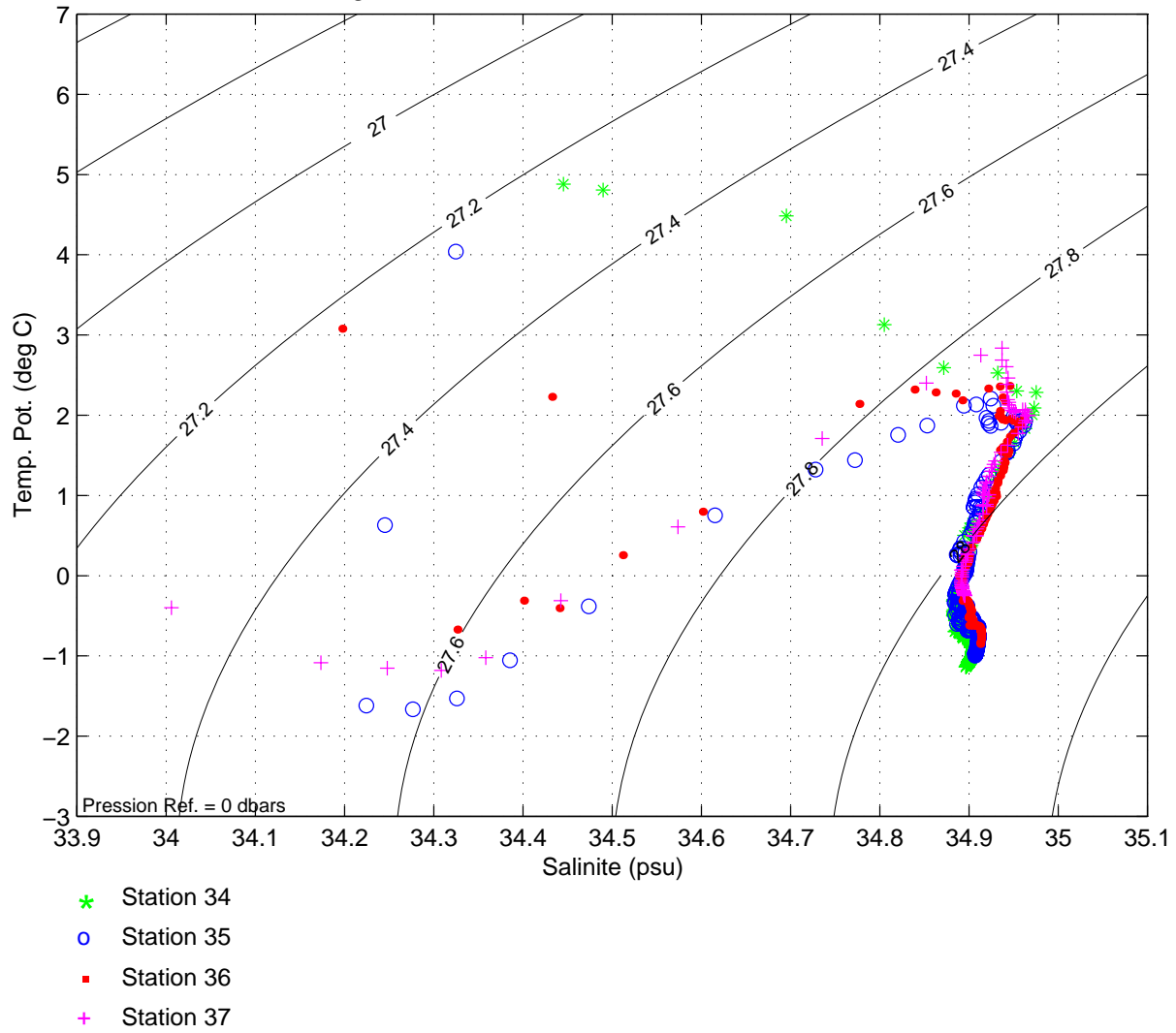


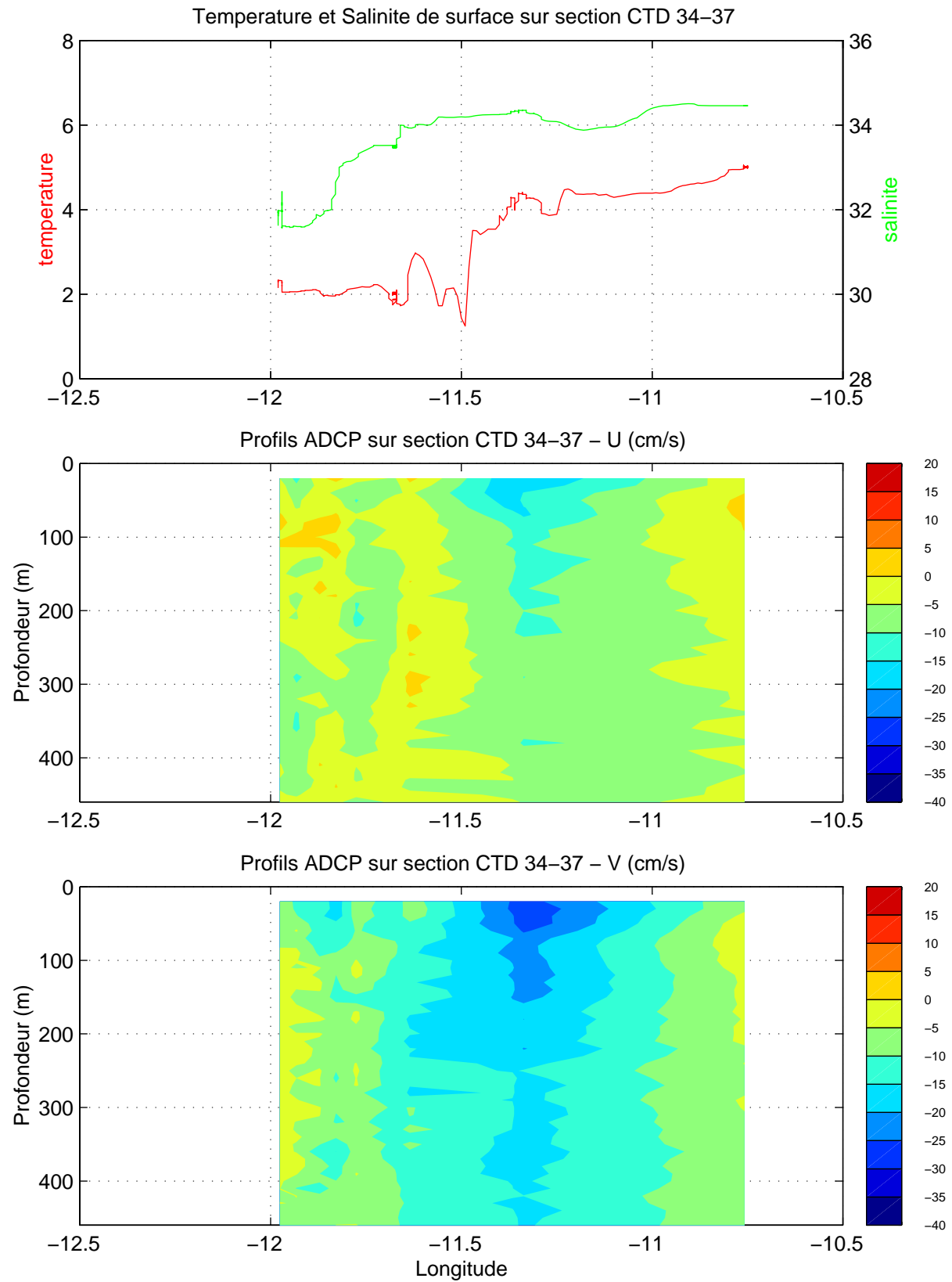
0 50
Speed (cm/s)



GINS – LEG4 – Stations 34,35,36,37

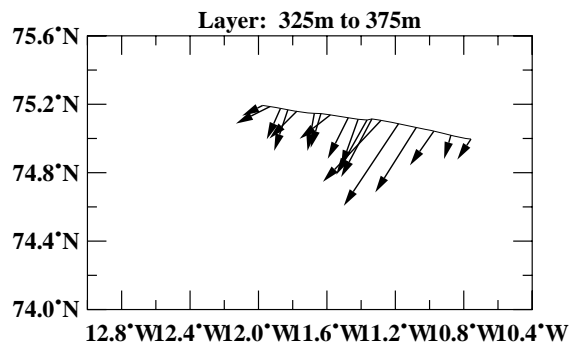
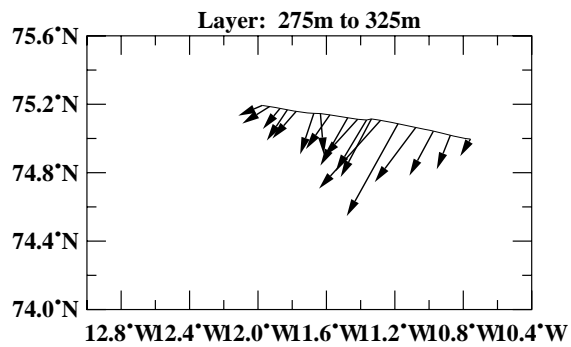
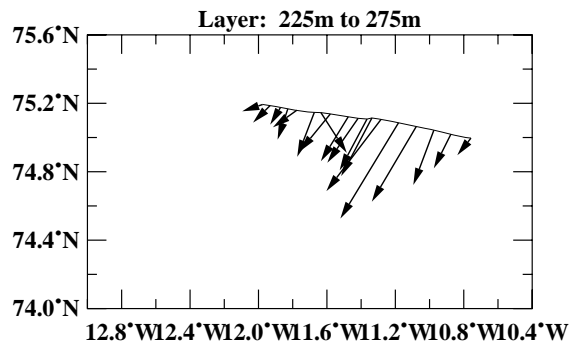
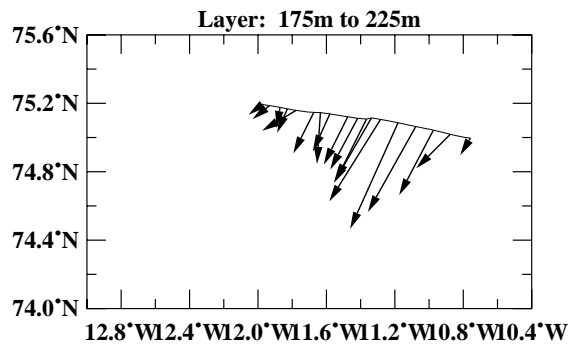
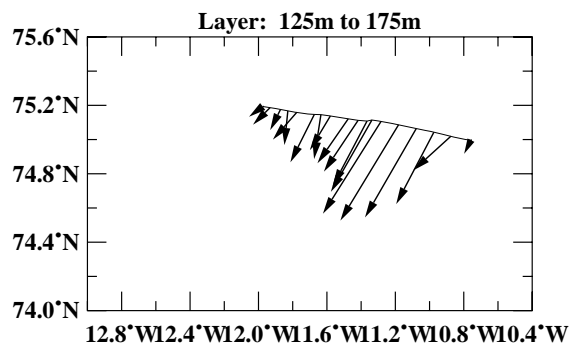
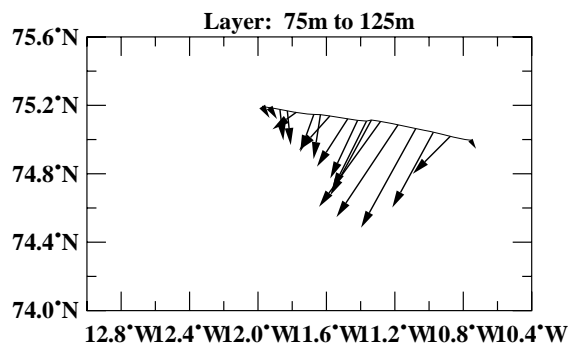
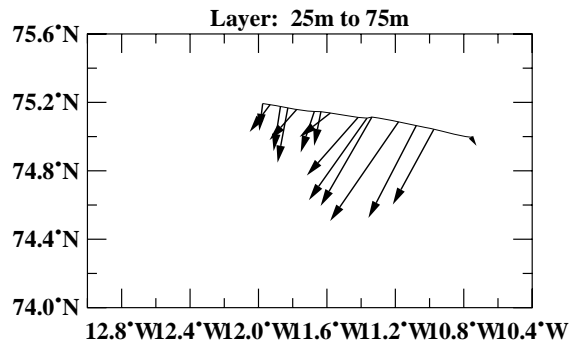
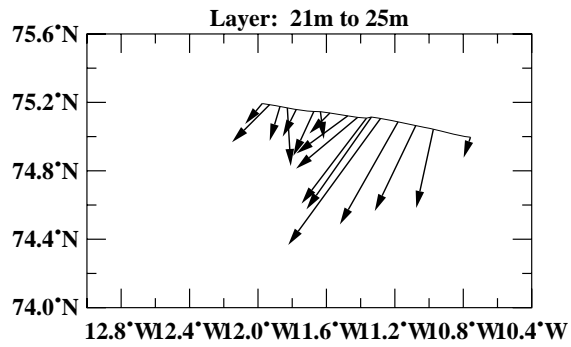
Diagramme Theta/S – LEG 4 – Stations 34 a 37



