

Comment ne pas perdre le Nord au voisinage du Pôle Sud magnétique ?

Le programme ALBION en Terre Adélie (*Adélie Land Bottom water formation and Ice Ocean interactionNs*)

*H. Le Goff¹, M.N. Houssais¹, E. Sultan¹, D. Dausse¹, M. Beauverger¹, M. Weber¹, A. Lourenço¹
M. Sherlock²*

(1) *LOCEAN Paris / France*



(2) *CSIRO Hobart / Australie*



Objectifs scientifiques

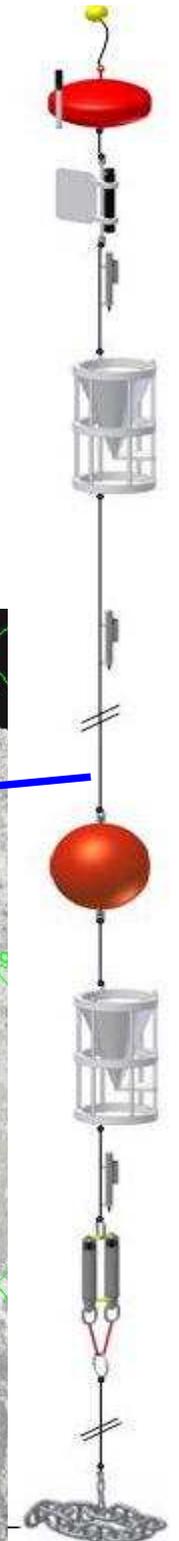
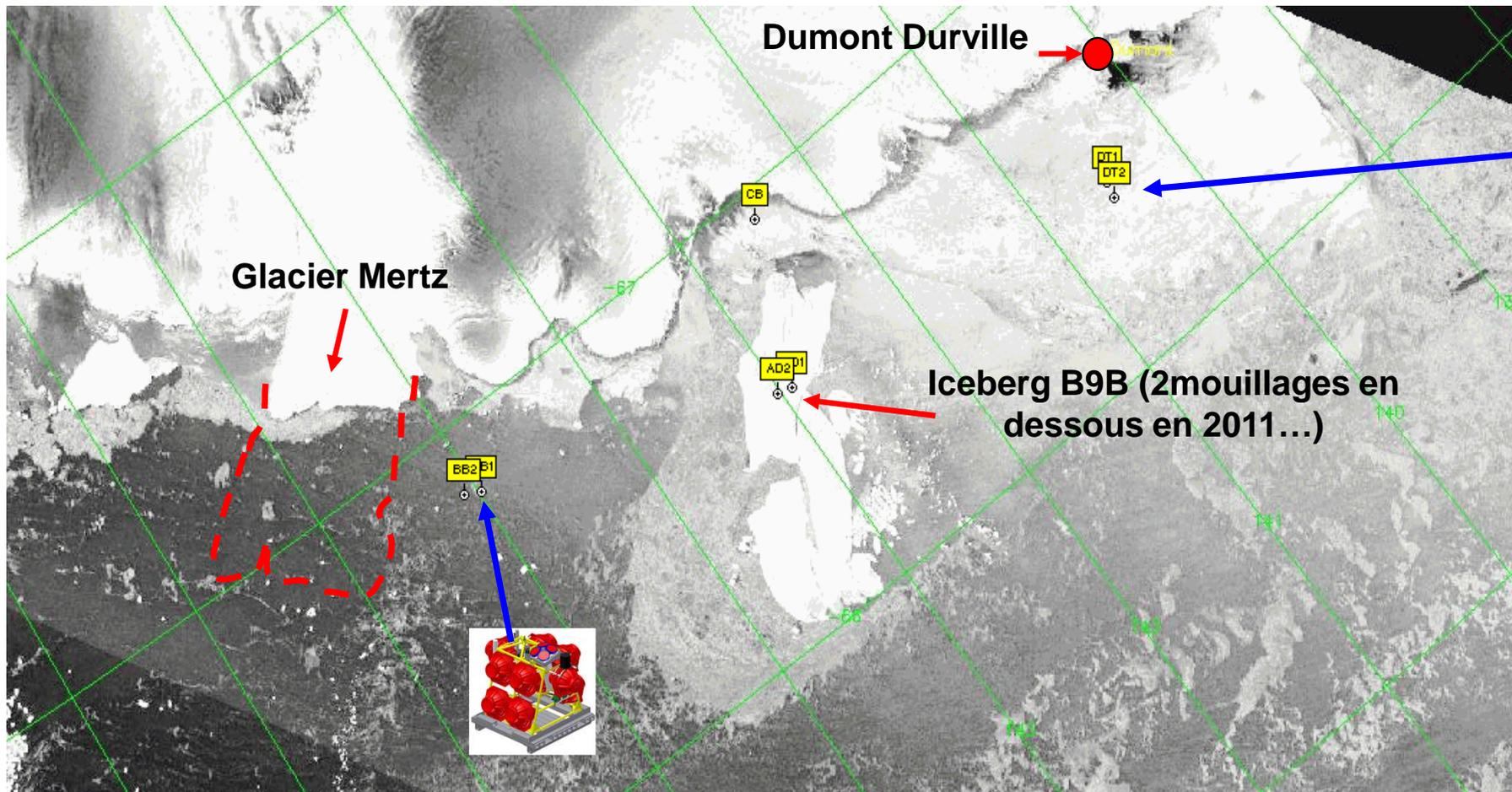
Le programme ALBION (*resp. M.N. Houssais*) étudie la formation de l'eau profonde en Terre Adélie, l'une des sources majeures de l'eau Antarctique de Fond. La zone d'étude s'étend entre le glacier Mertz et la station Dumont Durville.

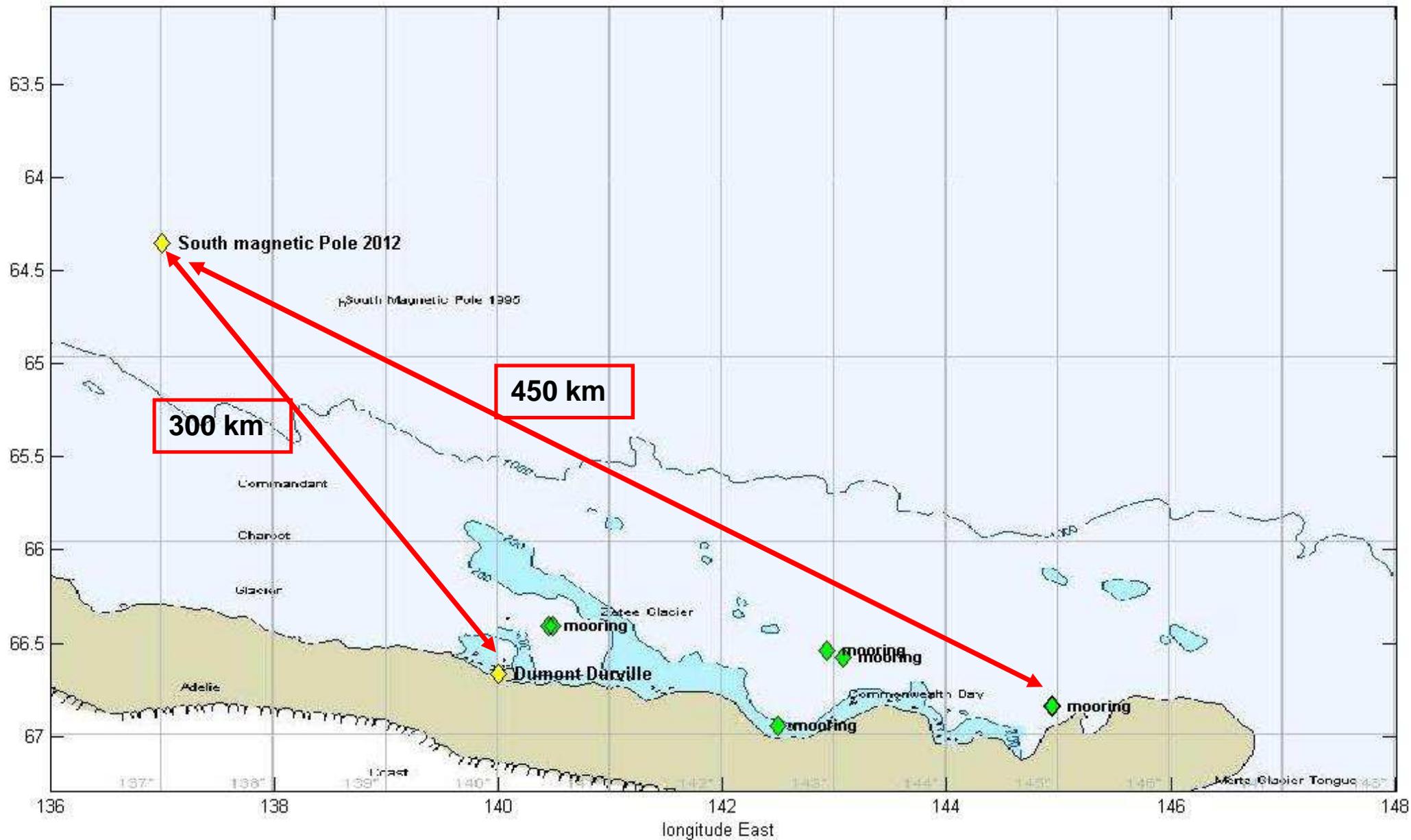
Moyens expérimentaux

- réseau hydrologique (CTD/rosette/O₂/Fluo/LADCP)
- Mouillages instrumentés (courantomètres et ADCP, capteurs CTD et O₂, pièges à sédiments).

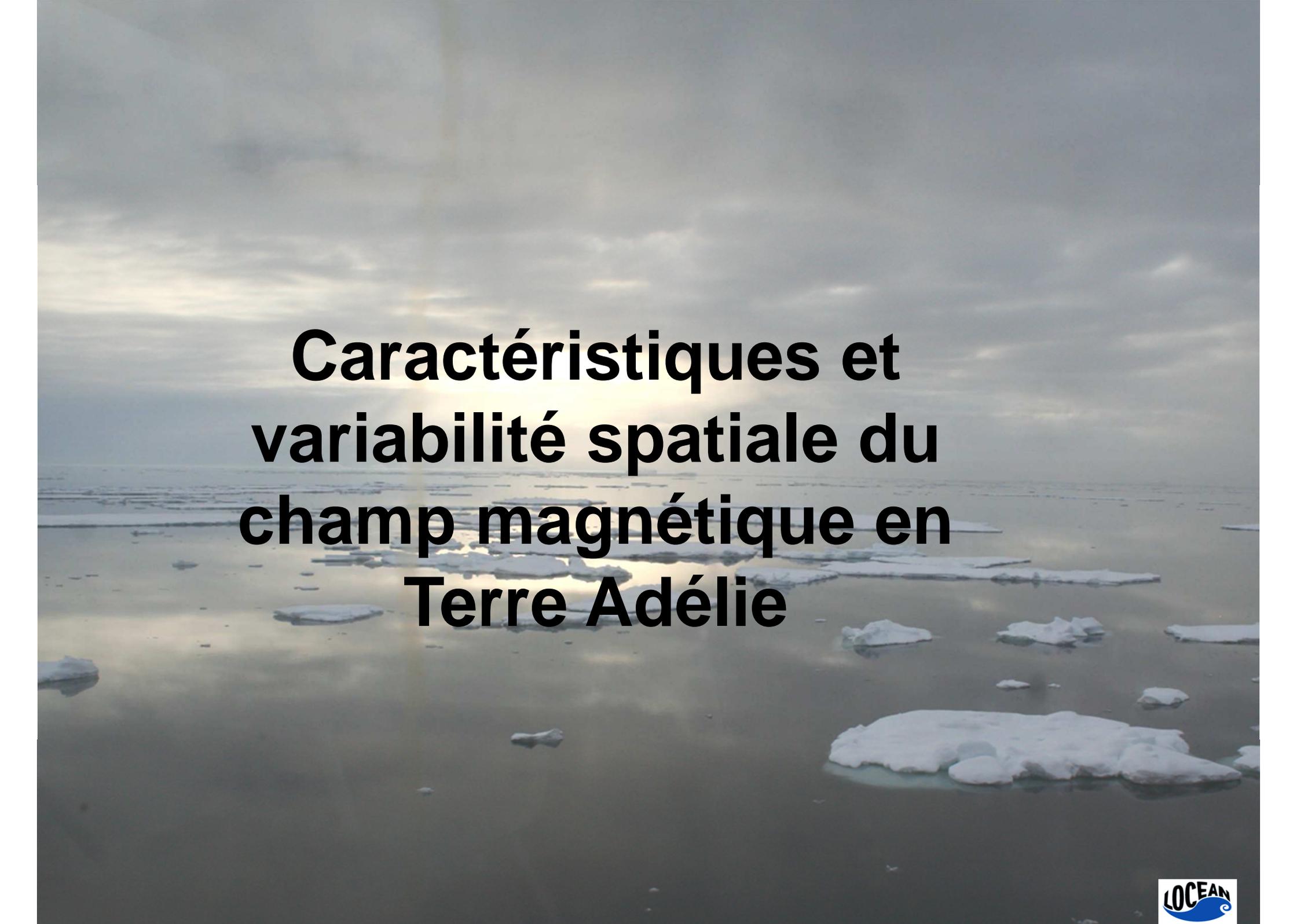
Le réseau hydrologique et la jouvence des mouillages sont réalisés chaque année depuis 2007 au cours des campagnes côtières de l'Astrolabe en janvier.

2 problèmes spécifiques à la zone : les glaces dérivantes et la proximité du Pôle Magnétique





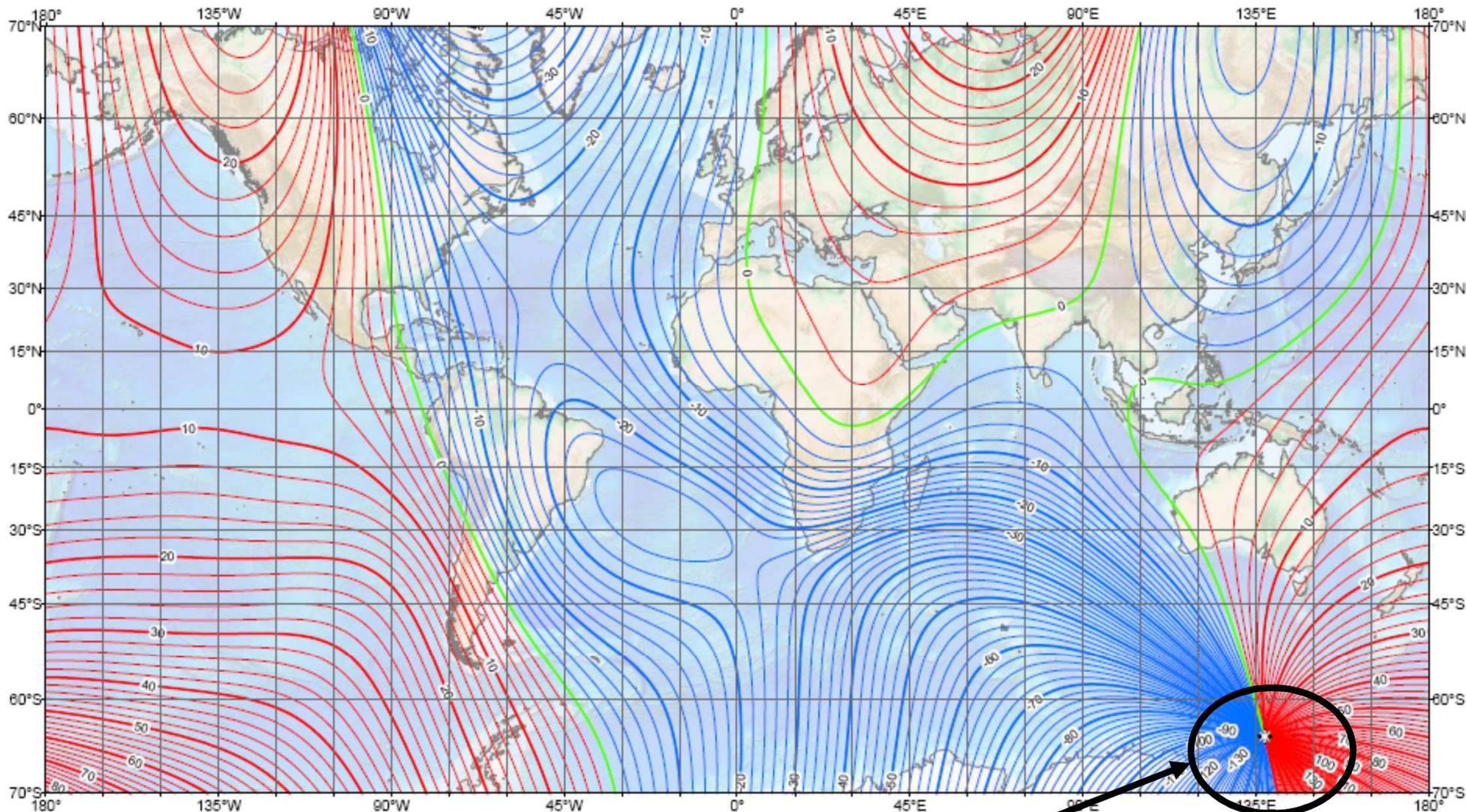
Sites des mouillages ALBION sur la côte de Terre Adélie à proximité de la station Dumont D'Urville et du Pôle Sud Magnétique



**Caractéristiques et
variabilité spatiale du
champ magnétique en
Terre Adélie**

US/UK World Magnetic Model -- Epoch 2010.0

Main Field Declination (D)

