

2 août 2010  
MIT, Cambridge, USA

## Rapport de déploiement des flotteurs ARGO pendant les campagnes TRACK1 et TRACK2

Fabien Roquet

### Introduction

Le plateau de Kerguelen est un obstacle topographique majeur sur le trajet du Courant Circumpolaire Antarctique (CCA). Deux passages sont possibles au sud des îles Kerguelen, le passage du Fawn Trough (56°S, 2650 m) et le passage Princess Elizabeth Trough (64°S, 3650 m). Malgré de nombreuses évidences montrant que le Fawn Trough est un passage privilégié du CCA en travers du plateau, aucune mesure hydrologique et courantométrique de haute qualité n'y ont été entreprises auparavant. TRACK (Transport across the Kerguelen Plateau) se propose 1) de quantifier le transport du CCA traversant le passage de Fawn Trough, 2) de déterminer l'échange des masses d'eau circumpolaires entre les bassins de part et d'autre du plateau, 3) de tester la faisabilité du suivi de la variabilité du transport à l'aide de l'altimétrie par satellite et 4) d'identifier le changement climatique dans les masses d'eaux profondes antarctiques sur le flanc est du plateau des Kerguelen. TRACK est une contribution à l'Année Polaire Internationale.

Les opérations in situ de la campagne TRACK1 se sont déroulées en février-mars 2009 à bord du Marion Dufresne dans la région du Fawn Trough (chef de mission : Y.-H. Park). Les mesures des paramètres hydrologiques ont été effectuées le long des radiales comprenant au total 60 stations CTDO (« conductivity-temperature-depth-oxygen ») judicieusement choisies à travers les principales branches du courant de la région (Figure 1). Notons que la radiale passant dans le Fawn Trough (Sts. 60-58 : 15-26 : 51-50) est placée sur une trace au sol du satellite altimétrique JASON coupant perpendiculairement le seuil le plus étroit du Fawn Trough. La radiale la plus sud-est (Sts. 50-42) est une répétition d'une partie de la radiale WOCE I8S faite en 1994/95, qui permettra d'une part d'estimer une nouvelle fois le flux du courant profond du bord ouest (DWBC) provenant des côtes Antarctiques, et d'autre part d'étudier les changements climatiques de propriétés de l'eau de fond Antarctique (AABW). Des prélèvements d'eau ont été effectués une station sur deux afin d'analyser la salinité et l'oxygène dessous. Ces dernières analyses ont été utilisées pour la validation des sondes de conductivité et d'oxygène. Ces mesures hydrologiques ont été accompagnées de mesures directes de courant à l'aide des profileurs de courant à effet Doppler, ADCP. Trois lignes comprenant au total 9 courantomètres ont été mouillées dans le passage du Fawn Trough, près des stations 18, 19 et 24. Les variations du transport ainsi obtenues seront comparées à celles déduites de la pente altimétrique afin de tester la faisabilité du suivi du transport par l'altimétrie.

L'ensemble des mouillages a été récupéré lors de la campagne TRACK2 qui a eu lieu en janvier-février 2010 à bord du Marion Dufresne (chef de mission : F. Vivier). Des mesures hydrologiques et

courantométriques similaires à celles effectuées pendant TRACK1 ont été réalisées sur 56 stations réparties le long de trois radiales. Notons que la section traversant le Fawn Trough a été prolongée cette fois-ci jusqu'au pied des îles Kerguelen et la section sud-est coupant le DWBC en travers du flanc est de plateau sud a également été répétée.