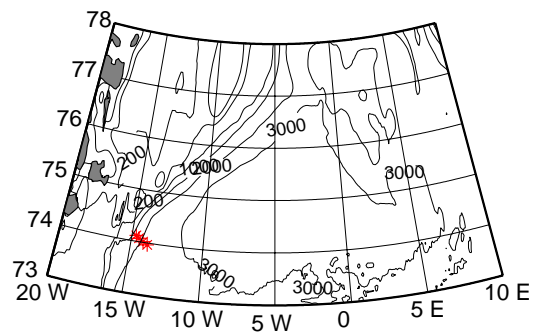
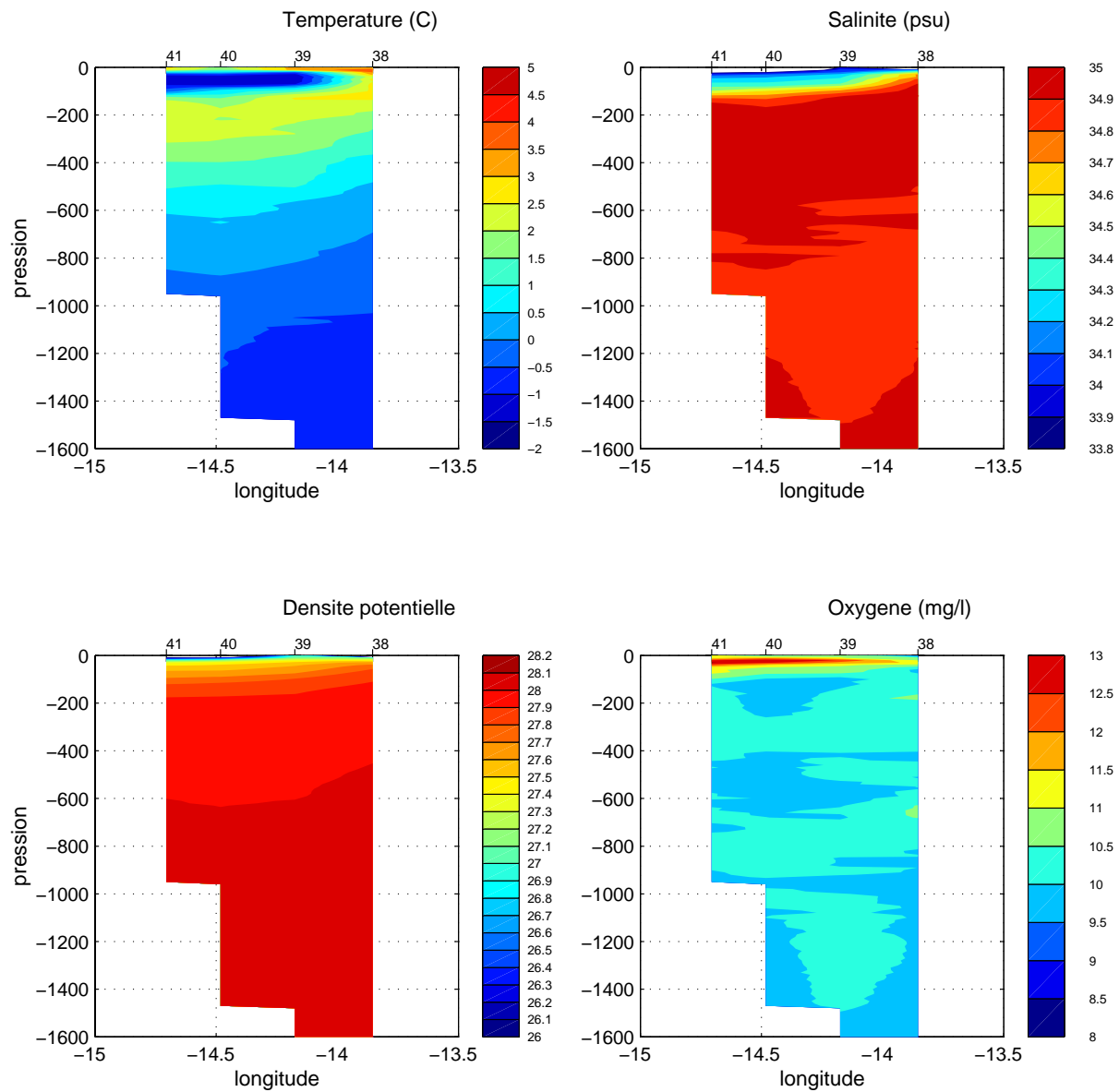