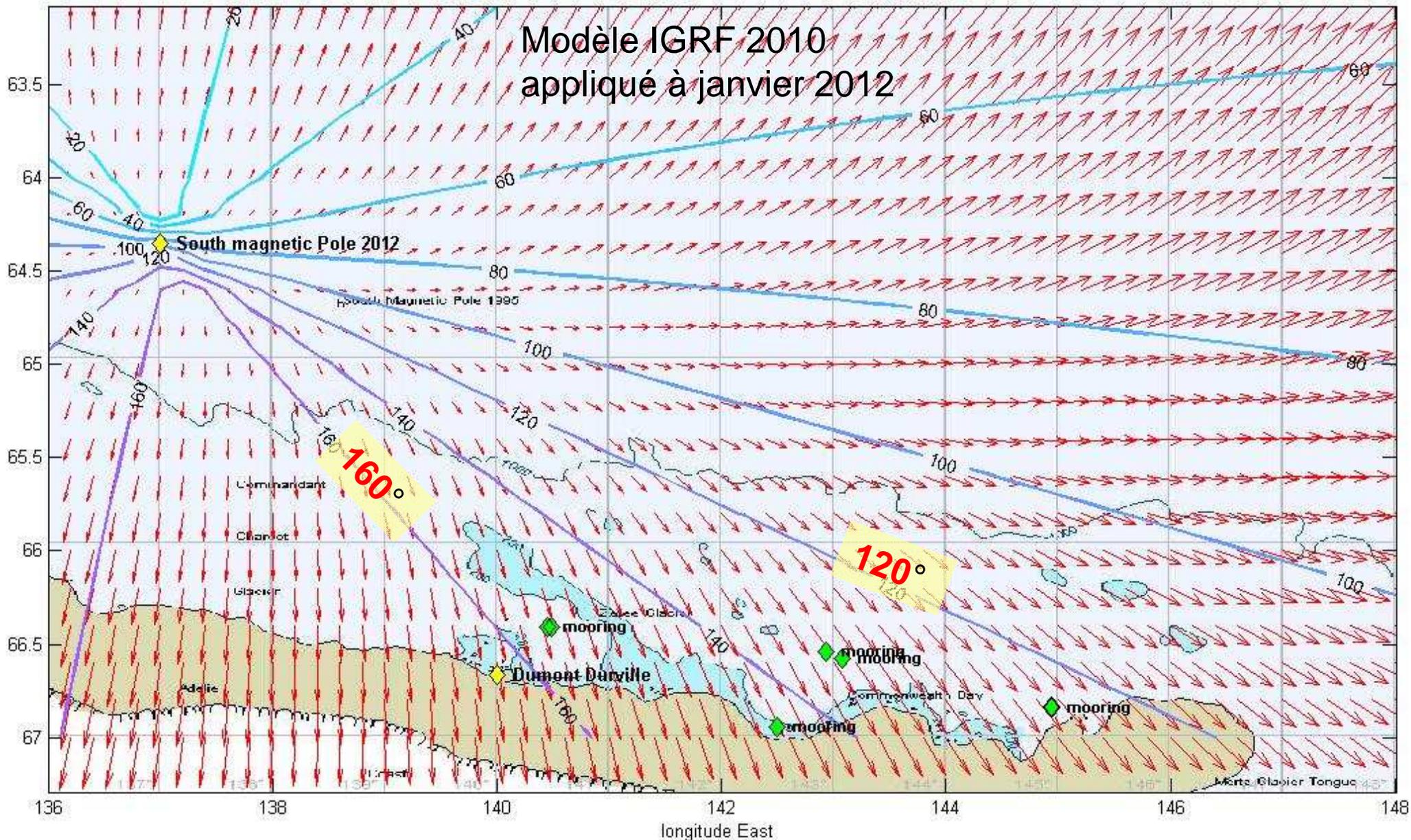


Main field declination (D)
Contour Interval: 2 degrees, red contours positive (east); blue negative (west); green (agonic) zero line.
Mercator Projection.
★ : Position of dip poles

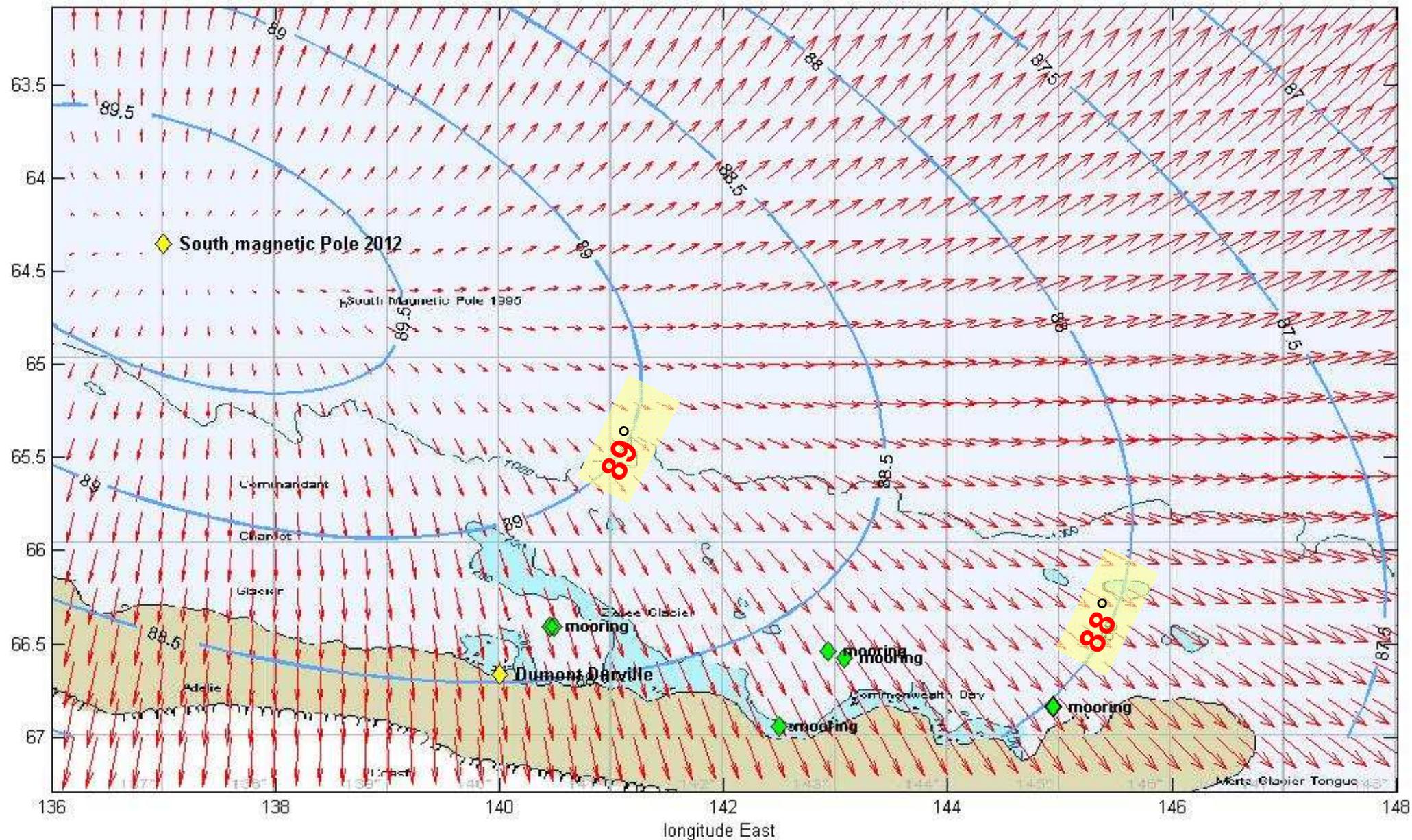
Terre Adélie

Map developed by NOAA/NGDC & CIRCES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>
Map reviewed by NGA/BGS
Published January 2010



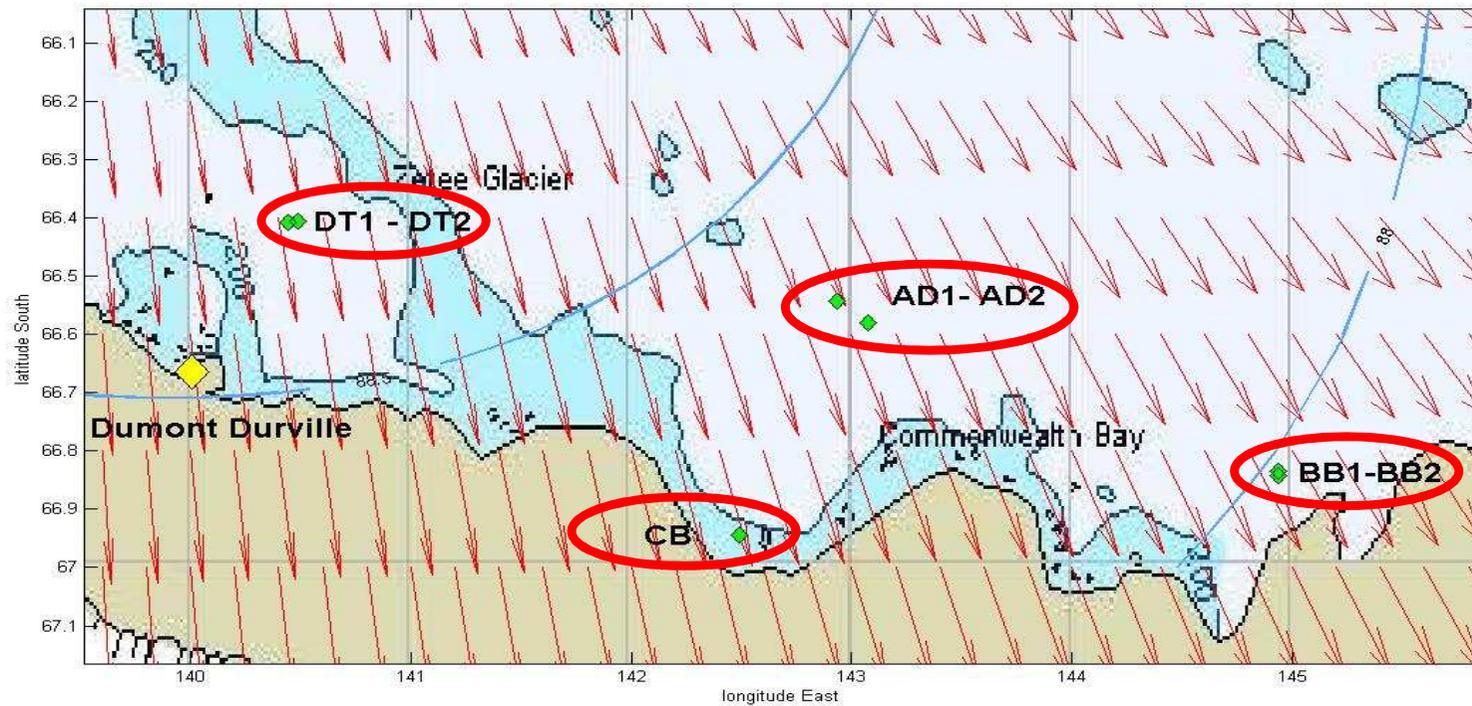


**Composante horizontale du champ magnétique et lignes d'iso-déclinaison:
Variabilité spatiale de 120° à 160° sur la zone des mouillages**



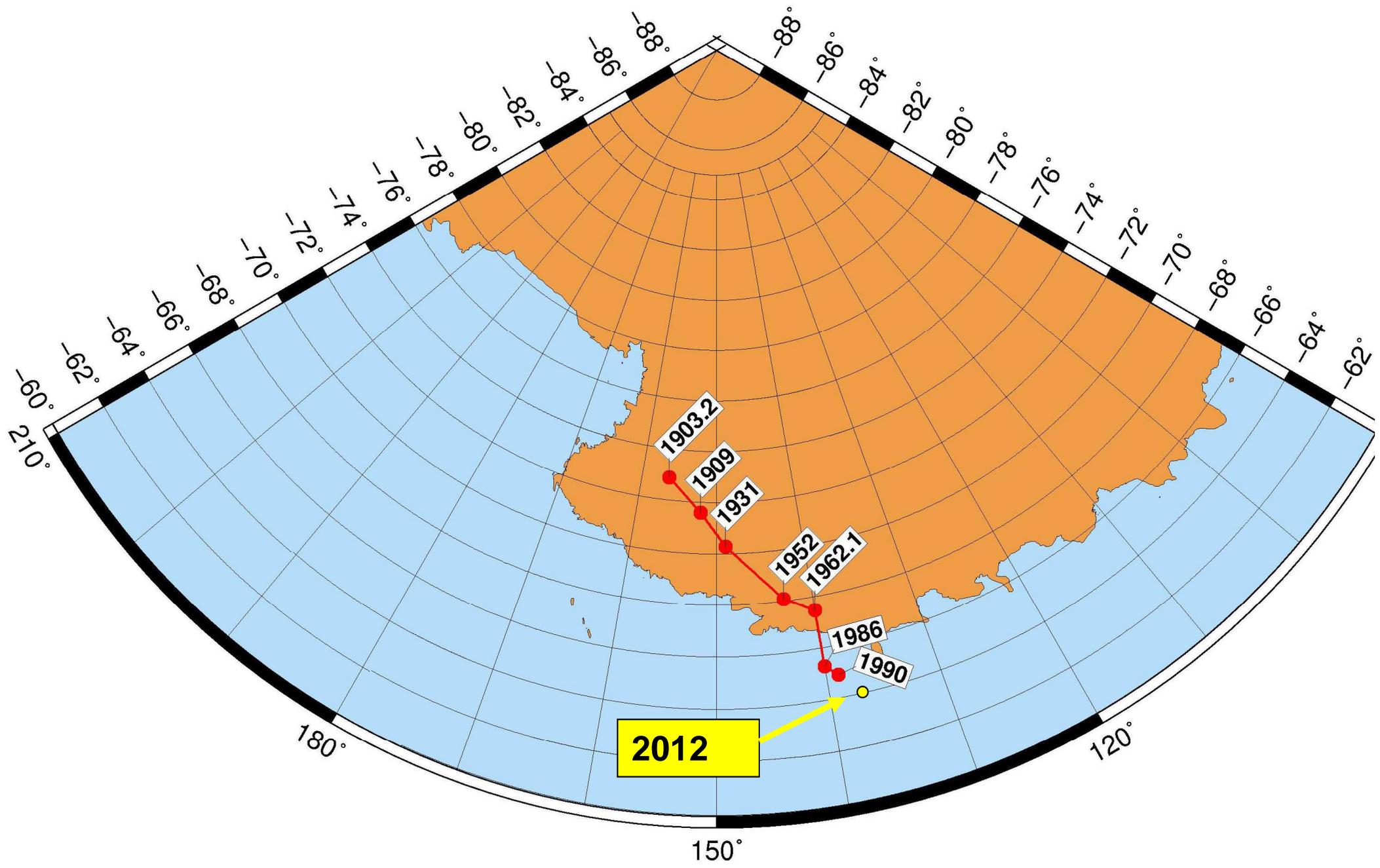
lignes d'iso-inclinaison du champ magnétique total :

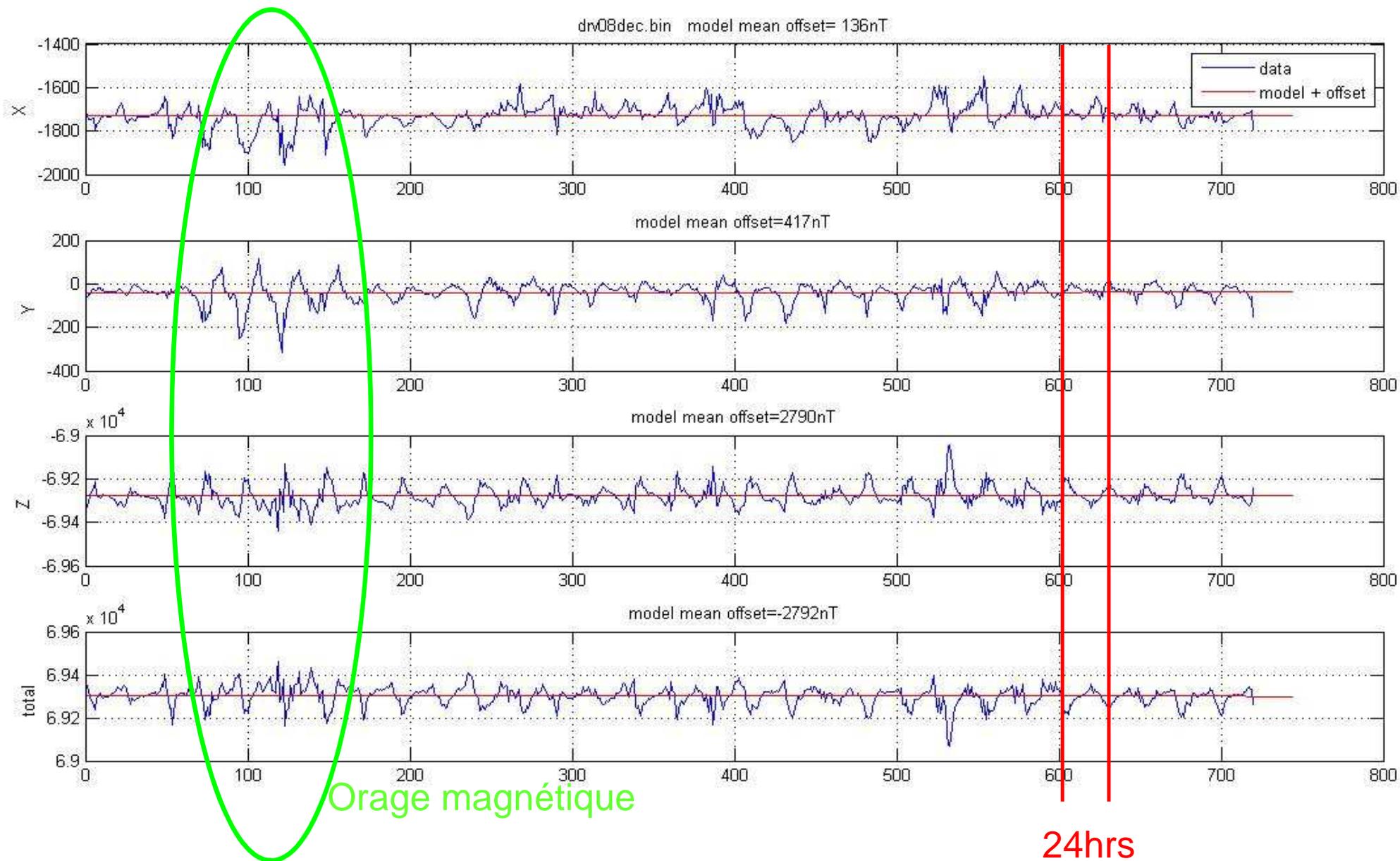
Entre 88° et 89° sur la zone des mouillages



IGRF 2010 model applied to date 15/01/2012		Magnetic declination E (deg)	Magnetic inclination (decim deg)	Horiz.Field (nTesla)	Distance to Mag South Pole (km)
station Dumont D'Urville		164	88,5	1 706	293
moorings	DT1-DT2	154	88,7	1 541	281
	AD1-AD2	133	88,4	1 883	368
	CB	145	88,2	2 032	384
	BB1-BB2	125	88,0	2 335	459
station Paris		0.3 W	64,2	20 770	6000 km fr North Pole