## TRACK Cruises

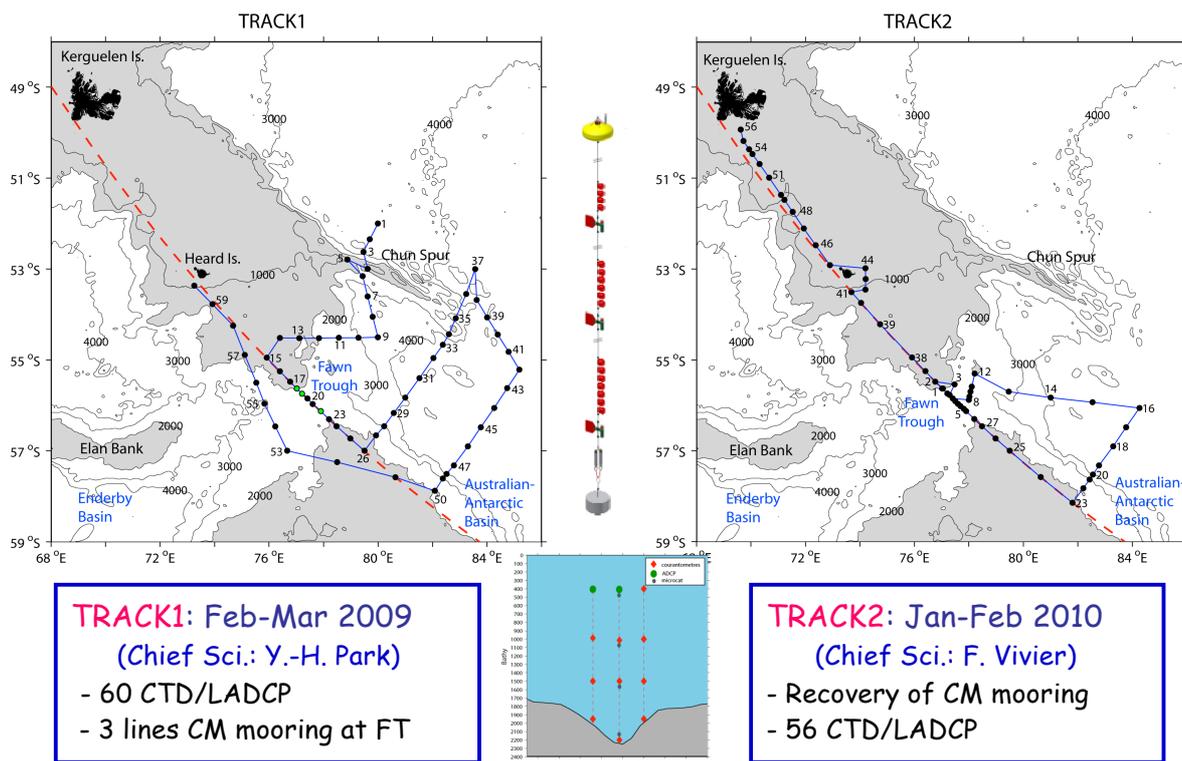


Figure 1. Plans des campagnes TRACK 1 et 2, indiquant les stations CTDO (points noirs) et les points de mouillage des courantomètres (points verts) au travers du Fawn Trough. Le schéma de mouillage des courantomètres et une trace au sol du satellite altimétrique JASON (ligne rouge pointillée) sont également présentés.

### Déploiement des flotteurs pendant les deux missions TRACK

Avec le soutien du GMMC, plusieurs flotteurs ARGO ont été déployés pendant les deux campagnes TRACK. Ces déploiements avaient pour objectif 1) de suivre les masses d'eaux provenant du Fawn Trough dans le bassin Australo-Antarctique à partir de la dérive lagrangienne des flotteurs, 2) d'obtenir des données hydrologiques près du Fawn Trough et dans le bassin Australo-Antarctique, afin de compléter efficacement l'échantillonnage réalisé pendant les stations CTD, 3) de fournir une base de validation récente pour les données de balises éléphants de mer qui seront déployés en 2009 et 2010 à Kerguelen.