GINS 99, Section CTD 34-37

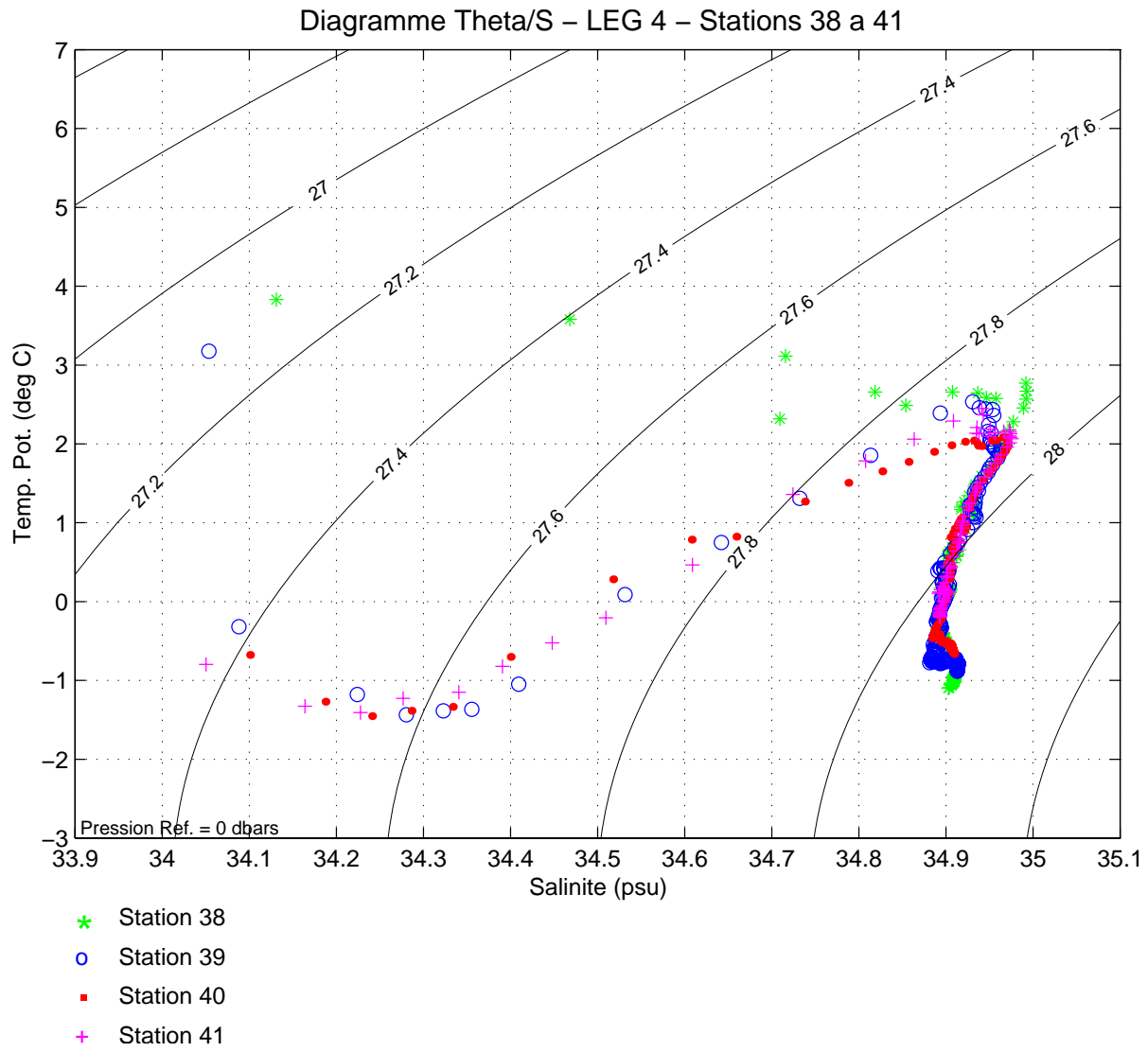
23-24 Aout 1999

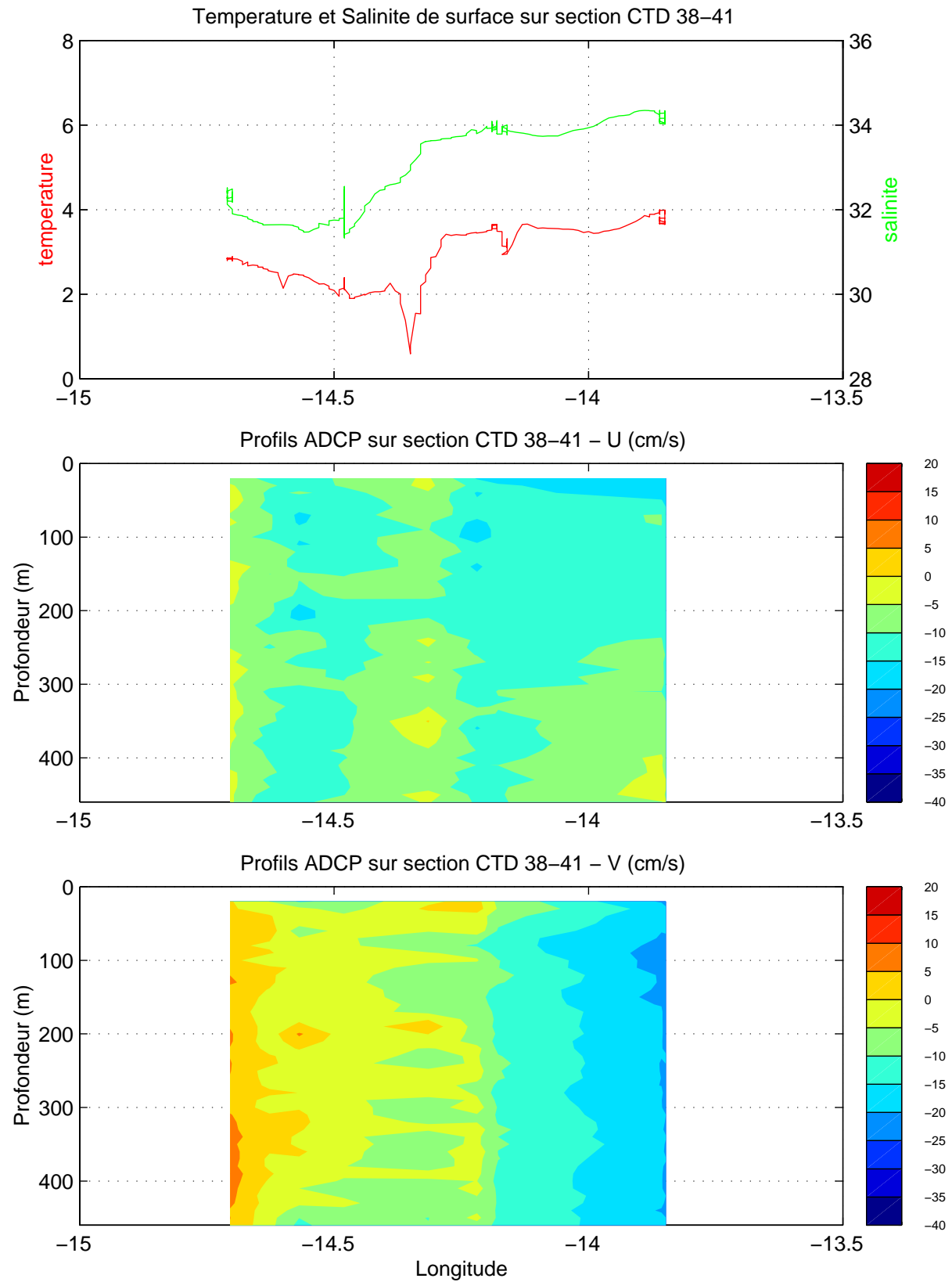


0 50
Speed (cm/s)



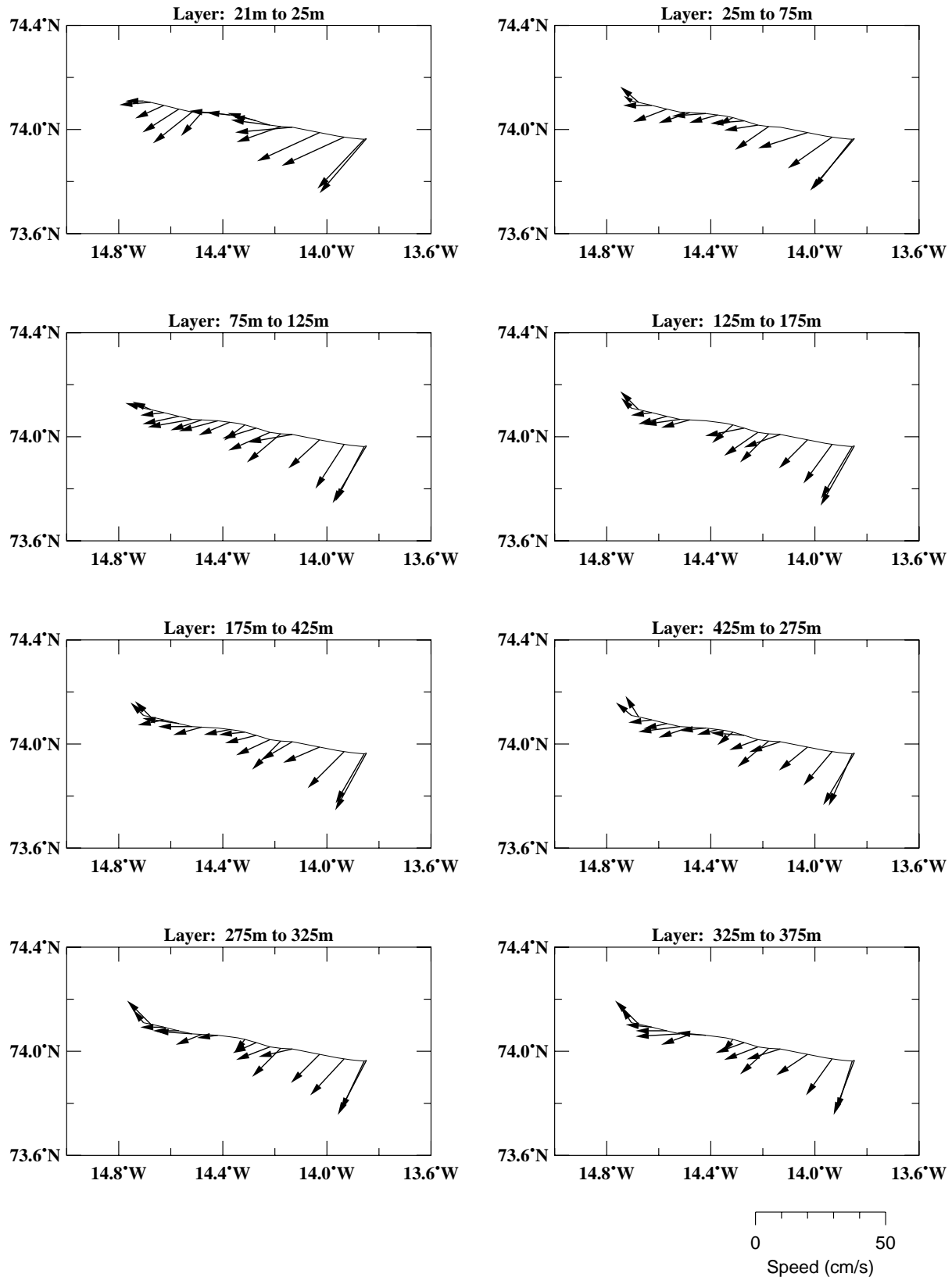
GINs – LEG4 – Stations 38,39,40,41

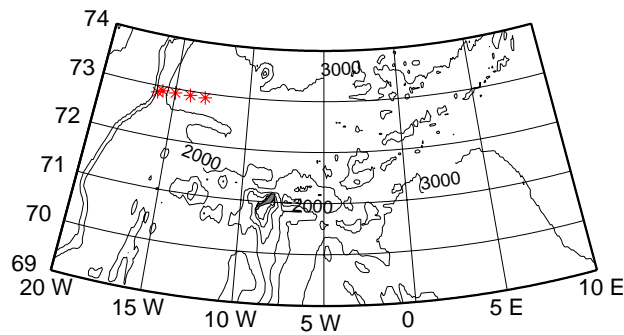
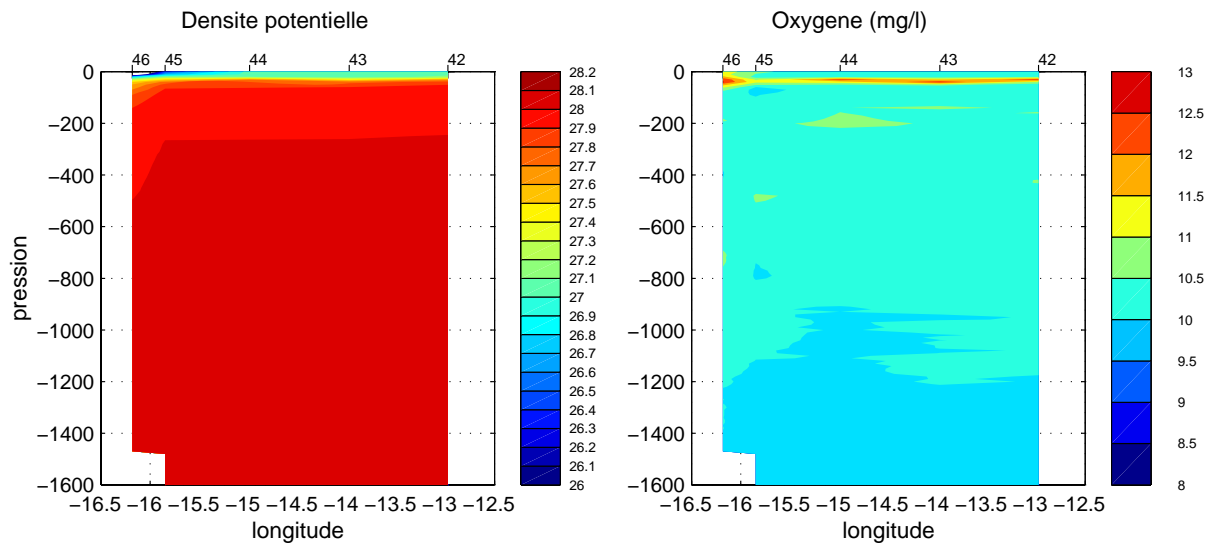
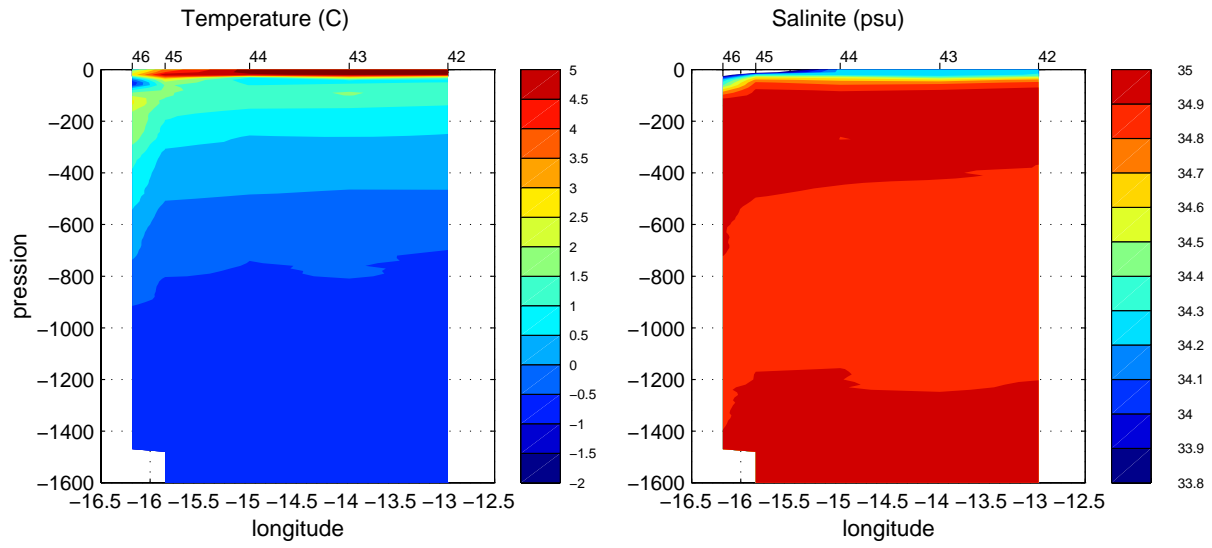