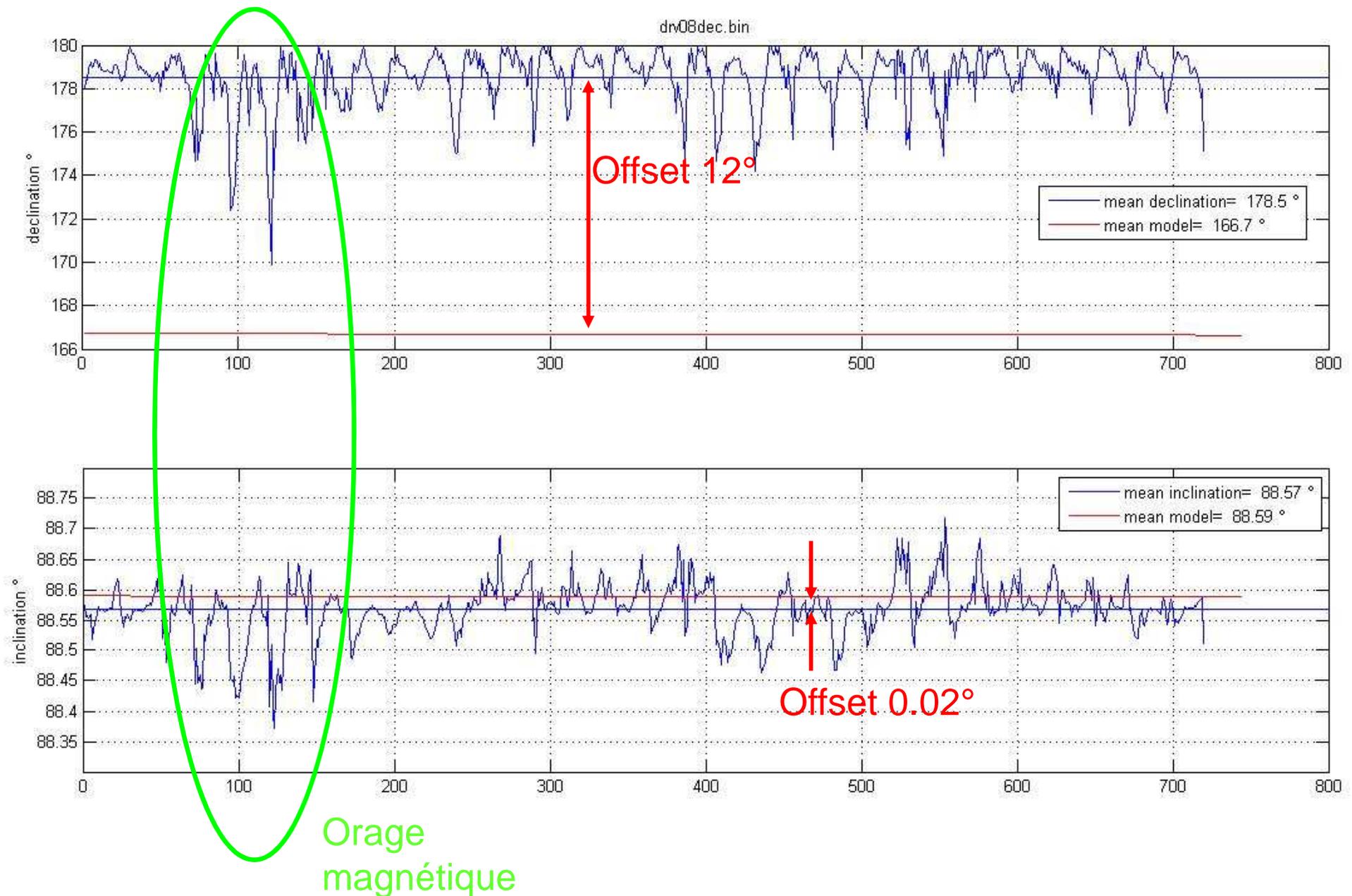
Variabilité temporelle du champ magnétique: variation séculaire





Variabilité diurne du champ magnétique

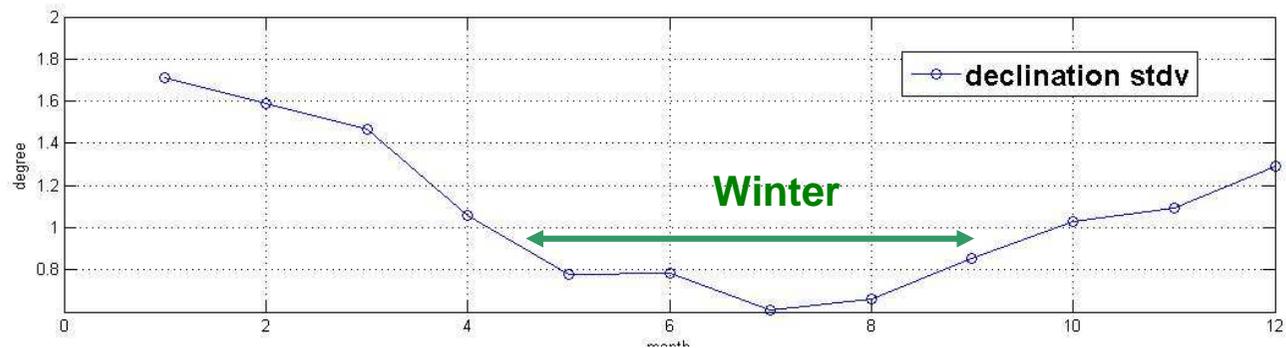
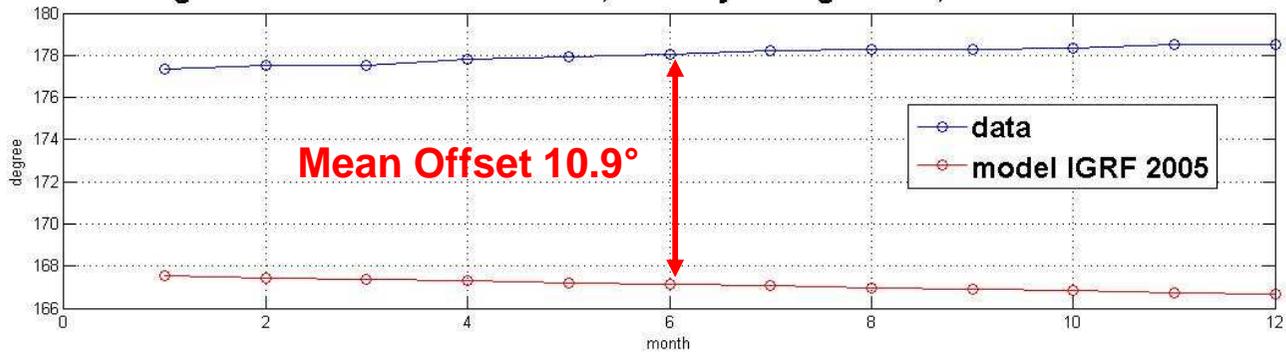
Composantes (XYZF) enregistrées à l'observatoire de DDU , moyennes horaires
en mars 2008 (EOST/Strasbourg)



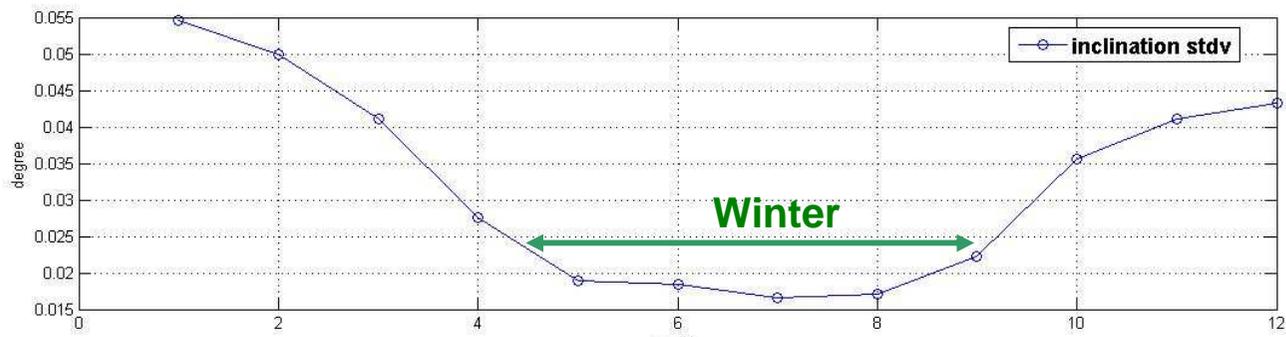
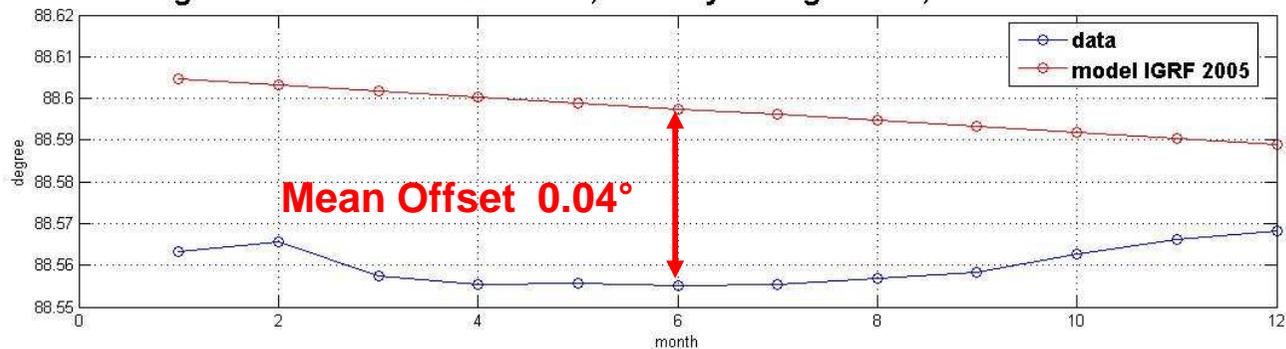
Déclinaison et Inclinaison du champ magnétique enregistrées à l'observatoire de DDU , moyennes horaires en mars 2008

Comparaison au modèle IGRF 2005

magnetic declination at DDU/2008, monthly averaged data, mean offset= 10.9°



magnetic inclination at DDU/2008, monthly averaged data, mean offset= -0.037°



Conclusions sur le champ magnétique en Terre Adélie

- La composante horizontale est très faible ($< 10\%$ de Paris)
- L'inclinaison est très élevée ($> 88^\circ$)

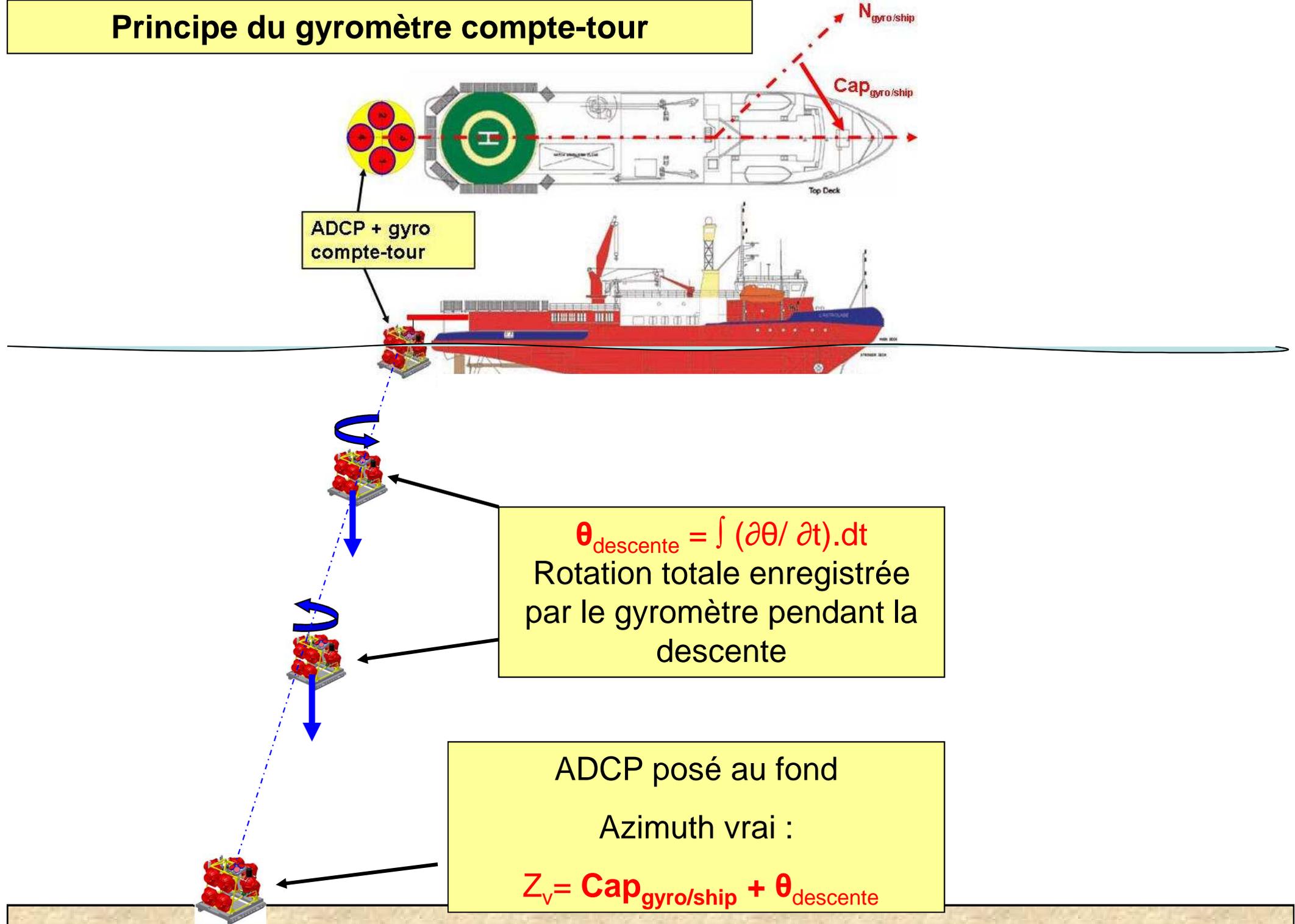
- problèmes de sensibilité/bruit sur les compas fluxgate des courantomètres
- Mesures très sensibles aux mouvements de plateforme et à l'environnement ferromagnétique des capteurs
- Calibration des capteurs impossible

- La variabilité spatiale de la déclinaison est élevée sur la zone des mouillages ($120^\circ < D < 160^\circ$)
- Les offsets constatés entre observations à DDU et modèle IGRF (ou WMM) sont élevés (11°)
- La variabilité spatiale et temporelle des offsets n'est pas prévisible

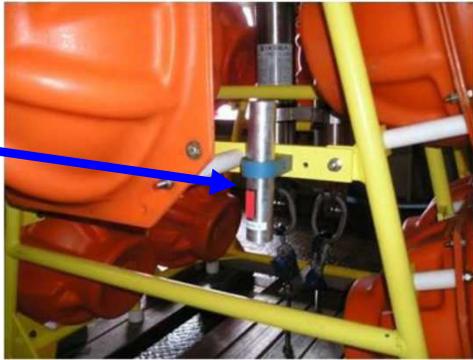
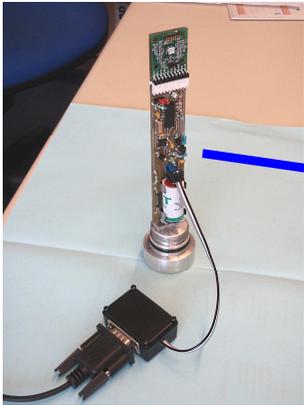
impossibilité de calculer correctement des Caps Vrais à partir des seules données de capteurs magnétiques

(sauf avec modèle local haute résolution ??)

Principe du gyromètre compte-tour

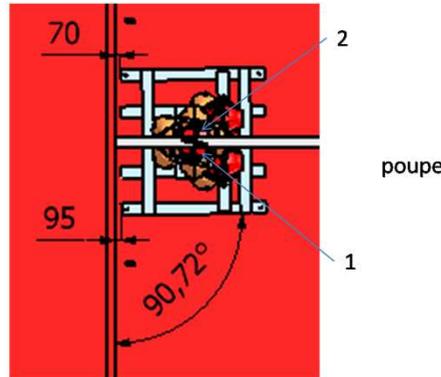


Gyromètre 2 axes sur cage ADCP de fond , campagnes Albion 2008-2010



Gyromètre 2D (MEMS) avec mémoire flash, 2Hz / 6 h d'autonomie dans tube alu 2000m

← Cap 184
proue



Procédure d'alignement de la cage ADCP sur la ligne de foi du navire

Résultats

1- Au labo sur table tournante avec initialisation au point fixe :

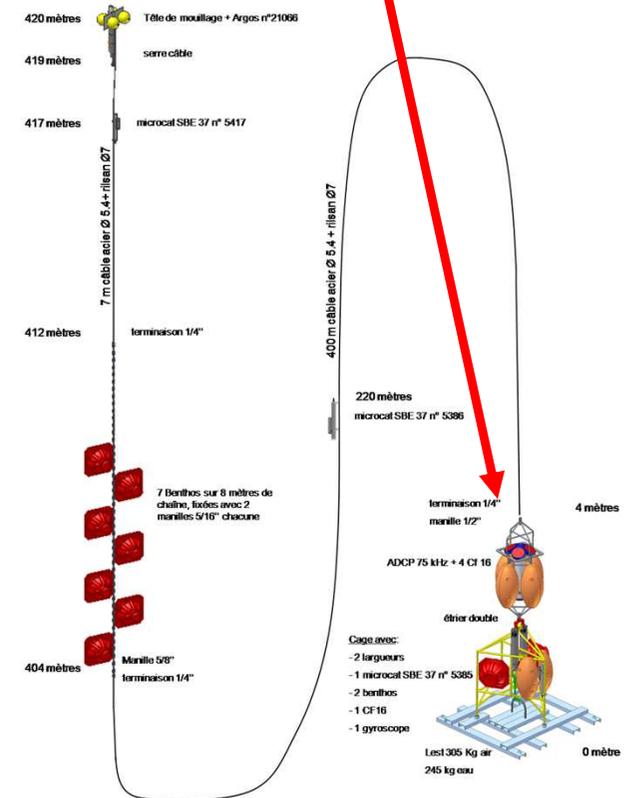
Précision sur les vitesses : 0.05 /s, Erreurs angulaires < 2%

2- Lors de 3 déploiements sur cages ADCP

- initialisation à bord du navire en mouvement puis largage
- Fortes dérives angulaires sur les mesures (> 2°s)
- Pannes hardware diverses

Conclusion

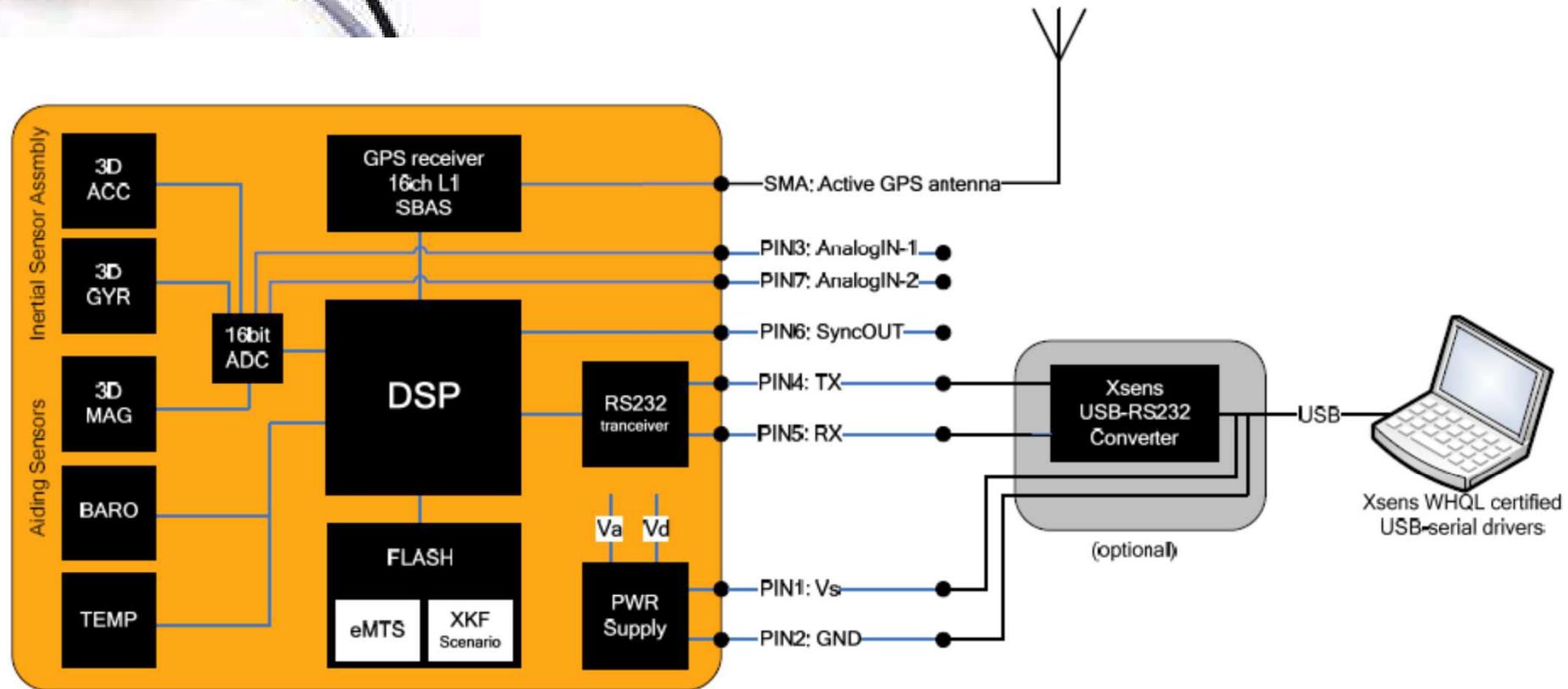
L'intégration des vitesses angulaires (2D et bruitées), sans aucune contrainte externe ni initialisation au point fixe, produit des dérives telles que l'azimut de la cage posée sur le fond n'est pas observable par ces gyromètres simples.