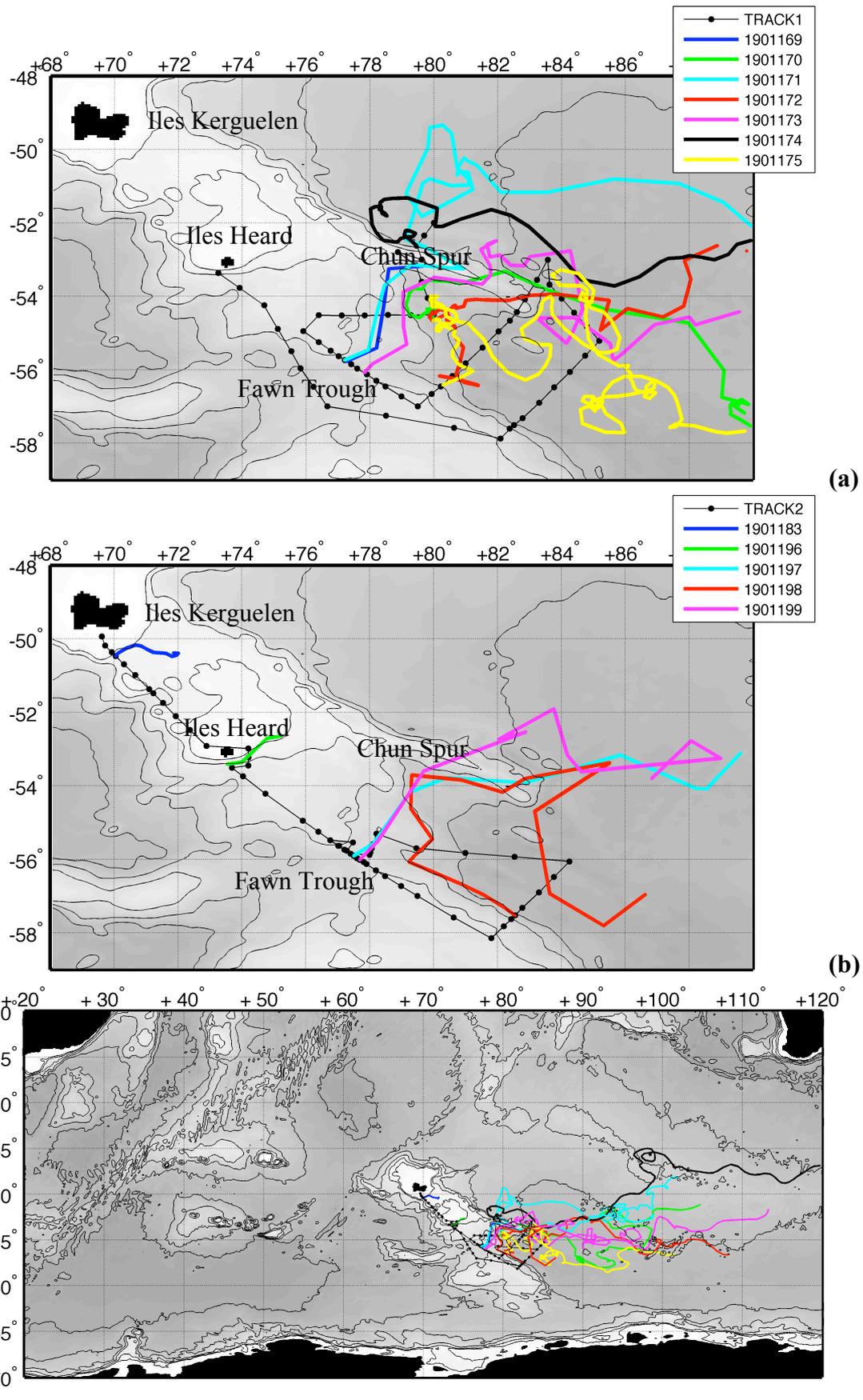


Figure 2 : Trajet des flotteurs ARGO déployés pendant (a) TRACK1, (b) TRACK2, (c) les deux campagnes à l'échelle du bassin indien sud. Les flotteurs échantillonnent principalement le secteur nord-ouest du bassin Australo-Antarctique.

Les sept flotteurs ARGO de TRACK1 ont été déployés près des stations 3, 9, 19, 22, 28 et 29 (voir Tab. 1 et Fig. 2a). La programmation de ces flotteurs est standard, exceptée pour la durée des cycles, qui a été réglée à 5 jours pour les flotteurs PROVOR (afin d'obtenir plus de profils et une meilleure localisation du trajet près du Fawn Trough), et à 2 jours pour les flotteurs ARVOR (déploiements tests). Le flotteur 1901169 s'est arrêté au bout de 4 cycles seulement. Tous les autres flotteurs TRACK1 sont à ce jour opérationnels.

Pendant TRACK2, cinq flotteurs PROVOR ont été déployés (Sts. 8, 22, 33, 42 et 55, voir Tab. 2 et Fig. 2b). Deux des cinq flotteurs (1901183 et 1901196) ont été déployés sur le plateau nord peu profond, au cœur de ses deux passages principaux situés juste au sud des îles Kerguelen et des îles Heard. Malheureusement, bien que des précautions aient été prises pour éviter au maximum que les flotteurs ne touchent le fond (profondeur de dérive 300m, profondeur maximale 500m), les deux balises se sont arrêtées d'émettre assez rapidement (resp. 13 et 4 cycles). Les trois autres flotteurs ont été programmés de manière standard, et déployés dans le Fawn Trough (1901197 et 1901199) et sur le flanc est du plateau sud (1901198).

Au 22 juin 2010, nous comptons 9 flotteurs fonctionnels et 939 profils T/S échantillonnés (Fig. 2c). Ces flotteurs se dirigent logiquement vers l'est, suivant le CCA dans la région des Fronts Polaire et Sub-Antarctique. Le flotteur qui a parcouru la plus grande distance (le flotteur ARVOR 1901174) se trouvait à 125°E au moment de ce rapport, dans le secteur de l'Australie, longeant le flanc nord de la dorsale Indienne sud-est (+2500 km parcourus en 16 mois).

Les données T/S brutes sont présentées sur la figure 3. Suite aux tests automatiques effectués à la réception des profils dans le centre CORIOLIS, un contrôle visuel préliminaire a été effectué, consistant en des comparaisons avec les profils CTD de TRACK proches. Aucun biais n'a pu être détecté lors de ce contrôle visuel, rendant peu probable la présence de biais dépassant  $\pm 0.01$  en salinité. Un travail plus poussé de validation de ces profils reste nécessaire à la production d'un jeu de données temps différé.