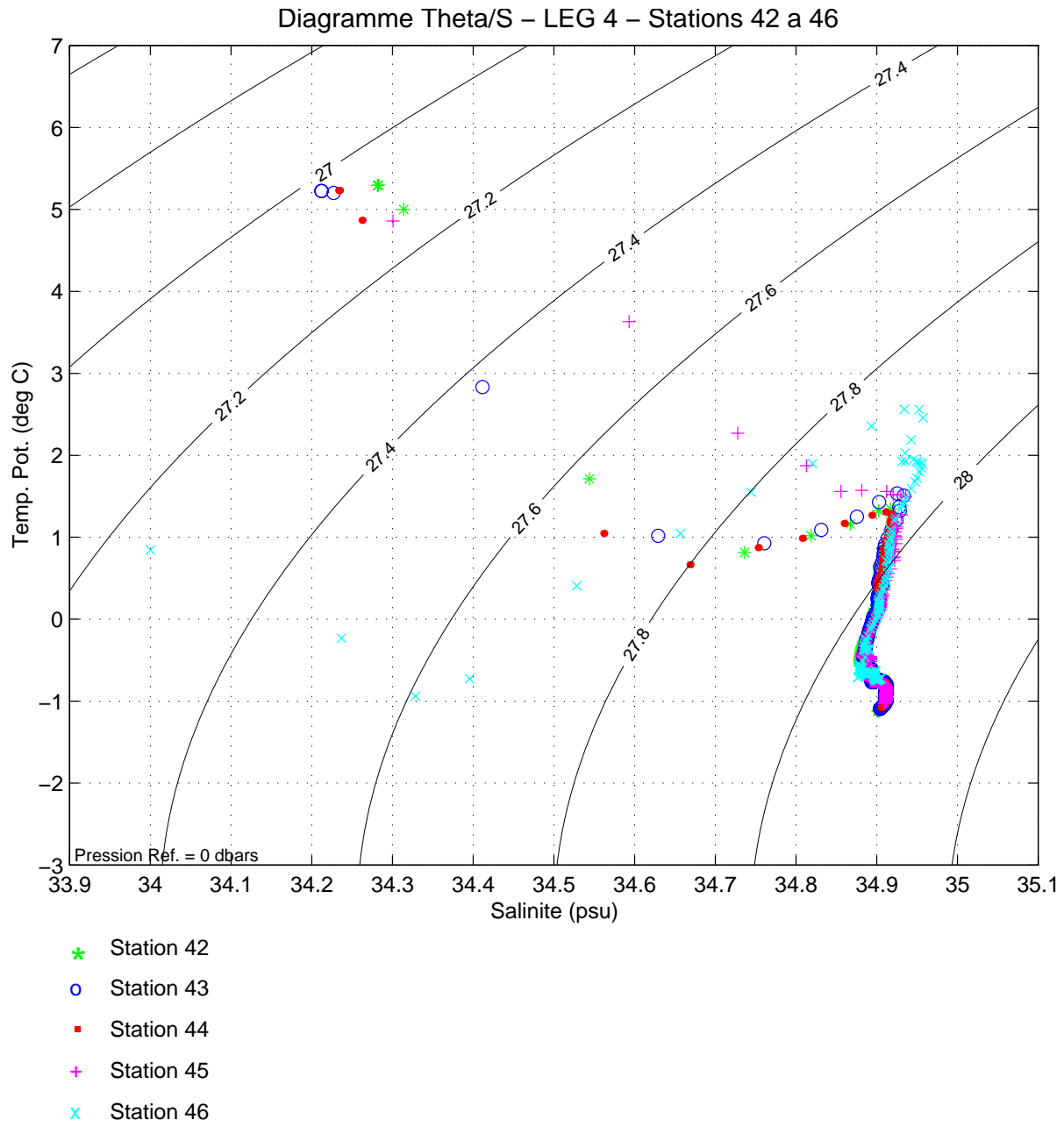
GINS 99, Section CTD 38-41

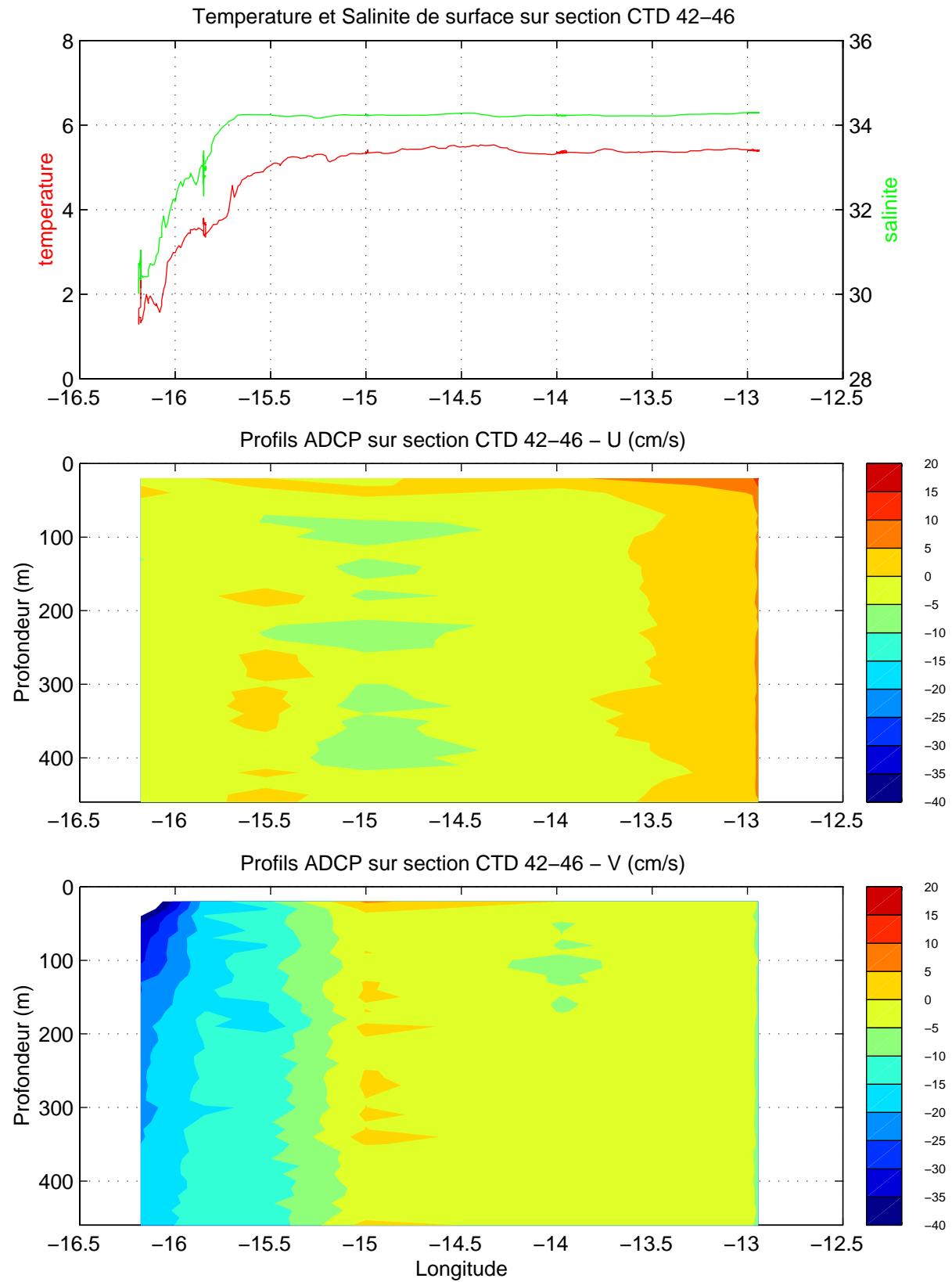
24 Aout 1999





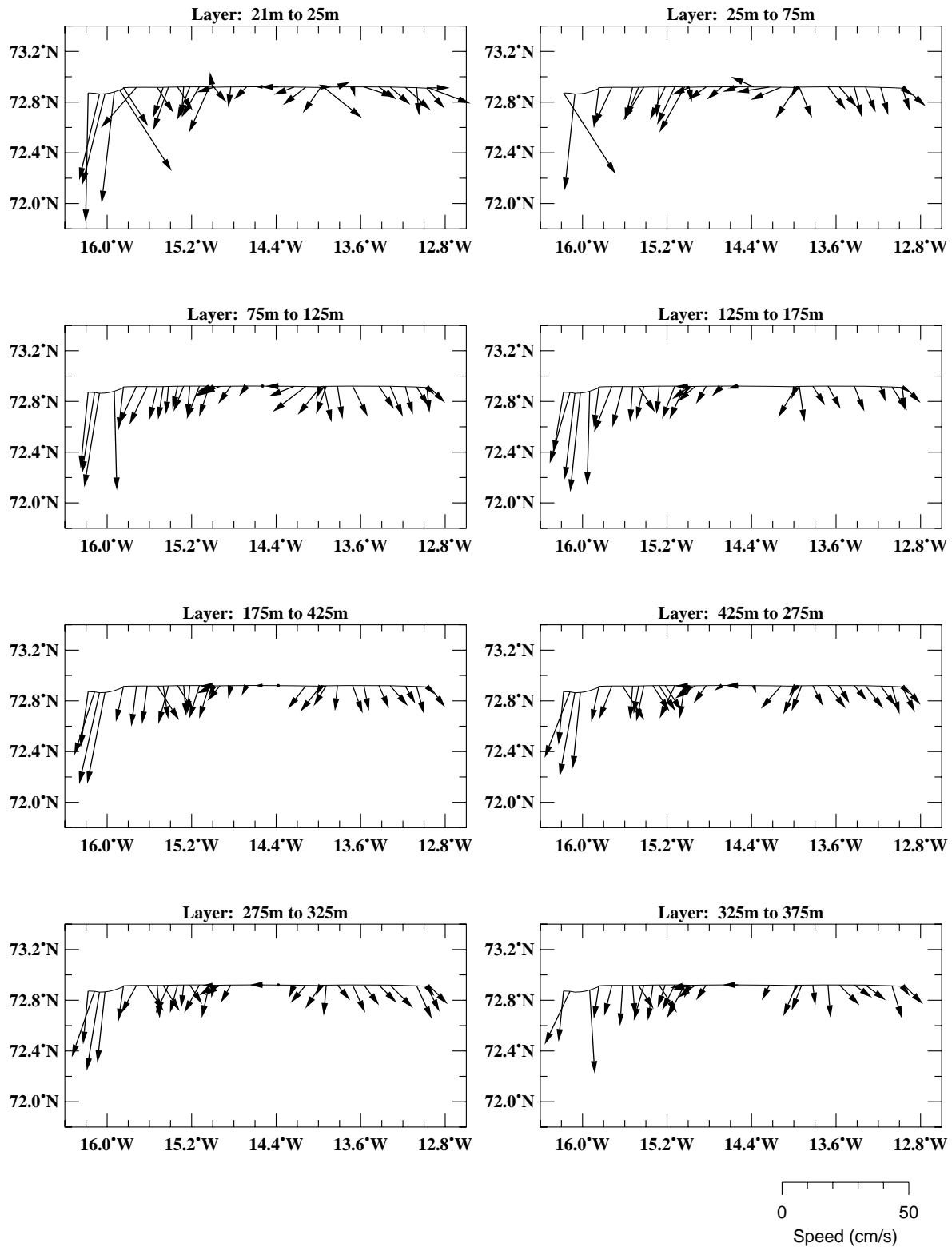
GINs – LEG4 – Stations 42,43,44,45,46

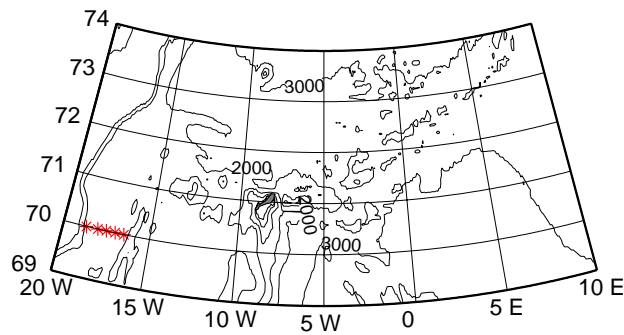
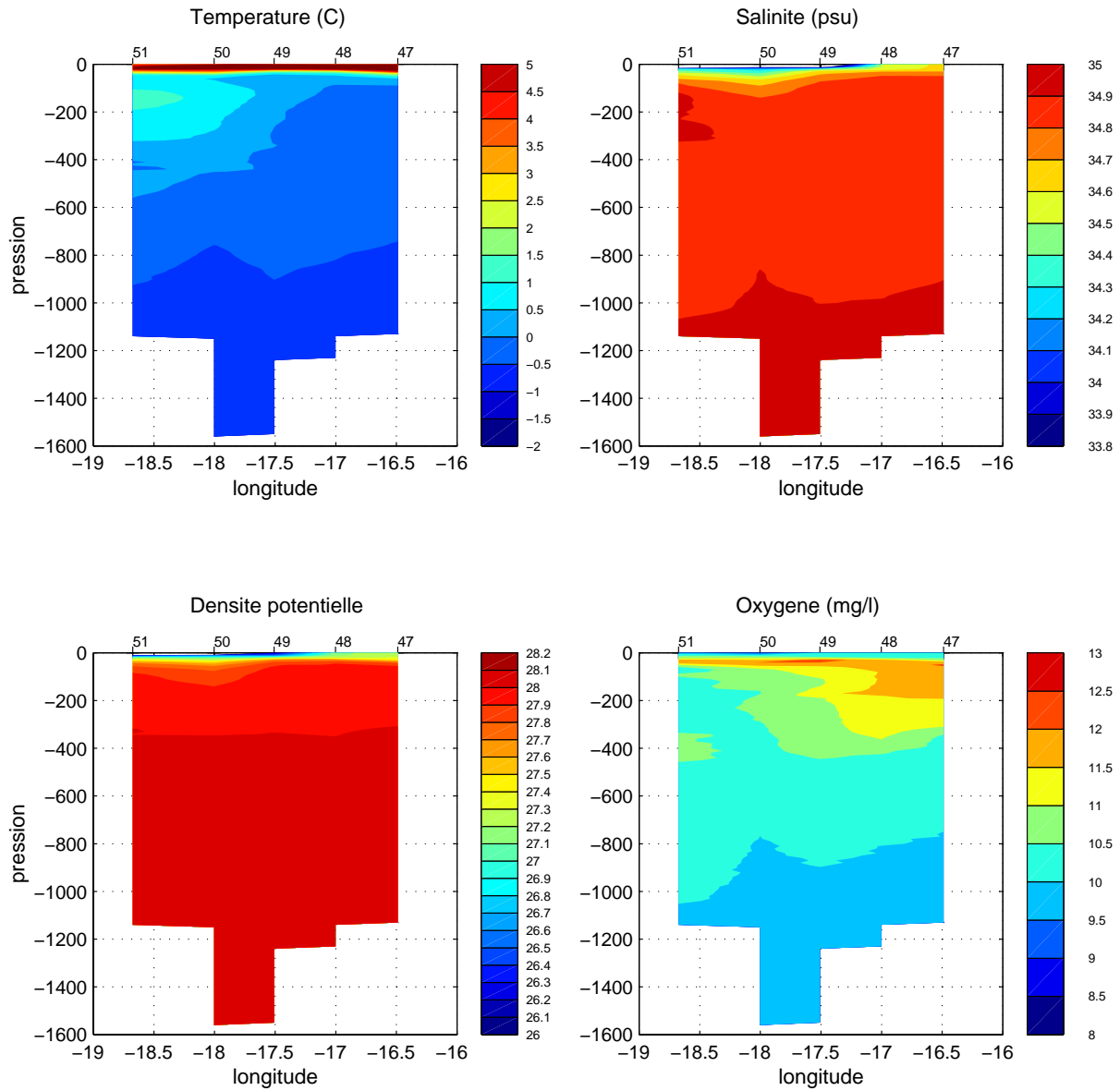