Tests labo d'une centrale MTI-G (Inertial Motion Tracker with GPS)



- centrale inertielle 3 axes (gyro + accéléromètres)
- Magnétomètres 3 axes
- GPS 4 hz (initialisation du cap en surface)
- Filtre de Kalman fournit un cap observé en temps réel



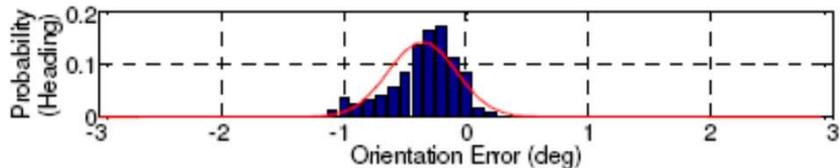
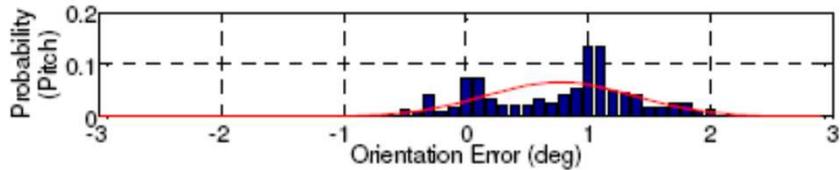
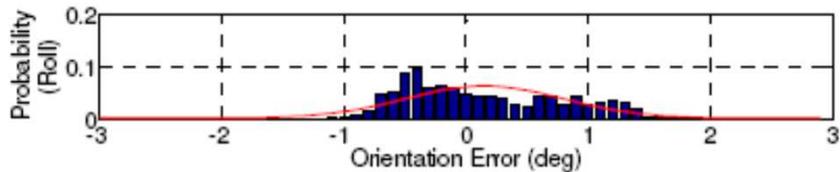
Avantages: - léger , peu gourmand , robuste (technologie MEMS)

MTI-G : applications habituelles



Test comparatif avec un FOG à bord d'une automobile sur circuit:

Erreurs RMS sur les angles d'attitude



Résultats:

excellentes réponses aux grands déplacements /accélérations par les capteurs *gyro+accelero+ GPS (sans magnétomètres)*

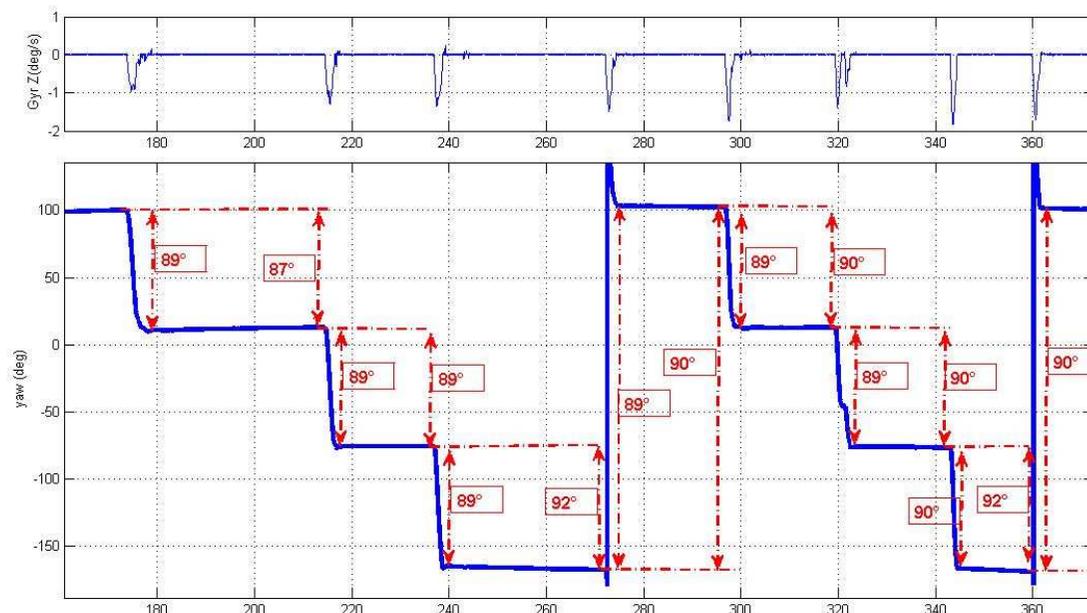
Tests MTI-G en rotation plane sur le toit du labo à Paris



Tour Eiffel

Zv=286°

Centrale
MTIG



Conclusions

- **la correction GPS** n'apporte rien au calcul des angles d'attitude en rotation plane

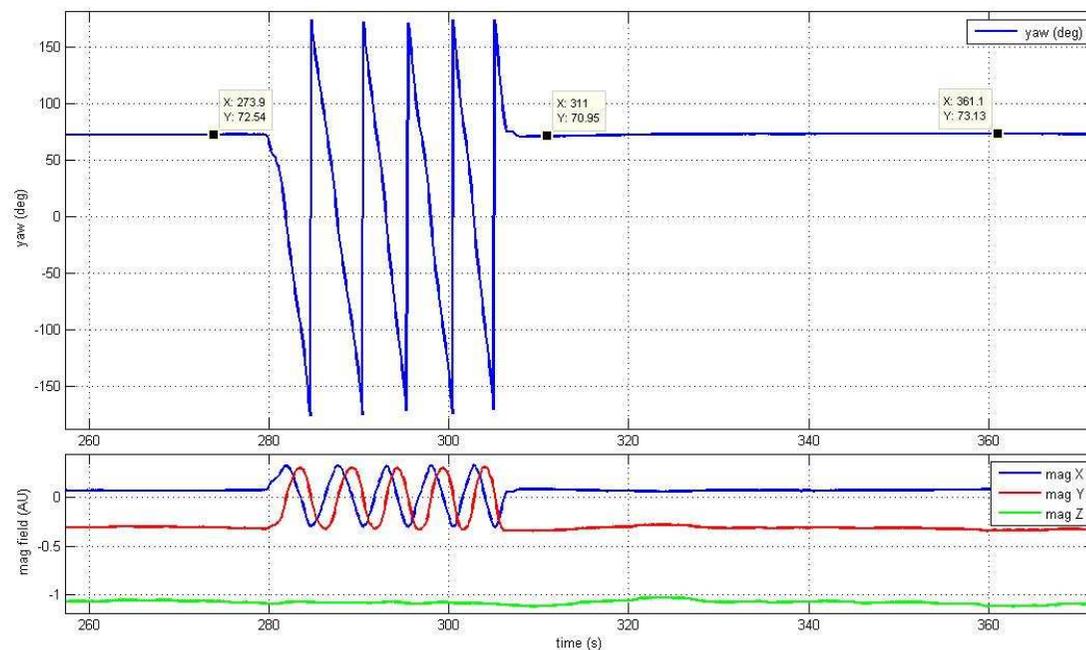
sans signal magnétométrique (acceleros et gyros seuls) , les Caps sont faux et dérivent d'environ 5°/mn au point fixe.

-

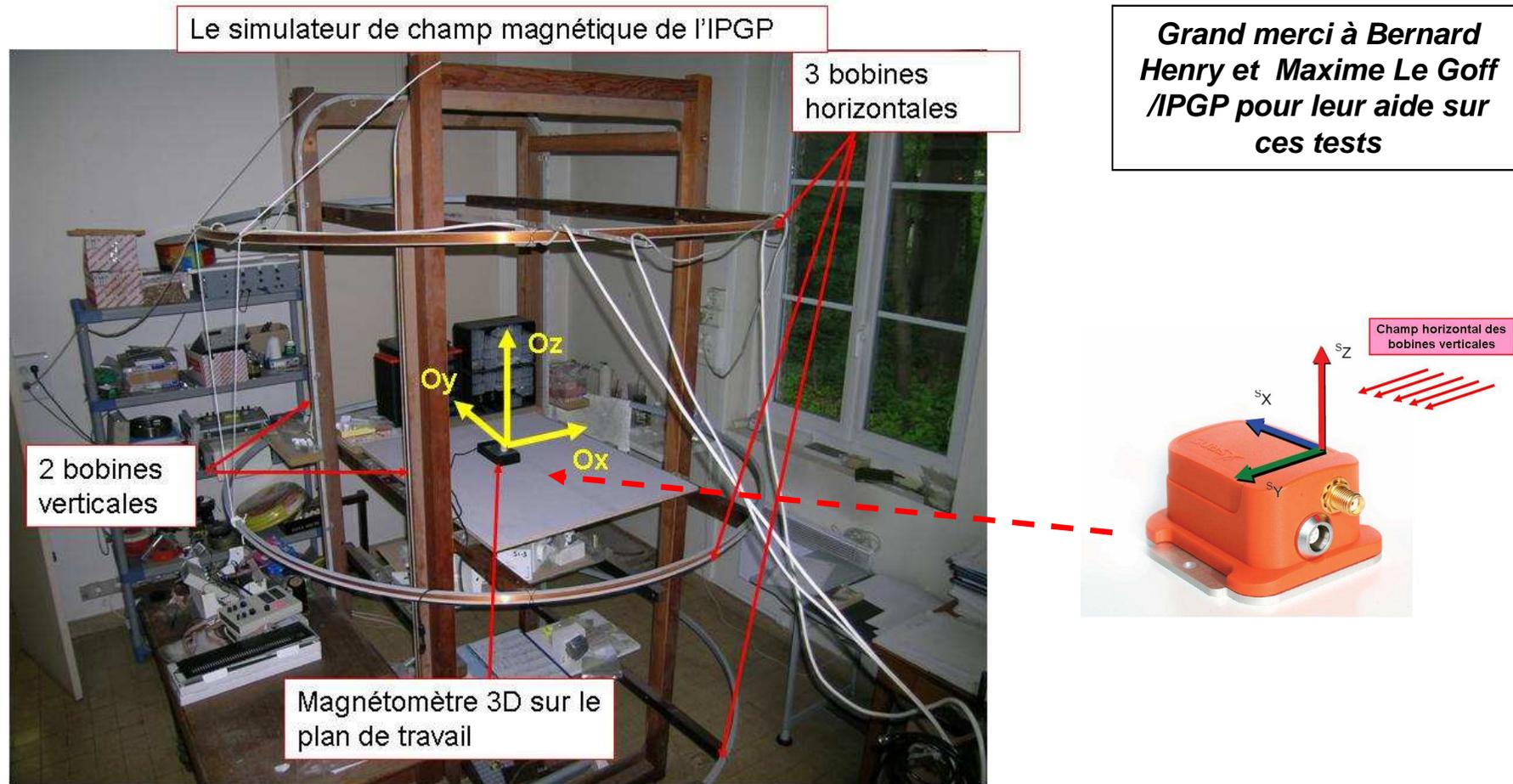
avec signal magnétométrique et une calibration magnétique initiale :

- les Caps vrais sont exacts à 3° près

- ils ne dérivent pas , quelque soit la vitesse de rotation et au point fixe.



Tests en champ magnétique simulé à l'IPGP /St Maur

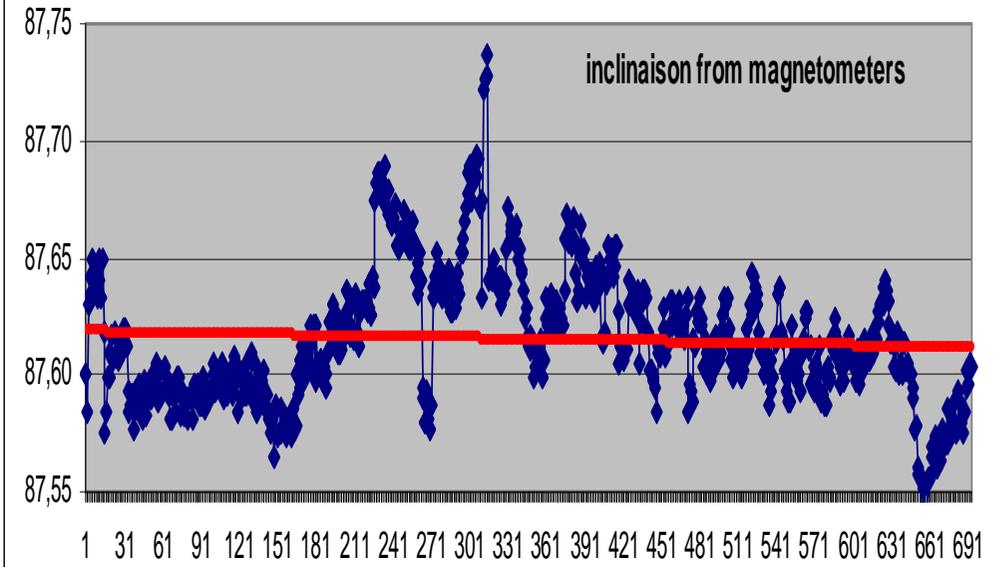
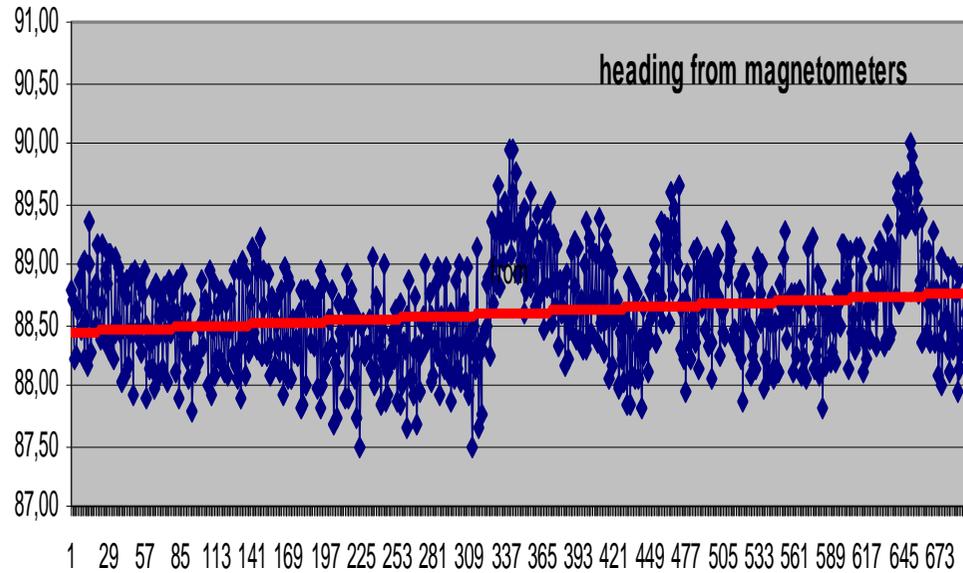


Ce banc nous a permis de simuler un champ équivalent à celui de Terre Adélie

- en composantes totales
- en composantes horizontales seules
- avec une composante horizontale doublée
- avec une composante horizontale inversée