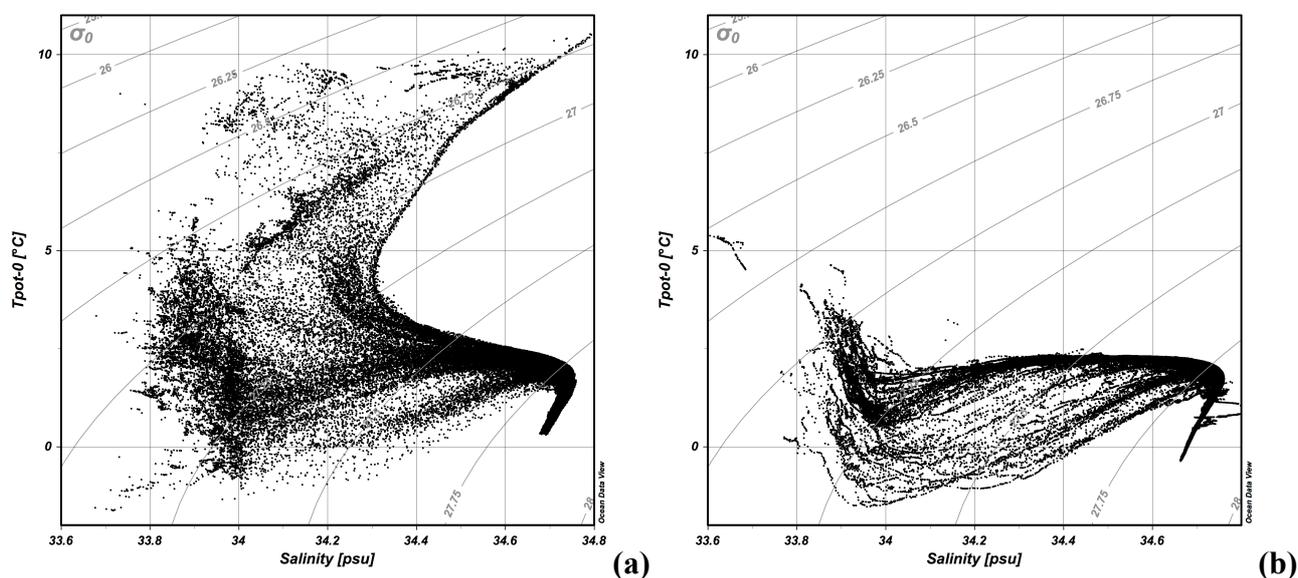


Figure 3 : Profil T/S des données (a) ARGO et (b) CTD des deux campagnes TRACK. Un contrôle visuel rapide par comparaison avec des profils historiques proches n'a donné aucune indication de biais dépassant 0.02 pss-78 en salinité dans les données ARGO. Une étude quantitative devra être menée à l'avenir pour confirmer l'absence de biais statistiquement significatif. Les données CTDO de TRACK2 sont actuellement en cours de validation. Les flotteurs ARGO ont permis d'échantillonner des masses d'eau notablement plus chaudes que pendant la campagne TRACK. Par contre, les flotteurs n'atteignent pas l'eau de fond Antarctique, significativement plus froide que 0°C.

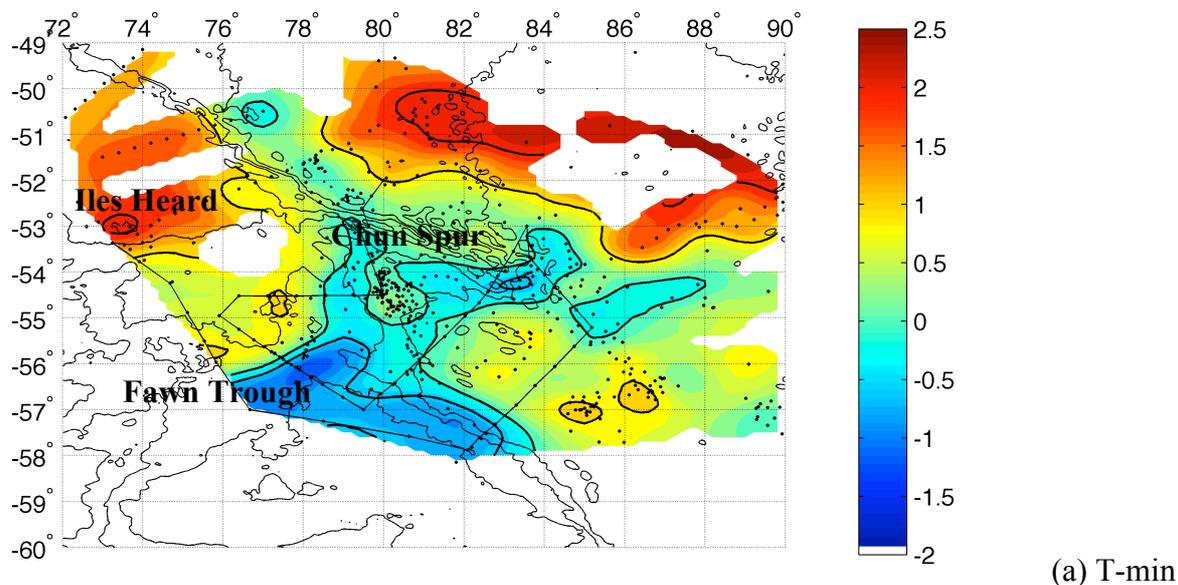
## **Analyse et valorisation scientifique des données ARGO de la campagne TRACK**

L'analyse des trajectoires des flotteurs ARGO nous apporte des indications intéressantes sur les différentes routes utilisées par les masses d'eau pour négocier le passage du plateau de Kerguelen (voir figure 2). En particulier, deux caractéristiques de la circulation régionale ont pu être clairement identifiées en suivant la dérive des flotteurs. Tout d'abord, l'effet de barrière du Chun Spur, cette montagne sous-marine allongée d'orientation NW-SE située à 150 km à l'est du col du Fawn Trough, est indiqué par la déviation vers le sud de plusieurs flotteurs (1901169, 1901170, 1901171, 1901173, 1901197 et 1901198). Le cas le plus spectaculaire est celui du flotteur 1901171 qui contourne le Chun Spur vers le sud, avant de remonter le long de son flanc est pour ensuite dériver vers le nord-est. D'autre part, 3 flotteurs sont restés plusieurs mois au centre du bassin semi fermé délimité par le Fawn Trough, le sud du plateau nord de Kerguelen et le Chun Spur (54.5°S, 80°E, ARGO n° 1901170, 1901172 et 1901175). Ces flotteurs se sont ensuite échappés en suivant une trajectoire cyclonique associée à la convergence d'eaux denses subpolaires transportées par le DWBC le long de l'isobathe 3000 m (voir la trajectoire du flotteur 1901198, qui rejoint le même chemin que les flotteurs 1901173 et 1901199 provenant du Fawn Trough). Pour une description plus détaillée de la circulation de cette région à partir des trajets des flotteurs, voir aussi Roquet (2009).