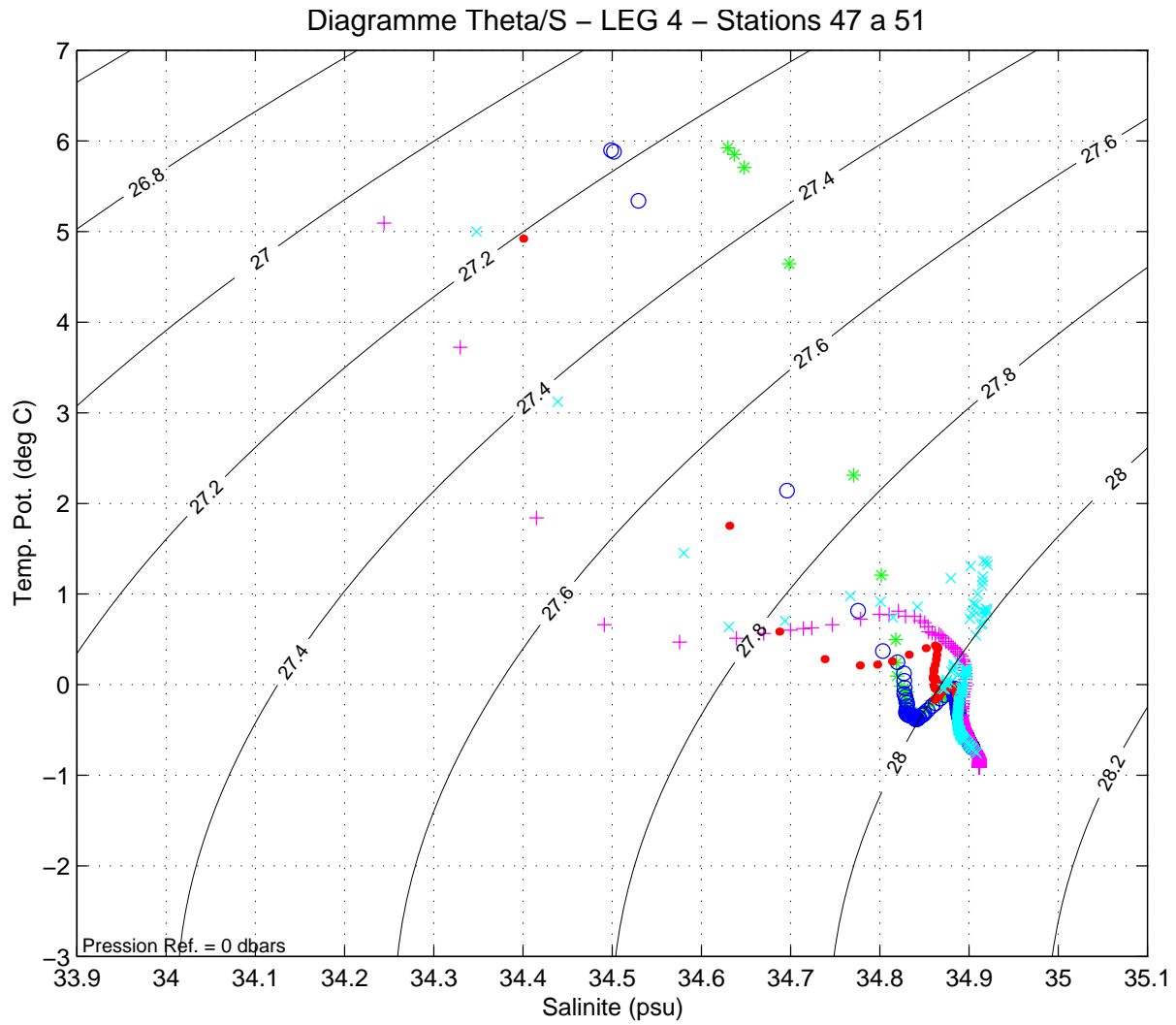
GINs 99, Section CTD 42-46

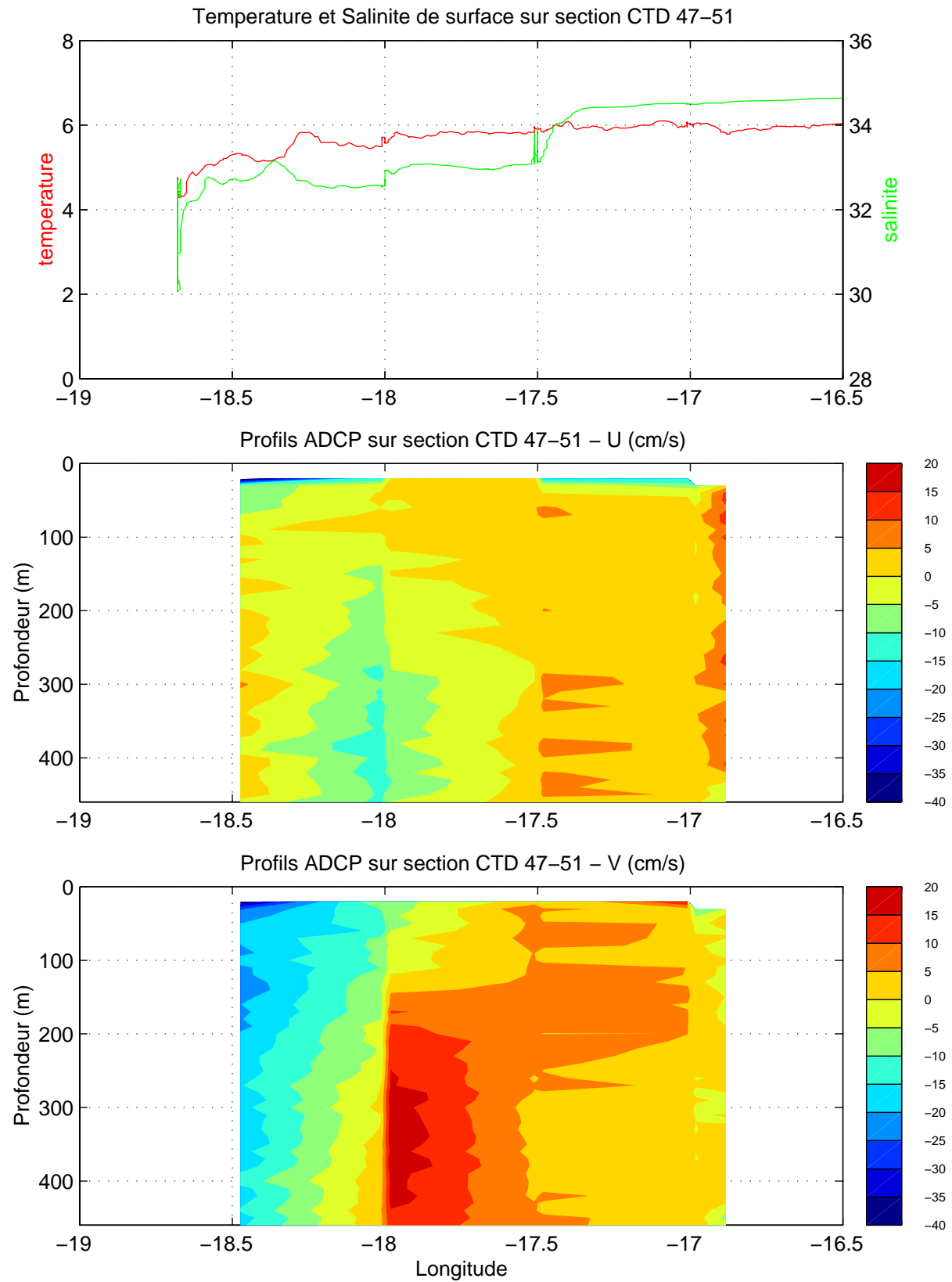
25 Aout 1999





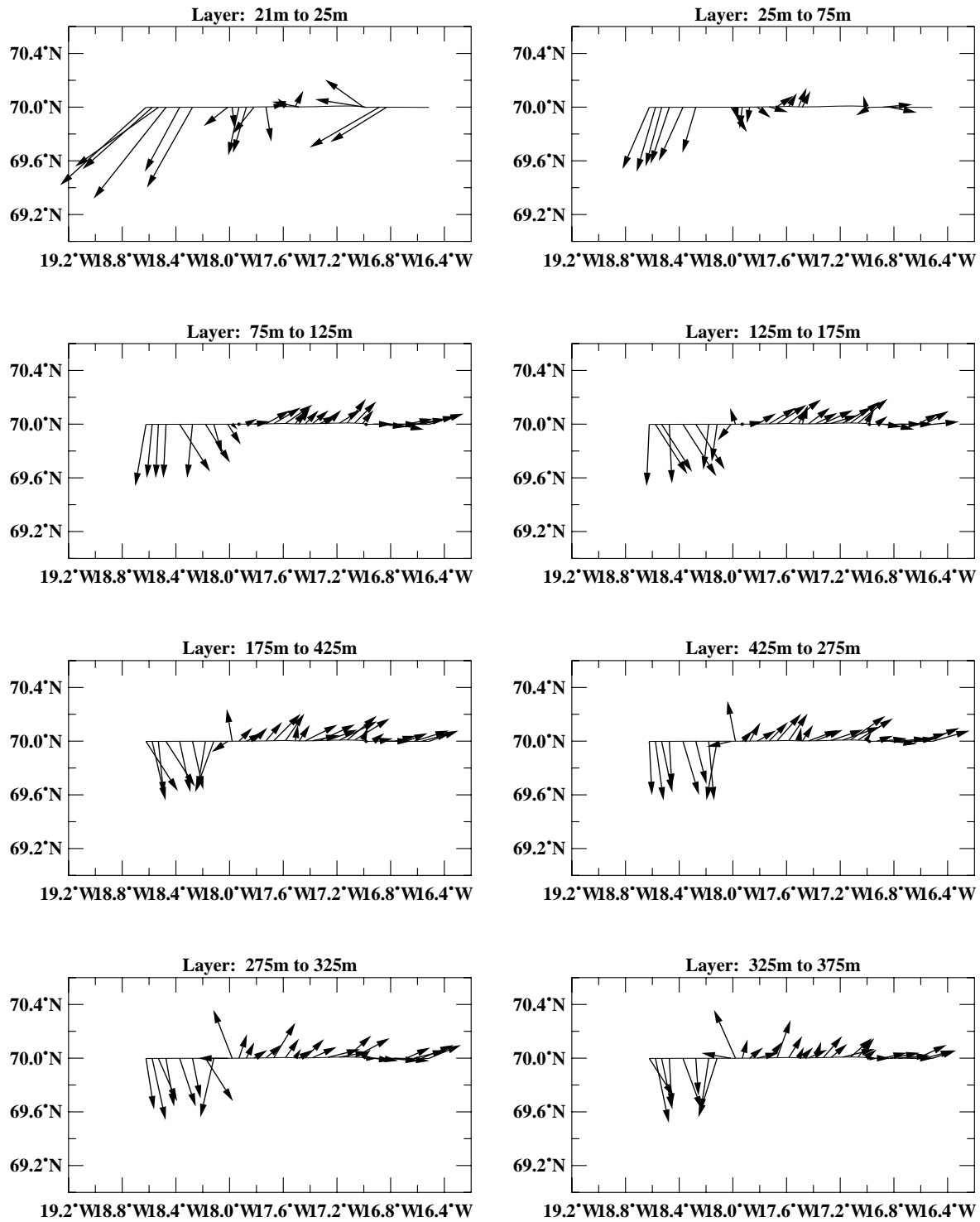