Exemple de simulation du champ total de Terre Adélie

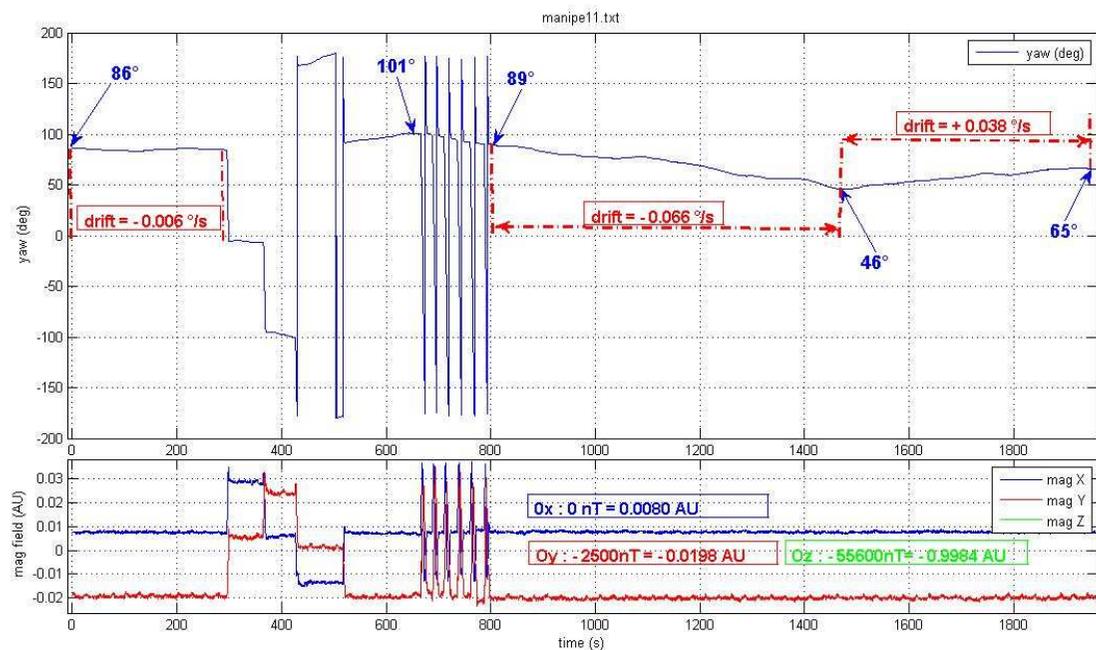
Sur le banc IPGP /St Maur



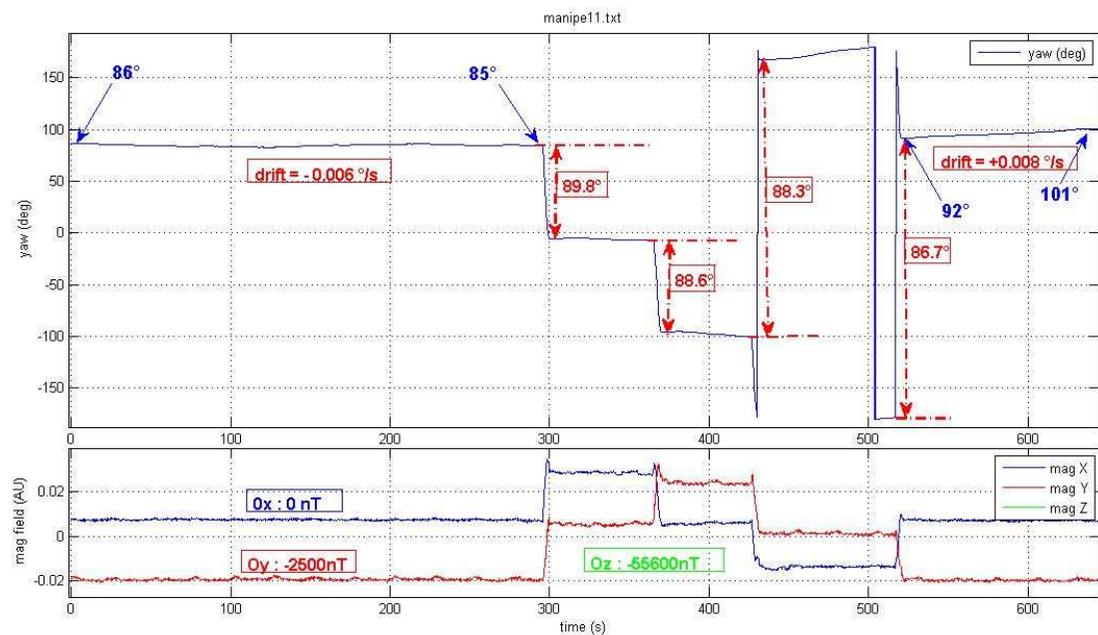
		Y (East) [nT]	X (North) [nT]	Horizontal Field [nT]	Vertical Field [nT]	Heading [deg]	inclinaison [deg]
Terre Adélie	mooring BB2	2522	-758	2633	-66401		-87,8
Simulation	average	-2340	-57	2341	-56216	88,60	87,62
	stdv	27	18	32	147	0,44	0,03

Low noise

Rotations planes de la MTI-g dans le champ total simulé de Terre Adélie



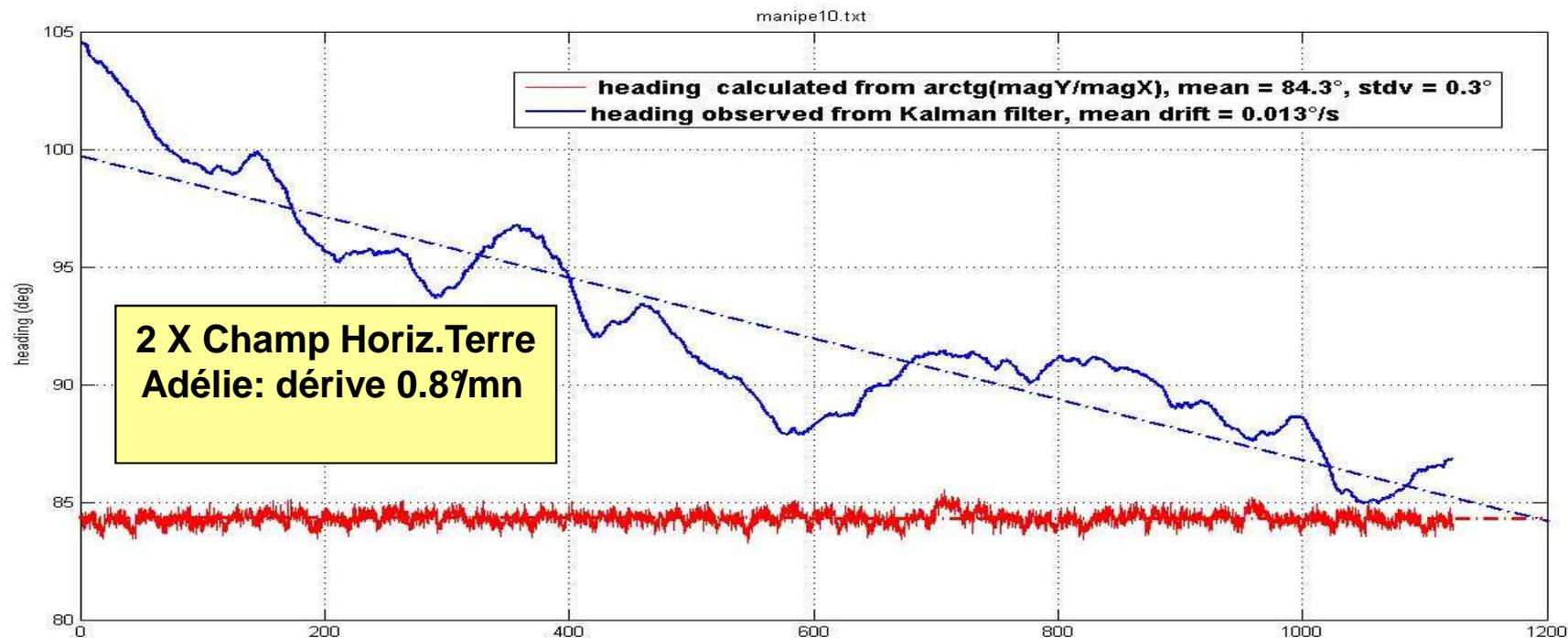
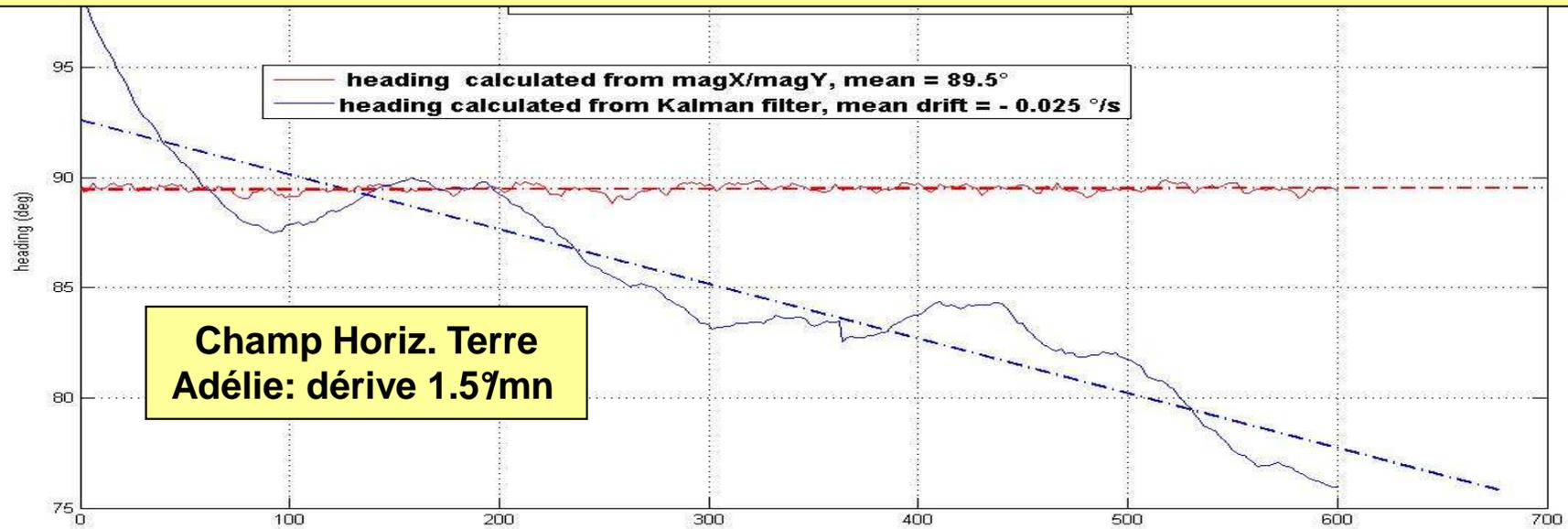
Cap observé en champ TA total



Zoom sur rotations 90° en champ TA total

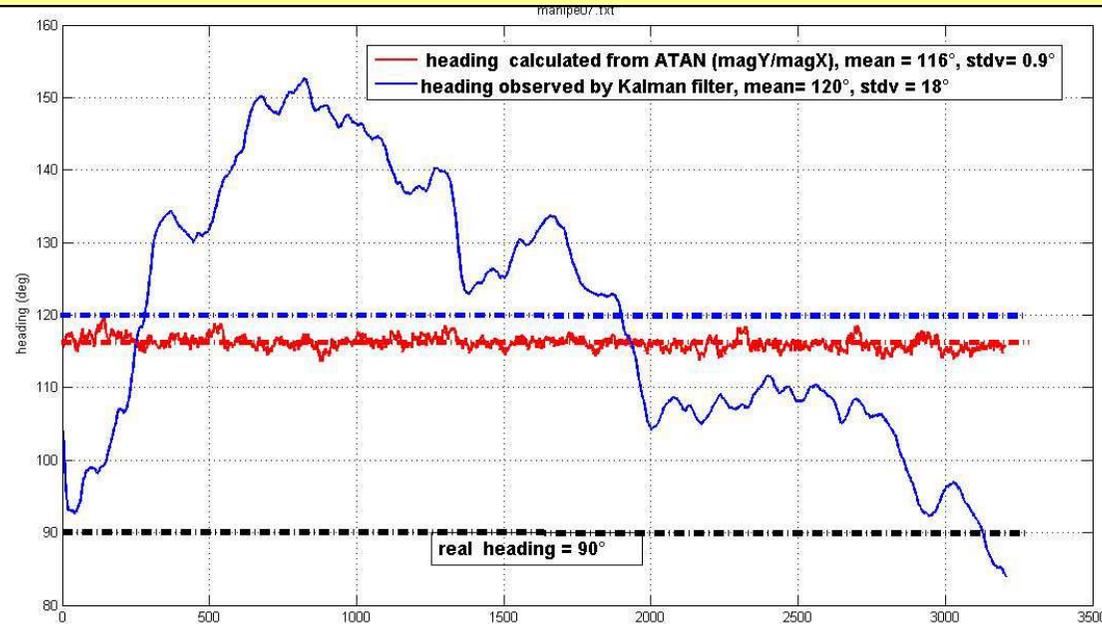
Inversion des composantes horizontales des bobines , MTI-g pivotée de 180°, puis point fixe

Evolution du cap au point fixe: (1) observé par le filtre de Kalman (2) calculé par les composantes des magnétomètres



1 heure au point fixe dans le champ simulé de Terre Adélie :

Cap observé par filtre Kalman et calculé par composantes des magnétomètres



Conclusion sur l'observabilité du Cap

- Dans le champ magnétique de Terre Adélie simulé, stationnaire avec bruit très faible
- Avec les magnétomètres de la MTIg calibrés dans ce champ

Le cap observé par le filtre de Kalman sur des paliers de 5 à 10mn présente un biais moyen de 8° avec un écart-type de 25° et une dérive temporelle de 2°/mn

Il peut diverger largement au point fixe (excursions de 60° sur 1 heure)

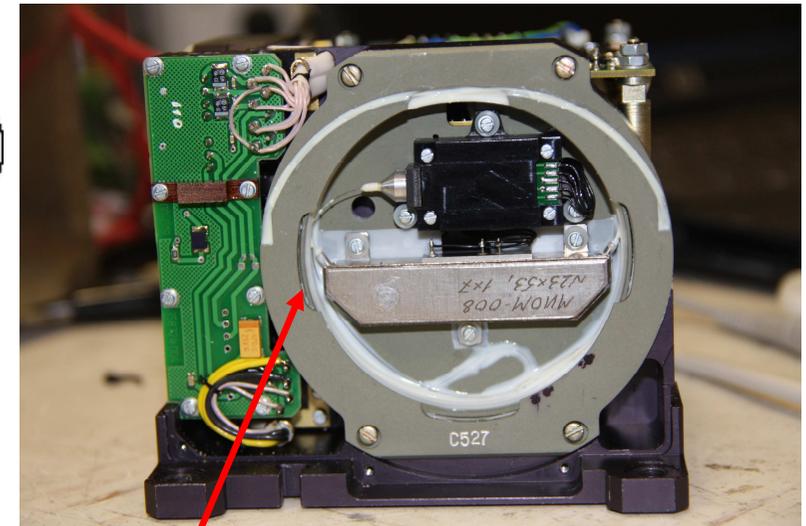
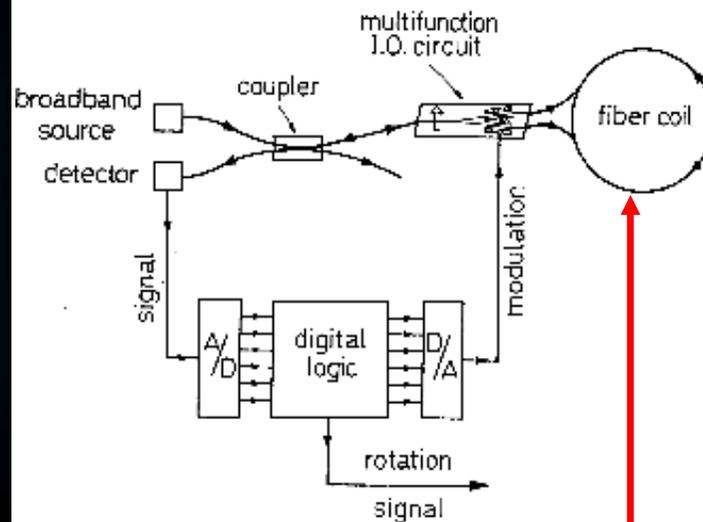
Conclusion sur la centrale magnéto-inertielle MTI-G

- **Magnétomètres Inutilisables dans le champ réel de Terre Adélie** (impossibilité de les calibrer à bord avant déploiement, donc imprécis sans calibration)
- **Centrale peu fiable comme compte-tour** sur une plateforme sous marine en mouvements 3D lents car dans ces conditions le filtre Kalman a besoin des magnétomètres OU du GPS pour contraindre les intégrations inertielles sans dérive .

Principe du Gyromètre à fibre optique : TOGS

Le principe physique est l'effet relativiste SAGNAC. La lumière émise par une diode laser est divisée en deux et introduite à contre-courant dans une bobine de fibre optique. Le temps de transit de la lumière est le même dans les deux sens lorsque le gyromètre est immobile, mais lorsque le gyromètre est en rotation, une différence temporelle est observée par interférométrie.

Le TOGS (Tiny Optical Gyro) trouve le Nord géographique en observant le vecteur de rotation terrestre. A la mise sous tension, il met 10 minutes à se stabiliser et **fournit ensuite un cap vrai avec une précision de 0.5**



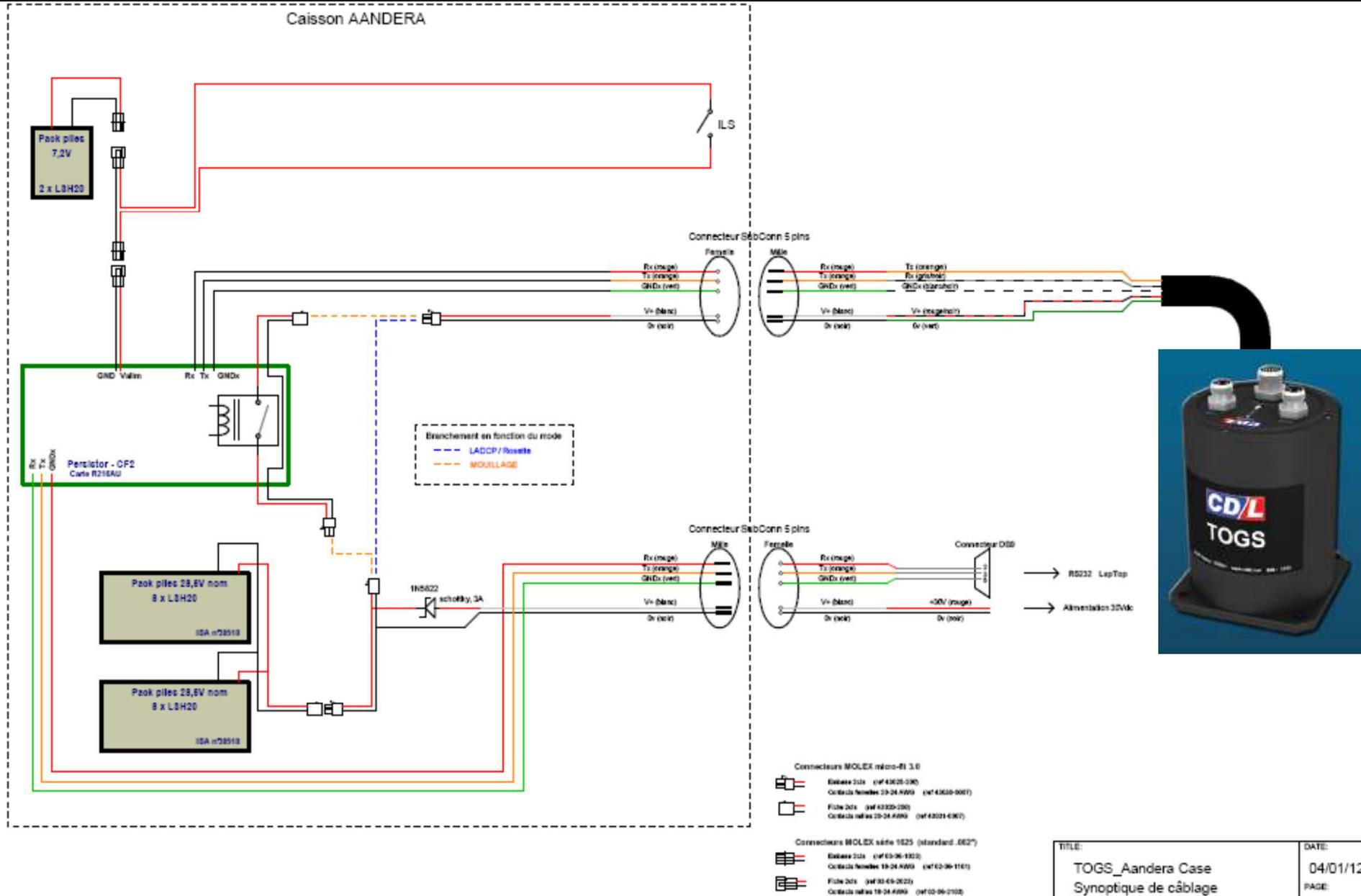
Bobine de fibre optique

CDL vend son TOGS dans un caisson étanche à 3000m (poids dans l'eau 5kg, coût 30k€).