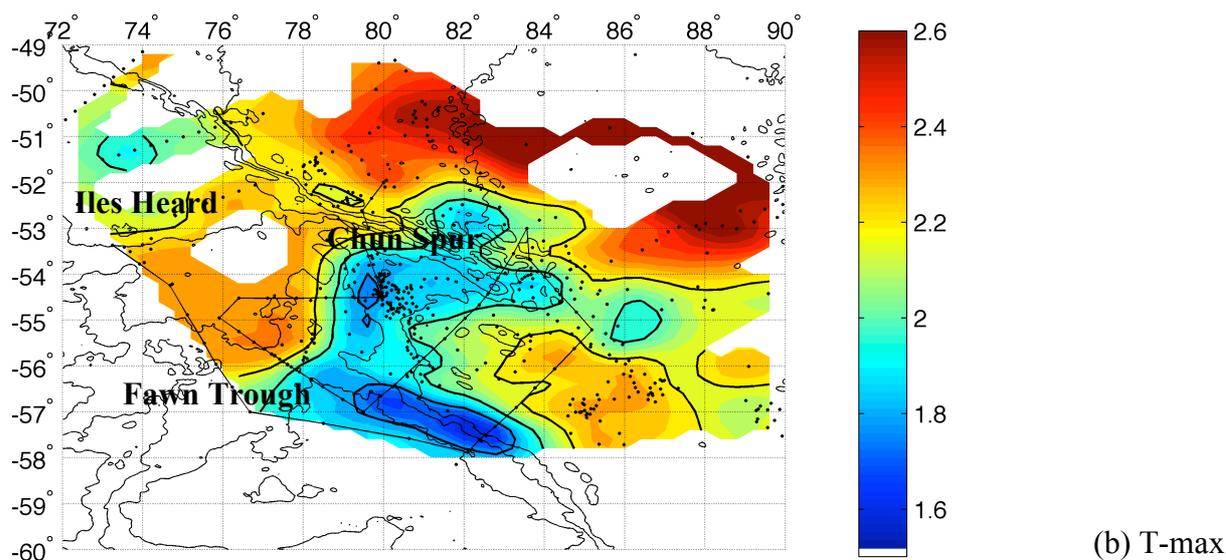
La structure fine de la circulation autour du Fawn Trough est confirmée par les cartes de propriétés hydrologiques présentées sur la figure 4. La figure 4a représente la température au cœur du minimum de température de subsurface (T-min, env. 100-m de profondeur) associé aux eaux froides formées en hiver et recouvertes d'une couche de surface plus chaude et moins profonde d'eaux estivales. La figure 4b représente la température au cœur de la couche de maximum de température (T-max) situées aux alentours de 400-m de profondeur. Ces deux cartes n'auraient pu être tracées sans les profils ARGO, qui complètent très efficacement la distribution spatiale des stations CTD réalisées pendant les campagnes TRACK. Les données CTD de la campagne KEOPS de 2005 ont aussi été incluses pour augmenter la couverture à la région du plateau nord de Kerguelen (voir Park et al., 2008).

Le courant du Fawn Trough est clairement identifié par la présence d'un gradient de température dans les deux cartes spatiales (T-min : 0°-0.5°C, T-max : 2°-2.2°C). L'effet bloquant du Chun Spur est aussi observé, avec toutefois une différence entre les deux cartes, montrant que le blocage est plus efficace en profondeur que près de la surface. Les masses d'eaux peu profondes (T-min) semblent pouvoir passer en partie par un col du nord du Chun Spur, tandis que la totalité des eaux plus profondes (T-max) est déviée vers le sud du Chun Spur. Ainsi, on retrouve logiquement des eaux froides remontant plus au nord le long du flanc est du plateau nord dans la couche T-min que dans la couche T-max. Des eaux froides sont clairement identifiées dans les deux cas sur le flanc est du plateau sud, marquant la trajectoire du DWBC. Ce courant froid entre en collision avec le courant du Fawn Trough, confirmant les observations de Roquet et al. (2009) faites à partir des données d'éléphants de mer. Ces eaux froides suivent une courbe cyclonique, contournant le Chun Spur, avant d'être injectée dans le bassin Australo-Antarctique en direction du sud-est, où la forte turbulence méso-échelle va les mélanger avec les eaux voisines plus chaudes, estompant progressivement les minima de température. Ainsi, la topographie complexe du plateau de Kerguelen favorise la convergence et le mélange de masses d'eaux d'origines très différentes, faisant du Fawn Trough une région stratégique pour la transformation des masses d'eau circumpolaires antarctique.

Les données de la campagne TRACK, notamment les données ARGO, ont été présentées à l'Ocean Science Meeting de février 2010 (Portland, OR, USA), sous la forme d'un poster (voir Fig. 5). Une description plus complète de ces données est aussi disponible dans la newsletter Mercator/Coriolis n°6 de mai 2010. Nous reproduisons d'autre part sur la figure 6 la page web « Float of the month – June 2009 » sur le site du JCOMMOPS (Joint Commission for Oceanography and Marine Meteorology – In Situ Observing Platform Support Centre, [wo.jcommops.org](http://wo.jcommops.org)), faisant référence à un des flotteurs ARVOR déployé pendant TRACK1.



(a) T-min



(b) T-max

Figure 4 : Cartes de température le long du (a) minimum de température de subsurface, et (b) maximum de température de subsurface, obtenues en combinant les profils CTD des campagnes TRACK1 et KEOPS avec les profils des flotteurs ARGO déployés pendant TRACK1. La structure spatiale fine de la circulation dans la région du Fawn Trough, notamment son lien étroit avec la bathymétrie complexe de la région, est révélée en détail grâce à la combinaison de ces différents jeux de données.