GINs – LEG4 – Stations 47,48,49,50,51



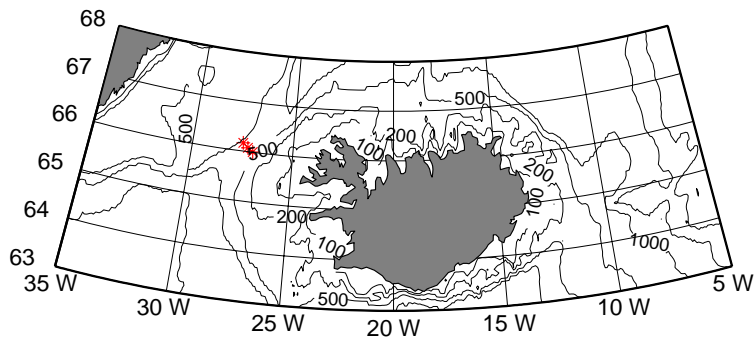
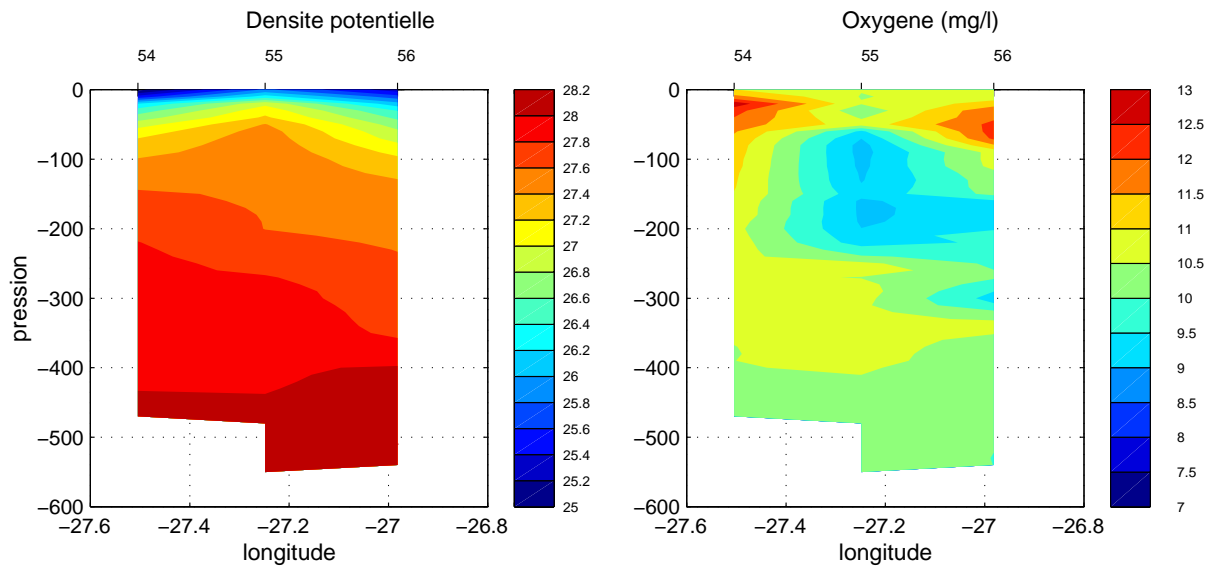
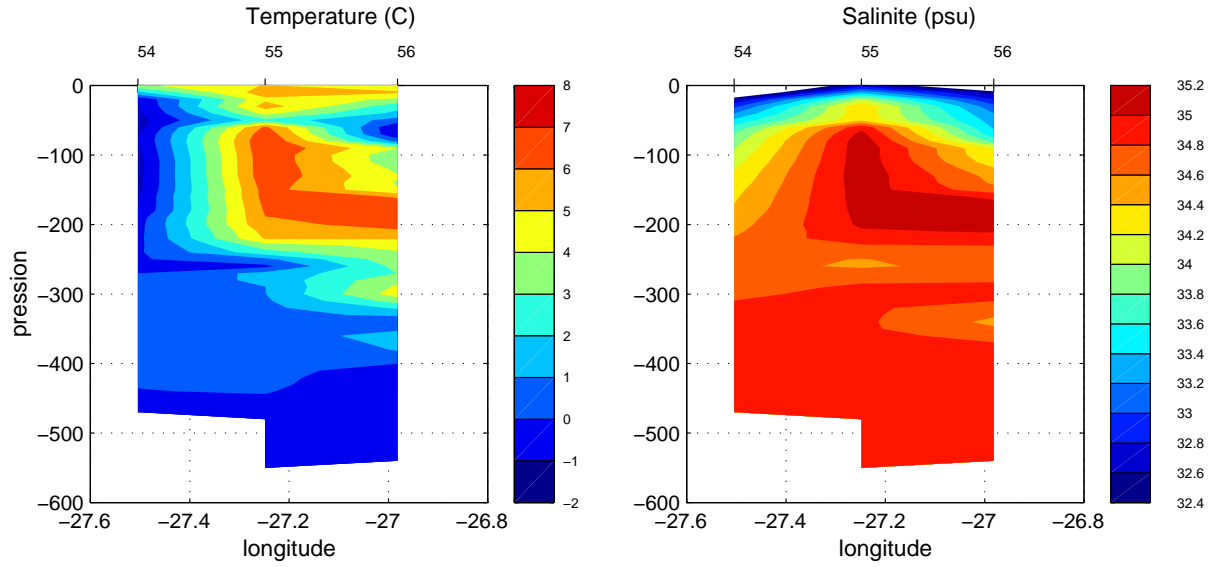