Systeme d'alimentation /contrôle du TOGS (Réalise au labo dans un caisson Aandera 3000m)

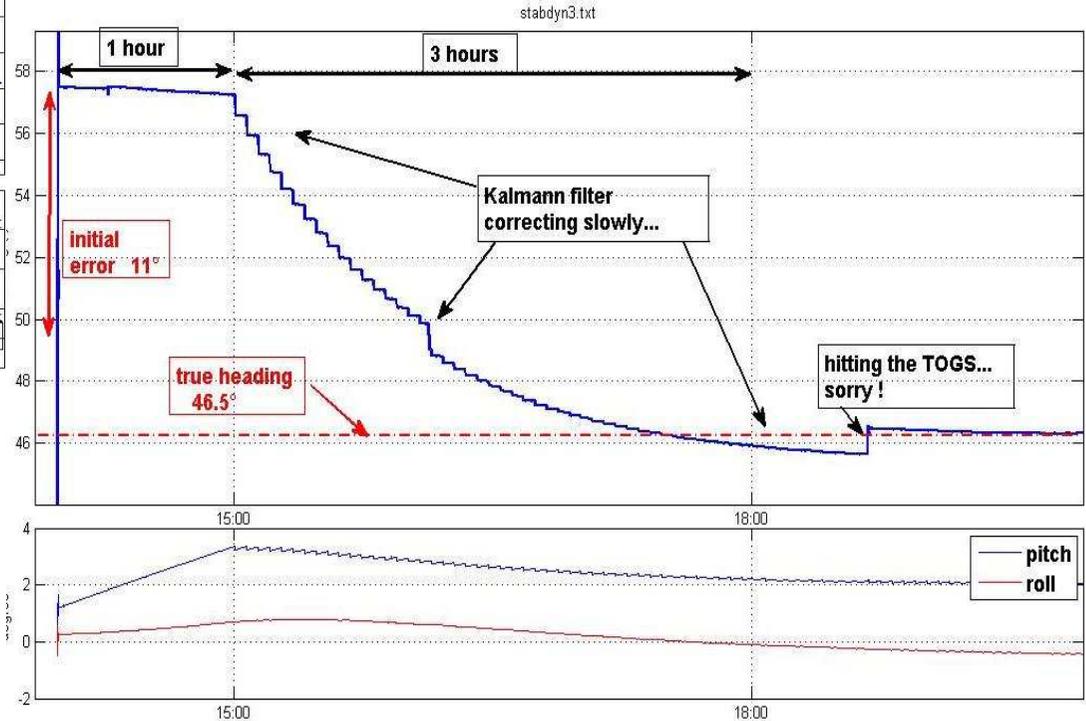
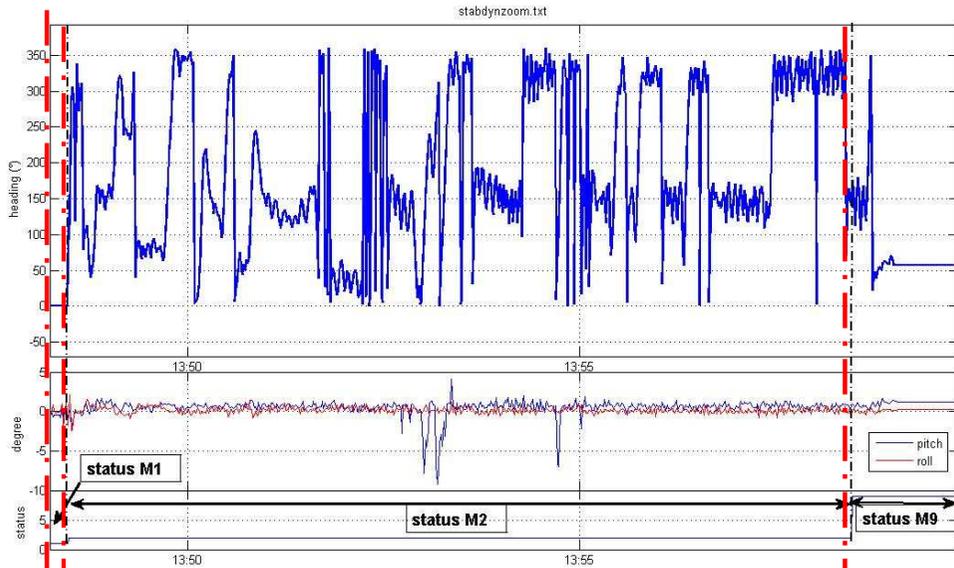
-Persistor CF2 pour l'acquisition/stockage des donnees et les commandes ON/OFF

-pack Piles Lithium 28v (conso 500ma, autonomie 22h à 0°C)



TITLE:	DATE:
TOGS_Aandera Case	04/01/12
Synoptique de câblage	PAGE:
BY: Denis DAUSSE (LOCEAN-CNRS)	REV: 1.0
	1/1





Recherche fine du Nord : 10mn

Recherche grossière du Nord : 30s

Initialisation : 10.5 mn en rotation

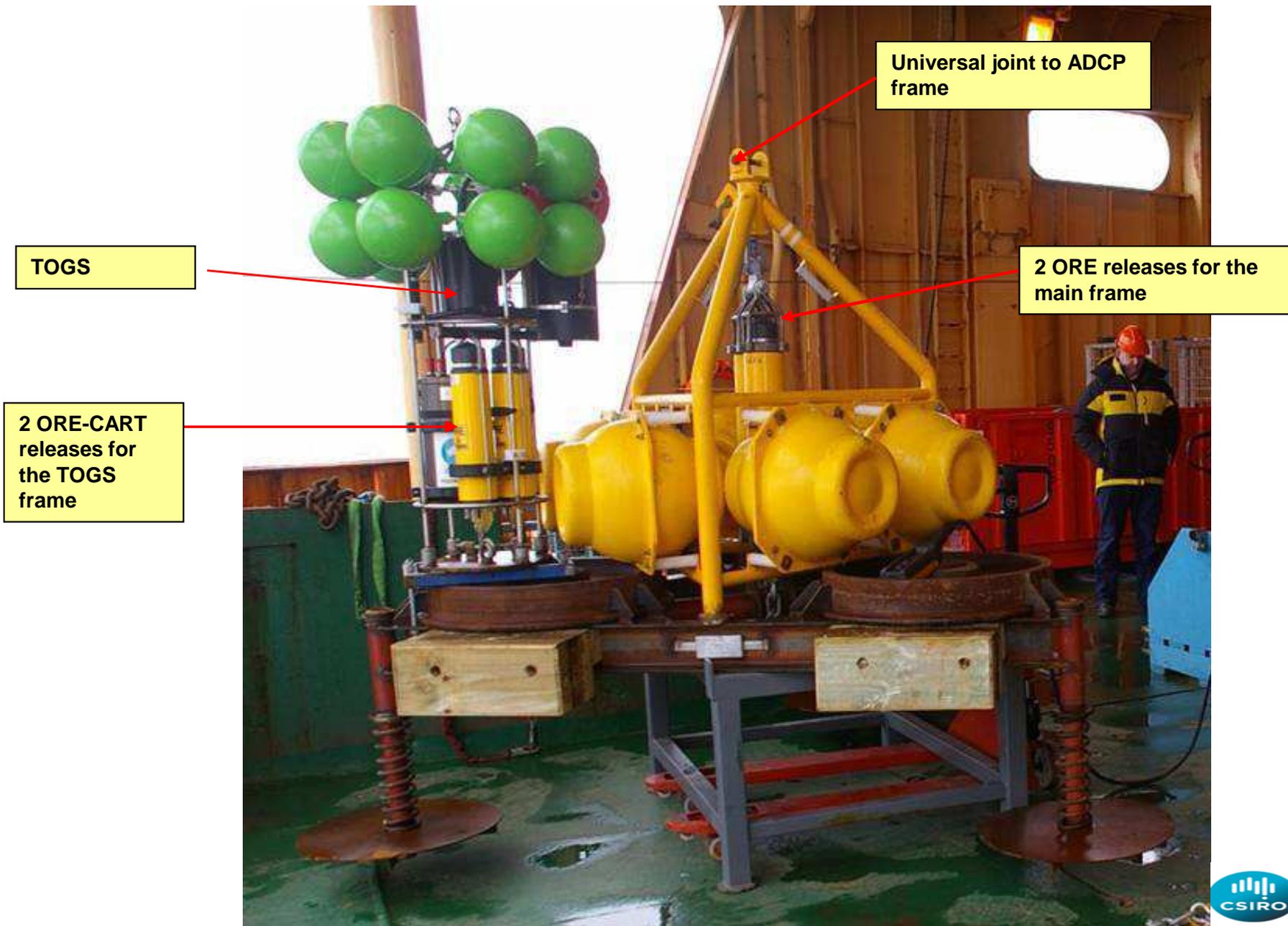
Mesure : 5 hrs au point fixe

Test labo : rotations brusques pendant la phase d'initialisation du TOGS puis point fixe pendant 5 heures

Résultat sur les caps lus : erreur initiale de 11°, compensée en 4h par le filtre de Kalman

Après une initialisation « plus calme », le Cap vrai sera trouvé immédiatement à $\pm 0.2^\circ$ près

CSIRO /Australie : TOGS largable sur une cage ADCP de fond



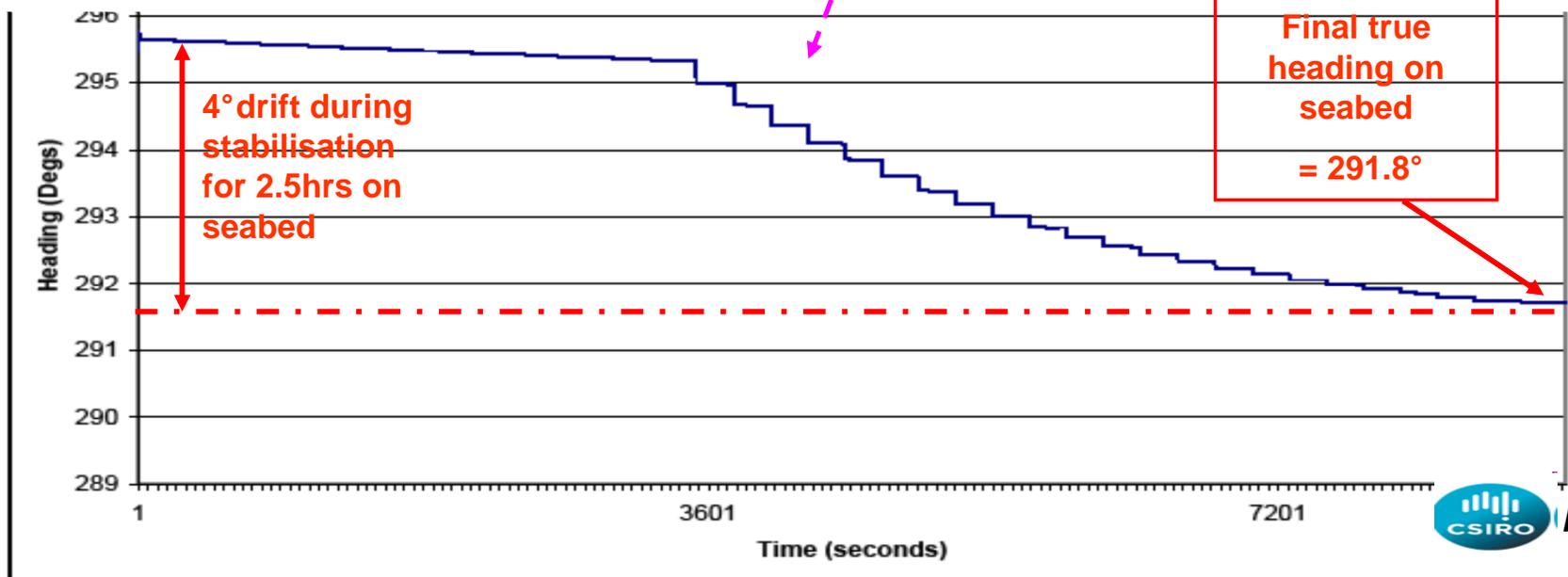
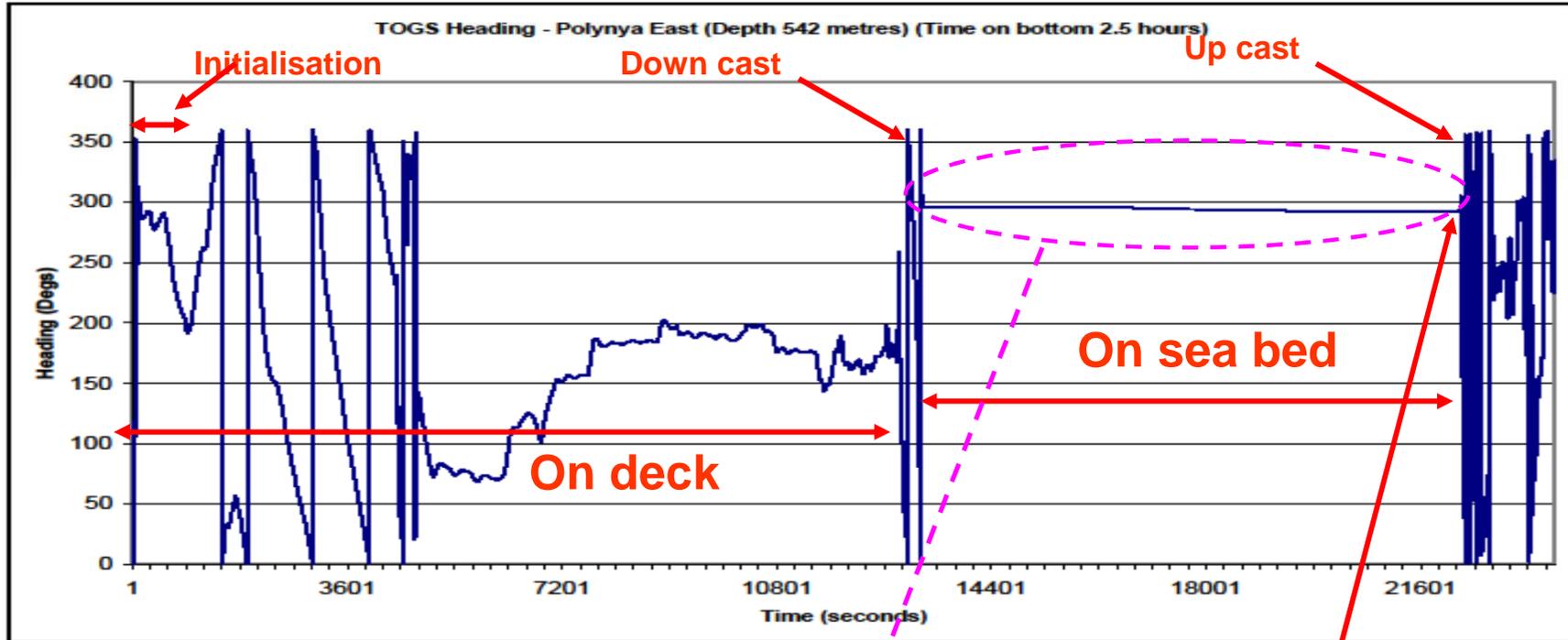
Principe du déploiement *TOGS largable /ADCP* australien

ADCP 75khz on its gimballed frame

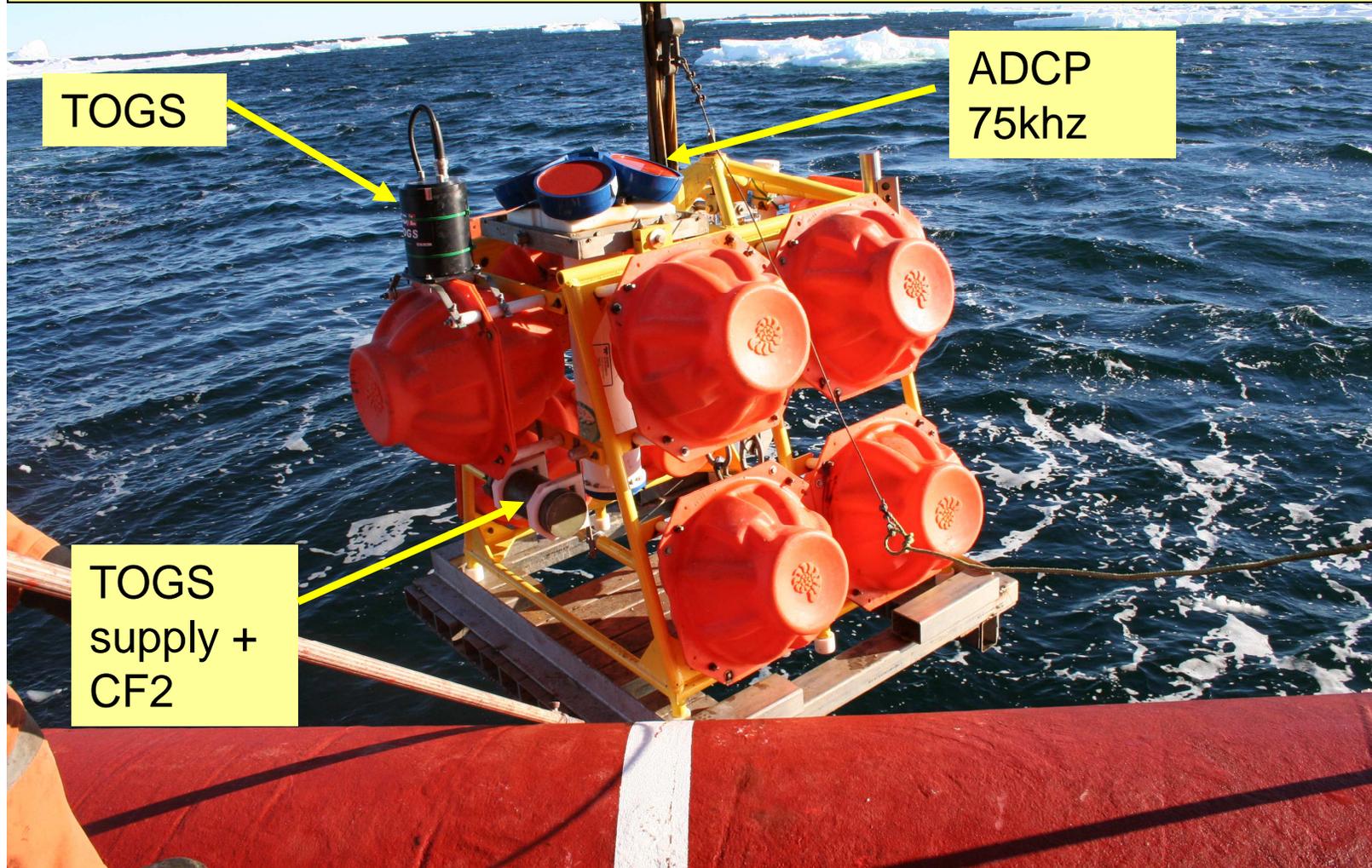
TOGS on its release frame

- TOGS mis en route et initialisé sur le pont du navire avant déploiement
- Enregistre la descente puis 2 à 3h au fond
- Largage de la cage TOGS
- récupération du TOGS en surface
- Lecture des données TOGS
- Déploiement sur le mouillage suivant