## Conclusion et perspectives

Le projet TRACK a d'ores et déjà atteint plusieurs de ses objectifs, en confirmant l'existence d'un passage majeur du CCA dans le passage du Fawn Trough en travers du plateau de Kerguelen. Le transport et la structure hydrologique de ce courant ont pu être mesurés directement pour la première fois lors des deux campagnes TRACK 1 et 2.

Grâce au déploiement de 12 flotteurs ARGO dans la région, des informations ont pu être obtenues sur la circulation à très fine échelle à l'est du Fawn Trough, et la base de données hydrologique a pu être complétée très efficacement, documentant ainsi une région qui était auparavant quasiment déserte de données *in situ*, malgré son importance stratégique pour l'étude du CCA. Bien que trois de ces flotteurs se soient malheureusement arrêtés assez rapidement, les 9 autres continuent à fonctionner normalement, et délivrent pour l'instant des données conformes aux standards de qualité ARGO.

Les trois lignes de mouillages ont été récupérées avec succès lors de la campagne TRACK2, et ces données sont en cours d'étude afin d'estimer la variabilité du transport du courant du Fawn Trough. Ce travail se fait dans le cadre de la thèse d'Hela Sekma (direction : Y.-H. Park). Les données CTD et ARGO combinées aux données altimétriques et aux modèles de circulation générale devraient permettre d'améliorer sensiblement notre compréhension de la circulation fine dans la région du plateau de Kerguelen, et ainsi de mieux identifier son importance à l'échelle de la circulation globale du CCA.

## Remerciements

Les campagnes TRACK ont bénéficié du soutien logistique de l'IPEV et du soutien financier du CNES et de l'INSU/CNRS. Nous remercions le DITM-LOCEAN et la DT-INSU, notamment Catherine Rouault, Hervé Le Goff et Fabien Perault, pour la préparation des instruments de mesure pour les mouillages et les mesures hydrographiques, ainsi que l'aide au déploiement des flotteurs ARGO.

## Liste de publications

- Park, Y.-H., F. Roquet, I. Durand and J.-L. Fuda (2008), Large scale circulation over and around the northern Kerguelen Plateau. *Deep-Sea Research II*, 55, 566-581.
- Park, Y.-H., F. Vivier, F. Roquet, and E. Kestenare (2009), Direct observations of the ACC transport across the Kerguelen Plateau, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L18603, doi:10.1029/2009GL039617.
- Roquet, F., Y.-H. Park, C. Guinet, F. Bailleul, and J.-B. Charrassin (2009), Observations of the Fawn Trough Current over the Kerguelen Plateau from instrumented elephant seals. *J. Mar. Sys.*, doi:10.1016/j.jmarsys.2008.11.017.
- Roquet, F. (2009b), La circulation autour du plateau de Kerguelen: de l'observation à la modélisation. PhD thesis, UPMC.
- Roquet, F., Y.-H. Park, F. Vivier, and H. Sekma (2010), The Fawn Trough: a major pathway for the Antarctic Circumpolar Current across the Kerguelen Plateau, Coriolis-Mercator newsletter n°6.

WMO	TYPE	PER. CYC.	PARKING DEPTH	MAX. DEPTH	PROF. NUMBER au 22/06/2010	STATUS
1901169	PROVOR	5	1000m	2000m	5	STOPPED on 14/03/2009
1901170	PROVOR	5	1000m	2000m	98	ACTIVE
1901171	PROVOR	5	1000m	2000m	96	ACTIVE
1901172	PROVOR	5	1000m	2000m	96	ACTIVE
1901173	PROVOR	5	1000m	2000m	96	ACTIVE
1901174	ARVOR	2	1000m	2000m	242	ACTIVE
1901175	ARVOR	2	1000m	2000m	235	ACTIVE

WMO	DEP. TIME TU	DEP. LAT.	DEP. LON.	DEP. DEPTH	TRACK STA.
1901169	24/02/09 12:00	-55.77°	77.28°	2500m	18
1901170	22/02/09 10:22	-54.50°	79.97°	3580m	9
1901171	23/02/09 22:30	-55.74°	77.20°	2300m	19
1901172	26/02/09 07 :55	-56.17°	80.17°	3515m	29
1901173	25/02/09 09 :19	-56.08°	77.82°	2200m	22
1901174	21/02/09 01 :12	-52.62°	79.47°	3150m	3
1901175	26/02/09 03 :30	-56.45°	80.25°	3100m	28

Tableau 1. Tableau d'information sur les déploiements des 7 flotteurs ARGO pendant TRACK1.

WMO	TYPE	PER. CYC.	PARKING DEPTH	MAX. DEPTH	PROF. NUMBER au 22/06/2010	STATUS
1901183	PROVOR	5	300m	1000m	13	STOPPED on 11/03/2010
1901196	PROVOR	5	300m	1000m	4	STOPPED on 23/01/2010
1901197	PROVOR	10	1000m	2000m	18	ACTIVE
1901198	PROVOR	10	1000m	2000m	18	ACTIVE
1901199	PROVOR	10	1000m	2000m	18	ACTIVE

WMO	DEP. TIME TU	DEP. LAT.	DEP. LON.	DEP. DEPTH	TRACK2 STA.
1901183	12/01/10 10:48	-50.47°	70.05°	670m	55
1901196	10/01/10 11:41	-53.41°	73.55°	1080m	42
1901197	03/01/10 23:32	-55.91°	77.50°	2710m	8
1901198	07/01/10 01:23	-57.52°	82.56°	3830m	22
1901199	08/01/10 15:40	-56.02°	77.69°	2330m	33

Tableau 2. Tableau d'information sur les déploiements des 5 flotteurs ARGO pendant TRACK2.