GINs 99, Section CTD 47-51

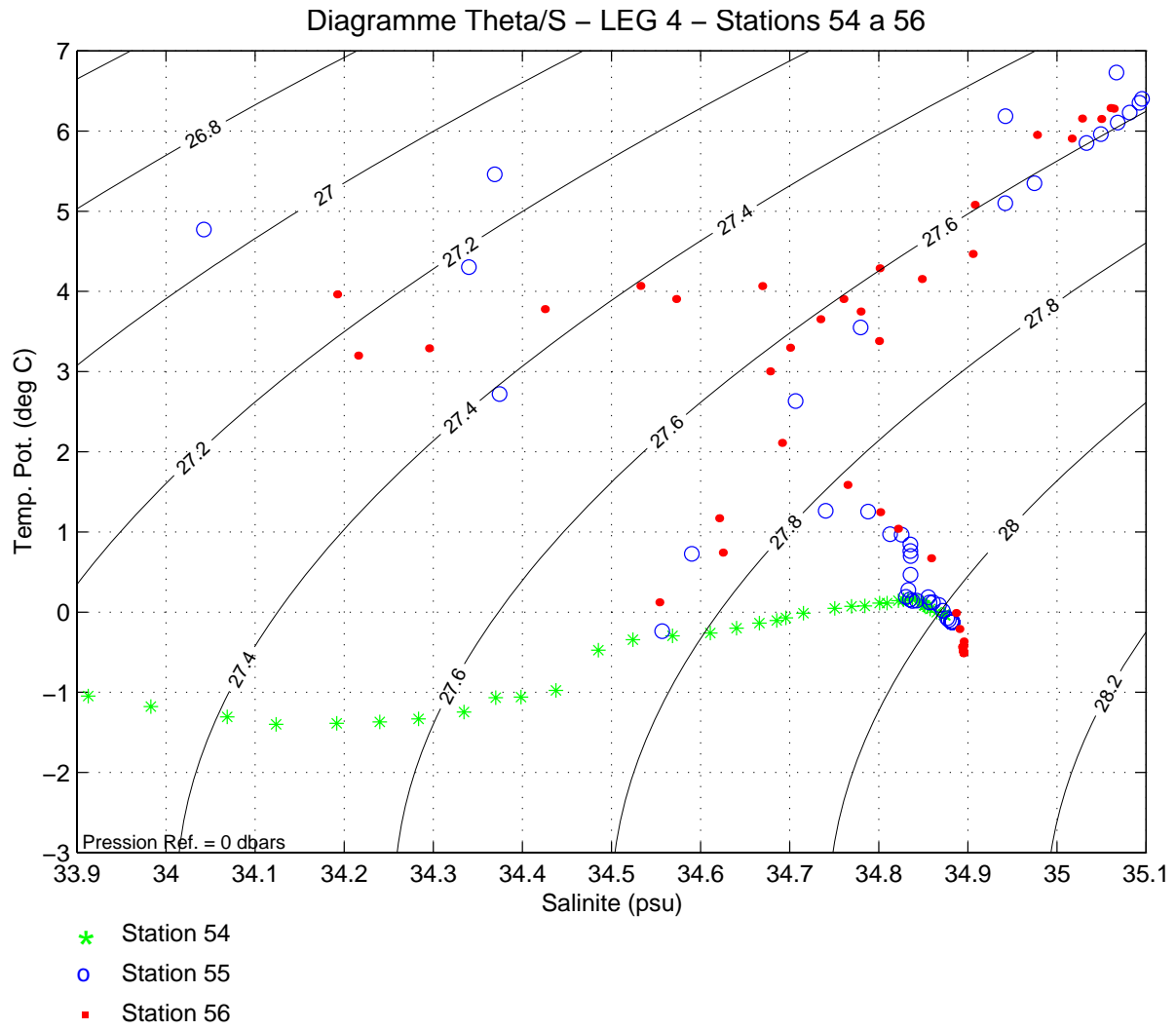
26-27 Aout 1999

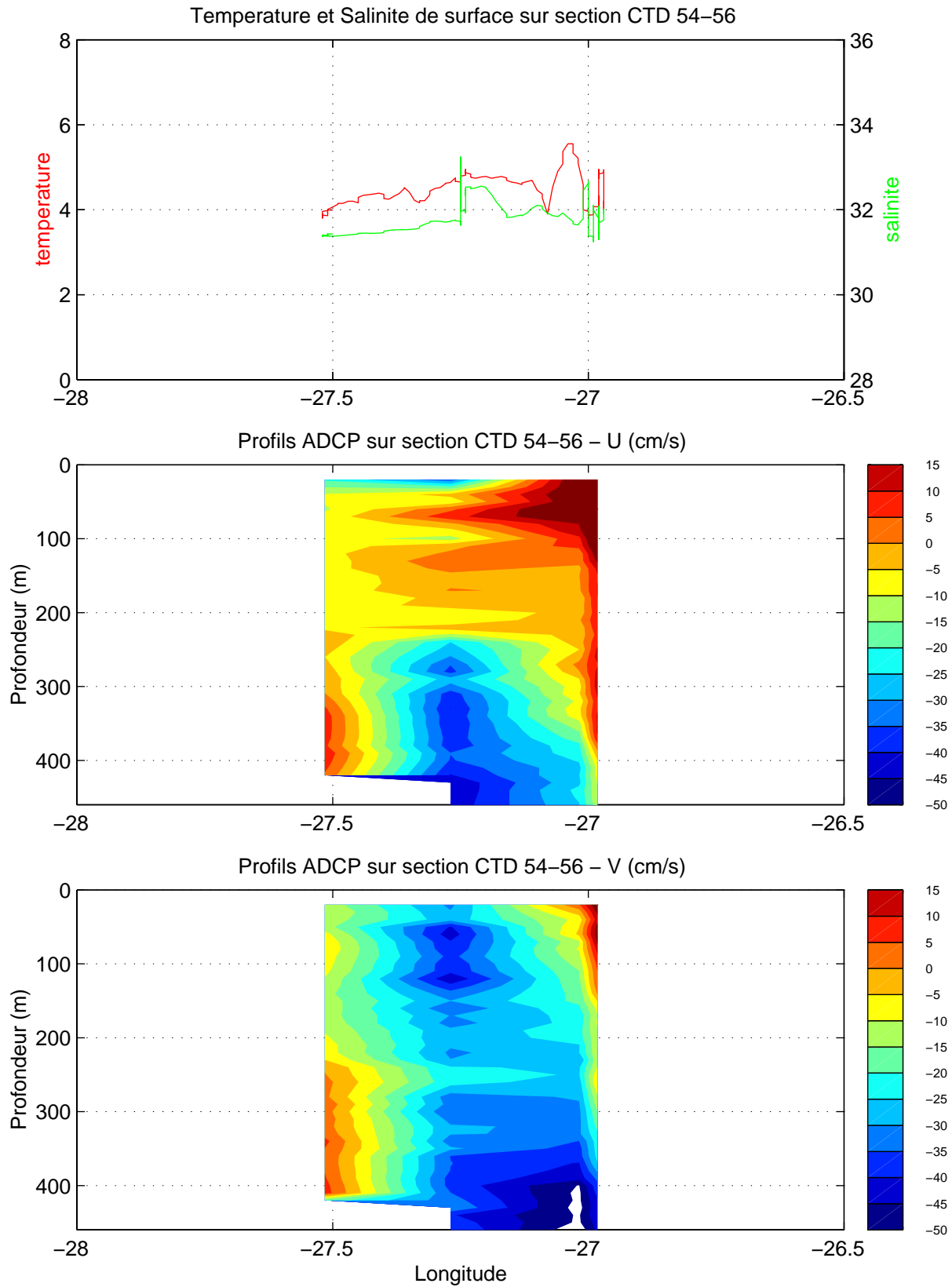


0 50
Speed (cm/s)



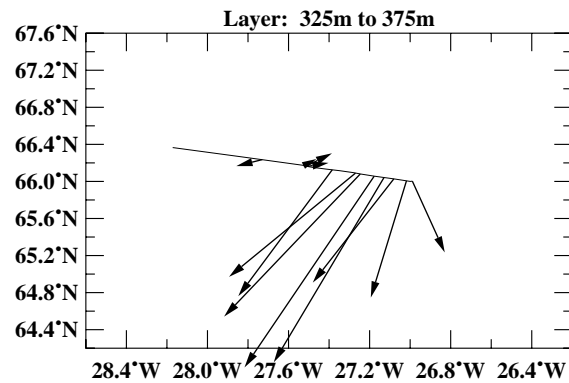
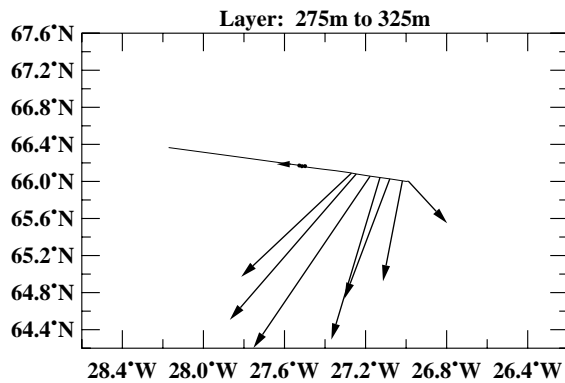
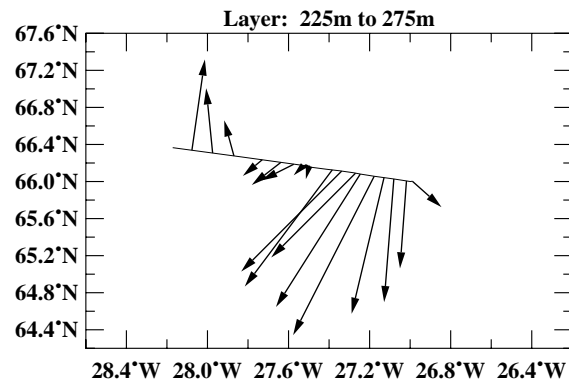
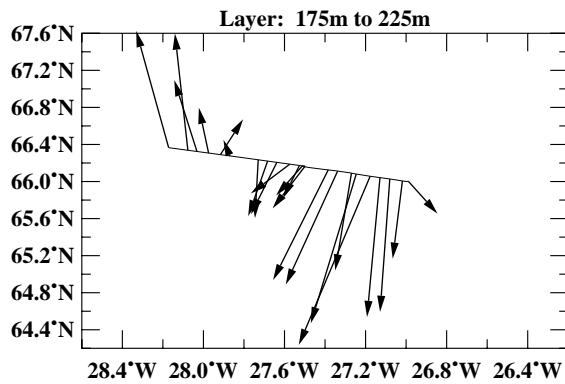
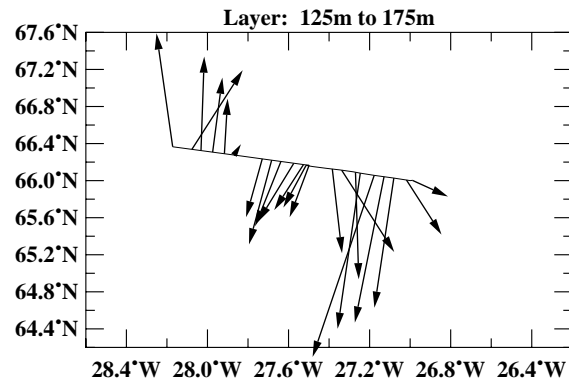
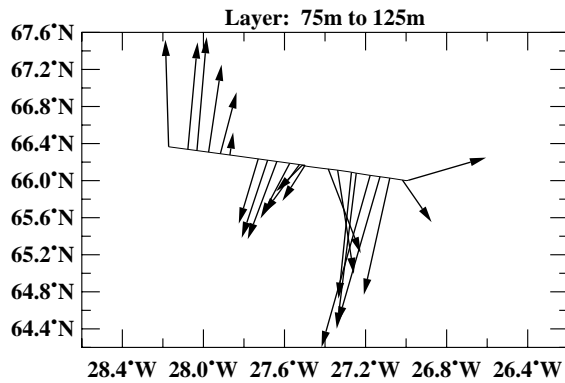
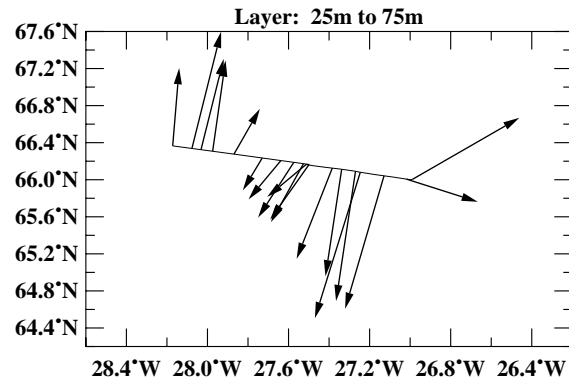
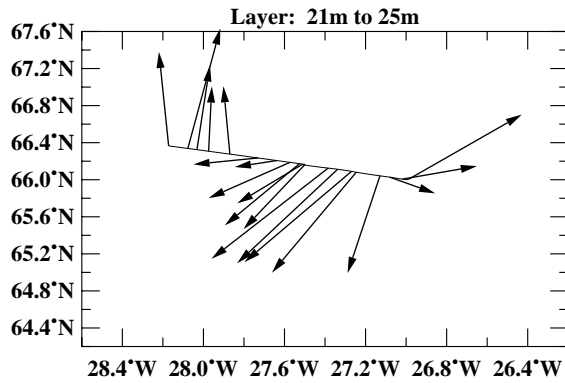
GINs – LEG4 – Stations 54,55,56