Résultats du TOGS largable australien



Principe du déploiement *TOGS fixe /ADCP* sur ALBION /janvier 2012



ADCP 75khz

1 mesure/ heure

57 bins de 16m

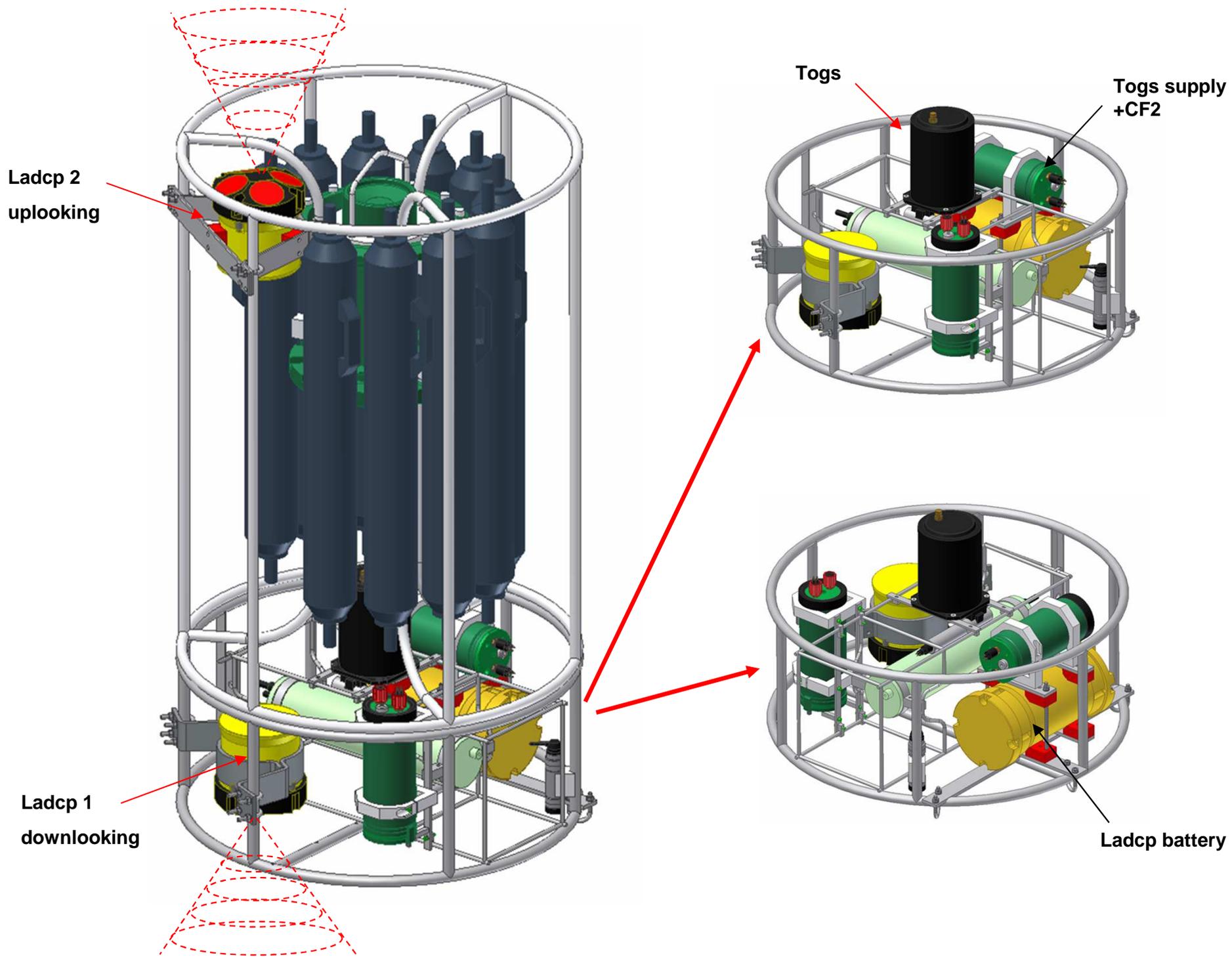
Max range 800m

Instrument
coordinate

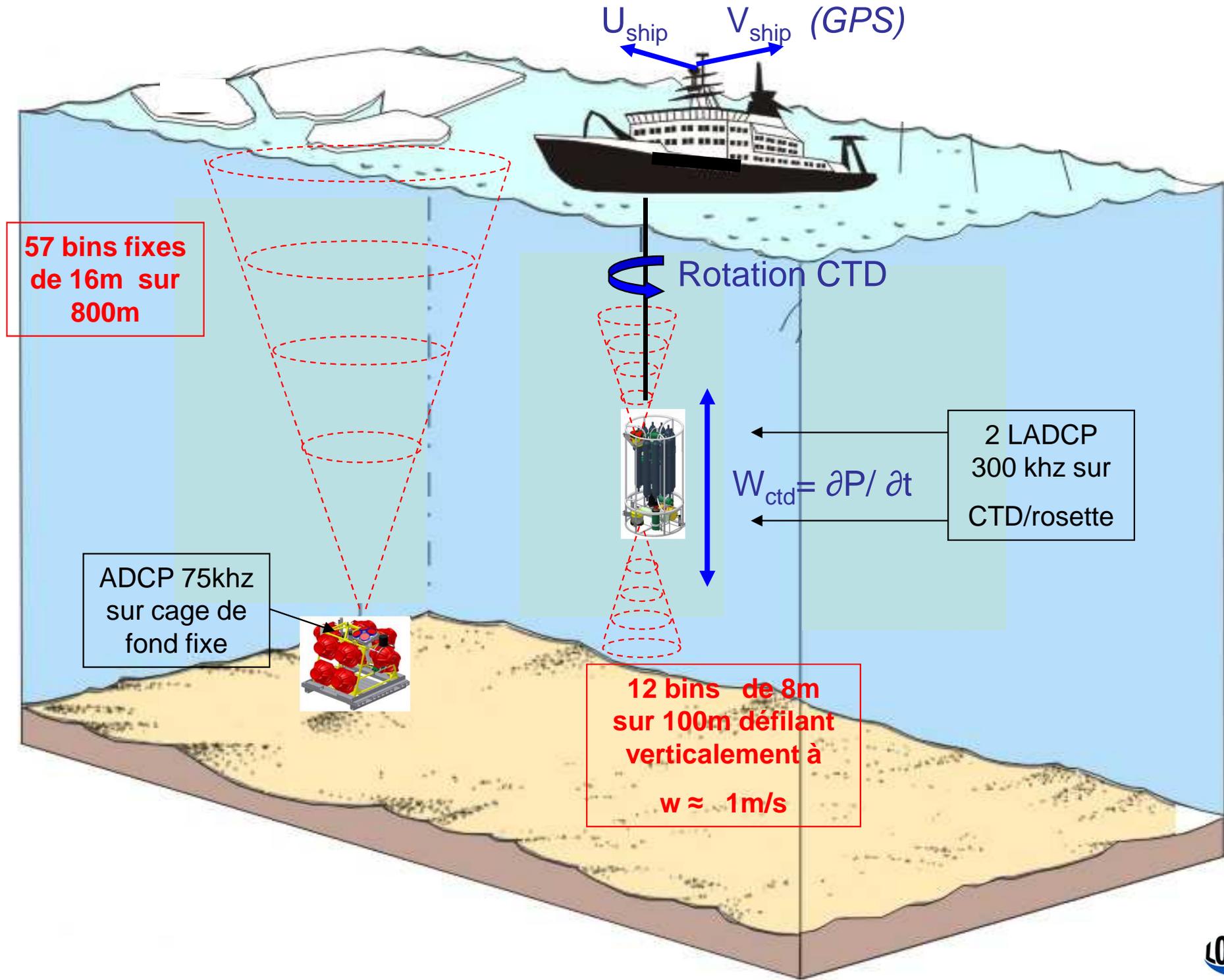
Programmation du TOGS (démarrage au fond)

- Heure mise à l'eau +24h : initialisation puis acquisition pendant 2H
- Jour mise à l'eau + (n* 15jours) :initialisation puis acquisition pendant 1H
- Janvier 2013 : relevage du mouillage /récupe des données.....

TOGS sur CTD/rosette avec 2 Lowered ADCPs / campagne Albion 2012



Problématique comparée de l'ADCP sur cage de fond et des LADCPs/Rosette



LADCP slave
uplooking

transmissiometer

LADCP master
downlooking

Fluorometer

LED spot



transmissiometer

TOGS

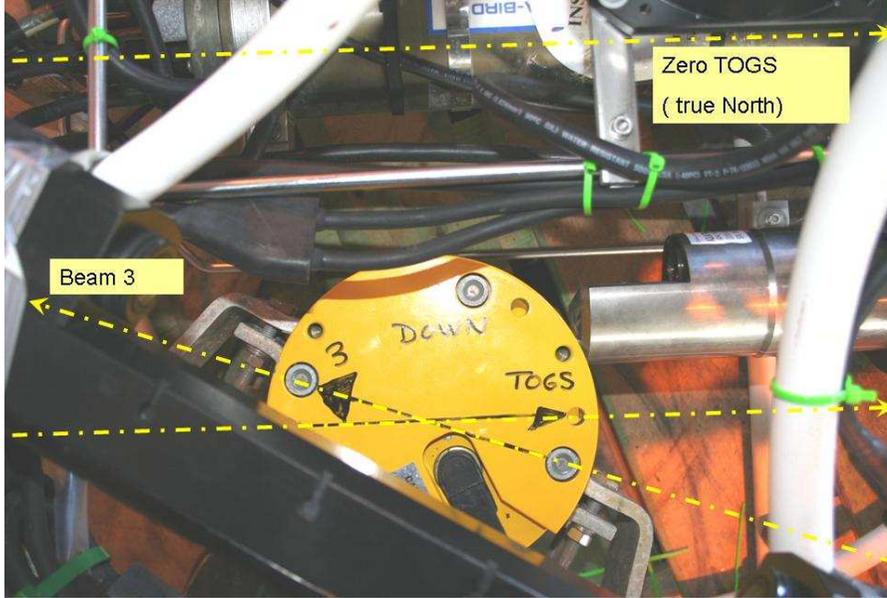
TOGS
supply

Fluorimeter

SBE 911

LADCP
battery

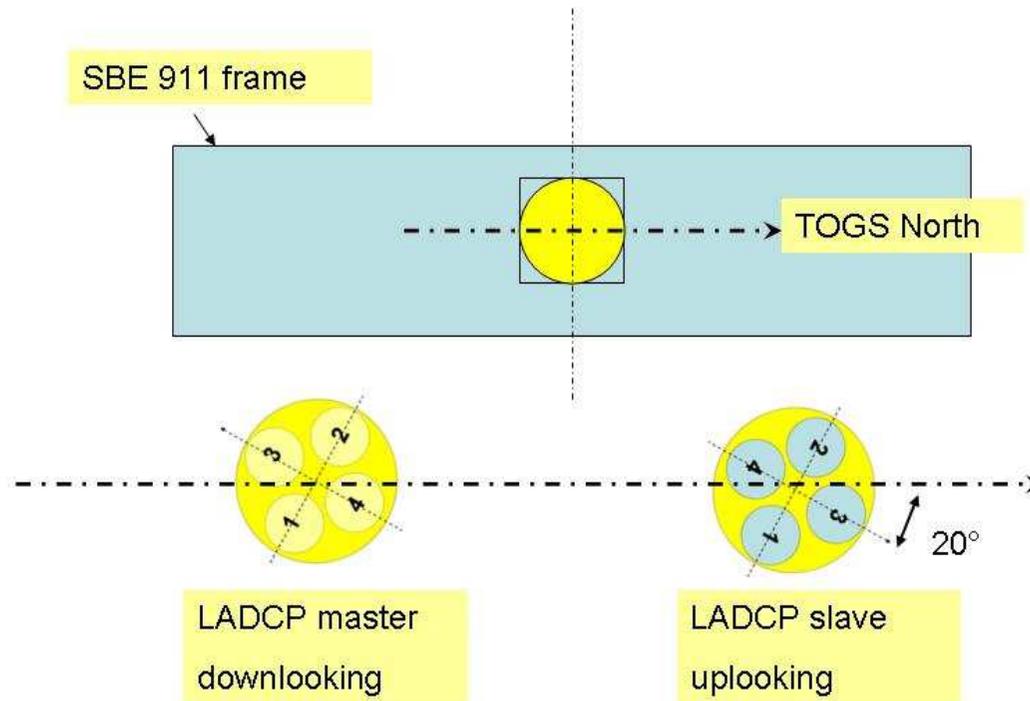
Video
camera



Orientation du LADCP master (downlooking) sur le TOGS de rosette

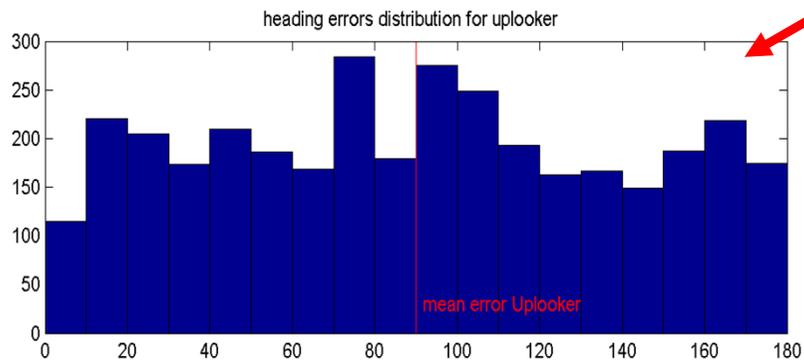
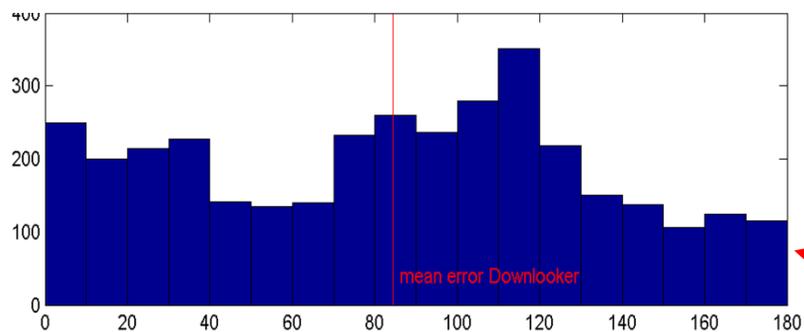
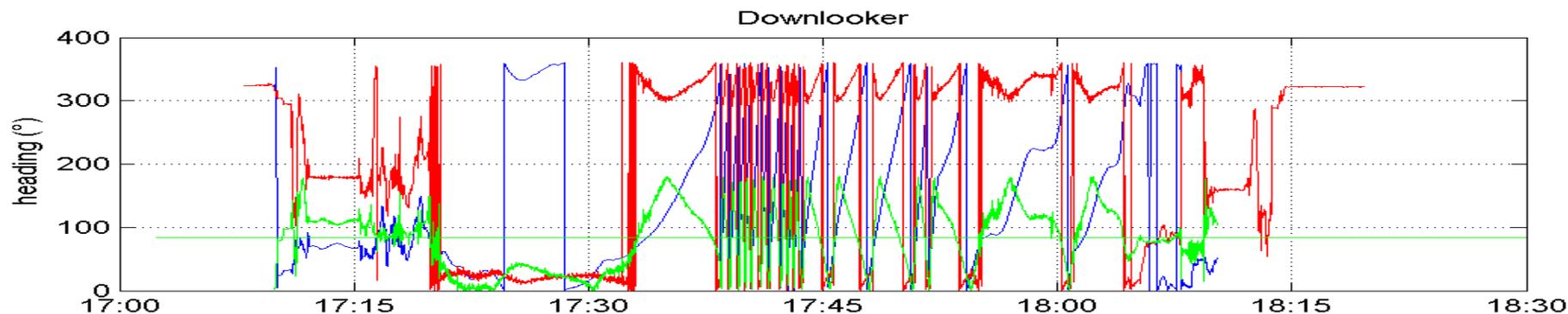
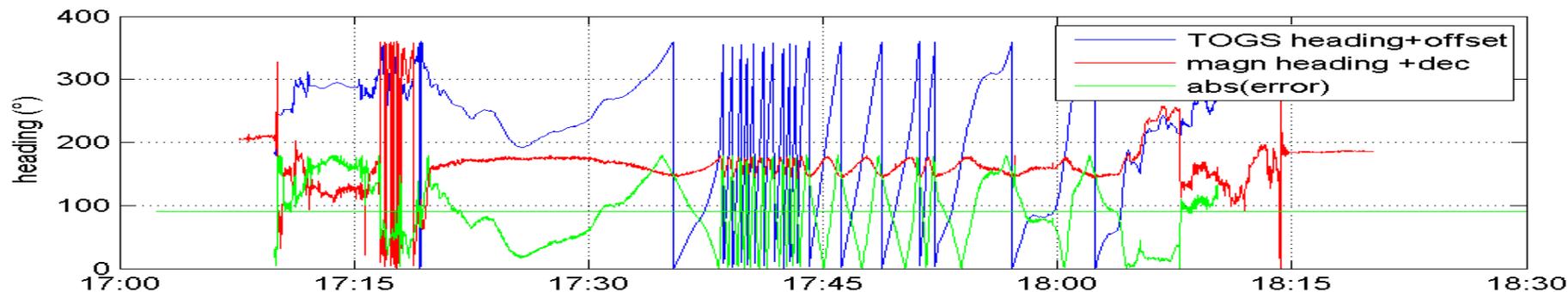