# The Antarctic Circumpolar Current across the Kerguelen Plateau

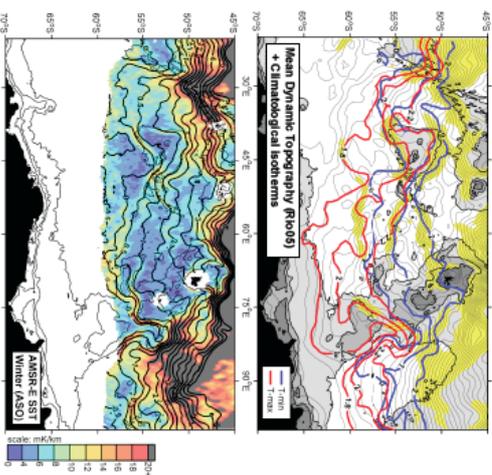
Fabien Roquet<sup>1,2</sup>, Young-Hyang Park<sup>1</sup> and Frédéric Vivier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LOCEAN, IPSL, Paris, France

<sup>2</sup> now at EAPS, MIT, Cambridge, USA (contact: roquet@mit.edu)

The Kerguelen Plateau is a major barrier to the Antarctic Circumpolar Current (ACC) in the Indian sector of the Southern Ocean.

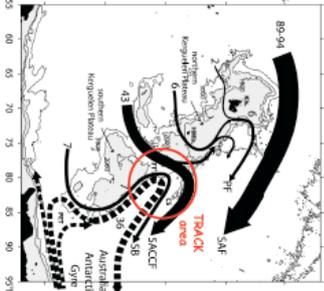
The Fawn Trough is a deep passage across the Kerguelen Plateau (2650 m) where a major pathway for the Antarctic Circumpolar Current (ACC) has been recently evidenced (Roquet et al., 2009, see below).



Here we present the first direct observations of the Fawn Trough area obtained from the TRACK cruise, confirming the presence of a major ACC branch, related to the Southern ACC Front (see Park et al., 2009).

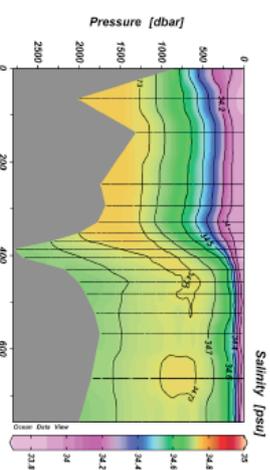
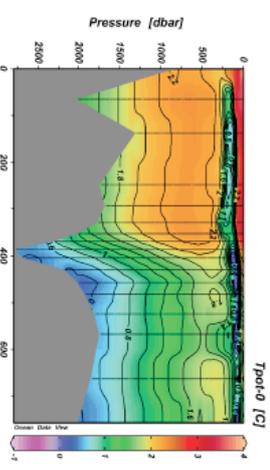
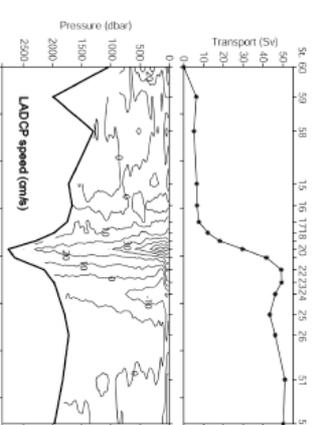
Current-meter observations indicate that 40% (58 Sv) of the regional ACC transport (~150 Sv) passes south of the Kerguelen Islands.

75% of this flow is tightly channelled into the Fawn Trough (43 Sv).



**Fawn Trough section**  
See the upper-right panel for the section track.

Jet-like structure (50 km wide)  
Mostly concentrated where the sill depth is >2000m  
Strongly baroclinic, with speed >70 cm/s at surface  
Yet, large speed at bottom: 15 cm/s  
Total transport: 43 Sv.

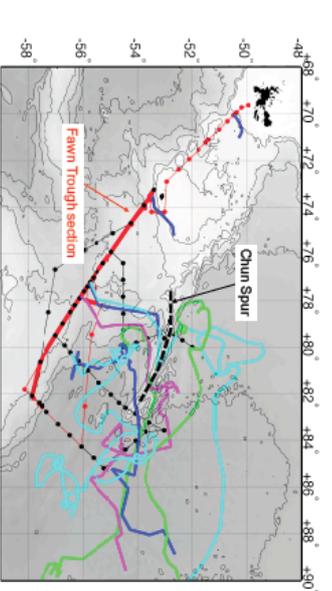


**Cruise map of TRACK (Transport Across Kerguelen)**

Leg 1: feb-mar 2009, black dots.

Leg 2: jan-feb 2010, red dots.

Track of 9 ARGO floats deployed during TRACK are overlaid.