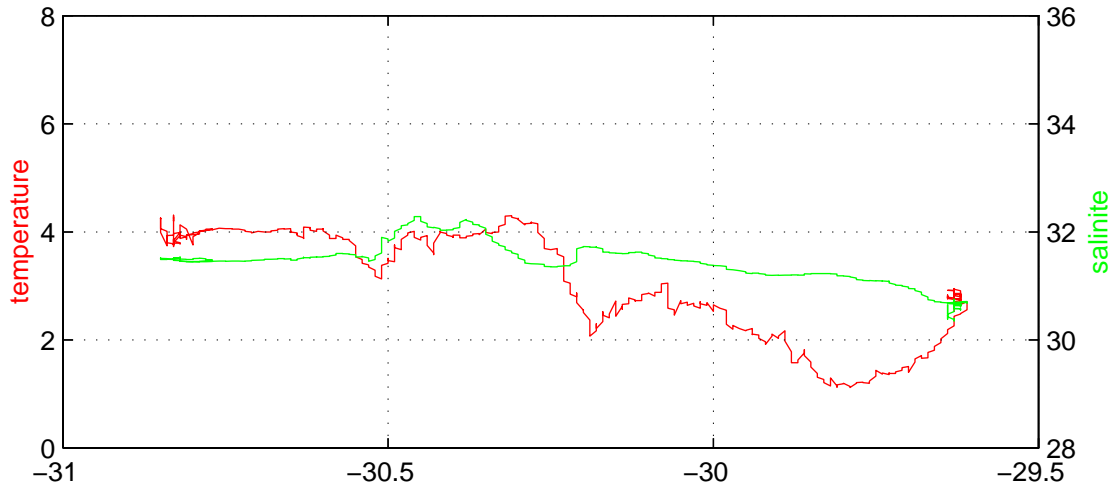
GINs 99, Section CTD 54-56

29 Aout 1999

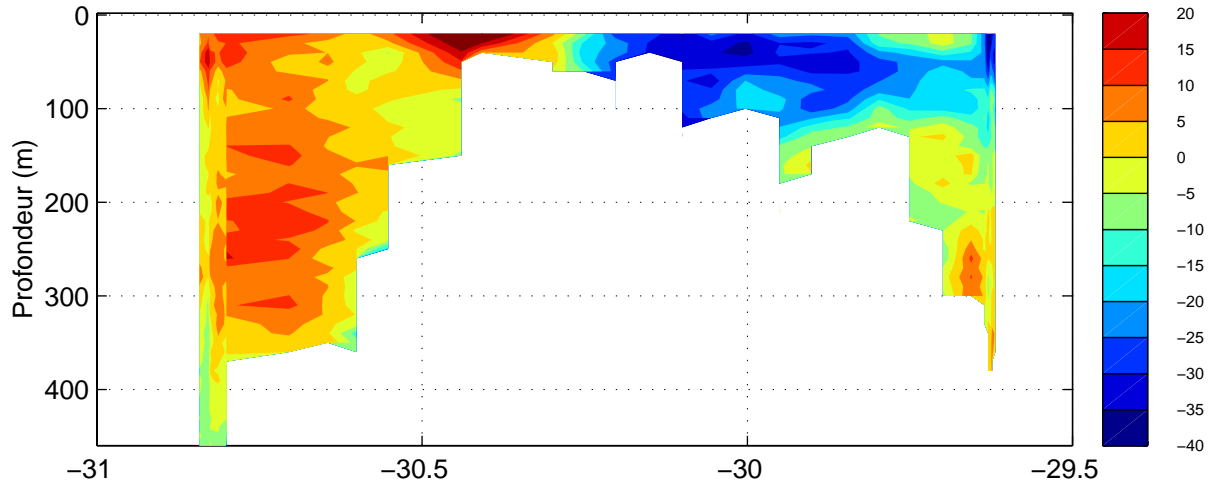


0 50
Speed (cm/s)

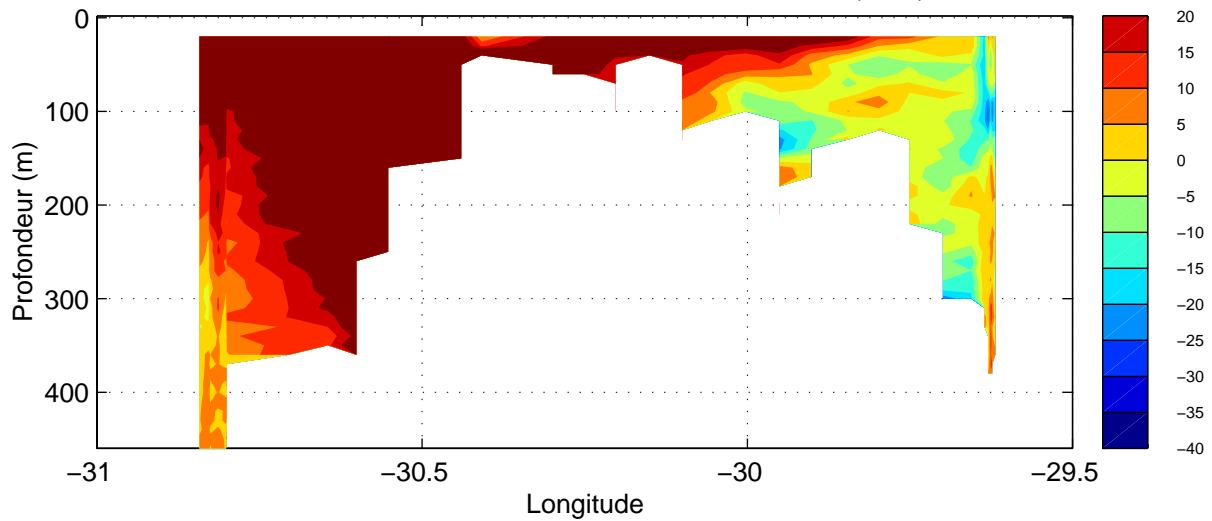
Temperature et Salinite de surface sur section CTD 53–Point Ouest

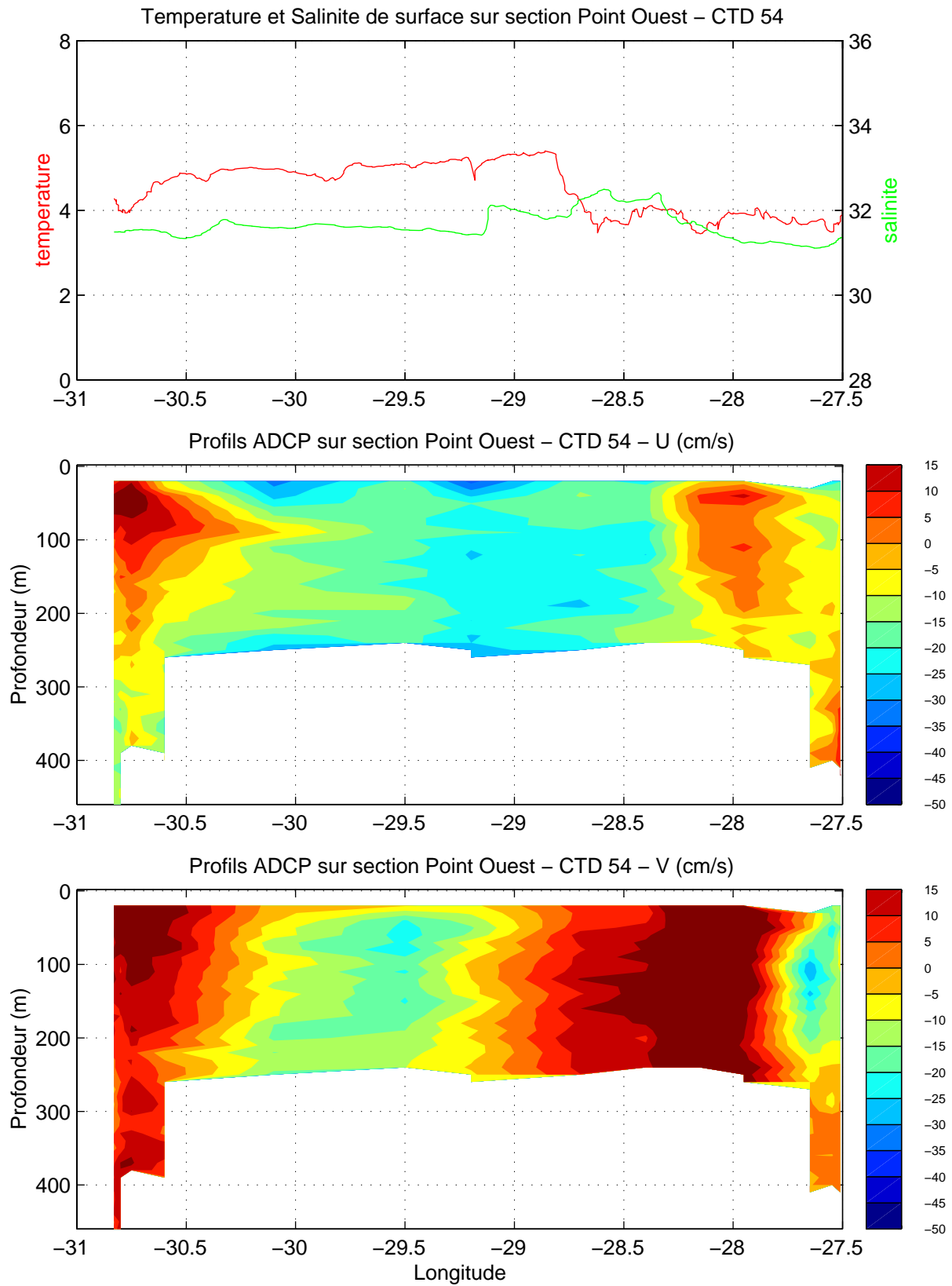


Profils ADCP sur section CTD 53–Point Ouest – U (cm/s)



Profils ADCP sur section CTD 53–Point Ouest – V (cm/s)





GINS 99, Stations 53 - 56

28-29 Aout 1999