Orientation du LADCP slave (uplooking) sur le TOGS de rosette



Nécessité d'un alignement rigoureux des ADCP entre eux et avec le TOGS

ALBION-002 Uplinker

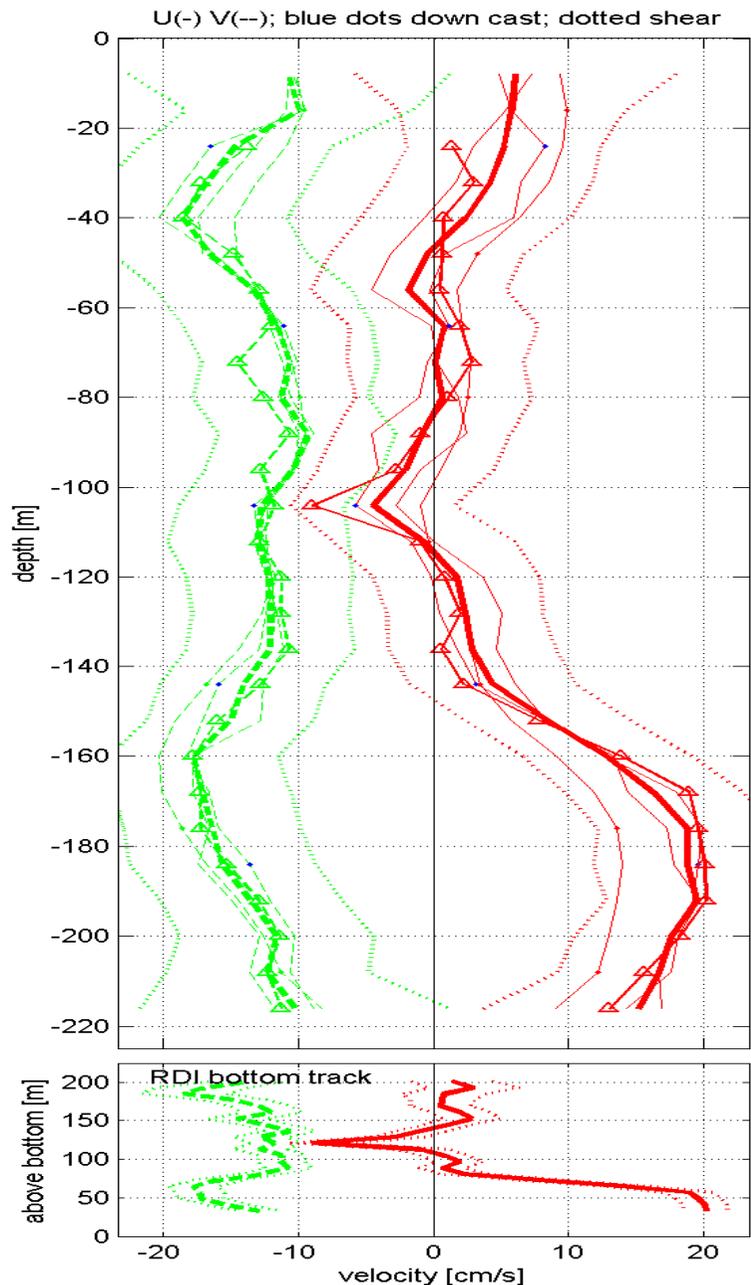


Erreurs sur les caps magnétiques des compas fluxgate des LADCP comparés aux caps TOGS

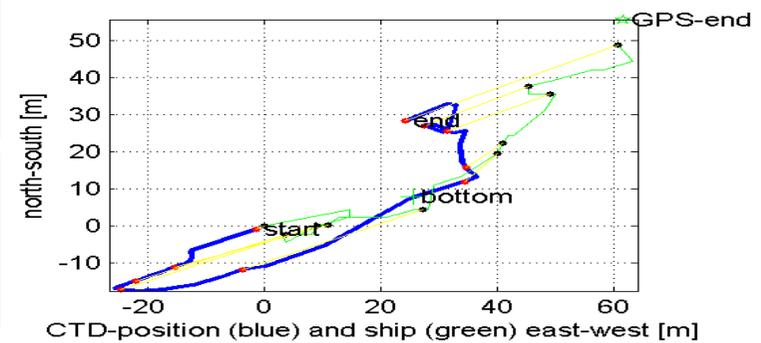
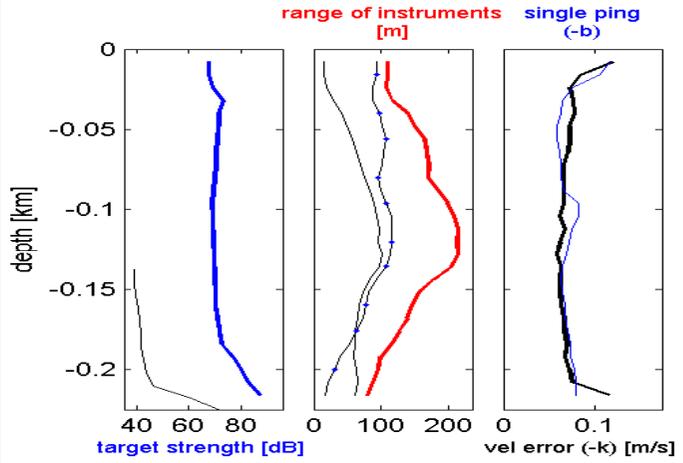
-Distribution aléatoire de 0 à 180°

-Confirmation de l'inutilité des compas magnétiques : leur réponse aux mouvements réels est grossièrement synchrone mais très amortie

Station : ALBION-005 Figure 1



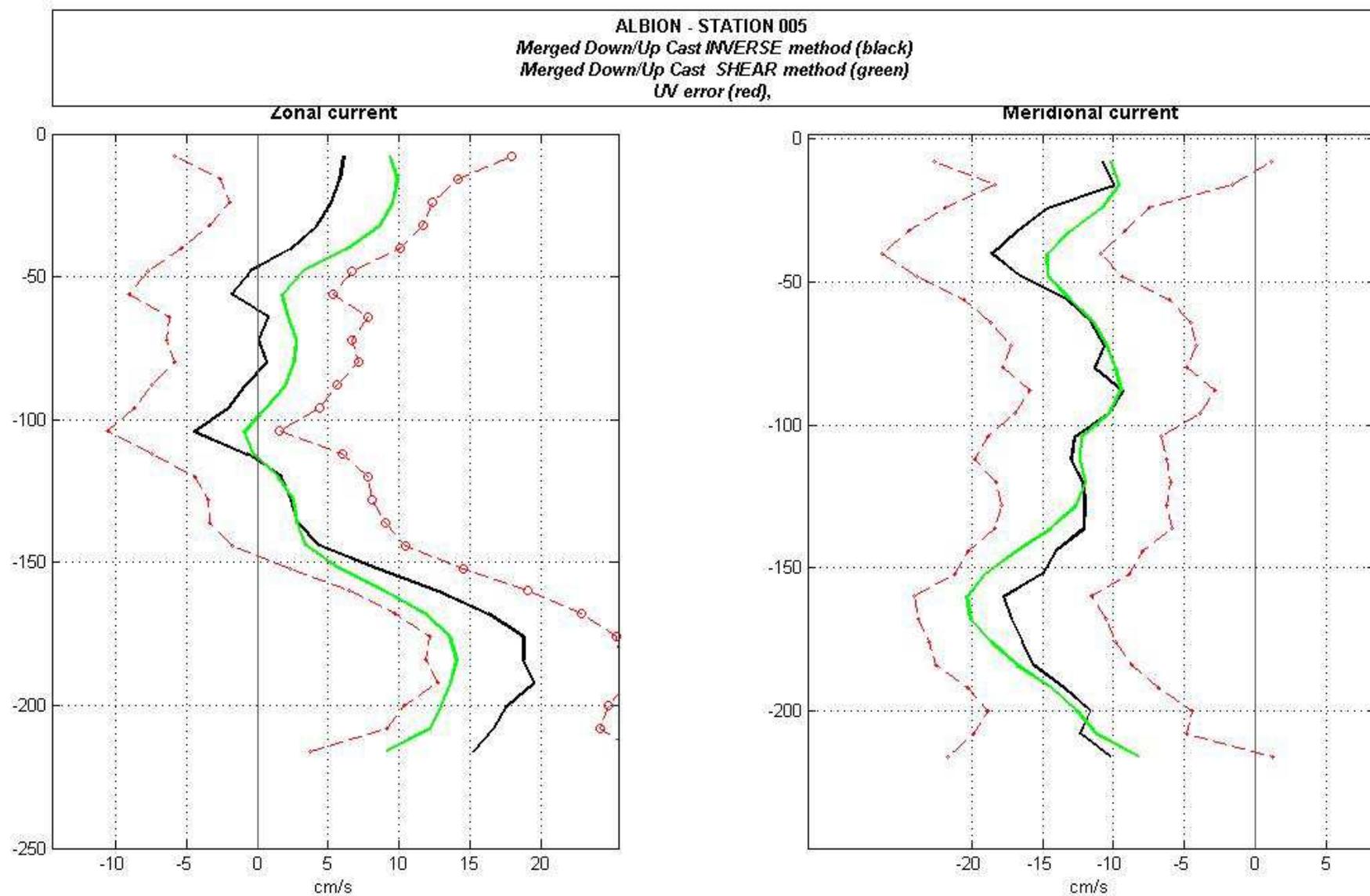
Start: 65°S 55.2696' 142°E 20.2140'
 21-Jan-2012 01:38:42
 End: 65°S 55.2396' 142°E 20.2956'
 21-Jan-2012 02:24:45
 u-mean: 6 [cm/s] v-mean -13 [cm/s]
 binsize do: 8 [m] binsize up: 8 [m] binsize avg: 8 [m]
 mag. deviation 0.0
 wdiff: 0.08 pglim: 80 elim 0.2
 smal:1-1 bar:1.0 bot:1.0
 weightmin 0.1 weightpower: 1.0
 max depth: 223 [m] bottom: 225 [m]



LDEO LADCP software: Version 8b: 6 April 2004

Sorties brutes du traitement de données TOGS/LADCP par code LDEO/Visbeck modifié

Ça converge avec des tests qualité corrects !!!!



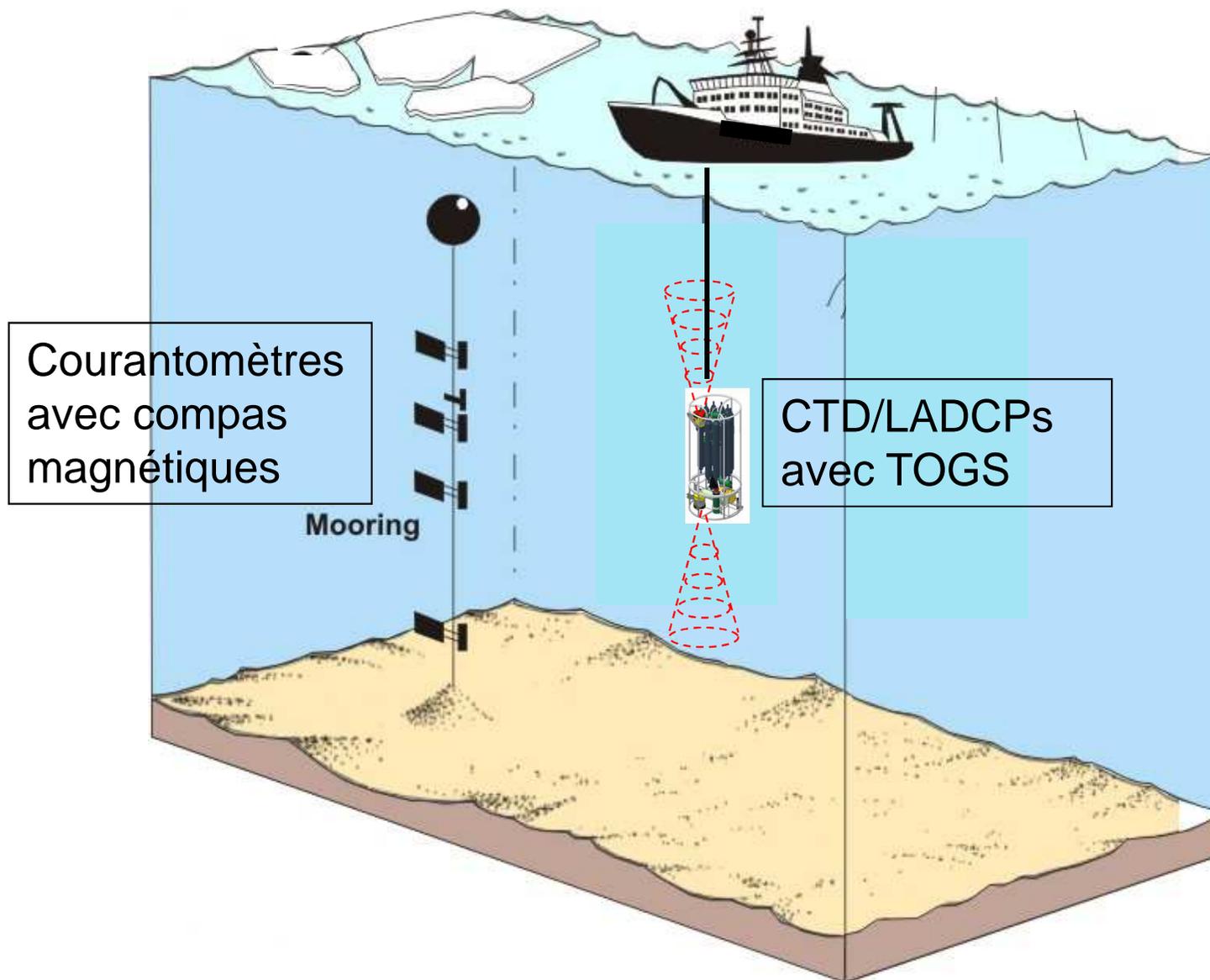
Profils de vitesses U & V obtenus par mesures TOGS/LADCP

Cohérence acceptable entre solutions *Inverse* et *Shear*

Compte tenu des barres d'erreurs (± 5 cm/s)

Projet / question ouverte :

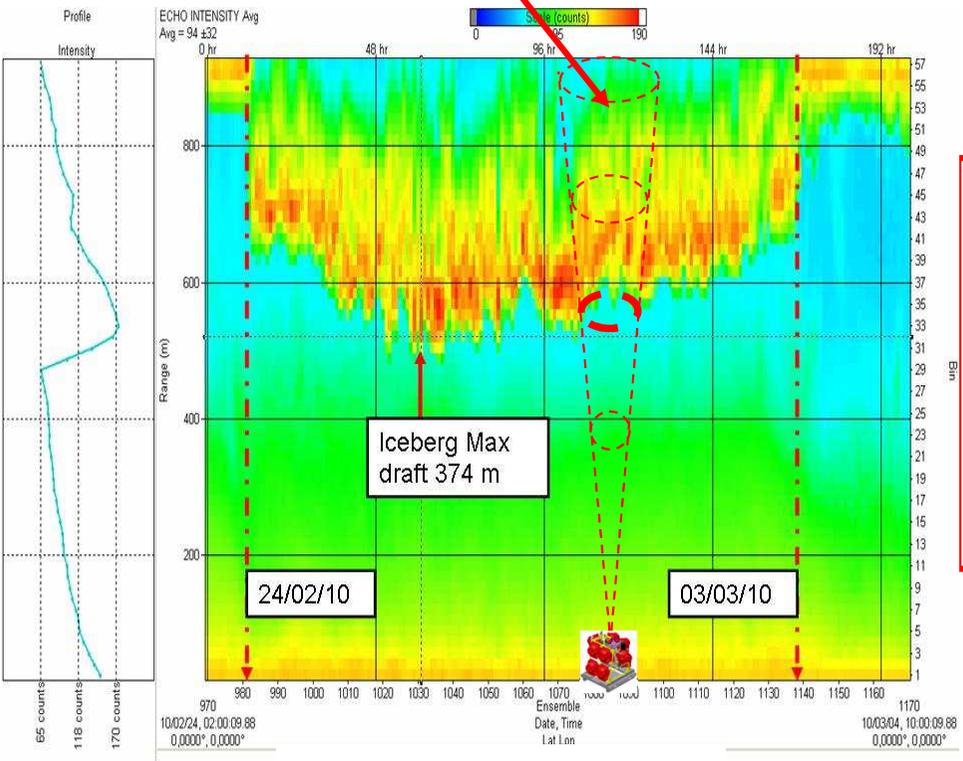
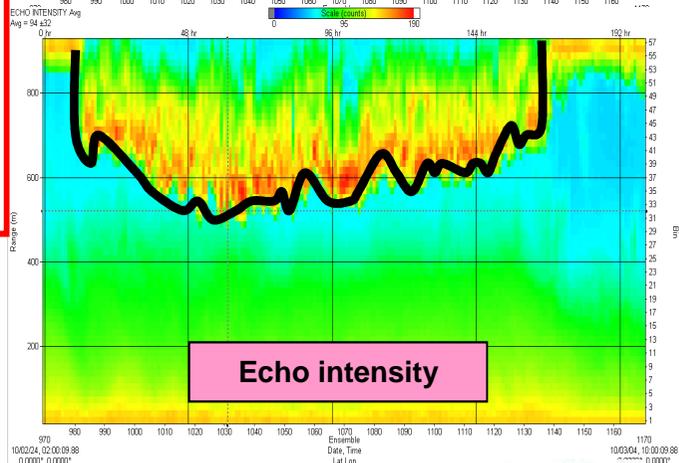
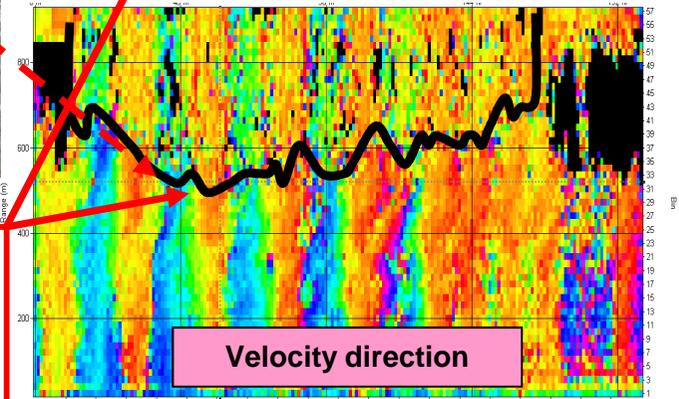
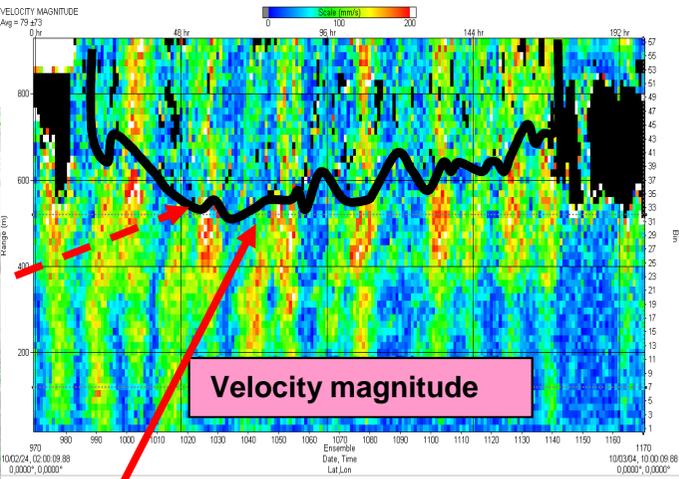
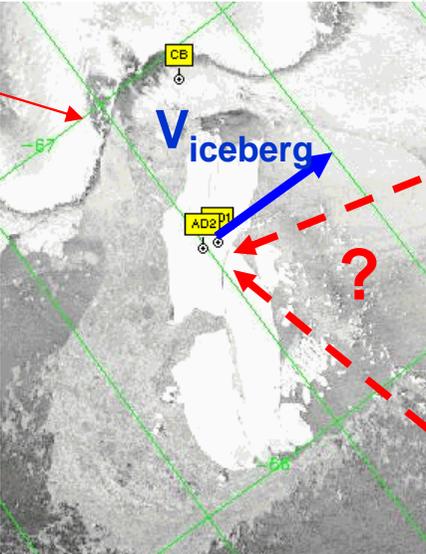
Calibrer une ligne de courantmètres avec un profil simultané TOGS/LADCP sur le site du mouillage ??



Projet / question ouverte : Calibrer un ADCP en cage de fond à l'aide des déplacements d'un iceberg observés par image satellite et/ou balise GPS ??

Image MODIS

Un ADCP fonctionne en sondeur inversé pour détecter la quille d'un iceberg qui le survole



Peut-on évaluer la vitesse de déplacement du berg dans le bin d'interface eau-glace ??



Merci ,

des questions ???