**Horizontal properties**

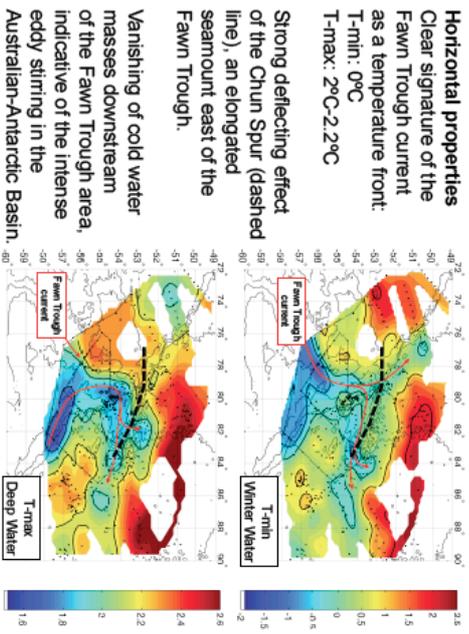
Clear signature of the Fawn Trough current as a temperature front:

T-min: 0°C

T-max: 2°C-2.2°C

Strong deflecting effect of the Chun Spur (dashed line), an elongated seamount east of the Fawn Trough.

Vanishing of cold water masses downstream of the Fawn Trough area, indicative of the intense eddy stirring in the Australian-Antarctic Basin.



**Conclusion**

The TRACK cruise filled an important observational gap in:

- documenting the regional hydrography
- providing the first transport estimate of the ACC across Kerguelen ACC variability currently analyzed using data from 3 mooring-lines.

Figure 5 : Poster présenté lors de l'Ocean Science Meeting, 2010 (Portland, OR, USA). Présentation des résultats préliminaires de la campagne TRACK

# Float of the month

July 2009

## Newly designed ARVOR float sending data

Sylvie Pouliquen [sylvie.pouliquen@ifremer.fr]

The Argo float of the month for July 2009 is a new, fully Argo compatible, profiling float called ARVOR which is designed to acquire salinity and temperature profiles using the “SEA-BIRD” CTD metrology. The design has been done by Ifremer, the French institute for sea research, using their important knowledge in float activities and well qualified subassemblies. NKE is the company which is manufacturing PROVOR and has achieved the industrial design of ARVOR. Two of the first ten Arvor floats have been deployed last February south east of Kerguelen Islands. They are cycling every two days in order to assess their performance. Presently they are working according to specifications. See below the trajectory and the temperature and salinity time series.

The float followed a cyclonic trajectory during its first two months, following the shallow and elongated Chun Spur (~1000 m deep) northward along a deep boundary current before retroflecting southward. The presence of subsurface temperatures lower than 0°C indicates that this region is filled with water masses coming from the Fawn Trough, consistent with our current knowledge of the regional circulation. Then the float reached the Polar Front and followed it eastward throughout the Australian-Antarctic Basin during the two subsequent months.

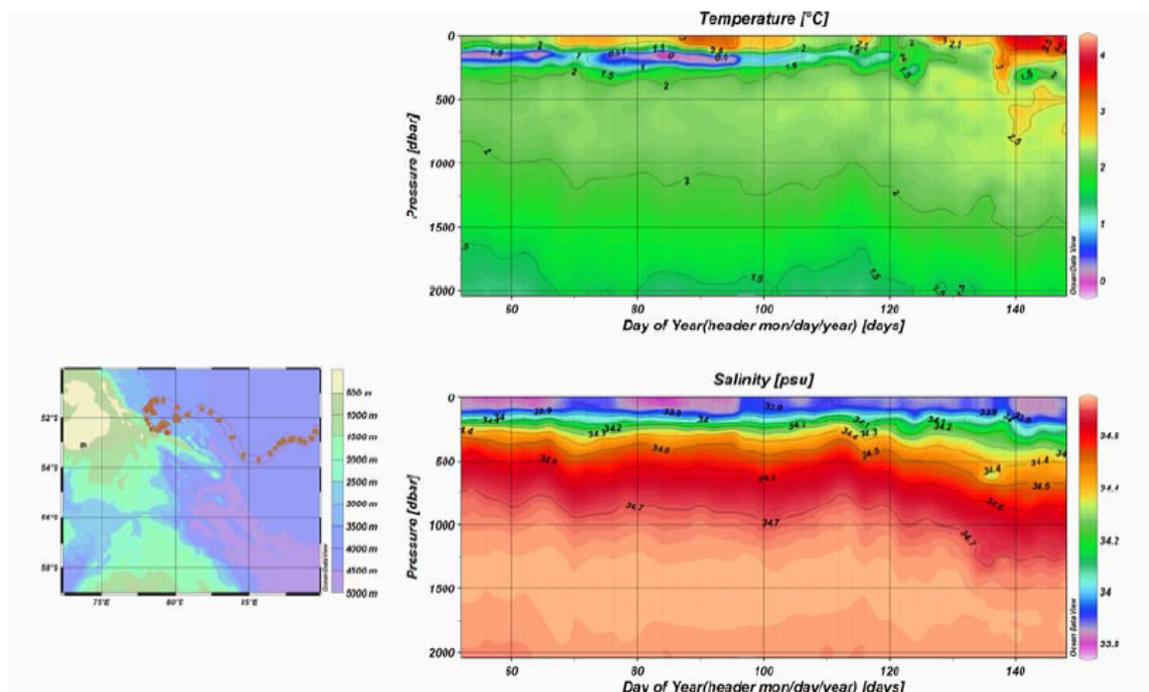


Figure 6 : Reproduction de la page web « Float of the month – June 2009 » sur le site du JCOMMOPS (Joint Commission for Oceanography and Marine Meteorology – In Situ Observing Platform Support Centre, [wo.jcommops.org](http://wo.jcommops.org)), faisant référence à un des flotteurs ARVOR déployé pendant TRACK1.